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 KAFFRINE



2023


50
KAFFRINE



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'Élevage
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 Kaffrine 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 Kaffrine 12

2.1. Situation géographique et administrative 12
2.2. Situation socio-économique 12
2.3. Situation biophysique 13
2.4. Contexte climatique 14

3. État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Kaffrine 15

3.1. Secteur de l'agriculture 15
3.2. Secteur des inondations 16
3.2.1. Causes des inondations 16
3.2.2. Impacts des inondations 17
3.3. Secteur des infrastructures 17
3.4. Secteur de la santé 18

4. Résultats de l'évaluation participative de la vulnérabilité 19

4.1. Secteur de l'agriculture 19
4.1.1. Vulnérabilité actuelle 19
4.1.1.1. Risques climatiques identifiés 19
4.1.1.2. Impacts des changements climatiques sur le secteur agricole 20
4.4.1.3. Analyse de la sensibilité globale 24
4.1.2. Vulnérabilité future 26
4.1.2.1. Projection climatique sur la pluviométrie et la température 26
4.1.2.2. Analyse de la sensibilité future du secteur agricole 27
4.1.2.2.1. Projection et écarts de rendements 27
4.1.2.2.2. Analyse des facteurs de vulnérabilité future 28
4.2. Secteur de la santé 29
4.2.1. Vulnérabilité actuelle 29
4.2.2. Vulnérabilité future 32
4.2.2.1. Analyse du risque climatique futur : Modélisation climatique 32
4.2.2.2. Projections climatiques sur la pluviométrie et la température 34
4.2.2.3. Analyse de la sensibilité future du secteur de la santé : modélisation de quelques maladies prioritaires de l'étude 35
4.2.2.3.1. Modélisation de l'incidence du paludisme au Sénégal 36
4.2.2.3.2. Modélisation de la capacité vectorielle d'Aedes aegypti : effets de la température sur la dengue à Kaffrine 37
4.2.2.3.3. Analyse statistique pour les maladies non transmissibles sensibles aux vagues de chaleur : variabilité spatio-temporelle de l'indice de confort à Kaffrine 38
4.3. Secteur des inondations 40
4.3.1. Vulnérabilité actuelle 40
4.3.1.1. Causes des inondations 40
4.3.1.2. Caractérisation des facteurs géomorphologiques 40

4.3.1.3. Caractérisation des facteurs anthropiques 41
4.3.2. Vulnérabilité future 42
4.3.2.1. Facteurs de la vulnérabilité et projections 42
4.3.2.1.1. Précipitations annuelles 42
4.3.2.1.2. Ruissellements annuels 46
4.3.2.1.3. Débits annuels 48
4.3.2.2. Synthèse de la vulnérabilité future 52
4.3.2.3. Caractéristiques de la vulnérabilité future 54
4.4. Secteur des infrastructures 55
4.4.1. Vulnérabilité actuelle 55
4.4.1.1. Évaluation participative de la vulnérabilité 55
4.4.1.2. Impacts des aléas climatiques sur les infrastructures routières 56
4.4.1.3. Facteurs aggravant les impacts des risques climatiques 56
4.4.2. Vulnérabilité future 56
4.4.2.1. Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes 56
4.4.2.2. Analyse de la vulnérabilité future aux températures élevées 57
4.5. Analyse intégrée des résultats de l'évaluation sectorielle de la vulnérabilité 57

5. Mesures d'adaptation sectorielles proposées 58

5.1. Secteur de l'agriculture 58
5.2. Secteur de la santé 59
5.3. Secteur des inondations 63
5.4. Secteur des infrastructures 65

Conclusion 67

Annexe : Bibliographie 68



Liste des illustrations

Tableaux

Tableau 1 : Évolution de la population de la région de Kaffrine entre 1976 et l'année 2018 12
Tableau 2 : Risque clés par variété 15
Tableau 3 : Synthèse des stratégies d'adaptation identifiées 16
Tableau 4 : Récapitulatif des pertes et dommages enregistrées suite aux inondations à Kaffrine 17
Tableau 5 : Maladies climato-sensibles dans la région de Kaffrine 18
Tableau 6 : Risques climatiques et non climatiques identifiés et leurs impacts sur l'agriculture 19
Tableau 7 : Impacts des risques climatiques identifiés sur l'arachide 22
Tableau 8 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le mil 23
Tableau 9 : Impacts des risques climatiques identifiés sur la pêche 23
Tableau 10 : Impacts des risques climatiques identifiés sur l'élevage 24
Tableau 11 : Impacts des risques climatiques identifiés sur la foresterie 24
Tableau 12 : Matrice de sensibilité aux changements climatiques de la région de Kaffrine 25
Tableau 13 : Projection température et précipitation aux horizons 2035 (2020-2050) / 2050 (2035-2065) 26
Tableau 14 : Risques climatiques identifiés et leurs impacts sur la santé 29
Tableau 15 : Matrice de sensibilité de la région de Kaffrine 30
Tableau 16 : Modèles CMIP6, leurs institutions et pays d'origine et leur résolution 32
Tableau 17 : Vulnérabilité future, secteur inondation 52
Tableau 18 : Caractéristiques de la vulnérabilité future inondation 54
Tableau 19 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux risques climatiques notés de 1 à 5 55
Tableau 20 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes revêtues 56
Tableau 21 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues 56
Tableau 22 : Principaux impacts des risques climatiques sur les ouvrages d'art et d'assainissement (OAA) 56
Tableau 23 : Écarts des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-2100 57
Tableau 24 : Écarts des nombres de jours à températures maximales ≥ à 35°C 57
Tableau 25 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts biophysiques 58
Tableau 26 : Priorisation des options d'adaptation avec la matrice multicritère 59
Tableau 27 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts sur la santé 60
Tableau 28 : Matrice de priorisation des options/stratégies d'adaptations identifiées 62
Tableau 29 : Hiérarchisation des options d'adaptation par axe 63
Tableau 30 : Options au niveau des routes revêtues 65
Tableau 31 : Options pour les routes non revêtues 65
Tableau 32 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement 66

Figures

Figure 1 : Évolution des risques climatiques à Kaffrine des 1980 à 2020, A : Cumul pluviométrique, B : l'intensité des précipitations et C : le nombre de périodes sèches du 1 Juillet au 30 Septembre 20
Figure 2 : Indice standardisé des précipitations (ISP) de 1981 à 2020 à Kaffrine 20
Figure 3 : Évolution des rendements agricoles des céréales et l'arachide de 1981 à 2013 à Kaffrine 21
Figure 4 : Corrélation entre le cumul pluviométrique saisonnier JAS et les rendements agricoles par spéculation 22
Figure 5 : Évolution de l'indice de pluie standardisée (IPS) de la période historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). 26
Figure 6 : 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 27
Figure 7 : Écarts de rendements du mil, maïs et du sorgho aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1981-2010 28
Figure 8 : Corrélation entre le rendement des cultures avec la précipitation annuelle 28
Figure 9 : Corrélation entre le rendement des cultures et la température 29
Figure 10 : Éléments de la biologie du vecteur pouvant être impactés par des variables climatiques 36
Figure 11 : Diagramme causal des vulnérabilités aux inondations 40
Figure 12 : Altitudes dans Kaffrine 41
Figure 13 : Carte de superposition du bâti sur le modèle numérique de terrain de la commune de Kaffrine 42

Cartes

Carte 1 : Découpage administratif et territorial de la région de Kaffrine 12
Carte 2 : Distribution spatiale des précipitations à Kaffrine 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 34
Carte 3 : Distribution spatiale des températures à Kaffrine 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 35
Carte 4 : Distribution spatiale de l'incidence du paludisme à Kaffrine 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 5 : Distribution spatiale de la rVc (capacité vectorielle relative) à Kaffrine 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 6 : Distribution spatiale de classes d'indice de confort saisonnier (IC) à Kaffrine 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. 39
Carte 7 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011 - 2040 43
Carte 8 :'Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 43
Carte 9 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 44
Carte 10 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 44
Carte 11 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 45
Carte 12 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-20100 45
Carte 13 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040 46
Carte 14 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 46
Carte 15 : Indicateur ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 47
Carte 16 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 47
Carte 17 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 48
Carte 18 : Indicateur Ruissellement (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100 48
Carte 19 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2011-2040 49
Carte 20 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2041-2070 49
Carte 21 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 4.5) 2071-2100 50
Carte 22 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2011-2040 50
Carte 23 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2041-2070 51
Carte 24 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100 51



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 humaine[1]. 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 Kaffrine 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 dans la région de Kaffrine 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 Kaffrine

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 Kaffrine 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 Kaffrine. 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.

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

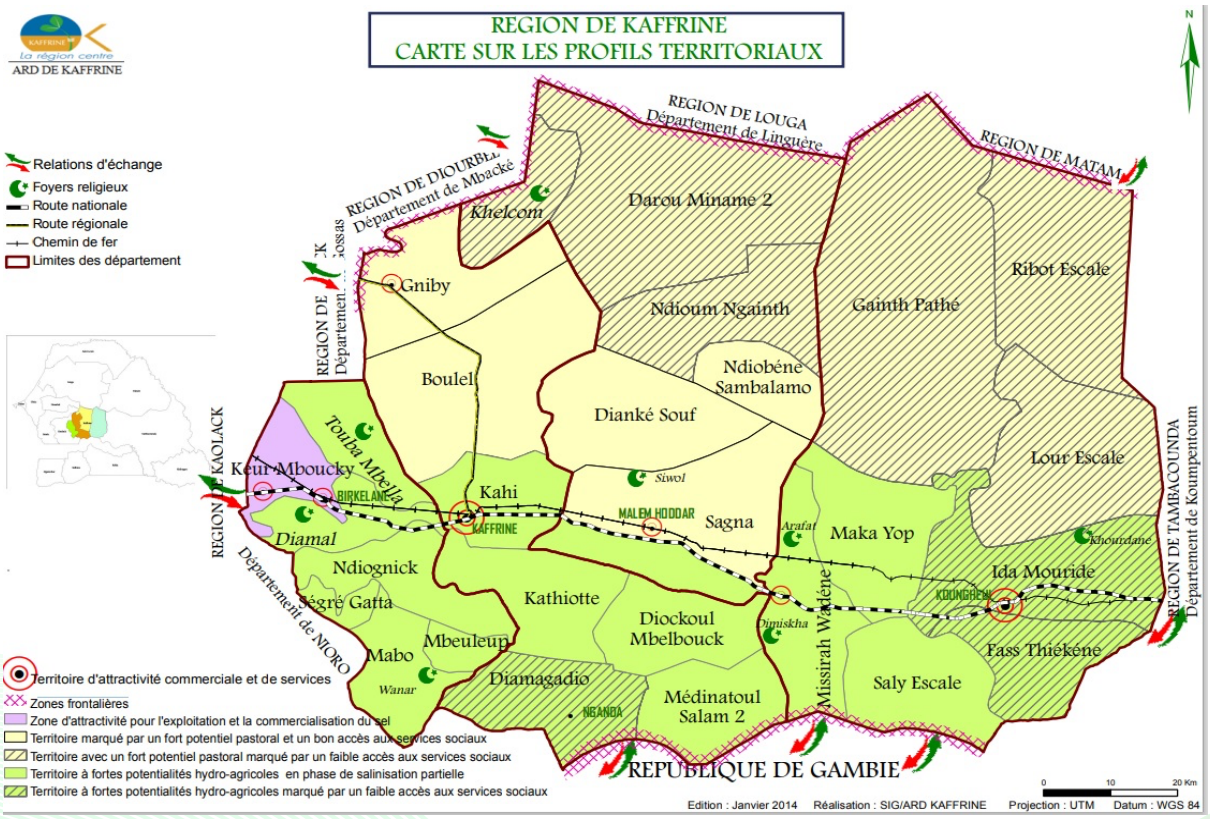
La question de la disponibilité et de la fiabilité de l'information climatique, à des degrés divers, se pose dans tous les secteurs ciblés au niveau de la région de Kaffrine pour étayer la réalité des changements climatiques. Les données nécessaires pour ce faire demeurent limitées et difficiles d'accès parfois même, totalement inexistantes.

Par ailleurs, il faut noter que l'état des connaissances sur les changements climatiques, montre qu'il est-il difficile de disposer d'études approfondies de vulnérabilité sur les secteurs ciblés.

2. PRÉSENTATION DE LA RÉGION DE KAFFRINE

2.1. Situation géographique et administrative

Ancien département de la région de Kaolack, Kaffrine est érigée en région par la loi 2008-14 du 18 mars 2008. Elle se situe entre 14°07 de latitude nord et 15°32 de longitude ouest, et couvre une superficie de 11 181 Km², soit 5,6% du territoire national (Carte 1).



Carte 1 : Découpage administratif et territorial de la région de Kaffrine (source : ANSD 2018)

2.2. Situation socio-économique

Le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage (RGPHAE) de 2013 est le quatrième du genre que le Sénégal a réalisé après ceux de 1976, de 1988 et de 2002. Les résultats issus de ces différents recensements ainsi que les données de projection sont contenus dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Évolution de la population de la région de Kaffrine entre 1976 et l'année 2018

Désignation \ Année	1976	1988	2002	2013	2017	2018
Population résidente	239282	323029	465671	566992	655 121	678 955
Taux d'accroissement intercensitaire en %	-	2,5	2,6	1,8	-	-

D'après les projections officielles de l'ANSD, la population de la région de Kaffrine est estimée à 678 955 habitants en 2018 contre 655 121 habitants en 2017, soit un taux d'accroissement annuel moyen de 3,6%. Entre 1976 et 2018, soit une durée de 42 ans, la population a presque triplé, passant de 239 282 à 678 955 habitants avec un taux d'accroissement annuel moyen de 2,5%.

Les résultats enregistrés lors des différents recensements montrent que la population de la région a progressé plus rapidement durant les périodes intercensitaires 1976-1988 (2,5%) et 1988-2002

(2,6%) que durant la période 2002-2013 (1,8%). Cette baisse de l'accroissement de la population peut être attribuée à l'effet des politiques de planification familiale qui visent à maîtriser la fécondité. En effet, dans la région, la plupart des structures de santé (91%) offre une méthode moderne réversible de planification familiale (pilule, injections, implants, dispositifs contraceptifs intra-utérins, condoms masculins et féminins, colliers du cycle, diaphragme ou spermicides).

Kaffrine est une région à forte vocation agricole. L'agriculture occupe 75% de la population. Par ailleurs, Kaffrine est la première région productrice d'arachide du Sénégal. Les 43 916 ménages agricoles disposent d'exploitations agricoles relativement importantes, comparées au niveau national. En effet, 45,7% des ménages agricoles ont cultivé entre 1 et 5 ha et 32,1% entre 6 et 10 ha.

Néanmoins, la région dispose de grands exploitants agricoles puisque 5,2% des ménages agricoles ont cultivé plus de 20 ha alors que la moyenne nationale est de 2,6% selon les données du RGPHAE de 2013. Les principales cultures vivrières sont le mil, le sorgho, le maïs, etc. Des cultures de rente (l'arachide) et des cultures maraîchères (tomate, gombo, aubergine, bissap, courge, oignons, chou, pomme de terre, haricot vert, etc.) sont également pratiquées dans la région.

L'élevage pratiqué dans la région reste encore extensif. Le cheptel est composé de bovins, caprins, équins, porcins et volailles familiales. Toutefois, il faut noter l'extension de pratiques modernes telles l'embouche bovine et ovine et l'aviculture. L'insémination artificielle a donné naissance à des métis plus productifs, tant en viande qu'en lait. Par ailleurs, Kaffrine est une véritable région carrefour dans le commerce du bétail avec le marché à bétail de Birkelane qui a été modernisé par l'État du Sénégal en partenariat avec l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA).

2.3. Situation biophysique

Le relief est plat dans son ensemble et présente une légère pente du nord vers le sud. Les sols rencontrés dans la région sont de trois types : les sols ferrugineux tropicaux (avec des variantes) exploités pour la culture de l'arachide et du mil. Ils sont sableux à sablo – argileux avec de bonnes aptitudes agricoles ; les sols hydromorphes caractérisant les bas-fonds et les cours d'eau sont un peu dispersés dans la région avec une texture généralement argileuse. On les appelle « *deck* » avec des variantes « *deck-dior* » ; les sols halomorphes, caractéristiques des milieux salés ou tannes, se rencontrent surtout dans les départements de Birkelane et de Kaffrine.

La région est localisée dans la zone de transition entre le domaine sahélien et le domaine soudanien. Elle présente une végétation très variée. On y distingue plusieurs types de formations forestières du nord vers le sud : au nord on a une savane arbustive caractérisée par un écosystème qui regroupe les espèces forestières typiques de la zone sahélienne. Il s'agit de *Combretum sp*, *Balanites aegyptiaca*, *Lannea acida*, *Bauhinia rufescens*, *Adansonia digitata*, *Anageissus leocarpus*, etc. Au sud, nous avons une savane arborée qui présente une composition floristique plus variée. Les espèces les plus fréquentes sont : *Cordyla pinnata*, *Pterocarpuserinaceus*, *Daniellia oliveri*, *Parkiabiglobosa*, *Tamarindus indica*, *Prosopis africana*, *Sterculia setigera*, *Parinarimacrophila*. La région de Kaffrine dispose d'importantes ressources fauniques. La diversité des habitats sauvages explique la présence de 300 espèces d'oiseaux dans la région. La faune est essentiellement composée de l'avifaune et de la faune à poils. L'avifaune est composée d'espèces terrestres et aquatiques dont les plus couramment rencontrées sont : les pintades, les francolins, les tourterelles, les cailles, les outardes, les gangas, les oies de Gambie, les calaos et les rouges gorges. La faune à poils est constituée par les gros gibiers tels que les phacochères que l'on rencontre dans les zones marécageuses et les vallées, les guibs harnachés, les singes, les gazelles à front roux, les hyènes et quelques cobes. Le petit gibier est constitué de mangoustes, de rats palmistes, de chacals et de civettes.

2.4. Contexte climatique

La durée, l'intensité et la répartition saisonnière des pluies en un endroit donné varient considérablement d'une année à l'autre. Dans la région, les hauteurs annuelles des pluies sont actuellement situées entre 400,0 et 860,0 mm dans les stations de Kaffrine et de Koungheul. La variabilité interannuelle de la pluviométrie durant la période 1981-2013 révèle que le département de Koungheul a reçu plus de pluviométrie avec une moyenne de 823,3 mm. Des tendances identiques sont observées dans les autres départements avec des moyennes qui tournent autour de 692,0 mm. Le cœur de la saison des pluies se situe aux mois d'août et de septembre qui enregistrent les hauteurs maximales de pluviométrie. Les températures relevées dans la région sont généralement élevées avec des variations parfois importantes au cours de la journée. Elles oscillent entre 26 et 42°C avec une moyenne de 30°C et une durée d'ensoleillement moyenne de 11 heures. Les plus basses températures sont enregistrées entre décembre et janvier et les plus élevées entre mars et mai. Quant à l'humidité, les minimas oscillent entre 14% en avril et 68% en septembre alors que les maxima sont compris entre 50% en février et 98% en septembre. Les mois les plus humides sont les mois de juillet à octobre. À l'opposé, les mois les moins humides sont de janvier à avril. La circulation générale dans la région est caractérisée par deux (2) vents dominants à savoir : l'alizé continental, vent d'Est qui souffle généralement de février à mai et la mousson, vent de Sud-ouest dont l'arrivée annonce le début de la saison des pluies.

En termes d'évolution du climat et de changements climatiques, les principaux risques sont liés à la variabilité climatique, au stress thermique, au nombre de jours secs consécutifs, au stress hydrique et la durée de la saison de croissance. Le stress thermique devrait devenir un risque important à l'avenir pour la partie orientale, avec jusqu'à 3 mois de journées "chaudes" (T>35ºC) dans le nord de la région. Les projections climatiques futures indiquent une augmentation significative du nombre de jours secs consécutifs d'environ 5 à 10 jours et le stress hydrique devrait augmenter de 8 à 22 jours dans toute la région, mais l'augmentation se fera principalement au sud. La durée de la saison de croissance va diminuer dans toute la région passant d'environ 70 jours à 50 jours dans le futur. Les autres risques ne sont pas élevés, mais tendent à montrer une plus grande variabilité par rapport aux scénarios futurs. Ces risques ont tendance à augmenter ou à diminuer, mais pas de manière substantielle.

3. État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans la région de Kaffrine

L'analyse de la documentation disponible au niveau de la région de Kaffrine, 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

Les événements « extrêmes » combinés aux changements de température et de pluviométrie exercent une influence énorme sur l'agriculture à travers : i) le stress thermique et hydrique qui entraîne des pertes de rendement aussi bien au niveau des plantes que des animaux ; ii) les perturbations des écosystèmes susceptibles d'affecter les productions à travers le développement de pathogènes, la prolifération d'espèces invasives, etc. et iii) les impacts directs (augmentation des températures, de la fréquence des inondations et des sécheresses) et indirects (disponibilité réduite en eau et fourrage, propagation de maladies infectieuses) sur la santé et le bienêtre animal (Ouedrago et al 2020).

En effet, selon une enquête sur la perception des changements climatiques à Kaffrine, les manifestations perçues se traduisent par des épisodes de **sécheresses/forte chaleur** se traduisant par une insuffisance alimentaire et une baisse de la productivité, une recrudescence des maladies, une disparition progressive des forêts et de la biodiversité, un raccourcissement et un décalage de la saison des pluie, une irrégularité des précipitations combinée à une augmentation de leur intensité ainsi qu'une baisse de la nappe phréatique. D'autres manifestations comme **les vents forts** sont aussi notées entraînant une propagation des incendies et des maladies, une accentuation de l'érosion éolienne causant un appauvrissement du sol. Une particularité est également notée dans la zone de Kaffrine avec les ravinements causés par l'érosion hydrique dans certaines parties occasionnant des pertes au niveau des terres arables, et ensablement de certaines vallées.

Selon les travaux effectués lors d'un atelier de partage dans le cadre du projet CCAFS, les risques climatiques les plus pertinents pour les chaînes de valeurs prioritaires sont la sécheresse, la hausse des températures et les pauses sèches (Tableau 2).

Tableau 2 : Risque clés par variété

CV	Risque 1	Risque 2	Raison de choix des Conséquences
Arachide	Sécheresse	Cycle de la saison court	Affecte les rendements de l'arachide, entraine des ressemis
Mil/sorgho	Sécheresse	Durée du cycle de la saison	Affecte les rendements du mil et du sorgho, entraine des ressemis
Caprins	Hausse de température	Sécheresse	Manque de fourrage Santé, état des parcours, feux de brousse
PFNL	Période de sécheresse	Vents forts	Chutes des arbres et des fleurs entrainant une baisse de la production des PFNL.

La synthèse des stratégies d'adaptation aux changements climatiques sont présentés par catégorie dans le Tableau 3 ci-dessous.

La zone de Kaffrine fait partie des zones où l'adaptation aux changements climatiques constitue bien une réalité, notamment avec la présence du village climato-intelligent de Daga Birame mise en place par le CCAFS (Sanogo et al. 2016). Les résultats du projet Développement de chaînes de valeur et de paysages intelligents face au climat, pour accroître la résilience des moyens de subsistance en Afrique de l'Ouest du CCAFS, montrent que les cultures dépendent en bonne partie, pour leur croissance, de facteurs tels que la température, les précipitations, le degré d'ensoleillement et les concentrations en CO2.

Tableau 3 : Synthèse des stratégies d'adaptation identifiées

Catégories de stratégies	Stratégies
Cultures et variétés	- Utilisation des variétés améliorées tolérantes à la sécheresse (mil, maïs, arachide), à haut rendement - Utilisation de semences certifiées de qualité - Diversification des cultures et des variétés
Utilisation des terres	Gestion intégrée de la fertilité des sols - Labour minimum/superficiel/grattage - Microdose d'engrais minéral (NPK et Urée) Matière organique (fumier, compost) - Paillage - Gestion intégrée des ennemis des cultures (ravageurs, maladies) - Utilisation de biopesticides. - Technologies CES/DRS : Cordons pierreux, Demi-lunes, Zaï, Billons (ACN, cloisonnés, etc.), Digues, diguette, … - Rotation culturale - Association culturale - Maraîchage/jardinage - Irrigation : Irrigation de complément (bassins)
Agroforesterie	- Plantation d'arbres o Baobab, jujubier, tamarinier, goyavier, etc. - Régénération Naturelle Assistée (RNA) - Mise en défens forestière - Protection des forêts et des arbres - Haie vives/bandes enherbées - Pare – feux (gestion des feux de brousse) - Domestication des fruitiers forestiers - Culture intercalaire - Transformation de PFNL
Élevage	- Stabulation - Embouche - Espèces d'élevage à cycle court (volaille, etc.) - Culture fourragère - Fauchage et traitement des tiges - Blocs multivitaminés - Habitats améliorés
Temps et climat	- Informations climatiques, Prévisions saisonnières, o Information météo - Assurance climatique (indicielle)

3.2. Secteur des inondations

Les causes des inondations à Kaffrine sont multiples et sont essentiellement d'ordres naturel et anthropique.

3.2.1. Causes des inondations

Les causes des inondations à Kaffrine sont multiples et sont essentiellement d'ordres naturel et anthropique.

Causes naturelles et ou climatiques

- La géomorphologie des terrains associés aux systèmes de pentes ;
- La nature torrentielle des pluies enregistrées ces dernières décennies, amplifie le phénomène d'inondation dans cette zone ;
- La nature argileuse des sols qui ne facilite pas l'infiltration des eaux.

Causes anthropiques

- urbanisation croissante ;
- installation des populations dans des zones non aedificandi ;
- mauvaise planification de l'occupation de l'espace.

3.2.2. Impacts des inondations

Les inondations entrainent beaucoup de pertes et dommages sur le plan économique, social et environnemental dans la région de Kaffrine. Les dommages constatés concernent pour la plupart : l'envahissement des maisons, des champs, des écoles, la prolifération de certaines maladies telles que le paludisme, la bilharziose etc. Ces dommages sont consignés dans le (Tableau 4) ci-dessous.

Tableau 4 : Récapitulatif des pertes et dommages enregistrées suite aux inondations à Kaffrine

Localités/ quartiers	2020	2019	2016	2015	2013
Kaffrine	Rues et ruelles inondées Maisons inondées École envahie par les eaux L'axe Kaffrine-soto envahi par les eaux Deux ânes noyés dans les eaux	1903 ménages sinistrés effondrements de cases. 2 morts dans la région Plusieurs personnes blessées	Beaucoup de familles déplacées dans les écoles 10 313 personnes directement touchées par les inondations 1 500 maisons détruites suite à une forte pluie (175mm le 14 juillet) » ;	134 maisons sous les eaux, des dégâts matériels	610 ménages sinistrés Habitations détruites Rupture de la voie ferrée qui servait comme digue de protection. 84 maisons effondrées au niveau des quartiers de Kaffrine2 Nord et Kaffrine2 Sud et 62 au niveau du quartier de Diamaguène Centre Familles sinistrées occupent six écoles : École 2: 2 familles; École 6: 12 familles; École 10: 3 familles, École 7: 5 familles; École 3: 3 familles. CEM Commune: 2 famille

3.3. Secteur des infrastructures

À Kaffrine, les infrastructures routières sont vulnérables à la variabilité pluviométrique. La géomorphologie de la région est favorable aussi aux phénomènes d'inondations. D'après le rapport de l'ADF (2014), dans la zone des baobolongs le risque d'inondation des routes est réel. D'après le même document, l'amplitude thermique importante (écart entre températures diurnes et nocturnes) provoque une fissuration qui est favorisée par les effets de traction/ compression des matériaux appliqués avec du liant hydraulique.

La vulnérabilité des routes aux eaux de pluie est liée au fait qu'elles s'infiltrent à travers la couche de liant bitumineux (Nguessan., 2009). Par conséquent, il y aura une diminution de la pérennité et de la protection de la chaussée. Du côté des populations seront notées, une complication au niveau des déplacements vers Kaolack, Dakar mais aussi au sud vers la Gambie et la Casamance. Finalement ce seront les activités économiques qui seront entravées. Parmi les impacts indirects nous pouvons noter les accidents souvent mortels notés sur cet axe à cause de l'état défectueux de la route.

Globalement l'augmentation des précipitations favoriseraient :

- un accroissement du stress environnemental sur les chaussées ;
- un affaiblissement des structures de chaussées en graveleux pouvant entraîner une perte de solidité et ;
- conséquemment une espérance de vie des chaussées plus réduite.

Des précipitations plus importantes provoqueraient des écoulements d'autant plus importants pouvant causer des dommages aux infrastructures routières. Les impacts sont les suivants :

- inondations plus fréquentes ;
- augmentation des emportements par les eaux ;
- accroissement des pertes d'accès.

L'augmentation de la température serait à l'origine de :

- ramollissement des couches de roulement provoquant ressuage et orniérage de la chaussée ;
- augmentation du taux de fissure conduisant au vieillissement du bitume ;
- par conséquent la chaussée deviendra perméable augmentant ainsi l'infiltration de l'eau.

Pour faire face à l'augmentation des précipitations, plusieurs options sont notées :

- utiliser des modèles de chaussées moins sensibles à l'eau ;
- une augmentation des moyens pour prendre en compte les coûts de construction ;
- une augmentation de la fréquence des entretiens et des coûts associés.

Pour faire face à l'augmentation de l'écoulement des eaux, il faudrait prévoir :

- des systèmes de drainage pouvant recevoir des quantités de pluie décennale ou centennale ;
- mais aussi augmenter les financements pour la prise en compte des coûts de financement.

Les stratégies par rapport à l'augmentation de la température sont les suivantes :

- sélectionner des couches de roulement moins sensibles à la température ;
- prendre en compte l'augmentation des coûts des couches de roulement ;
- prendre en compte les difficultés de mis en place des couches de roulement.

3.4. Secteur de la santé

Aucune étude particulière sur l'impact du climat ou des changements climatiques n'a été trouvée dans la région. Cependant, une cartographie de différentes maladies climato-sensibles enregistrées entre 2011 et 2021 (Tableau 5), mais aussi l'analyse des paramètres climatiques de la région montrent que Kaffrine à l'instar des régions centrales est particulièrement exposée au paludisme, aux maladies diarrhéiques et aux maladies non transmissibles sensibles aux vagues de chaleur. En 2019, la dengue a été enregistrée dans la région.

Tableau 5 : Maladies climato-sensibles dans la région de Kaffrine

Maladies	Paramètres climatiques	Régions ou parties plus touchées
Paludisme	Pluie, température, humidité et vent	Régions centrales (Kaffrine)
Maladies diarrhéiques	Pluie, température	Régions centrales (Kaffrine)
Maladies non transmissibles sensibles aux vagues de chaleurs	Température, humidité et vent, rayonnement solaire	Régions centrale (Kaffrine)

Source : Rapport PNA-FEM, Mars 2022.

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 au niveau 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 quatre risques climatiques majeurs notés dans la zone que sont i) l'Installation tardive et arrêt précoce des pluies, ii) les séquences sèches longues, iii) les vagues de chaleur, iv) les pluies hors saison. À côté de ces risques trois risques indirectement liés au climat ont été identifiés : la prolifération des nuisibles, les pratiques culturales inadaptées et la déforestation/ déboisement/ les feux de brousse noté partout dans la région (Tableau 6). Ces différents risques affect toute la région à l'exception du début tardif et fin précoce des pluies qui n'est pas observé sur la partie Est et Sud la région.

Tableau 6 : Risques climatiques et non climatiques identifiés et leurs impacts sur l'agriculture

Risque climatique	Fréquence/ Durée	Zone d'impact
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Fréquent (1 / 2 ans)	Toute la région sauf le 1/3 EST et le 1/3 SUD
Séquences sèches longues	Fréquent	Régionale
Vagues de chaleur	Peu fréquent	Régionale
Prolifération des nuisibles	Très fréquent	Régionale
Pluie hors saison	Peu fréquent	Régionale
Déforestation/ déboisement/ Feu de brousse	Fréquent	Régionale
Pratiques culturales inadaptées	Peu fréquent	Régionale

L'analyse du cumul pluviométrique à l'échelle de la région de Kaffrine montre une légère tendance globale à une augmentation de la pluviométrie avec des années allant jusqu'à 500 mm (2012) mais aussi une variabilité interannuelle très importante (Figure 1). Cependant il est clair que ce cumul des précipitations qui correspond à la quantité de précipitation cumulée (en mm) tombant durant la saison (Juillet - Septembre) peut être mal réparti au niveau spatial et temporel. Cette situation est appréciable avec l'intensité des pluies qui augment depuis les années 2010 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 temps que ces pluies intenses sont notées, le nombre de périodes sèches sur la saison est relativement en baisse contrairement à la perception des populations qui considèrent une hausse des périodes sèches. Au niveau de la station de Kaffrine, le début de la saison est observé entre le 152ème jour et le 230ème jour soit entre le 01 Mai et le 18 Juillet. En ce qui concerne les dates de fin se situent entre le 16 septembre et le 22 octobre des dates moyennes observées au 05 octobre. La longueur de la saison pluvieuse est en moyenne de 88 jours et le nombre de jours pluvieux est en moyenne 44 jours pluvieux à la station de Kaffrine (Sarr et al., 2021).

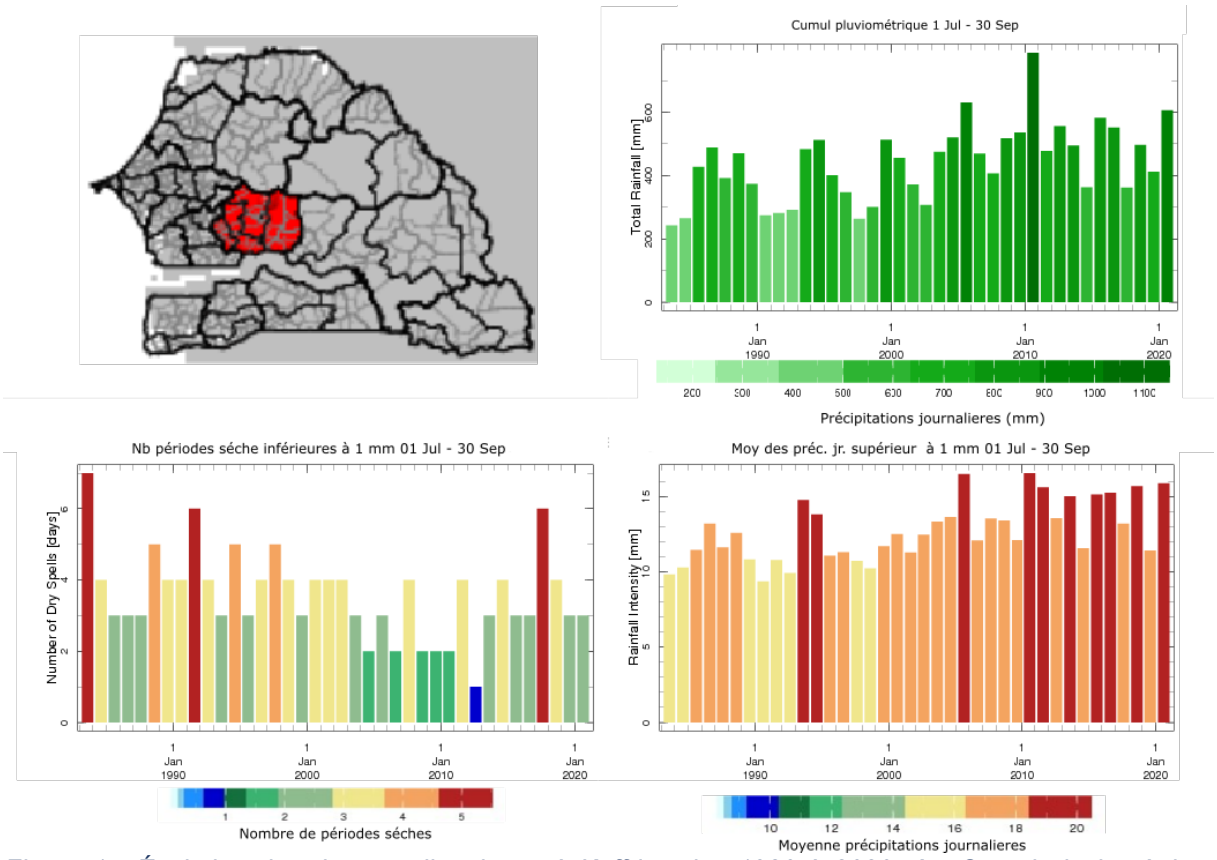


Figure 1 : Évolution des risques climatiques à Kaffrine des 1980 à 2020, A : Cumul pluviométrique, B : l'intensité des précipitations et C : le nombre de périodes sèches du 1 Juillet au 30 Septembre
(Source : Maproom ANACIM http://213.154.77.59/maproom/)

Cette situation montre l'irrégularité des pluies qui est également 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) mais également modérément (SPI -1.00 à -1.49) a sévèrement sèche (SPI -1.50 à -1.99) (Fig. 2).

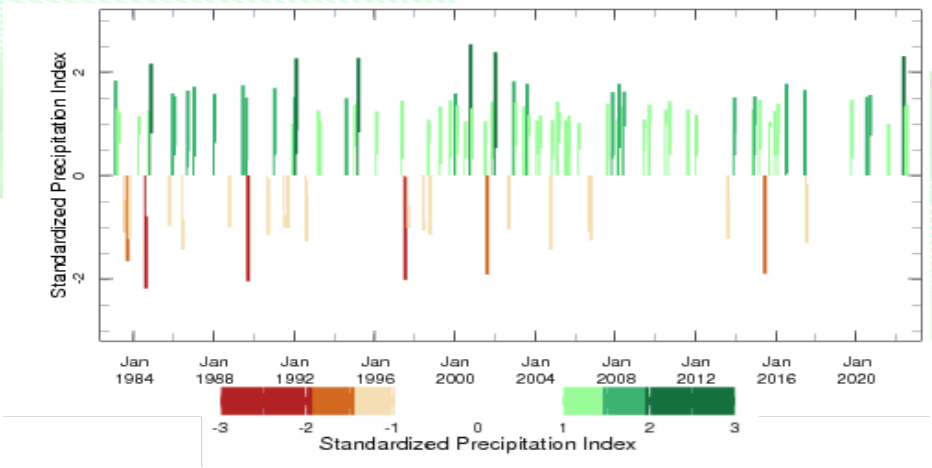


Figure 2 : Indice standardisé des précipitations (ISP) de 1981 à 2020 à Kaffrine
(Source: Maproom ANACIM http://213.154.77.59/maproom/)

4.1.1.2. Impacts des changements climatiques sur le secteur agricole

Les différents risques climatiques identifiés ont des impacts importants sur le secteur agricole. On distingue globalement :

- baisse de rendement ;
- re-semis ;
- pression parasitaire ;

- chute des fleurs ;
- stress hydrique ;
- perte de récoltes ;
- érosion éolienne et hydrique ;
- baisse de fertilité des sols.

Sur le plan régional, une tendance à la hausse des rendements de céréales (mil, sorgho et maïs) et de l'arachide est notable depuis les années 80 (Figure 3). Cette tendance régionale est similaire aux moyennes nationales durant cette période avec une augmentation des rendements plus accentuée pendant les années 2008, probablement à cause de l'augmentation des pluies observées mais également de l'impact des programmes agricoles mis en place par l'État sénégalais comme le plan REVA (Retour Vers l'Agriculture) et GOANA (Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance) (Figure 3). Cependant, il est important de noter la variabilité interannuelle des rendements.

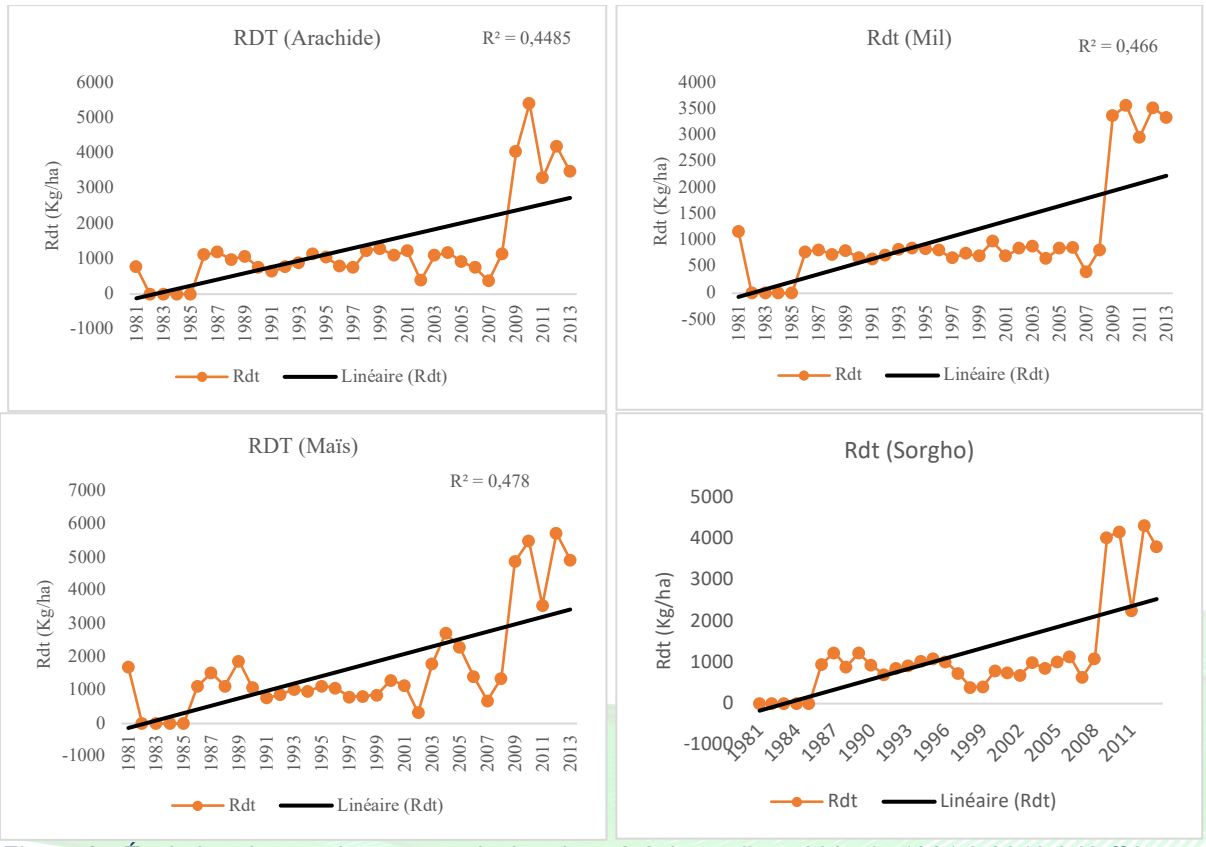


Figure 3 : Évolution des rendements agricoles des céréales et l'arachide de 1981 à 2013 à Kaffrine

Le rendements des cultures est dans certaines cas étroitement lié à la pluviométrie, sa durée, sa répartition, sa abondance ou son déficit (Alhassane et al., 2013 ; Dancette, 1980 ; Schilling, 2001). Il est important de noter que la quantité de pluie ne détermine pas à elle seule la production agricole. C'est ce qui explique que durant certaines années la pluviométrie est importante alors que les productions ne le sont pas. 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. En utilisant la moyenne saisonnière des mois de juin-juillet-août-septembre correspondant à la saison pluvieuse, cette variabilité a été réduite pour étudier la relation entre les moyennes saisonnières des pluies et les rendements des cultures dans la zone de Kaffrine (Figure 4). La dispersion moyenne des points autour de la courbe de tendance pour les rendements des céréales et l'arachide et les coefficients de détermination (R2) supérieurs à zéro montrent que les moyennes saisonnières pluviométriques sont impliquées dans la variation des rendements agricoles. Cependant, il n'est pas le seul facteur responsable de l'évolution des rendements.

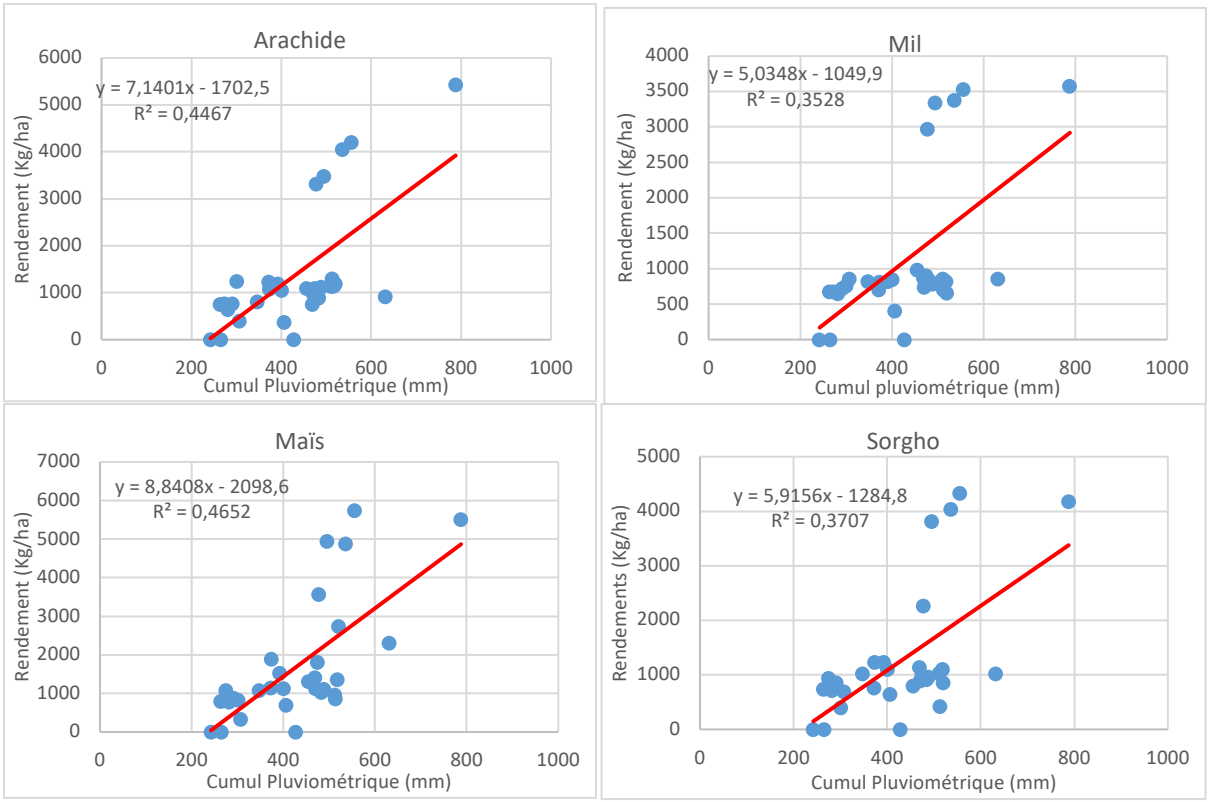


Figure 4 : Corrélation entre le cumul pluviométrique saisonnier JAS et les rendements agricoles par spéculation

En fonction de chaque culture, du type de sol, des sous-secteurs élevage, pêche et foresterie, ces risques ont des impacts différents.

Impacts sur l'arachide : la région de Kaffrine est fortement marquée par le début tardif et les fins précoce des saisons de pluies qui impactent négativement le cycle de développement de l'arachide par un retard de croissance, le remplissage des graines, la prolifération de l'aflatoxine etc. (Tableau 7). Ces impacts sur le cycle ont pour conséquences une baisse des rendements en grains mais également les pertes post récoltes importantes à cause des pluies hors saison.

Tableau 7 : Impacts des risques climatiques identifiés sur l'arachide

Risque climatique	Impacts biophysiques sur le cycle de développement	Impacts socio-économiques
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Faible taux de remplissage des graines	Baisse de revenus ; insécurité alimentaire et exode rural
Séquences sèches longues	Retard sur la croissance Flétrissements des cultures Perte de feuilles	
Vagues de chaleur		
Prolifération des nuisibles	Défoliation sévère	
Pluie hors saison	Prolifération de l'aflatoxine Pourriture et Regermination	

Impacts sur les céréales (mil et maïs) : comme les autres cultures les céréales sont exposées aux effets des risques climatiques et leur fréquence dans la région de Kaffrine est un facteur aggravant. En effet les débuts tardifs et fins précoce des saisons, les séquences sèches longues et la hausse des températures impactent le cycle de croissance du mil même s'il est une culture adaptée au climat sec (

Tableau 8). Ces impacts sont à l'origine d'une baisse du rendement du mil et par conséquent des revenus des ménages (DAPSA, 2021).

Tableau 8 : Impacts des risques climatiques identifiés sur le mil

Risque climatique	Impacts biophysiques sur le cycle de développement	Impacts socio-économiques
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Immaturité des cultures	Baisse de revenus, insécurité alimentaire et exode rurale
Séquences sèches longues	Retard sur la croissance Flétrissement et Re-semis	
Vagues de chaleur		
Prolifération des nuisibles	Défoliation sévère, Avortement de la formation des grains	
Pluie hors saison		

Impacts sur les sols comme les différentes cultures considérées ici comme des unités d'exposition, les sols sont aussi exposés aux différentes manifestations climatiques et non climatiques. Les pratiques culturales inadaptées notamment durant les périodes sèches réduisent considérablement l'activité des microorganismes. La région de Kaffrine est également fortement exposée à l'érosion hydrique qui cause des ravinements et des pertes de terres arables. La salinisation affecte également les terres de la zone de Kaffrine qui entraine une baisse importante des surfaces cultivables. En sommes ces différentes formes de dégradation des sols sont à l'origine de la réduction des terres arables et la baisse de la fertilité des sols.

Impacts sur la pêche : la zone de Kaffrine est une zone de pêche fortement marquée par les mises à terres de poissons d'eau douce. À cause de l'installation tardive et l'arrêt précoce des pluies les plans d'eau sont secs et entrainent une baisse de la production. Sur les bassins aquacoles, les fortes températures sont à l'origine d'une évaporation importante et la perte des semences. Cependant les pluies hors saison ont souvent un impact positif sur l'activité de pêche el allongeant la durée des plans d'eau et par conséquent augmenter la production. Ces impacts sont à l'origine d'une baisse des revenus des pécheurs et par conséquent une insécurité alimentaire et nutritionnelle important dans la zone (Tableau 9).

Tableau 9 : Impacts des risques climatiques identifiés sur la pêche

Risque climatique	Impacts biophysiques sur la pêche	Impacts socio-économiques
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Retard sur le remplissage des plans d'eau, assèchement précoce des plans d'eau	Baisse de la production
Séquences sèches longues		
Vagues de chaleur	Perte de semences, forte évaporation	Baisse des revenus, abandon de l'activité
Prolifération des nuisibles	Mort des alvins	Perte de revenus
Pluie hors saison	Allongement de la durée des plans d'eau	Accroissement de la production
Salinité des plans d'eau	Retard de croissance des alvins	Baisse de revenus

Les impacts sur l'Élevage : Le sous-secteur de l'élevage est fortement impacté par les risques climatiques qui sont à l'origine d'un retard de régénération du tapis herbacé ; diminution de la biomasse, mortalité du cheptel et retard de croissance, retard de remplissage des mares, apparition de maladies (zoonose), perte de productivité etc. Ces différents impacts sont à l'origine d'un allongement de la transhumance, insécurité alimentaire, conflits sociaux, perte des moyens de subsistance, le manque de protéines animales pour les populations, la mauvaise qualité et la cherté de la ressource etc. (Tableau 10).

Tableau 10 : Impacts des risques climatiques identifiés sur l'élevage

Risque climatique	Impacts biophysiques sur l'élevage	Impacts socio-économiques
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Retard de régénération du tapis herbacé ; diminution de la biomasse, mortalité du cheptel et retard de croissance, retard de remplissage des mares	Allongement de la transhumance, insécurité alimentaire, conflits sociaux, perte des moyens de subsistance.
Séquences sèches longues	Prolifération des maladies ; baisse de productivité, assèchement des mares	Conflits agriculteur -éleveur, baisse de revenus ; transhumance
Vagues de chaleur	Perte de sujets	Baisse de revenus, insécurité alimentaire
Prolifération des nuisibles	Apparition de maladies (zoonose) Perte de productivité	Baisse de revenus, perte de moyens de subsistance ; exode rurale
Pluie hors saison	Perte de sujets ; perte de la qualité de fourrage, apparition de maladies.	Baisse de revenus, perte de moyens de subsistance ; insécurité alimentaire

Impacts sur la foresterie : 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 Kaffrine. Ainsi les débuts tardifs et fins précoces sont à l'origine de la réduction et la disparition de certaines espèces forestières et le retard de la régénération qui entraine une diminution de la quantité des produits forestiers non ligneux (Tableau 11).

Tableau 11 : Impacts des risques climatiques identifiés sur la foresterie

Risque climatique	Impacts biophysiques sur la forêt	Impacts socio-économiques
Installation tardive et arrêt précoce des pluies	Retard sur la régénération	Baisse de revenus et insécurité alimentaire Baisse de production des PFNL
Séquences sèches longues	Flétrissement de petits plans, chute des feuilles et fleurs	Baisse de revenus et insécurité alimentaire, Baisse de production des PFNL
Vagues de chaleur		
Prolifération des nuisibles	Défoliation sévère Mortalité	Baisse de revenus et insécurité alimentaire, Baisse de production des PFNL
Pluie hors saison		

4.4.1.3. 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 Kaffrine a montré que les débuts tardifs et fins précoces sont les facteurs climatiques qui impactent le plus le secteur agricole avec un indice d'impact de 34 (Tableau 12). Les impacts sur les cultures sont nombreux en particulier sur le développement végétatif des cultures comme l'arachide par un retard de croissance, le remplissage des graines, la prolifération de l'aflatoxine etc. Les vagues de chaleur et la prolifération des nuisibles sont aussi des facteurs de vulnérabilité importants (avec respectivement 27 et 26 comme indice d'impact) entrainant entre autres Retard sur la croissance le flétrissement et les pertes de semences et une baisse des rendements. Les pauses sèches sont aussi non négligeables dans la zone (indice d'impact 24) impactant négativement le cycle de croissance des céréales et de l'arachide.

Parmi les différentes unités d'exposition agricoles, l'élevage est plus exposé aux risques climatiques identifiés. En effet certains risques comme les débuts tardifs et fins précoce ainsi que les périodes sèches sont à l'origine de beaucoup de conséquences sur le cheptel d'un retard de régénération du tapis herbacé ; diminution de la biomasse, mortalité du cheptel et retard de croissance, retard de remplissage des mares, Apparition de maladies (zoonose). Parmi les cultures ciblées dans cette étude l'arachide est plus exposée aux risques climatiques qui beaucoup d'effets notamment sur le remplissage des grains, mais également les pertes post récolte du aux pluies hors saison. Le maïs est également fortement exposé aux risques identifiés qui impact beaucoup son cycle de développement. Parmi les groupes d'acteurs les agriculteurs sont les plus exposés aux risques climatiques. Ceci à cause des différents impacts socio-économiques des risques climatiques notamment les impacts liés aux moyens de subsistances des ménages agricoles.

Tableau 12 : Matrice de sensibilité aux changements climatiques de la région de Kaffrine

Unités d'exposition	**Risque climatique**					**Indice d'exposition**	**Rang**
	Début tardif et fin précoce	Séquences sèches longues	Vagues de chaleur	Prolifération des nuisibles	Pluie hors saison		
Arachide	5	4	1	3	4	17	2
Mil	3	2	1	4	1	11	4
Maïs	5	3	1	4	1	14	3
Terres cultivables	1	1	1	1	1	5	7
Fertilité des sols	1	1	1	1	2	6	
L'élevage	5	3	2	3	5	18	1
La pêche	3	2	2	1	1	9	5
Foresterie	3	1	2	1	1	8	6
Groupe d'acteurs							
Agriculteur	4	4	3	5	3	19	1
Éleveur	4	3	3	3	4	17	2
Indice d'impact	34	24	27	26	23		
Rang	1	4	2	3	5		

4.1.2. Vulnérabilité future

4.1.2.1. Projection climatique sur la pluviométrie et la température

Horizon 2035 : l'analyse des projections de la pluviométrie au niveau des régions de Kaffrine montre que quel que soit l'horizon et le scénario, le cumul pluviométrique pourrait diminuer (Tableau 13). 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 -34,5 ± 45,1 mm est noté à l'horizon 2035 à Kaffrine selon le scenario RCP4.5, alors que le scénario RCP 8.5 prédit un écart jusqu'à -55,4 ± 75,7 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 ± 0,1 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 ± 0,1.

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 -38,4 ± 82,4 est notée, cet écart est plus important avec le scenario RCP8.5 avec -72,4 ± 131,8. 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 13 : Projection température et précipitation aux horizons 2035 (2020-2050) / 2050 (2035-2065)

Localité	**Kaffrine**			
Scenario	rcp45	rcp85	rcp45	rcp85
Moyenne historique	624.3 ± 148.9	626.4 ± 149.6		
Écart Pluviométrie Horizon 2035 (mm)	589.9 ± 194	571.08 ± 225	-34.5 ± 45,1	-55.4 ± 75,7
Écart Pluviométrie Horizon 2050 (mm)	585.9 ± 231	554.02 ± 281	-38.4 ± 82,4	-72.4 ± 131,8
Moyenne historique	28.5	28.5		
Écart Température Horizon 2035 (°C)	29.6	29.8	1.1	1.4
Écart Température Horizon 2050 (°C)	29.9	30.6	1.5	2.1

L'évolution de l'indice de pluie standardisé (IPS) (Figure 5), 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.

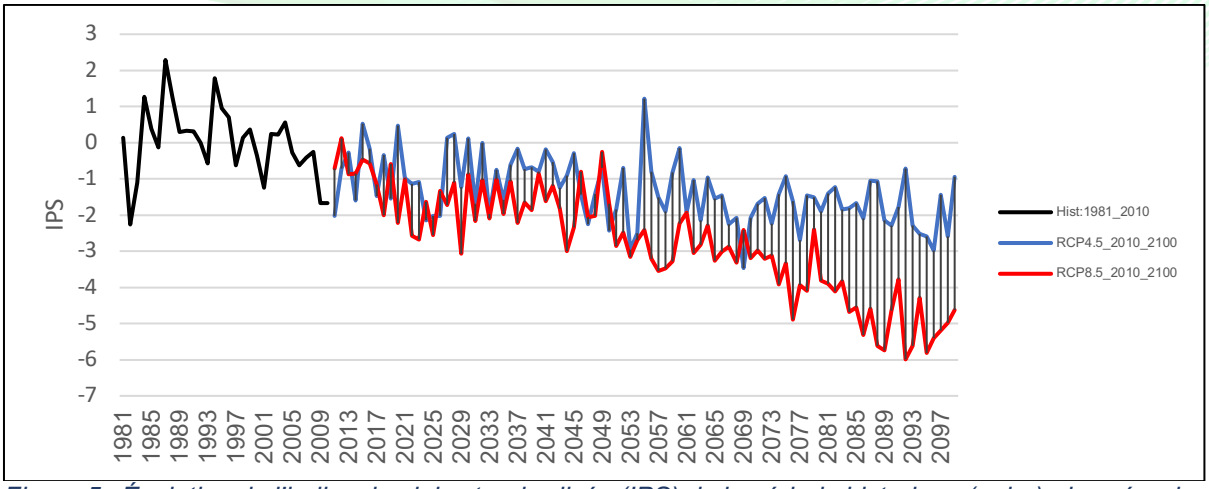


Figure 5 : Évolution de l'indice de pluie standardisée (IPS) de la période historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge).

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 RCP 8.5 (Figure 6). Pour la période de référence, les rendements du maïs tournent autour de 2457 kg/ha, alors la projection avec RCP4.5 est de 1860 Kg/ha en moyenne contre 1600 kg/ha pour RCP8.5. Cette même tendance est notée avec les autres céréales comme le mil (référence : 1365 kg/ha, RCP4.5 : 1020 kg/ha, RCP8.5 :872 kg/ha) et le sorgho (référence : 1509 kg/ha, RCP4.5 : 1062 kg/ha, RCP8.5 :905 kg/ha) qui présentent aussi une baisse. Pour l'arachide, les rendements de référence tournent autour de 989 kg/ha, alors que selon le scenario RCP4.5 le rendement est de 1079 kg/ha, et de 867 kg/ha suivant le scenario RCP8.5 (Figure 6).

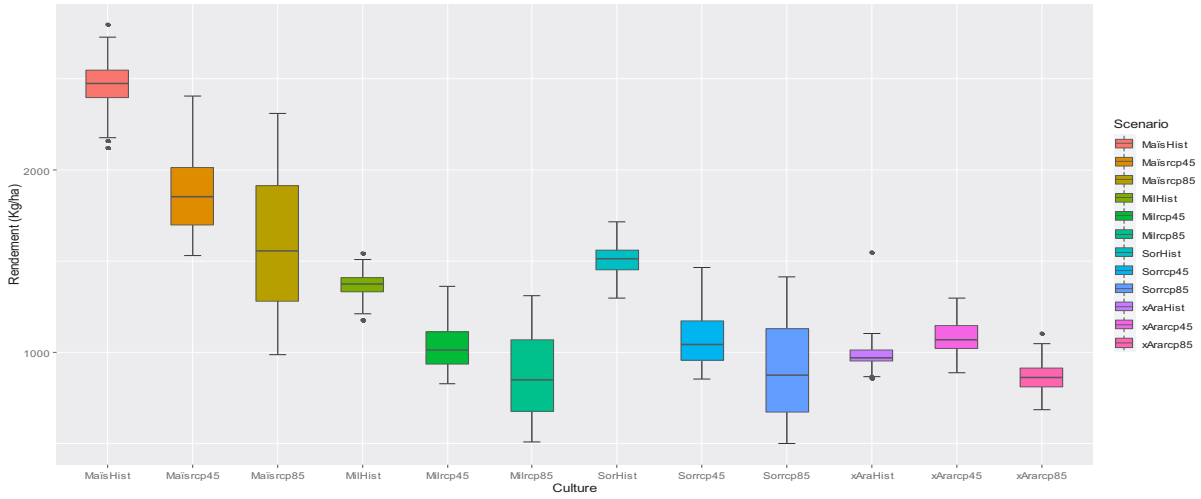


Figure 6 : Évolution des rendements simulés de la période de référence (1981-2010) et projetés suivant les scenarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2050

Horizon 2035 : au niveau variétale les résultats des simulations révèlent qu'à l'horizon 2035, le mil a cycle court sera impacté pouvant entrainer un écart de rendement de 25,7% par rapport à la référence, selon le scénario RCP4.5 et 28% selon RCP8.5. Le mil à cycle long connaitra une réduction de 14,3% selon RCP4.5 et 19% selon RCP8.5. Le maïs sera aussi impacté avec 21,2% de réduction selon le RCP4.5 et 23% suivant RCP8.5 pour la variété de cycle court. La variété de cycle long sera moins affectée avec 18,4% de réduction selon le scenario RCP4.5 et 23,2% suivant le scenario RCP8.5. Des trois spéculations de céréales le sorgho est la plus impacté, notamment la variété à cycle court qui enregistre une réduction de 30,4% suivant RCP4.5 et 31% suivant RCP8.5. La variété à cycle long connait une réduction de 19,3% selon le RCP4.5 et de 24% suivant le scenario RCP8.5. Pour l'arachide la variété à cycle court Fleur 11 n'est pratiquement pas impactée selon le scenario RCP4.5 avec +3%, cependant avec le scenario RCP8.5 une réduction de 23% est enregistrée. La variété à cycle long 73-33 est faiblement impacté avec une réduction de 2% suivant le scenario RCP4.5 alors que pour le scenario RCP8.5 cette baisse va jusqu'à 14% par rapport à la période de référence (Figure 7).

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 31,3% pour les variétés à cycle court selon le scénario RCP45, et 38,3% selon le scenario RCP8.5 (Figure 7). Cette baisse sera aussi notée avec le maïs à cycle court qui peut enregistrer jusqu'à 26% de réduction selon le scenario RCP4.5 et 32% selon le scenario RCP8.5. Le maïs à cycle long sera légèrement moins impacté avec 24% de réduction

suivant RCP4.5 et 33% suivant le RCP8.5. La variété à cycle court du sorgho est fortement impactée suivant le scenario RCP 4.5 avec 36,5% et 42% suivant RCP8.5. La même tendance est notée sur la variété à cycle long avec 26% de réduction suivant RCP4.5 et 35% suivant le RCP8.5. Pour l'arachide des tendances légèrement différentes sont observées (Figure 7).

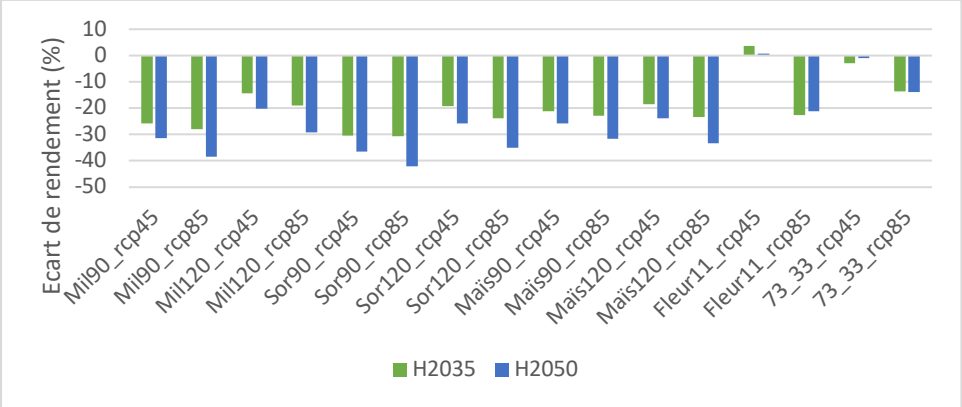


Figure 7 : Écarts de rendements du mil, maïs et du sorgho aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1981-2010.

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. Sur les céréales à Kaffrine, l'augmentation de la température et la baisse de la pluviométrie ont un impact fort sur le rendement. Pour le mil cette relation avec les facteurs climatiques existe et est expliquée par un coefficient de corrélation de R=0,84 par la pluviométrie pour le mil à cycle court et R=0,88 pour le mil à cycle court. La même tendance est notée pour le maïs et le sorgho par contre pour l'arachide la corrélation est faible (R=0,61 cycle court et R=0,58 cycle long) montrant un lien indirect entre le rendement et les facteurs climatiques (Figure 8). 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.

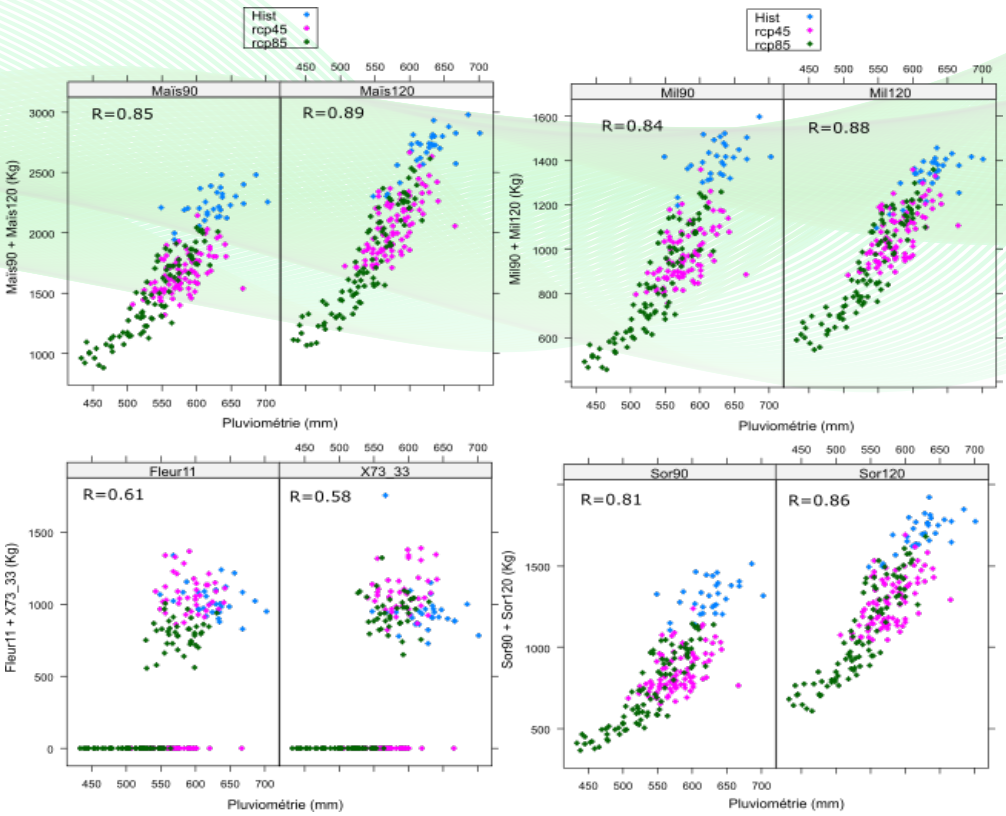


Figure 8 : Corrélation entre le rendement des cultures avec la précipitation annuelle

Pour la température la relation entre rendement et hausse de la température est plus marquée montrant un impact plus important notamment sur les céréales (Figure 9). Pour les trois céréales, le coefficient de corrélation est supérieur à 0,9 montrant l'effet direct de la température sur les rendements dans le futur. Pour l'arachide cet effet est moins marqué même si elle existe surtout pour la variété Fleur 11.

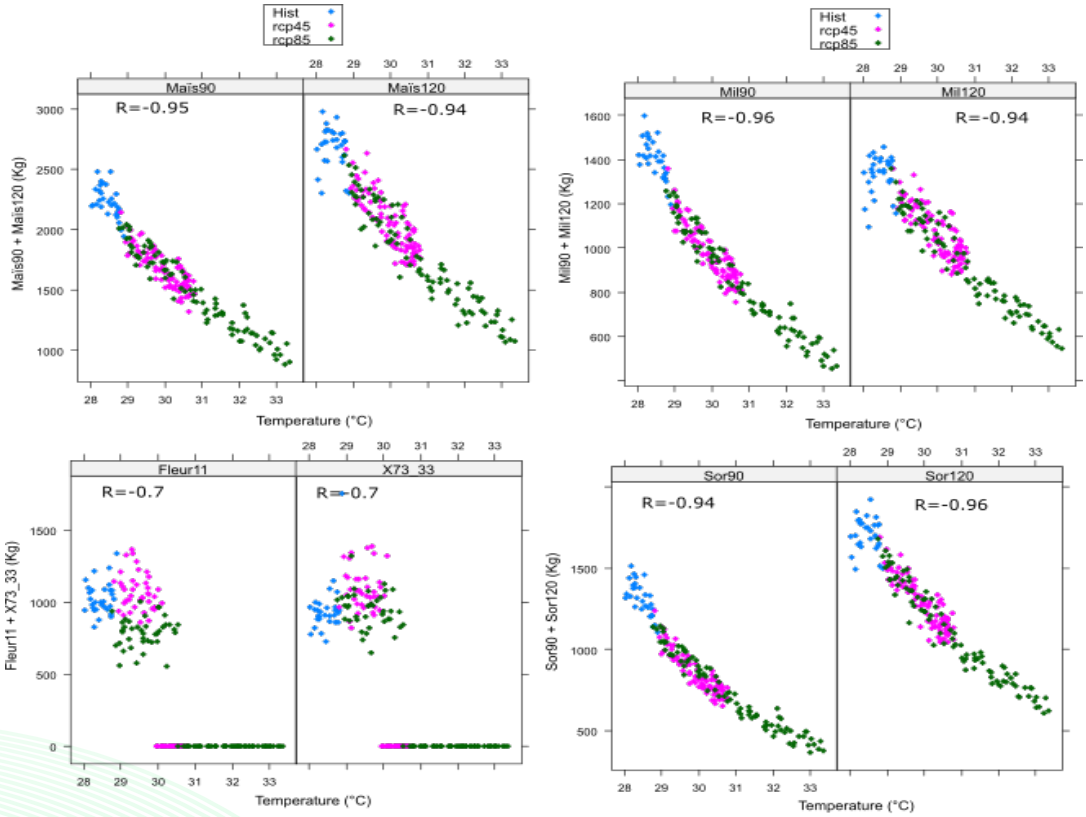


Figure 9 : Corrélation entre le rendement des cultures et la température

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 14).

Tableau 14 : Risques climatiques identifiés et leurs impacts sur la santé

Risque climatique	Fréquence/Durée	Zone d'impact	Conséquences
Risque 1 : Inondations	Fréquent	Kaffrine commune Birkelane Keur Bouky Koungheul Missirah Wadène Poste de santé de Diamaguène	Paludisme Maladies de peau Maladies diarrhéiques Bilharzioses Dingue
Risque 2 : Vagues de chaleur	Très fréquent	Tous les départements de la région	Insolation Déshydratations

Risque climatique	Fréquence/Durée	Zone d'impact	Conséquences
			Tendances aux hémorragies (épistaxis, avortements, AVC)
Risque 3 : Tempête de poussière (Altération de la qualité de l'air)	Fréquent	Tous les départements de la région	Pneumonies, IRA ; Asthme
Risque 4 : Sècheresse	Peu fréquent	Malem Hodar, Koungheul, Kaffrine	Malnutritions (Marasmes, Avitaminoses)
Risque 5 : Irrégularité des pluies	Fréquent	Tous les départements de la région	Malnutritions

L'analyse des risques climatiques de la région de Kaffrine a montré que les tempêtes de poussière et les vagues de chaleur sont les évènements climatiques qui affectent le plus le secteur de la santé avec des indices d'impact de 18 et respectivement (Tableau 15). Les impacts sur les maladies sont nombreux en particulier sur l'aggravation de certaines maladies, l'apparition de maladies émergentes et ré-émergentes. Kaffrine est une région avec un climat tropical 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 de la peau. Des inondations emportant des cultures sont aussi des facteurs de vulnérabilité importants pouvant entrainer une baisse des récoltes et de la malnutrition. Les changements climatiques peuvent influencer les régimes alimentaires et la nutrition par diverses voies. L'augmentation 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, 2014].

Parmi les différents motifs de consultation, les hypertension artérielle (HTA) et les maladies diarrhéiques 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 15 : Matrice de sensibilité de la région de Kaffrine

	Risque climatique				**Indice d'exposition**
	Risque 1 : Tempêtes de poussière	Risque 2 : Vagues de chaleur	Risque 3 : Inondations	Risque 4 : Baisse de la pluviométrie	
Services rendus par la santé					
Mc1/m : HTA	1	5	4	2	12
Mc2/m : Diarrhée	2	2	5	1	10
Mc3/m : Pneumonie	5	4	2	1	12
Mc4/m : Affections cutanées	5	3	4	1	13
Mc5/m : Paludisme	1	3	5	1	10
Populations vulnérables					
Enfants	5	4	5	5	19
Femmes	3	3	3	2	11
Femmes enceintes	4	4	4	5	17

	Risque climatique				Indice d'exposition
	Risque 1 : Tempêtes de poussière	Risque 2 : Vagues de chaleur	Risque 3 : Inondations	Risque 4 : Baisse de la pluviométrie	
Personnes handicapées	4	2	5	2	13
Personnes âgées	4	5	4	2	15
Tranche d'âge					
0 - 5 ans	5	3	4	4	16
5 – 14 ans	5	2	3	3	13
15 – 45 ans	2	2	2	2	8
45 – 65 ans	2	4	2	2	10
65 et plus ans	4	5	4	3	16
Indice d'impact	18	16	15	14	

Les personnes âgées sont plus susceptibles d'être particulièrement vulnérables aux facteurs de stress associés aux changements climatiques. Bien qu'il y ait de plus en plus de données probantes sur les effets néfastes de la chaleur sur la santé des personnes âgées, il subsiste des lacunes en matière de recherche portant sur d'autres risques liés au climat. Des recherches supplémentaires seraient nécessaires pour étudier la vulnérabilité des personnes âgées à Kaffrine et l'interaction entre la vulnérabilité, la résilience et les réponses adaptatives aux facteurs de stress climatique.

Les personnes âgées sont particulièrement vulnérables aux facteurs de stress associés aux changements climatiques. Cette vulnérabilité est associée à un certain nombre de facteurs physiologiques, psychologiques et socioéconomiques, notamment la prévalence plus élevée de certaines maladies et déficiences fonctionnelles chez les personnes âgées, leur plus grande sensibilité aux températures extrêmes, leur isolement social accru et leur situation financière unique.

Le facteur démographique influence la vulnérabilité des personnes âgées ; les facteurs physiologiques influencent la sensibilité des personnes âgées aux facteurs de stress climatiques ; les facteurs de stress climatiques affectent de manière disproportionnée les personnes âgées ; les facteurs déterminant l'exposition aux facteurs de stress climatiques ; les déterminants de la capacité d'adaptation des personnes âgées ; et réduire la vulnérabilité grâce à une adaptation efficace.

Sous le thème des facteurs démographiques qui influencent la vulnérabilité des personnes âgées, on constate que certains endroits où habitent des populations âgées sont plus susceptibles d'être affectés par des facteurs de stress climatique tels que les tempêtes de sable, les inondations, les sécheresses, la hausse des températures et les maladies infectieuses.

Les facteurs physiologiques qui influencent la sensibilité des personnes âgées aux facteurs de stress climatiques sont dus en grande partie au processus de vieillissement naturel, qui prédispose les personnes âgées à un risque accru de certaines maladies et troubles, ainsi qu'à des changements de facteurs sociaux tels qu'une isolation sociale accrue et la perte de revenus. En raison de l'augmentation des concentrations atmosphériques de particules fines comme la poussière et le pollen allergène associées aux changements climatiques, les personnes souffrant de troubles respiratoires peuvent être plus à risque dans les zones sujettes à la sécheresse. Les maladies cardiaques peuvent également rendre les personnes âgées plus sensibles aux complications de santé dues aux étés plus chauds, aux vagues de chaleur et à la pollution de l'air.

Les facteurs de stress climatique dont l'impact sur les personnes âgées est disproportionné comprennent la chaleur extrême, la pollution de l'air, les exacerbations de maladies infectieuses, les ouragans, les inondations, les sécheresses et d'autres événements météorologiques extrêmes.

Plusieurs facteurs peuvent influer sur la mesure dans laquelle les personnes âgées seront exposées aux facteurs de stress climatiques. Il s'agit notamment des caractéristiques socio-

économiques, des caractéristiques de leur logement, de l'adéquation des infrastructures du quartier et de la disponibilité des services sociaux.

Les principaux déterminants de la capacité d'adaptation des personnes âgées comprenaient les limitations fonctionnelles et les handicaps affectant leur mobilité, le statut économique, la situation de vie, le savoir-faire technologique et la disponibilité de soutiens sociaux.

Afin de réduire la vulnérabilité des personnes âgées aux changements climatiques, trois stratégies peuvent être particulièrement révélées utiles : 1) l'information et l'éducation des personnes âgées ; 2) le renforcement des infrastructures et des capacités communautaires ; et 2) la création d'outils et de mesures préventives pour améliorer leur capacité d'adaptation et réduire la vulnérabilité.

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 16. 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 16 : 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	2.81º × 2.81º
CanESM5	Canadian Earth System Model, Canada	2.81º × 2.81º
CESM2	National Center for Atmospheric Research, Climate and Global Dynamics Laboratory, USA	1.25º × 0.94º
CESM2-WACCM	National Center for Atmospheric Research	1.25º × 0.94º
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, Allemangne	0.9° x 0.9°
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Low Resolution, Allemangne	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°

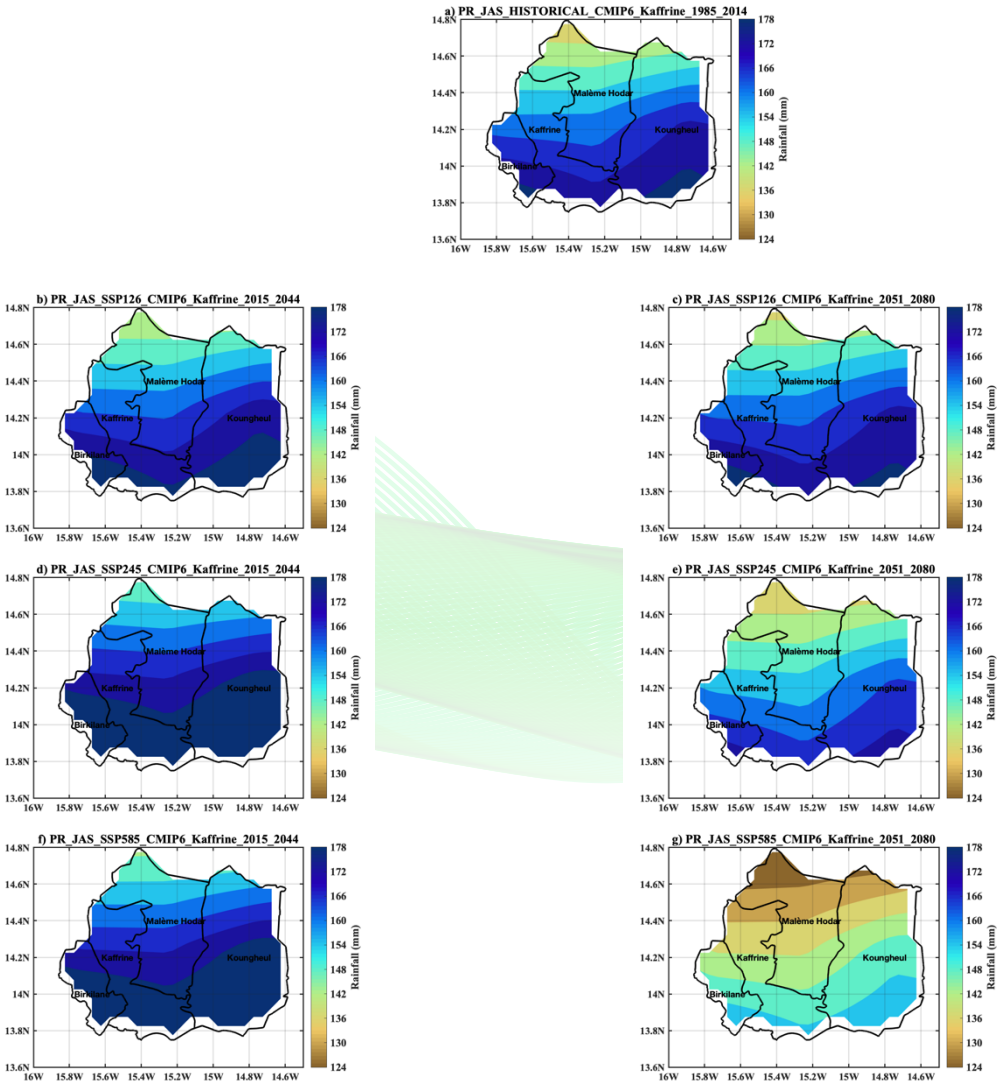
Pour étudier d'éventuels impacts futurs, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) dans son 6e rapport [Zhongming et al., 2021] s'appuie sur cinq scénarios (Tableau 16) appelés Shared Socio-economic Pathways (SSP), ou trajectoires économiques »). Nous utilisons notamment 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 5e 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 [WGIIIAR6, 2022] 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 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) [Füssel and Klein, 2006] contient 31 groupes de modélisation.

4.2.2.2. Projections climatiques sur la pluviométrie et la température

En effet, située entre 14°07 de latitude nord et 15°32 de longitude ouest, la région de Kaffrine présente des hauteurs annuelles de pluies situées entre 400 et 860 mm dans les stations de Kaffrine et de Koungheul [Fann, 2016].

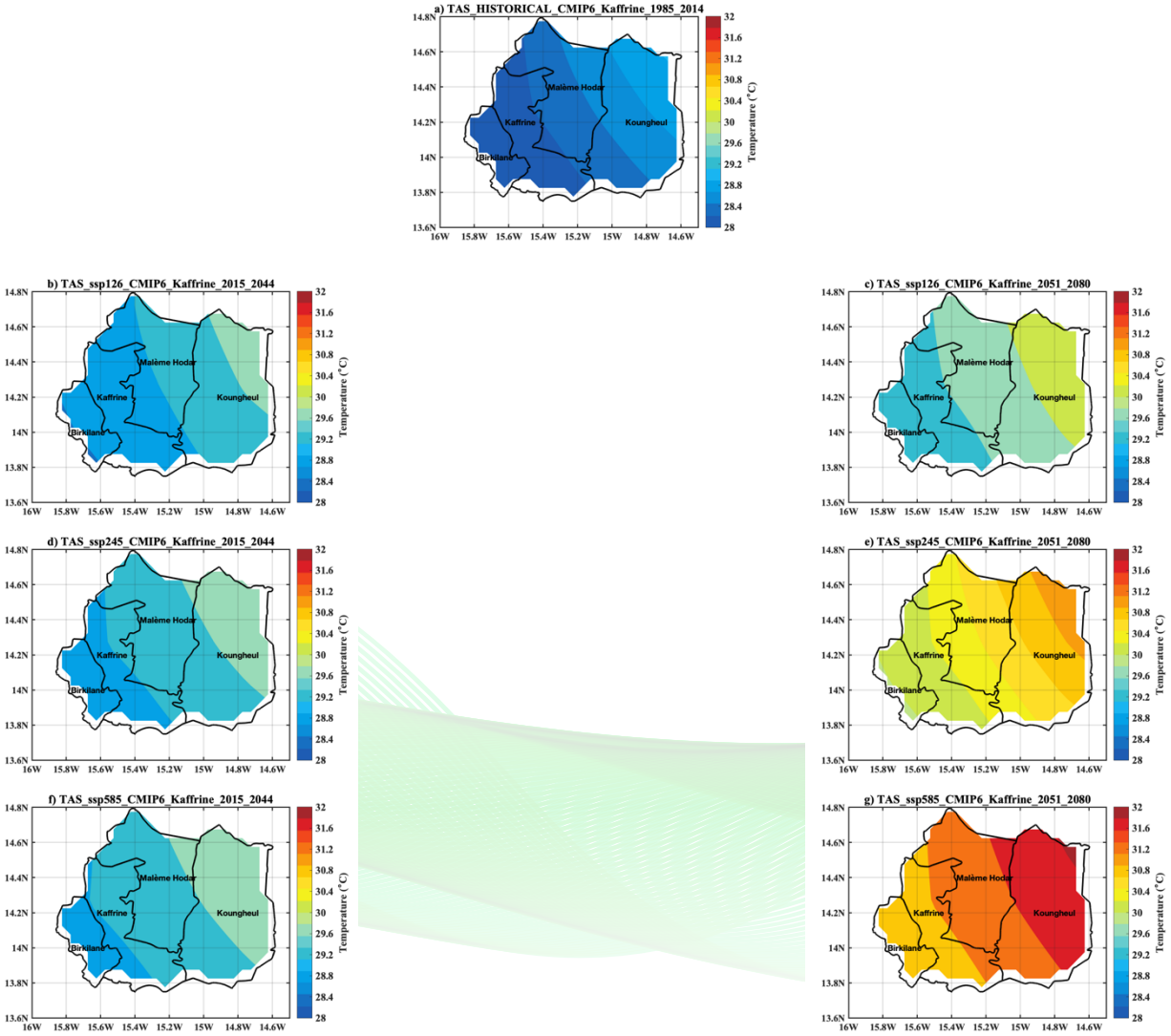
Quant à l'humidité, les minimas oscillent entre 14% en avril et 68% en septembre. Alors que les maximas sont compris entre 50% en février et 98% en septembre. Les mois les plus humides apparaissent comme étant juillet à octobre. À l'opposé, les mois les moins humides sont janvier à avril [Fann, 2016].

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, à la Carte 2, la distribution spatiale des 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. Ces résultats montrent une diminution des précipitations dans le futur lointain (2051-2080) par rapport au futur proche (2015-2044), notamment pour le scenario SSP585 où une baisse drastique des isohyètes seraient observée (carte 2g).



Carte 2 : Distribution spatiale des précipitations à Kaffrine 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 qui sévissent dans la région, elles sont généralement élevées avec des variations parfois importantes au cours de la journée. Elles oscillent entre 26°C et 42°C avec une moyenne de 30°C et une durée d'ensoleillement moyenne de 11 heures [ANSD, 2022]. Nous pouvons retenir avec la carte 3a à 3g 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 Koungheul. Une augmentation des températures est observée tant pour le futur proche que pour le plus loin. Les départements de Birkelane et Kaffrine affichent 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 dépasser 30 ºC dans les départements de Koungheul pour le scenario SSP585 et pour la période de projection 2051-2080 (Carte 3g).



Carte 3 : Distribution spatiale des températures à Kaffrine 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 changements climatiques sont une partie d'un tout composé de multiples changements environnementaux et socio-économiques. De même, 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 affectées 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 10 présente les éléments de la biologie du vecteur qui peuvent être impactés par des variables climatiques et donc par les changements climatiques.

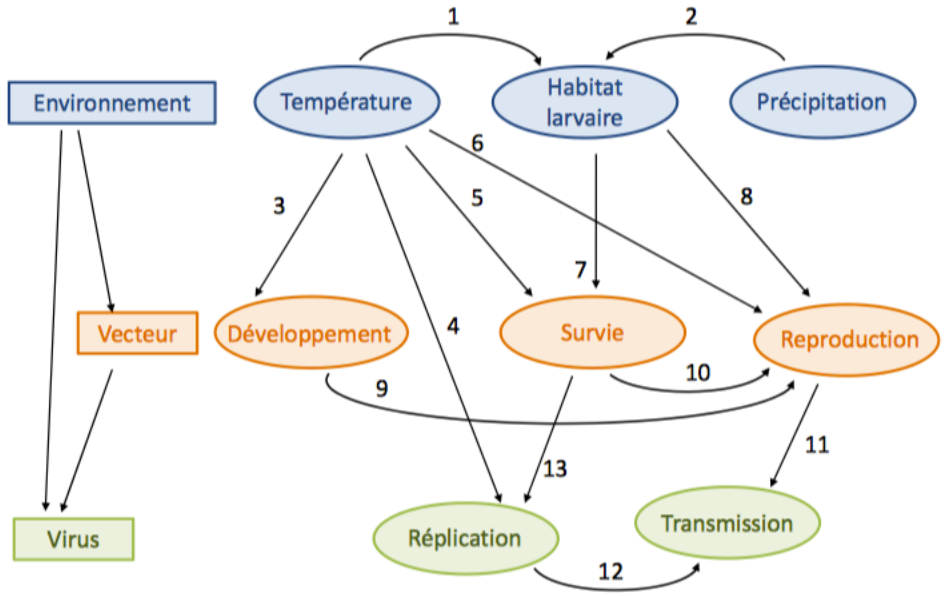


Figure 10 : Éléments de la biologie du vecteur pouvant être impactés par des variables climatiques

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 :

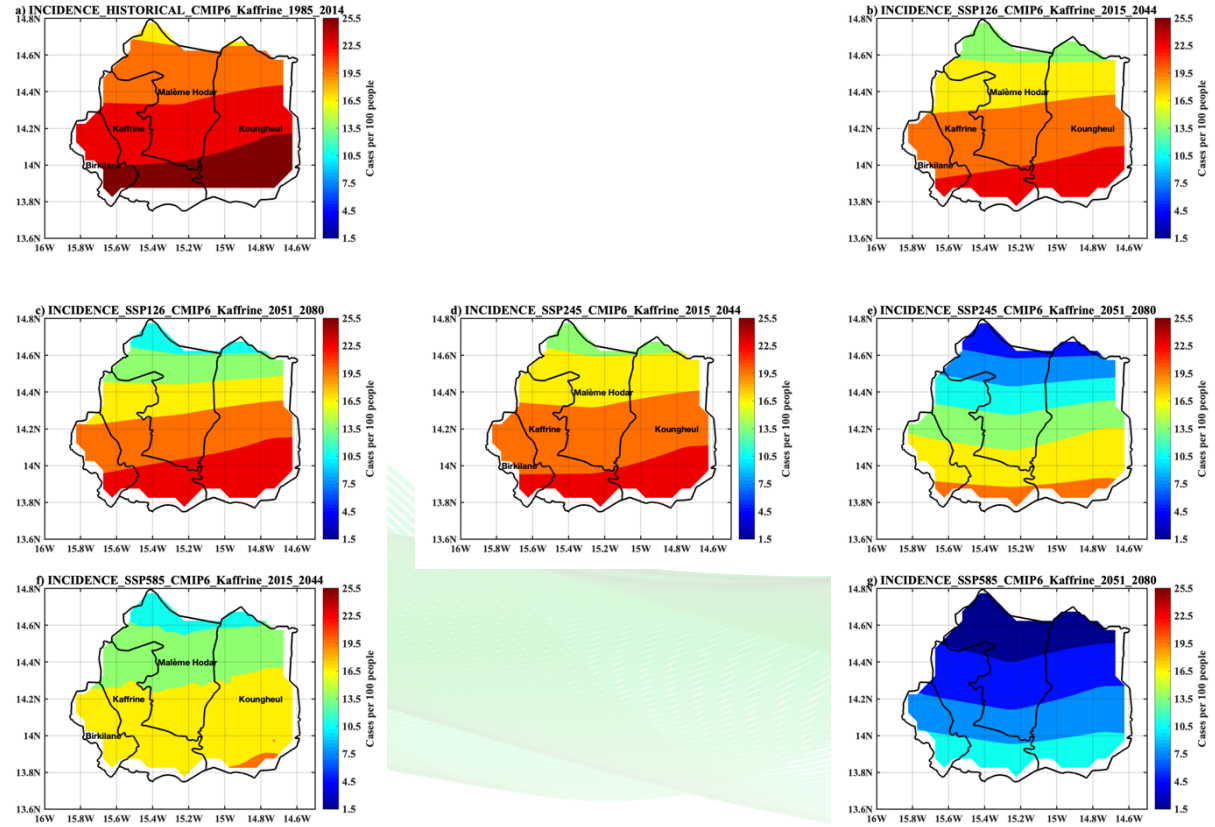
- Distribution est l'abondance des anophèles vecteurs ;
- Possibilité du succès du cycle sporogonique ;
- Puis modulation du contact home vecteur.

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.

Kaffrine est une région se trouvant au centre du Sénégal. Généralement, elle présente une humidité moyenne et des températures assez modérées. Ces températures moins élevées que celles de l'est du pays et une pluviométrie moins abondante, ne favorisent pas de façon considérable la prolifération des moustiques, vecteurs du parasite. C'est ce qui fait que nous notons une présence relativement faible de la maladie dans cette zone avec une valeur maximale autour de 25%. Ce qui montre ainsi une disparité de l'épidémiologie de la maladie au sein même de la région avec une densité plus remarquable dans le sud des départements de Koungheul et de Malème Hodar. On note que plus on se déplace vers le Sud de la région, plus l'incidence du paludisme est élevée.

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 la région de Kaffrine. Plus la température est élevée dans la région, plus courte sera la durée de la sporogonie. En outre, comme autre raison de la présence du paludisme dans cette zone, il faut noter que la zone du Sine-Saloum abrite pendant l'hivernage des mares temporaires qui constituent à la fois le lieu d'abreuvement

gratuit du bétail, l'aire de vie pour les populations (lessive, baignade etc.), des gîtes larvaires des vecteurs du paludisme et particulièrement une zone de contact par excellence entre hôtes et vecteurs. Voilà une raison qui explique la prévalence du paludisme dans cette région du pays. En plus, la répartition spatiale de la population pourrait expliquer la disparité de l'épidémiologie du paludisme dans cette région. La plus grande partie de la population de Kaffrine vit en milieu rural. 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]. 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. Gething et al. (2010) [Gething et al., 2010] 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.

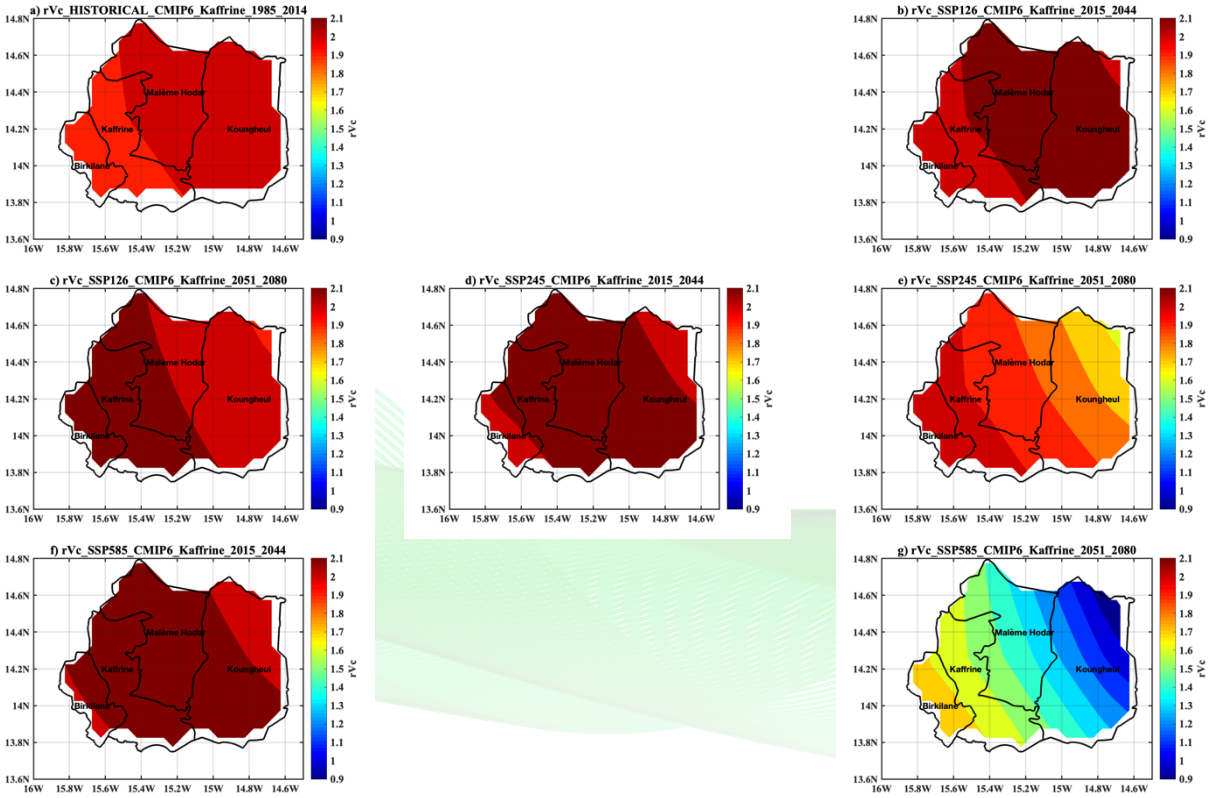


Carte 4 : Distribution spatiale de l'incidence du paludisme à Kaffrine en juin-août-septembre pour a) la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble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

4.2.2.3.2. Modélisation de la capacité vectorielle d'Aedes aegypti : effets de la température sur la dengue à Kaffrine

Dans la région de Kaffrine (Carte 5a), l'indice rVc d'occurrence de la dengue sous l'influence de la température sur le vecteur moustique (*Aedes aegypti*, vecteur principal de la dengue) est beaucoup plus élevé dans partie Est et centre de la région notamment à Koungheul et à Malème Hodar avec une rVc allant jusqu'à 2.08 au moment où on note des valeurs faibles dans les départements de Kaffrine et de Birkelane). Dans le futur proche (2015-2044), on note une forte une augmentation de l'exposition à la dengue par rapport à la période historique (Carte 5a vs 5b, 5d et 5f). 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 cartes 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 Kaffrine. Par exemple, la carte 5g (scénario extrême SSP585) montre une diminution drastique de l'indice simulé (rVc) de la dengue à l'Est des départements de Koungheul et à Malème Hodar où les gammes de températures 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 Kaffrine 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 cartes 5 montrent que la dengue devrait se maintenir dans le département même dans le long terme, en particulier à l'ouest de Kaffrine et de Birkelane (Figure 15g). On note un déplacement du signal fort de l'indice rVc de l'est vers l'ouest dans les projections. Autrement dit, dans les projections, on constate que plus on se déplace vers l'ouest, plus la capacité vectorielle de *aedes aegypti* est élevée. Pour les mêmes raisons évoquées plus haut, les températures notées à l'Est sont plus élevées que celles notées à l'Ouest, ainsi, le vecteur est plus à l'aise dans les zones chaudes mais pas extrêmes à l'ouest.

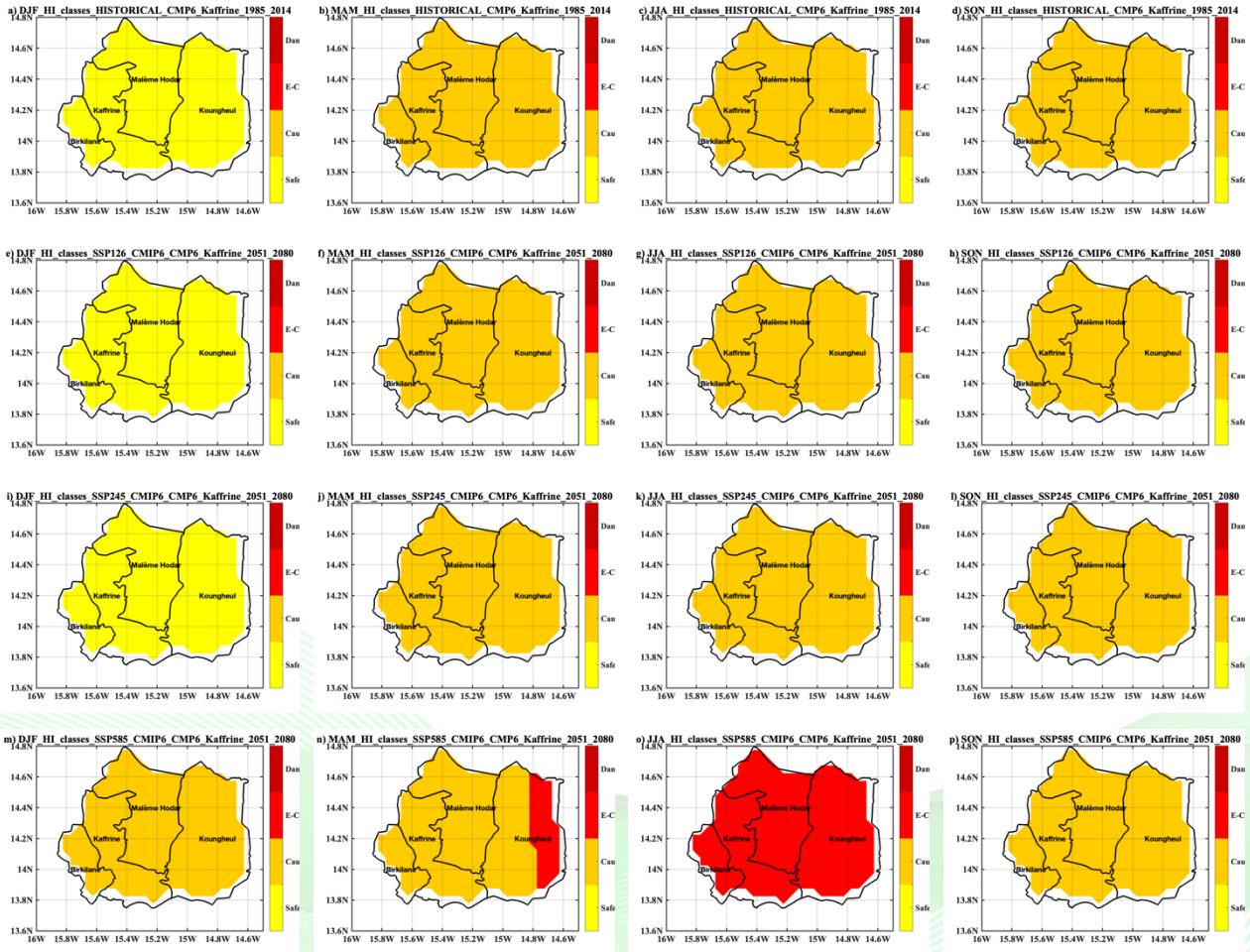


Carte 5 : Distribution spatiale de la rVc (capacité vectorielle relative) à Kaffrine la période historique (1985-2014), et b-g) projections pour le futur proche (2015-2044) et projections pour le futur lointain (2051-2080) pour les scénarios SSP12.6, SSP245, SSP585 des modèles d'ensemble des CMIP6.

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

Sur la Carte 6 des catégories d'indice de confort (CI pour Comfort Index and 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 (Carte 6a, 6e, 6i) correspondante à la saison DJF, on note partout dans la région de Kaffrine, des conditions sans prudence ni danger sauf pour le scénario SSP585 où des conditions d'inconfort avec prudence sont observées sur l'ensemble de la région. Sur la 2ème colonne (MAM), la catégorie d'inconfort avec prudence y prévaut (Carte 6b, 6f, 6j) avec un petit signal d'extrême prudence localisée à l'est de la région de Koungheul (6n). Au cours de la saison JJA (Carte 6c, 6g, 6k), des conditions d'extrême inconfort (prudence) sont observées partout pour la période historique et dans les projections pour les scénarios SSP126 et SSP245. Pour le scénario SSP585, les conditions d'inconfort avec danger s'étendent sur tous les trois départements de la région (carte 6o). Des conditions d'inconfort avec prudence sont observées sur la région pendant la saison SON (Carte 6d, 6h, 6l).



Carte 6 : Distribution spatiale de classes d'indice de confort saisonnier (IC) à Kaffrine 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. Causes des inondations

Les causes sont multiples et sont d'ordres naturel et anthropique. La nature torrentielle des pluies enregistrées ces dernières années, amplifie le phénomène d'inondation dans cette zone. Pour les causes anthropiques, il s'agit essentiellement d'un problème de planification (Figure 11).

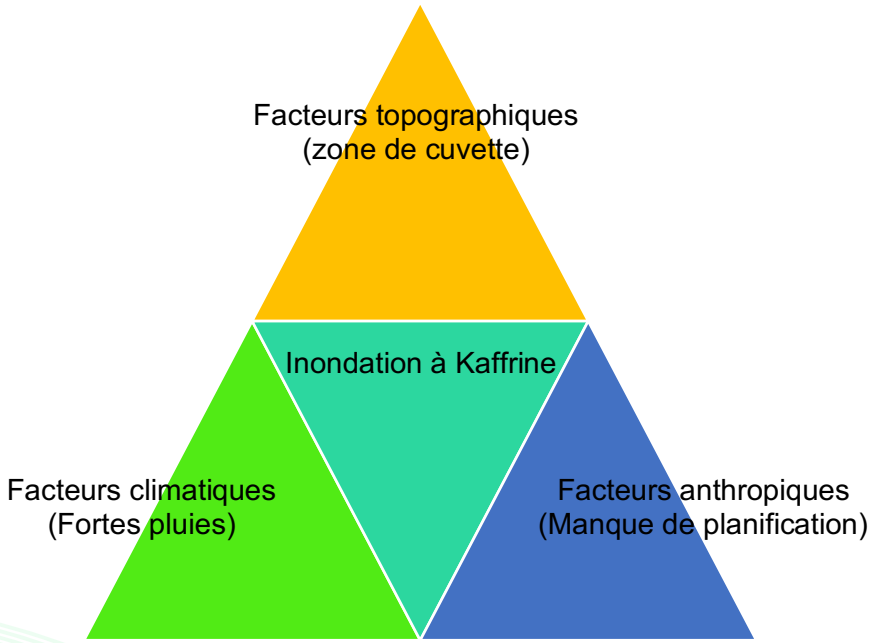


Figure 11 : Diagramme causal des vulnérabilités aux inondations

4.3.1.2. Caractérisation des facteurs géomorphologiques

Ce sont les facteurs qui favorisent les inondations et qui sont directement liés à la géomorphologie du milieu, à l'intensité des pluies, au système des pentes, etc. Dans ce modèle numérique de terrain (Figure 13), les altitudes de la commune varient entre 3m et 32 m. À l'Est se trouve le plateau avec de très fortes pentes. On note à ce niveau-là plus forte altitude comprise entre 25 et 32 m et qui draine les eaux pluviales vers le quartier de Kaffrine II Sud et le quartier Escale. Au sud, se trouve également tout un système de pentes (altitude comprise entre 20 et 25 m) avec des eaux qui ruissellent directement vers Diamaguène Centre. Diamaguène Centre étant déjà une cuvette qui peine à absorber ses eaux, se noie de plus en plus.

Kaffrine II Sud, Diamaguène Centre et Diamaguène Mbodiène sont les quartiers les plus touchés par les inondations. La cause n'est pas directement liée à leur altitude parce que le quartier Mbamba est plus bas avec une altitude allant de 3 à 10 m. Les trois quartiers les plus touchés sont ouverts au plateau de l'est dont toutes les eaux ruissellent vers ces quartiers.

La nature des sols ne facilite pas également une infiltration rapide des eaux. Du fait de leur nature argileuse, les sols, après avoir absorbé une petite quantité d'eau, se dilatent et deviennent imperméables ce qui leur permet de retenir l'eau pendant longtemps. L'intensité des pluies est un paramètre majeur dans l'ampleur des inondations. Mais, le type de sol et sa morphologie fait varier l'ampleur des conséquences des pluies : si les pluies s'étalent sur plusieurs jours consécutifs ou que l'épisode pluvieux est très intense, la capacité d'absorption des sols est saturée (Dasylva, 2009). Moins l'eau s'infiltre et plus vite elle ruisselle, et les matériaux solides transportés ravinent le sol, puis vont stagner et accumuler du sable dans les bas- fonds (LACEEDE, 2010).

Cette nature argileuse des sols combinée à l'intensité des pluies favorisent les inondations. En 2013, dans la nuit du 12 au 13 Août, la ville de Kaffrine a enregistré 166 mm de pluie qui ont plongé les populations dans une désolation totale. À l'amont de la voie ferrée, la cuvette qui retenait les eaux pluviales était pleine et les eaux ont transpercé le socle de la voie ferrée. Avec l'intensité des pluies, le bassin ne pouvait plus contenir l'eau de ruissellement, des brèches se sont ouvertes et le bassin s'est vidé dans le quartier de Kaffrine II Sud qui se trouve en aval et qui a subi les plus lourdes conséquences.

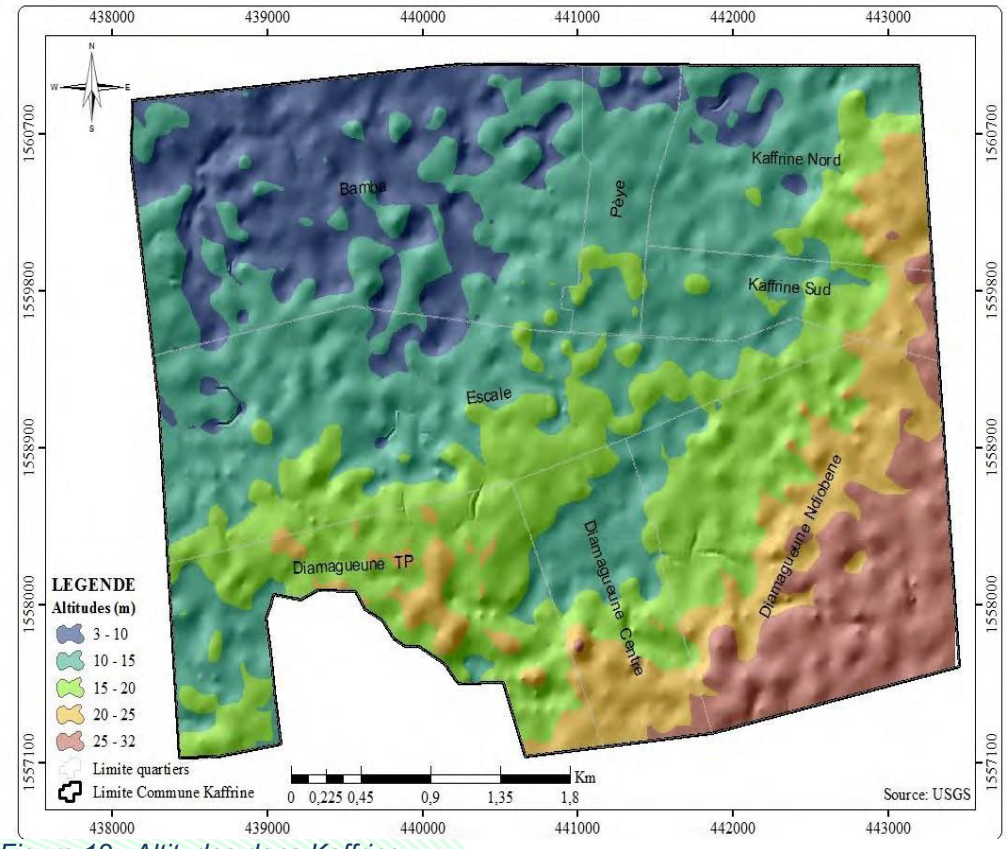


Figure 12 : Altitudes dans Kaffrine

4.3.1.3. Caractérisation des facteurs anthropiques

Les causes anthropiques peuvent être directement ou indirectement observables. L'urbanisation sans cesse croissante est un des facteurs qui accentue l'incidence des inondations. Toute maison ou infrastructure construite élimine une surface d'infiltration importante. Ces eaux vont s'accumuler et ruisseler pour trouver une zone d'infiltration. Parfois ce sont les zones les plus basses qui sont les réceptacles de ces eaux. Diamaguène Centre, Escale et Mbamba en sont les parfaits exemples. Par ailleurs, l'installation des populations dans les zones non aedificandi (Figure 13), est aussi un facteur très déterminant dans la recrudescence des inondations. Beaucoup de quartiers à l'instar de Diamaguène centre devraient constituer une zone de cultures d'irrigation. Cependant, une mauvaise planification a fait de cet espace un quartier populeux dont les habitants se heurtent aux lois de la nature. Les raisons d'une telle erreur de planification peuvent être imputées en partie, à la sécheresse des années 1970 qui a provoqué l'assèchement et l'ensablement des cuvettes.

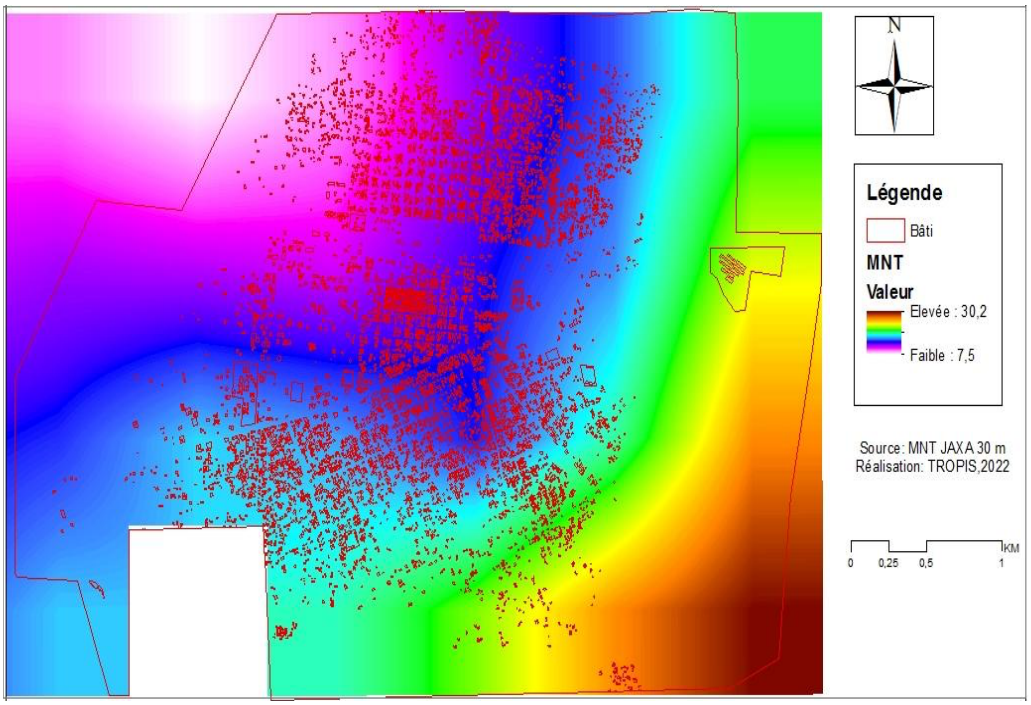


Figure 13 : Carte de superposition du bâti sur le modèle numérique de terrain de la commune de Kaffrine

4.3.2. Vulnérabilité future

Le principal facteur d'ordre climatique des inondations et de l'érosion hydrique dans la région de Kaffrine reste les fortes précipitations. Différents indicateurs permettant d'apprécier la tendance future de la vulnérabilité des établissements humains aux impacts des inondations et de l'érosion hydriques.

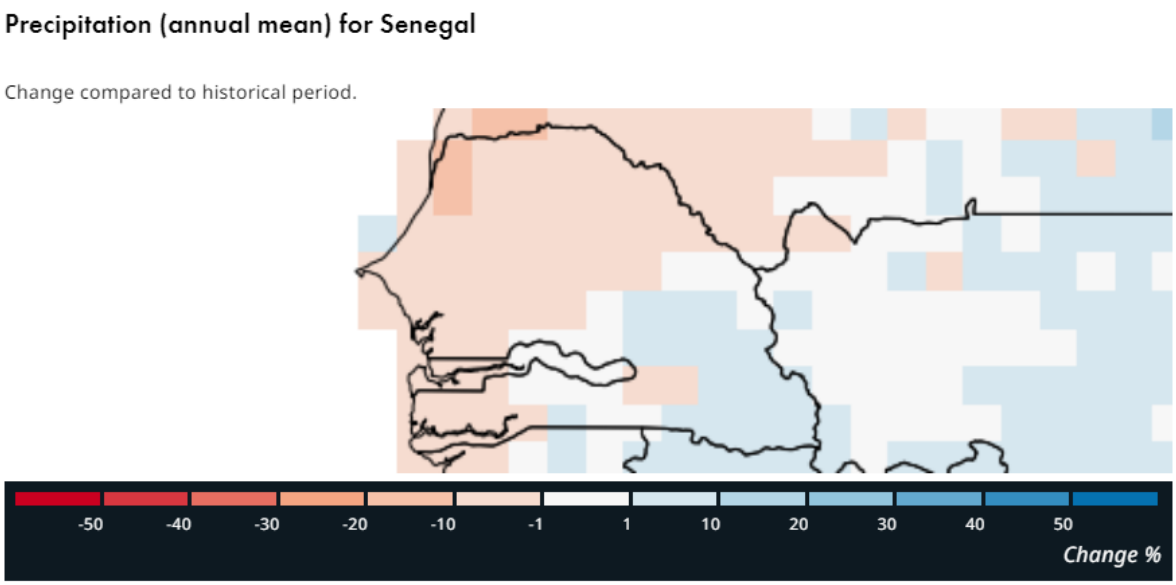
4.3.2.1. Facteurs de la vulnérabilité et projections

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).

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

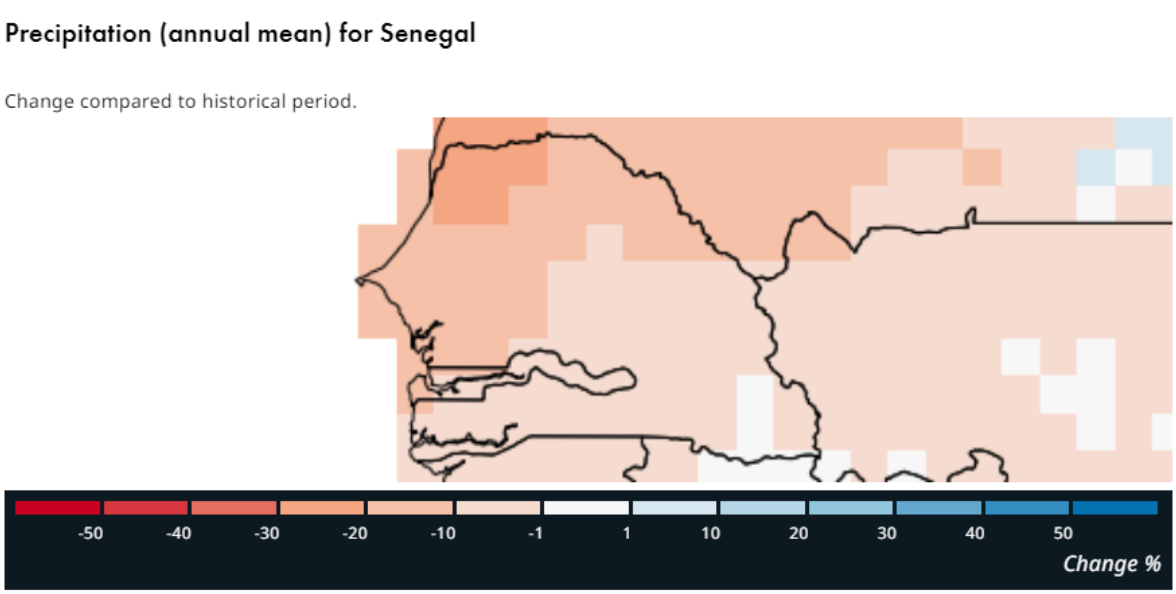
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) la variation médiane est de -2,8% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que la variation se situe entre -9,1% et 7,4%.



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

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

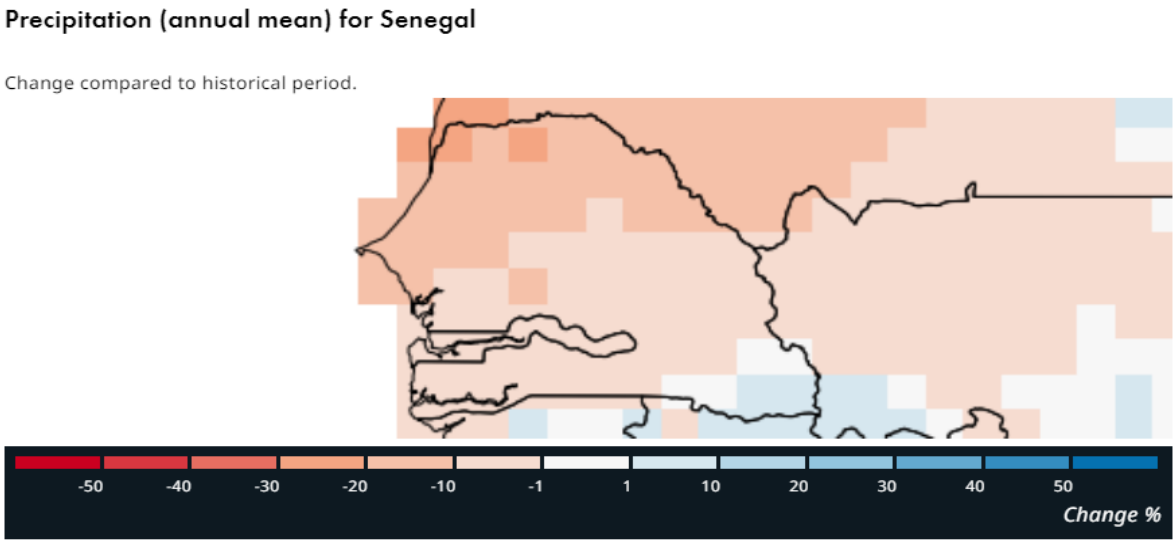
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5). La variation médiane est de -11% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent La variation se situe entre -19% et 0,83%.



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) La variation médiane est de -9,9% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -19% et 3,3%



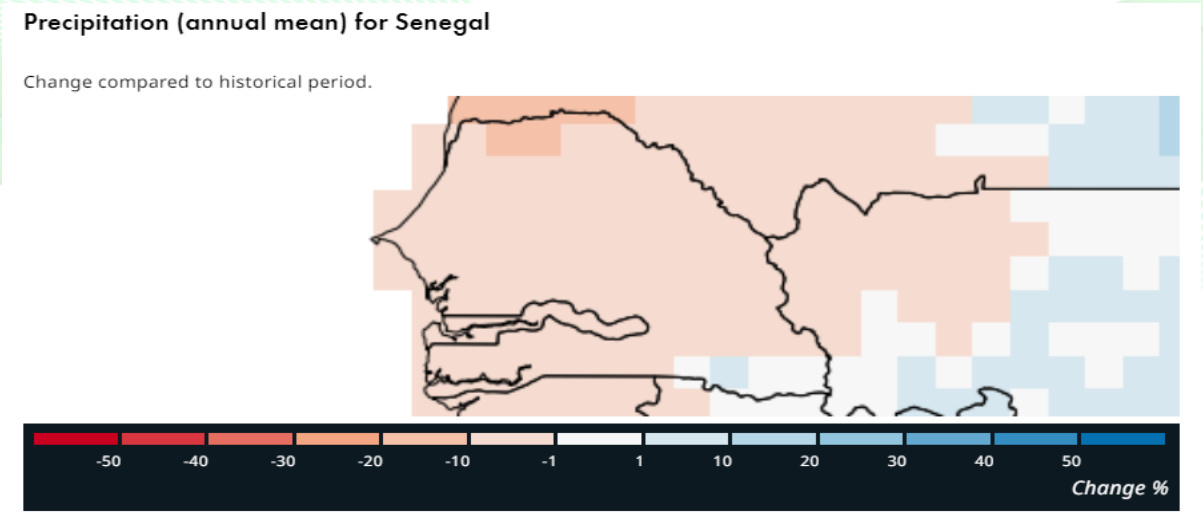
Indicator: Precipitation (annual mean), Time period: 2071–2100, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for Senegal.

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) Le changement médian est de -7% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que la variation se situe entre -9,5% et 2,2%.



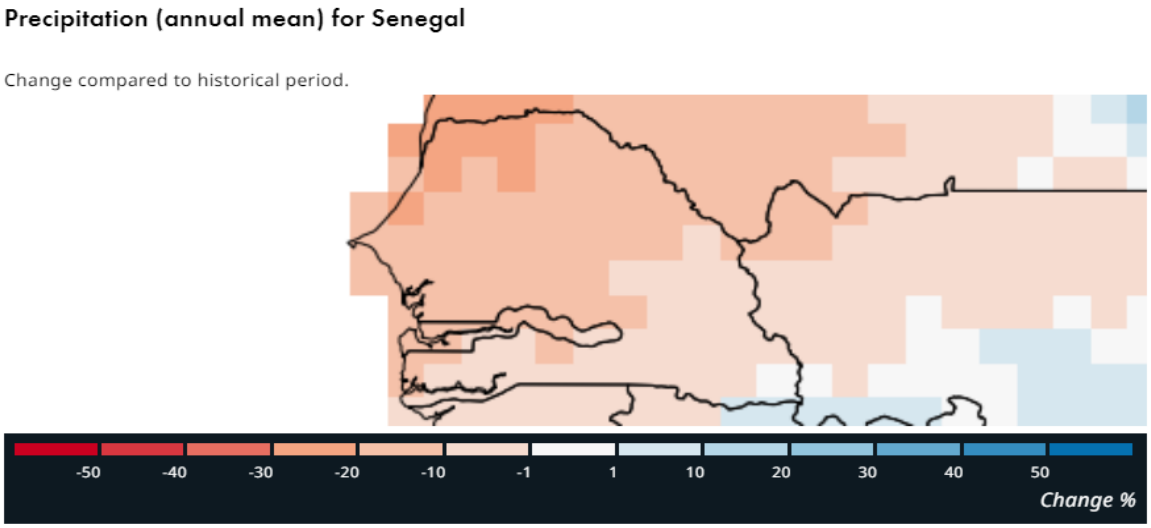
Indicator: Precipitation (annual mean), Time period: 2011–2040, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for Senegal.

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

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

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

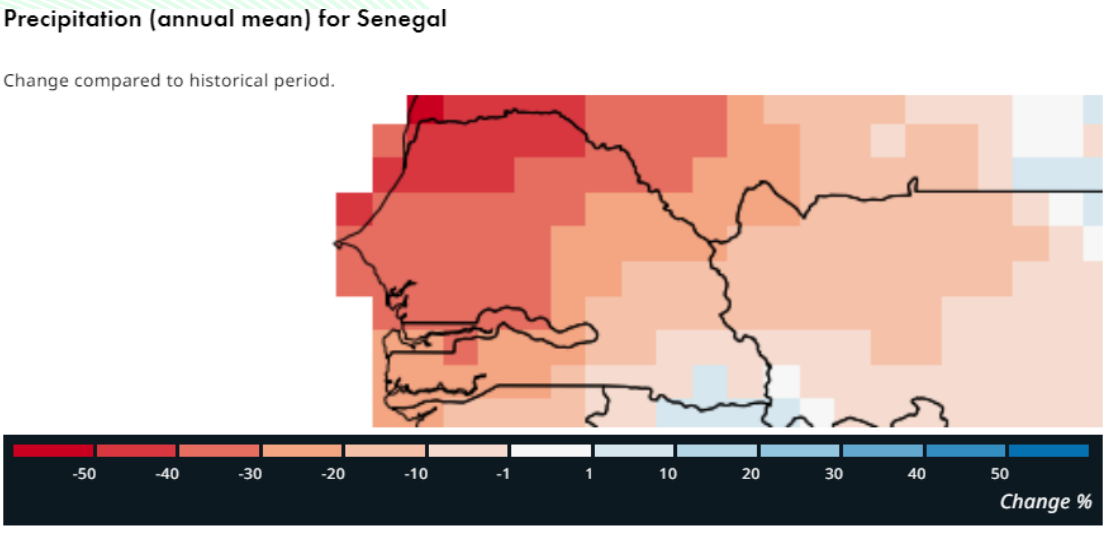
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) Le changement médian est de -15% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que l'évolution se situe entre -24% et -3,2%.



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

- ***Description de l'indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-20100***

Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) La variation médiane est de -9,9% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -19% et 3,3%.



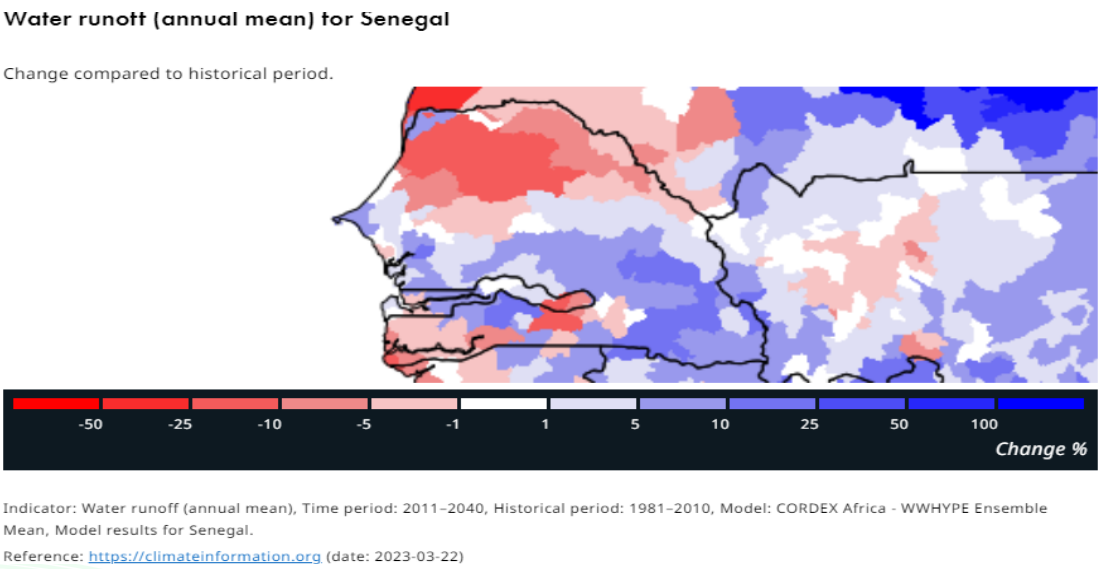
Carte 12 : Indicateur précipitation (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-20100

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). Ici, la valeur d'ensemble médiane est donnée, calculée sur les modèles répertoriés dans l'attribut de modèle.

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

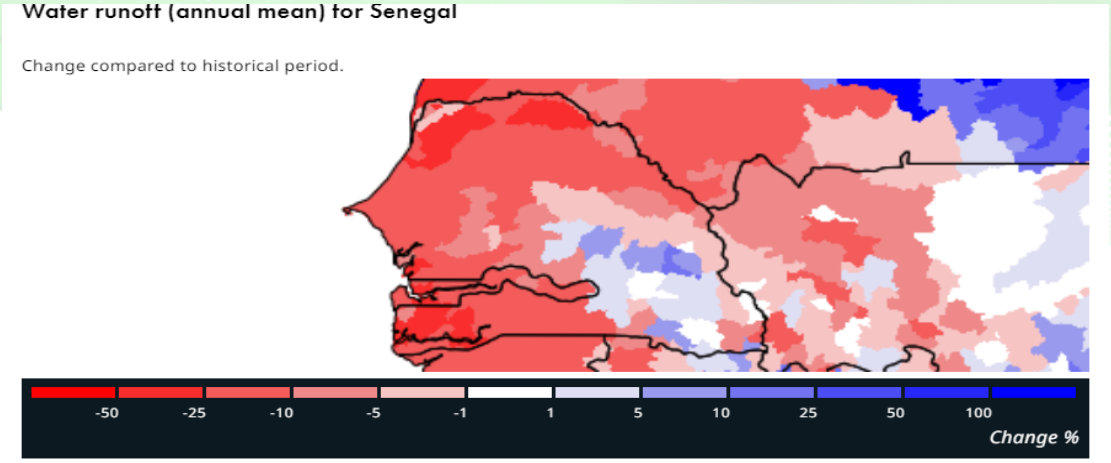
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) la variation médiane est de 1,9% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que la variation se situe entre -8,9% et 22%.



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

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

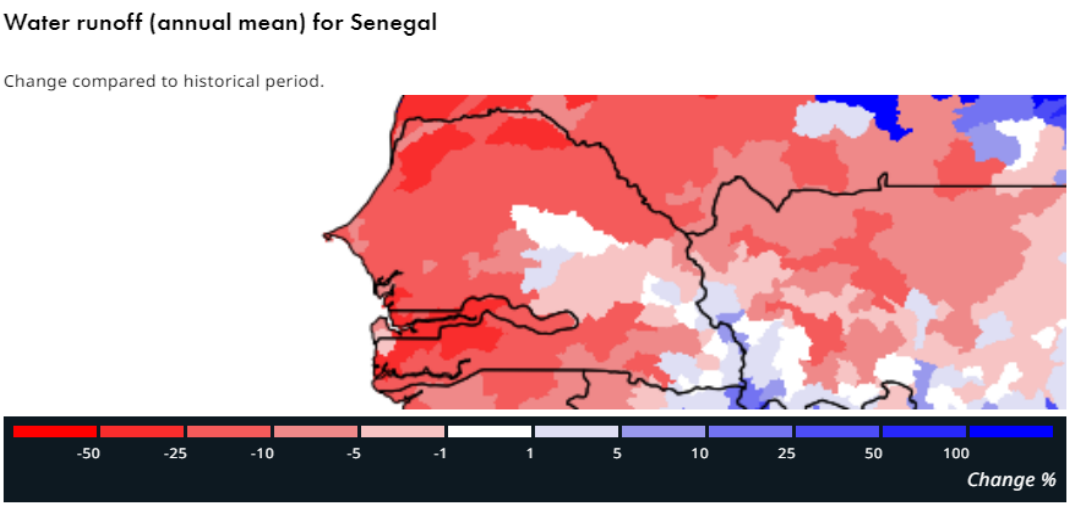
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) La variation médiane est de -7,5% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -17% et 5,1%.



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) La variation médiane est de -11% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que la variation se situe entre -21% et 9,3%.



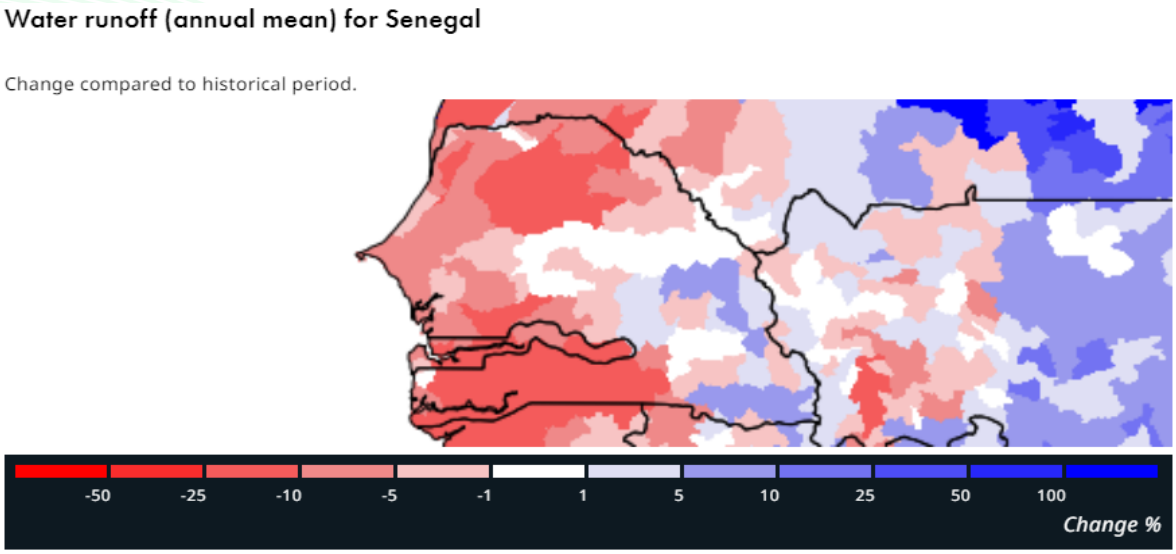
Indicator: Water runoff (annual mean), Time period: 2071–2100, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for Senegal.

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

Carte 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 (8.5) La variation médiane est de -6,8% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -15% et 4,9%.



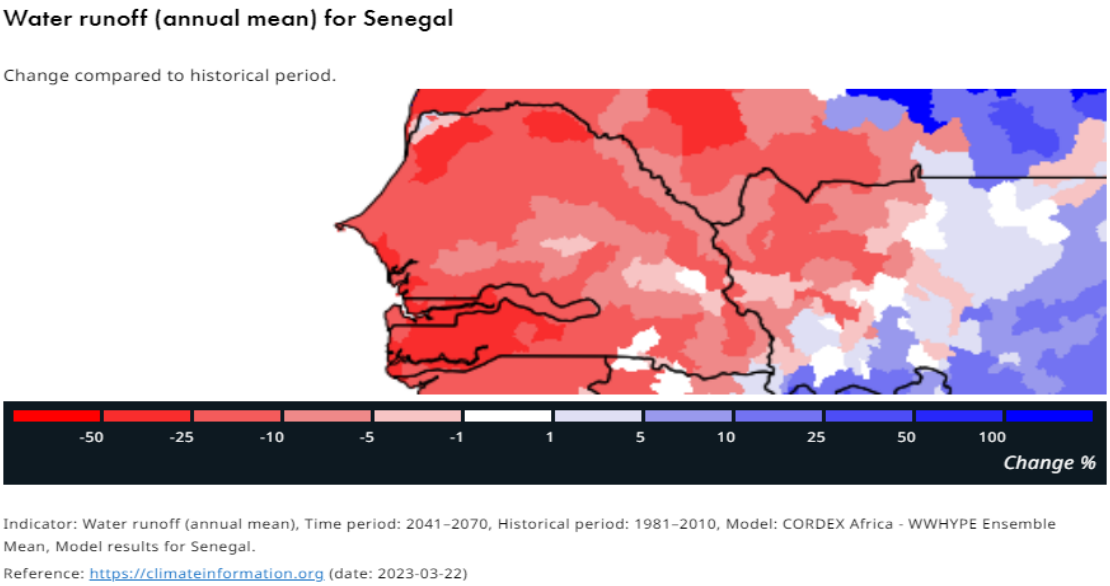
Indicator: Water runoff (annual mean), Time period: 2011–2040, Historical period: 1981–2010, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for Senegal.

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

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

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

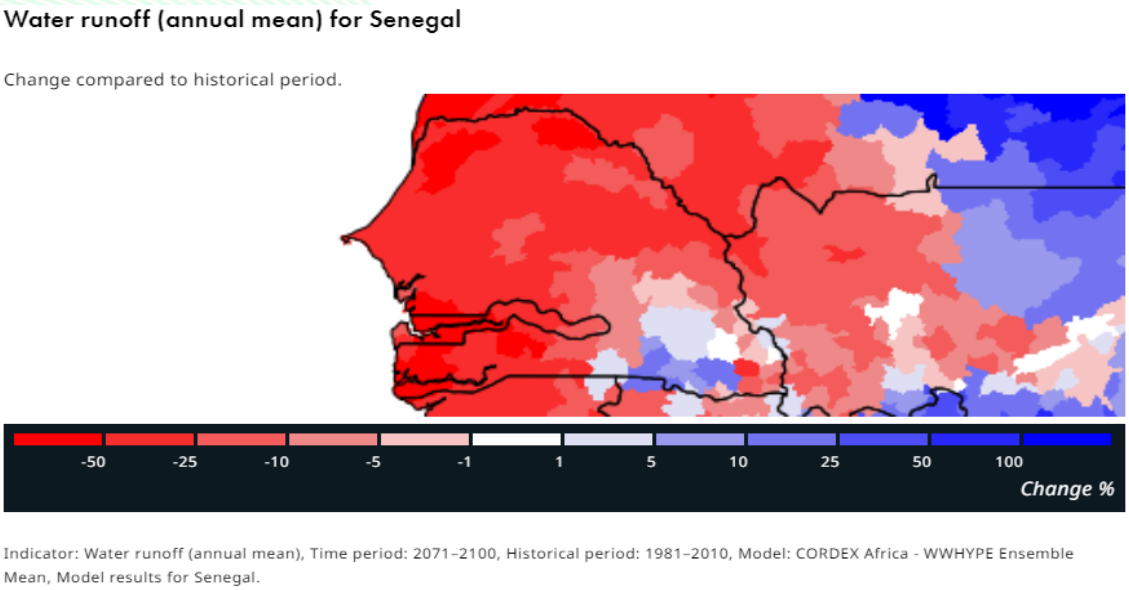
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) La variation médiane est de -7,6% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -25% et 5,4%.



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 -32% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que le changement se situe entre -42% et 6,5%.



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

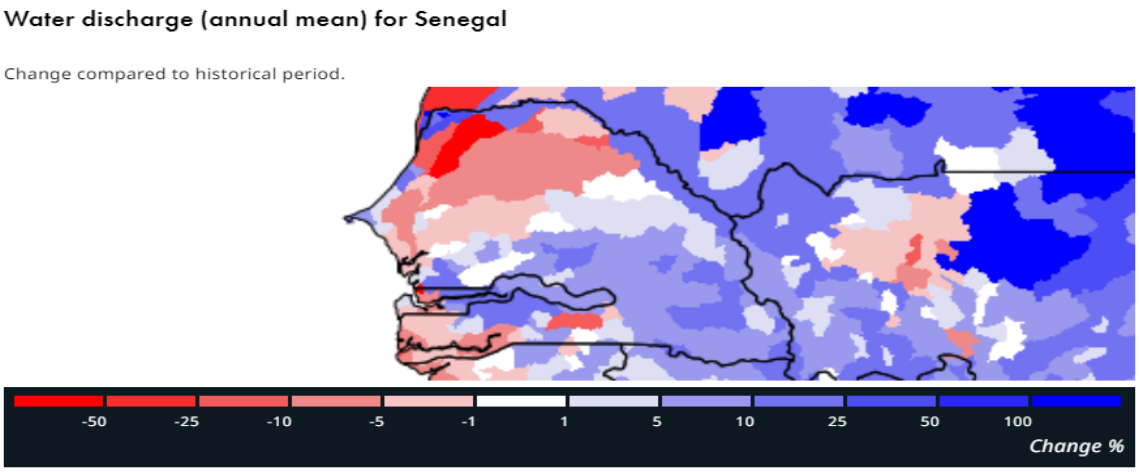
4.3.2.1.3. Débits annuels

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***

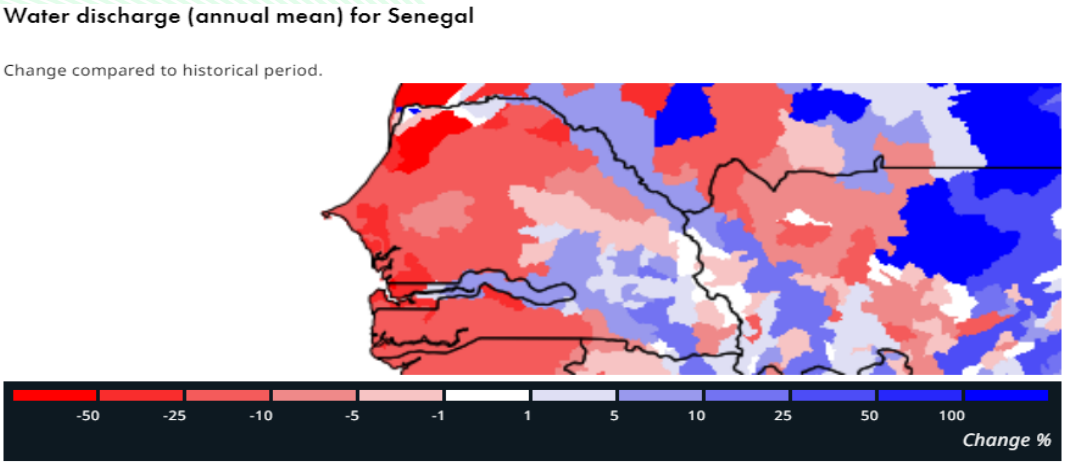
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5), La variation médian est de 5,5% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que La variation se situe entre -21% et 34%.



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***

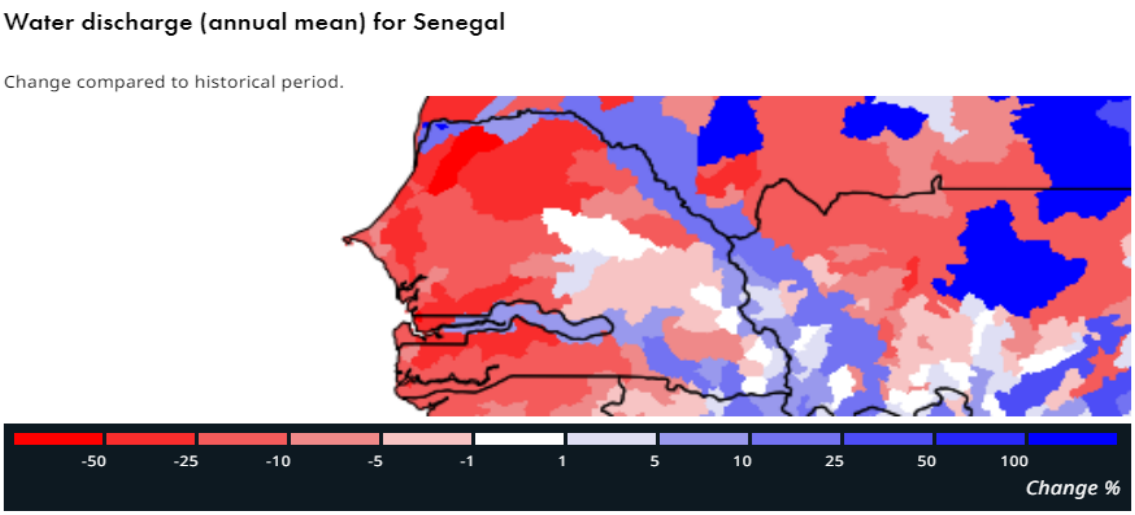
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) La variation médiane est de -16% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que le changement se situe entre -25% et 5,8%.



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***

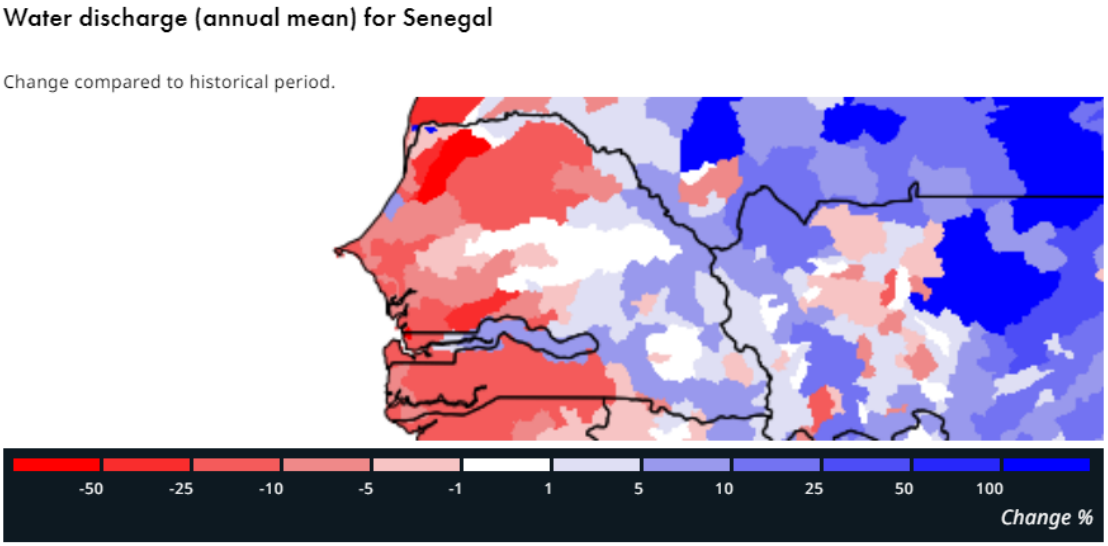
Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 4.5) la variation médiane est de -13% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que la variation se situe entre -37% et 28%.



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***

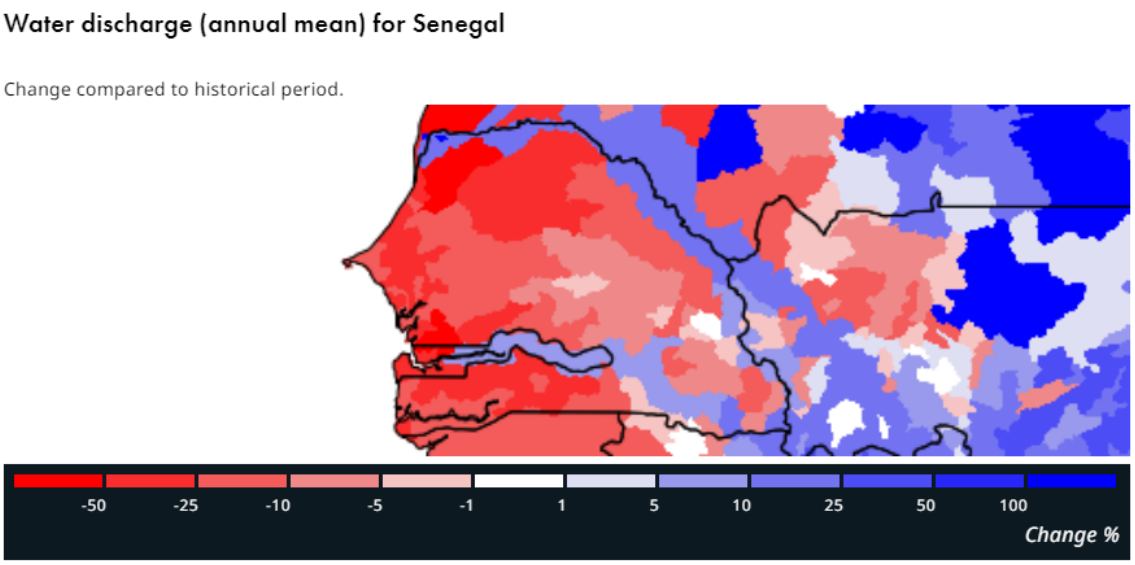
Pour la période 2011-2040 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) La variation médiane est de -8,2% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que le changement se situe entre -17% et 22%.



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***

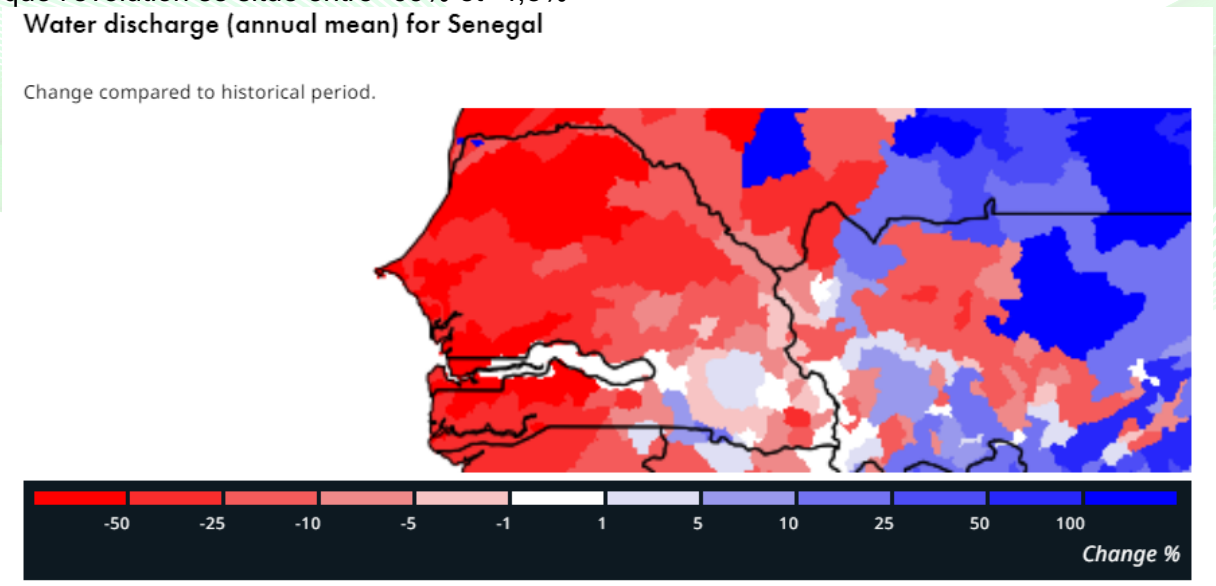
Pour la période 2041-2070 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) la variation médiane est de -23% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) s'accordent à dire que la variation se situe entre -35% et 15%.



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***

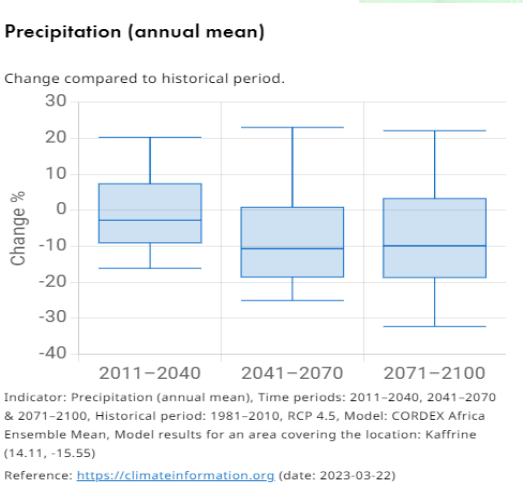
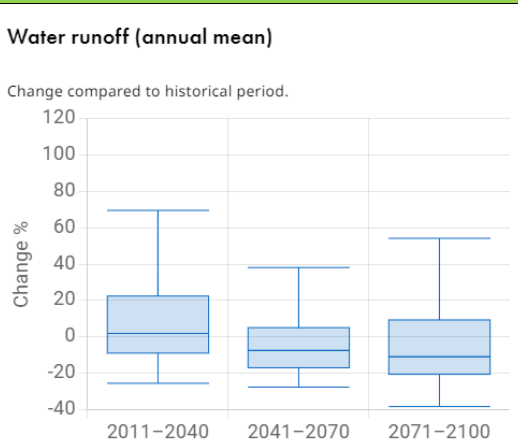
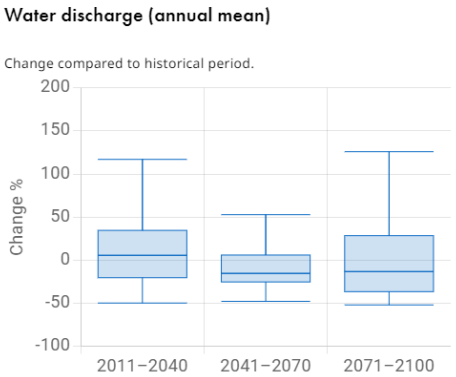
Pour la période 2071-2100 par rapport à 1981-2010 (RCP 8.5) Le changement médian est de -45% (moyenne d'ensemble) 50% des membres de l'ensemble (intervalle interquartile) conviennent que l'évolution se situe entre -65% et -4,8%

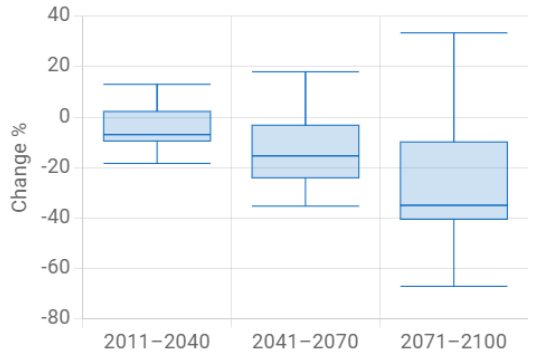
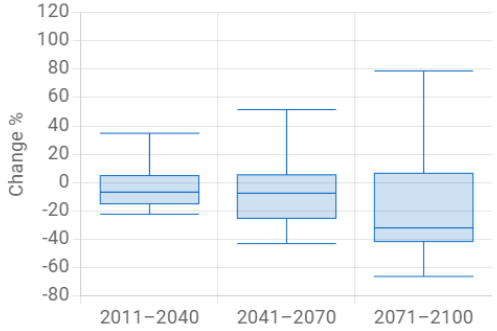
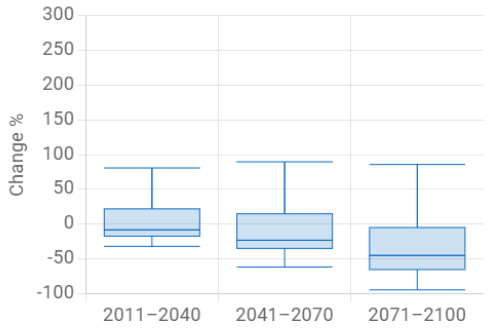


Carte 24 : Indicateur Débit d'eau (moyenne annuelle) (RCP 8.5) 2071-2100

4.3.2.2. Synthèse de la vulnérabilité future

Tableau 17 : Vulnérabilité future, secteur inondation

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: Kaffrine (14.11, -15.55) 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: Kaffrine (14.11, -15.55) 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: Kaffrine (14.11, -15.55) Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

Scénarios	Indices		
	Précipitation	Ruissellement	Débit (Décharge d'eau)
RCP 8.5	 Indicator: Precipitation (annual mean), Time periods: 2011–2040, 2041–2070 & 2071–2100, Historical period: 1981–2010, RCP 8.5, Model: CORDEX Africa Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: Kaffrine (14.11, -15.55) 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 8.5, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: Kaffrine (14.11, -15.55) 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 8.5, Model: CORDEX Africa - WWHYPE Ensemble Mean, Model results for an area covering the location: Kaffrine (14.11, -15.55) Reference: https://climateinformation.org (date: 2023-03-22)

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	-3	+2	+5	-11	-7	-16	-10	-11	-13
RCP 8.5	-7	-7	-8	-15	-8	-23	-35	-32	-45

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

4.3.2.3. Caractéristiques de la vulnérabilité future

Tableau 18 : Caractéristiques de la vulnérabilité future inondation

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
Épisodes 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
Crue de fleuve (pratiquement certain)	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

4.4. 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)[2].

Pour l'analyse de la sensibilité des infrastructures routières par rapport aux températures élevées, l'étude du Gualf 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)[3], 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 19).

- 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 15 points ;
- du point de vue des risques climatiques, ce sont les fortes précipitations qui ont l'impact le plus important sur les infrastructures routières avec un score cumulé de 14.

Tableau 19 : Matrice d'exposition des types d'infrastructures aux risques climatiques notés de 1 à 5

Types d'infrastructure	Inondations	Fortes températures	Fortes précipitations	Vents	Indice d'exposition
Routes revêtues	3	4	5	2	14
Routes non revêtues	5	1	5	4	15
OAA	3	2	4	2	9
Score	11	7	14	8	

[2] 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.

[3] 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. »

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 20 affiche les impacts notés au niveau des routes revêtues, le Tableau 21 pour les routes non revêtues et le Tableau 22 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 20 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations	Ravinements des talus, réduction de la résistance des couches inférieures, l'affaissement des routes, coupure de routes, réduction de la mobilité
Fortes températures	Réduction de la durée de vie de l'infrastructure, ornières (déformation de la route), fissurations thermiques, éclatement des pneus
Fortes précipitations	Fissuration, nid de poule, coupure de routes, enclavement de certaines localités, impact sur la performance des véhicules avec le manque d'adhérence, impact sur la mobilité des personnes et des biens, insécurité routière
Vents	Ensablement, chute de branches d'arbres, réduction de la visibilité, chute des panneaux de signalisation, insécurité liée à la stabilité des véhicules avec la force du vent

Tableau 21 : Principaux impacts des risques climatiques sur les routes non revêtues

Risques	Impacts recensés
Inondations	Coupure de pistes, pertes de matériaux, enclavement, ravinement, traverse (passage de l'eau au-dessus, apparition de tôles ondulées et de têtes de chat…)
Fortes températures	
Fortes précipitations	Coupure des routes, passage supérieur de l'eau (l'eau traverse la route) enclavement de certaines localités, impact sur la performance des véhicules, impact sur la mobilité des personnes et des biens, dégradation des pistes (apparition de nids de poule…)
Vents	Désensablement, départ de particules fines, dégradation des véhicules, absence de visibilité, insécurité routière

Tableau 22 : 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
Fortes températures	Affecte les matériaux utilisés
Fortes précipitations	Rupture, affaissement, afflouement, ravinement, réduction des sections due aux arbres
Vents	Ensablement, obstruction des ouvrages

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 :

- le mauvais compactage (défaut de mise en œuvre) ;
- l'insuffisance d'ouvrages au niveau des pistes ;
- le défaut d'entretien (curage et excavation des bassins tout au long des pistes) ;
- le manque de matériaux dans la zone.

4.4.2. Vulnérabilité future

Analyse de la vulnérabilité future aux pluies extrêmes et aux températures élevées.

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, les projections prévoient les augmentations les plus importantes à Matam, Ziguinchor et Kédougou avec plus de 90 mm (Tableau 23). Saint-Louis connaîtra une augmentation inférieure à 80 mm.

Entre 2071 et 2100, ce seront les stations de Matam, Ziguinchor et Kédougou qui connaîtront une augmentation des valeurs de pluie extrême supérieure à 90 mm. Saint-Louis aura une augmentation qui varie entre 80 et 86 mm.

Tableau 23 : Écarts des pluies extrêmes entre les périodes 1981-2010 et 2031-2060, 2071-21004

Station	1981-2010	2031-2060	2071-2100	Écart 1	Écart 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 et Ziguinchor -28 et -16 jours (Tableau 24).

Tableau 24 : 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 Kaffrine connaitre une faible exposition aux températures élevées dans le moyen terme.

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

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 Kaffrine.

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.

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 également affectés. Les impacts notés au niveau de l'agriculture, peuvent également 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.

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

5. Mesures d'adaptation sectorielles proposées

En réponse aux différents impacts notés des mesures et/ou stratégies d'adaptation ont été identifiés 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

En réponse aux différents impacts notés des mesures et/ou stratégies d'adaptation ont été identifiés. Ces mesures concernent chaque impact biophysiques et sont déclinées en plusieurs actions suivant les différentes unités d'exposition dont les cultures, les sols, l'élevage, la pêche et la foresterie) (Tableau 25).

Tableau 25 : Les stratégies ou mesures d'adaptation identifiées en fonction des impacts biophysiques

Unité d'exposition	Impacts biophysiques sur le cycle de développement	Mesures d'adaptation
Les cultures	Faible taux de remplissage des graines	Utilisation de variétés adaptées
		Diversification des cultures.
	Retard sur la croissance	Pratiques culturales adaptées ;
	Flétrissements des cultures	Utilisation des semences résistantes ;
	Perte de feuilles	Développer la maitrise de l'eau.
	Défoliation sévère	Rotation des cultures
	Prolifération de l'aflatoxine	Faciliter l'accès à l'information climatique et amélioration des conditions de conservation et stockage
	Pourritures	
	Regermination des graines	
Les sols	Dégradation des sols (érosion, salinisation des terres etc.)	RNA et reboisement
	Diminution des activités des microorganismes	Amendement organique, utilisation raisonnée des engrais chimiques
	Diminution des activités des microorganismes	Utilisation des pratiques agricoles adaptées (variété adaptée, amendement)
La pêche	Retard sur le remplissage des plans d'eau, assèchement précoce des plans d'eau	Faire des aménagements résilients
	Perte de semences, forte évaporation	Protection des plans d'eau avec des plantes ou digues
	Mort des alvins	Avoir une bonne prophylaxie
	Allongement de la durée des plans d'eau	Entretien et protection des plans d'eau
	Retard de croissance des alvins	Construction de digue anti sel en amont.
L'Élevage	Retard de régénération du tapis herbacé ; diminution de la biomasse, mortalité du cheptel et retard de croissance, retard de remplissage des mares	Promotion des cultures fourragères, de l'élevage semi intensif, les POAS (parcours de bétail, zone de pâturage) et l'Agroforesterie. Reconversion du troupeau
	Prolifération des maladies ; baisse de productivité, assèchement des mares	Promotion et mise en œuvre des POAS
	Perte de sujets	Améliorer le type d'élevage ; favoriser l'élevage rustique adapté
	Apparition de maladies (zoonose)	Assurer une large couverture de vaccination, introduction des espèces et race rustiques. Favoriser la transhumance
	Perte de productivité	
	Perte de sujets ; perte de la qualité de fourrage, apparition de maladies.	Améliorer le type d'élevage ; favoriser l'élevage rustique adapté Favoriser la supplémentation

Unité d'exposition	Impacts biophysiques sur le cycle de développement	Mesures d'adaptation
Foresterie	Retard sur la régénération	Choix des espèces adaptées et améliorées pour le programme de reboisement
		Promouvoir les mis en défens
	Flétrissement de petits plans, chute des feuilles et fleurs	Choix des espèces adaptées et améliorées pour le programme de reboisement ;
		Promouvoir les mis en défens
	Défoliation sévère	Reboiser des espèces résistantes, Lutte préventive et biologique
	Mortalité	

La priorisation des options d'adaptation avec l'analyse multicritères a permis de placer **l'utilisation de semences adaptées** et la **promotion de l'élevage semis intensif** comme options prioritaires à mettre en œuvre pour l'adaptation aux changements climatiques (Tableau 26). De manière transversale, les stratégies d'adaptation prioritaires dans la zone de Kaffrine pour faire face aux changements climatiques sont l'utilisation de semences adaptées, l'application de pratiques culturales adaptées (Tableau 26). Ces actions prioritaires montrent l'intérêt des acteurs pour une adaptation local appuyée par des programmes nationaux et internationaux.

Tableau 26 : 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
Utilisation de semences adaptées	5	5	5	5	5	3	3	31	1
Promotion de l'élevage semis intensif	5	5	4	5	4	4	3	30	2
RNA	5	5	5	3	3	3	5	29	3
Utilisation de l'information climatique et des options d'AIC	5	5	4	5	4	4	2	29	4
Promotion du reboisement et des mis en défens	5	5	4	4	3	2	3	26	5
Construction de digue anti sel	5	5	4	3	4	3	1	25	6
Amélioration génétiques des races locales	5	5	3	4	3	3	2	25	6
Amendement organique, utilisation raisonnée des engrais chimiques	5	5	4	3	3	2	3	25	6
Promotion et mise en œuvre des POAS	5	5	3	3	3	4	3	23	7

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 27.

Tableau 27 : 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)
Accentuation de certaines maladies sur les couches vulnérables	Renforcer la capacité des acteurs sur les risques et mesures de prévention ; Sensibilisation sur les mesures d'hygiène individuelle et collective et sur les risques ; -Mettre en place un système d'alerte précoce et de diffusion (mettre à contribution de tous les canaux de diffusion)	Privilégier l'approche multisectorielle (One Heath)
Émergences et réémergence de maladies (anthropozoonoses)	Sensibilisation sur les mesures de prévention ; Mettre en place des mesures de biosécurité (vaccination, mesures de prévention) ; Renforcer la capacité sur la gestion des risques	
Problèmes d'accessibilité aux soins	Respecter les normes de construction des infrastructures	Prévoir des stocks de médicaments dans la période pré hivernale

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, saisonnière, mensuelle, moyenne échéance), et projection. 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 Mbadiénou 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[5]) ;

« ***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 climatique).

La priorisation des options d'adaptation avec l'analyse multicritère a permis de placer le système d'alerte précoce et de diffusion (mettre à contribution de tous les canaux de diffusion) et l'approche multisectorielle (One Heath) comme option prioritaire à mettre en œuvre pour l'adaptation aux changements climatiques (Tableau 28). À cause des évènements de pluies extrêmes et les

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

inondations devenues très fréquents à Kaffrine, il y a l'émergence des maladies zoonotiques comme la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) qui affecte le cheptel dans la zone. La vaccination et des mesures de biosécurité mais surtout l'approche One Health (OH), ou « une seule santé » en français serait une valeur ajoutée d'une coopération plus étroite entre la santé humaine et la santé animale en termes de santé et de bien-être humain et animal, d'économies financières et de services environnementaux, qui ne pourrait pas être atteinte si les disciplines travaillent séparément. L'approche One Health devrait être renforcée en démontrant les avantages de services communs de santé humaine et animale pour les éleveurs mobiles à Kaffrine, les avantages sociétaux de la vaccination du bétail contre les zoonoses pour la santé publique. De nouvelles méthodes d'évaluation de la santé humaine et animale en même temps doivent être développées, en combinant l'épidémiologie, la biologie, et la climatologie. La sensibilisation sur les mesures d'hygiène individuelle et collective et sur les risques serait également d'une importance capitale.



Tableau 28 : Matrice de priorisation des options/stratégies d'adaptations identifiées

Initiative/ Options d'adaptation	Cohérence avec les politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale et politique	Efficience	Equité	Coût	Note	Rang
Renforcer la capacité des acteurs sur les risques et mesures de prévention	5	5	3	5	4	5	1	28	5ème
Sensibilisation sur les mesures d'hygiène individuelle et collective et sur les risques	5	5	5	5	5	5	2	32	3ème
Mettre en place un système d'alerte précoce et de diffusion (mettre à contribution de tous les canaux de diffusion)	5	5	5	5	5	5	5	35	1er
Mettre en place des mesures de biosécurité (vaccination, mesures de prévention)	5	5	5	3	3	5	2	28	5ème EX
Respecter les normes de construction des infrastructures sanitaires	5	5	5	3	3	5	1	27	8ème
Privilégier l'approche multisectorielle (One Heath)	5	5	5	5	5	5	5	35	1er EX
Prévoir des stocks de médicaments dans la période pré hivernale	5	5	3	5	3	5	2	28	5ème EX
Intégration de la problématique des changements climatiques dans les documents de planification	5	5	5	5	5	5	1	31	4ème

5.3. Secteur des inondations

Les critères sélectionnés pour arbitrer la priorisation des options d'adaptations aux impacts climatiques sont 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, à (7) coût. En fonction de ces critères, on attribue à chaque option une note. L'option qui sort avec la meilleure note (total) est considérée comme prioritaire avec un degré qui la différentie cette sa priorité de celle qui suit. Les options d'adaptation privilégiées sont les suivantes.

Tableau 29 : Hiérarchisation des options d'adaptation par axe

Critères Options		Cohérence avec les politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité	Efficience	Equité	Coût	Notes	Rang
Type de contraintes	Options d'adaptation									
Topographie	Cultures à étage.	5	5	5	5	5	5	5	35	1er
	Pose de gabion	5	5	3	5	5	5	5	33	6eex
	Pose de radiers	5	5	4	5	5	5	3	32	9eex
	Mise en place d'ouvrages de franchissement (ponts).	5	5	5	5	5	5	2	32	9eex
	Digues de rétention	5	5	5	5	5	5	2	32	9eex
Sol argileux et halomorphes (Birkelane)	Mise en place d'un système de drainage.	5	5	5	5	5	5	1	31	14eex
	Déplacement et relogement des populations avec des zones de recasement	5	3	5	3	5	4	1	26	17eex
Fortes précipitations	Mise en place d'un système de Collecte des eaux pluviales et leur valorisation.	5	5	5	5	5	5	2	32	9eex
	Créer des Établissements de reclassement au profit des victimes.	5	3	5	3	5	4	1	26	17eex
	Sécuriser les bassins de rétention.	5	5	5	5	5	5	3	33	6e ex
	Aménagement des mares	5	5	5	5	5	5	4	34	4e
Faiblesse du système d'assainissement	Élaboration et mise en œuvre de PDA pour les communes de la région.	5	5	5	5	4	5	1	30	16e
Prélèvement du sable de ruissellement	Appliquer le code de l'environnement (en réparant les voies de passage, en atténuant les effets sur la santé, en dédommageant les riverains impactés et en restaurant les	5	5	5	5	5	5	3	33	6eex

Critères Options		Cohérence avec les politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité	Efficience	Equité	Coût	Notes	Rang
	sites en fin d'exploitation)									
Non aménagement des mares	Aménagement des mares	5	5	5	5	5	5	5	35	1er
Absence de gestion intégrée des ordures	Mettre en place des centres d'enfouissement technique	5	5	5	5	5	5	1	31	14eex
Problématique des bassins de rétention	Mettre des bassins aux normes techniques requises.	5	5	5	5	5	5	2	32	9e
	Mettre un dispositif de drainage respectant le cours naturel de l'eau.	5	5	5	5	5	5	5	35	1er
	Valoriser l'eau ainsi stockée.	5	5	5	5	5	5	4	34	4eex

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 le Tableau 30 pour les routes revêtues, le Tableau 31 pour les routes non revêtues et le Tableau 32 pour les ouvrages d'art et d'assainissement.

Tableau 30 : Options au niveau des routes revêtues

Risques	Options recensées
Inondations	Renforcer l'assainissement routier, utiliser des matériaux de qualité, protection des talus (perré maçonnés), renforcer les ouvrages (Dalots, radier), positionnement des ouvrages hydraulique, intégration des données climatiques
Fortes températures	Reboisement, utilisation de matériaux adaptés (bitume adapté) Il y a 10 ans, on utilisait du bitume de grade 50-70 mais aujourd'hui on utilise davantage le 35-50. Ce dernier est plus résistant aux problèmes d'orniérage qui impactent les routes quand les températures sont élevées et qu'il y a un important trafic de poids lourds.
Fortes précipitations	Entretien périodique des routes à chaque début d'hivernage, faire revenir le point à temps, diminution des vitesses, diminution des débits des trafics, contrôle technique stricte surtout sur l'adhérence des pneus
Vents	Mettre en place des brise-vents, élagage, reboisement, désensablement, renforcer la signalisation

Tableau 31 : Options pour les routes non revêtues

Risques	Options recensées
Inondations	Mise hors d'eau des routes, entretien des ouvrages, revêtement des pistes
Fortes températures	
Fortes précipitations	Mise en place de barrières de pluie et de guérite pour éviter le passage des charrettes et des personnes, végétalisation des emprises, superposition de la cartographie des risques sur la zone de projet, utilisation de l'information climatique, formation des acteurs dans la prise en compte des changements climatiques
Vents	Rechargement fréquent, mettre des ralentisseurs, pose des panneaux de signalisation, reboisement

Les pistes nécessitent des quantités énormes de matériaux. La latérite reste le plus utilisé et malheureusement parfois on l'amène de loin. Il y a le problème de la disponibilité et du coût. Le CEREQ est entrain de faire des recherches pour trouver de meilleurs matériaux mais les fonds destinés à appuyer ces recherches sont insuffisants. Par rapport à cela, l'Ageroute est en train d'expérimenter le Probase sur les routes non revêtues à Thiès. La technologie du Probase permet de « garantir les routes ». En effet c'est « … une nouvelle technologie qui permet au constructeur de donner une garantie de 10 ans à une route construite, mais constitue également une option salutaire pour la construction de routes rurales à des coûts largement compétitifs avec l'avantage de réduire des charges d'entretien à leur plus simple expression. PROBASE créée en 1999, comporte deux produits certifiés ISO 9001, commercialisés dont l'un permet la stabilisation des sols et l'autre sert à l'imperméabilité des sols. Utiliser cette technique, offre des avantages parmi lesquels on peut citer : l'absence de boue et de poussière sur les pistes, l'utilisation de la main d'œuvre locale à 99%, une durabilité variant entre 10, 15 et 20 ans suivant le trafic et la durée de vie projetée, l'entretien simple et minime nécessitant peu de main d'œuvre et d'engins, la possibilité de ressurfaçage ou de bitumage en cas de besoin, la capacité de réaliser 2000km/an, ainsi que le transfert de technologie. C'est d'ailleurs dans ce sillage que l'Etat du Sénégal, pour mieux desservir les zones rurales par des infrastructures routières de qualité, envisage d'expérimenter cette technologie innovante dans le cadre d'un projet pilote sur 52km de routes de désenclavement pour une durée de 12 mois.»6

[6] Source : *Amélioration de la qualité des routes en milieu rural : L'AGEROUTE Finalise l'axe Bambey-Thieytou* publié sur le site dont le lien est le suivant https://infosdakar.com/?p=15971

Tableau 32 : Options pour les ouvrages d'art et d'assainissement

Risques	Options recensées
Inondations	Protection des abords, avoir un meilleur dimensionnement des ouvrages, renforcer les berges par des gabions pour mieux faire face au phénomène de ravinement qui impacte beaucoup les ouvrages d'art, mise hors d'eau des ouvrages, intégrer l'information climatique, entretien et curage des ouvrages, choix adéquat des ouvrages renforcer les acteurs, protection des ouvrages, bonne utilisation des matériaux de construction
Fortes températures	Reboisement le long des routes, utilisation de matériaux plus convenables, bien dimensionner les ouvrages, intégration de l'information climatique, bien respecter les procédures de construction, positionner de bons acteurs pour l'exécution des travaux, capacitation des acteurs, prise en compte de l'information climatique
Fortes précipitations	Protection des abords, poser des gabions à l'aval des ouvrages pour mieux faire face au phénomène de ravinement qui impacte beaucoup les ouvrages d'art , mise hors d'eau des ouvrages, meilleur dimensionnement des ouvrages, intégrer l'information climatique, entretien et curage des ouvrages, choix adéquat des ouvrages, renforcer les acteurs, protection des ouvrages, bonne utilisation des matériaux de construction
Vents	Entretien et curage, revêtement des ouvrages d'assainissement

CONCLUSION

Le PNA de la région de Kaffrine 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 Kaffrine, 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.

Annexe : Bibliographie

Alhassane, A., Salack, S., Ly, M., Lona, I., Traore, S. B., and Sarr, B. (2013). Évolution des risques agroclimatiques associes aux tendances recentes du regime pluviometrique en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Secheresse 24, 282–93. doi:10.1684/sec.2013.0400.

Agence Nationale de Statistique et de la Démographie." http://www.ansd.sn/ (accessed Nov. 22, 2022).

ANSD/SR-Kaffrine (2019). Situations Economiques et Scoiales Regionales - Kaffrine. Dakar/Sénégal Available at: https://www.ansd.sn/ressources/ses/SES Kaffrine 2019.pdf.

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

Dancette, C. (1980). Besoins en eau et adaptation du mil a la saison des pluis au Senegal. in Proceedings of the International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics, Hyderabad, India, 22-24 November 1978 (Patancheru, Andhra Pradesh, India, International Crops Research, Institute for the Semi-Arid Tropics, 1980.).

DAPSA (2021). Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles: Rapport de l'Enquête Agricole Annuelle (EAA) 2020-2021. Dakar/Sénégal Available at: https://www.dapsa.gouv.sn/sites/default/files/Rapport EAA 2020-2021_finale.pdf.

DIOUF_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

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

GIEC, 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. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

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. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf

H.-M. Füssel and R. J. T. Klein, "Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking," Climatic Change, vol. 75, no. 3, pp. 301–329, Apr. 2006, doi: 10.1007/s10584-006-0329-3.

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.

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, May 2010, doi: 10.1038/nature09098.

R. Fann, "AGENCE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE LA DEMOGRAPHIE," p. 225, 2016.

Sanogo D, Camara BA, Diop M, et al (2016) Mise en place d'un Village Intelligent face au Climat pour la réduction des risques climatiques et de l'insécurité alimentaire à Daga-Birame, Sénégal. Guide de visite de terrain pour la Réunion du Comité Scientifique Indépendant du CCAFS

Sarr Thierno et al. Production des services climatiques d'aide à la prise de décision pour l'agriculture. ANACIM

Schilling, R. (2001). Données agronomiques de base sur la culture arachidière. OCL. Oléagineux Corps gras Lipides 8, 230–236.

WGIIIAR6_SPM_TS_Volume_fr-1.pdf. Accessed: Nov. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume_fr-1.pdf

Zhongming. Z, 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