

République du Sénégal /

Projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal



Marché : N°C1854/21

**Études de vulnérabilités approfondies aux changements climatiques des secteurs de l'agriculture, de la santé, des infrastructures de transports terrestres et de la gestion des risques de catastrophes axée sur les inondations au niveau national**

***Vulnérabilité de l'agriculture à la variabilité et aux changements climatiques et options d'adaptation***

Livrable 3

Version 01, Novembre 2022

IDEV-ic / INFOGES

Num. Livrable	EDD-036-PNAF_L3Agr1			
	Rédaction	Vérification	Approbation	Version
Visa	Mbaye DIOP / Adama FAYE	M. Sophie NDONG	Ousseynou DIOP	V01
Date	Novembre 2022	Novembre 2022	Novembre 2022	Novembre 2022

## Sigles et abréviations

<b>AAS</b>	Académie africaine des sciences
<b>AATR</b>	Agence Autonome des Travaux Routiers
<b>ACPC</b>	African Climate Policy Centre
<b>AFD</b>	Agence française de développement
<b>AGEROUTE</b>	Agence des travaux et de gestion des routes au Sénégal
<b>ANACIM</b>	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
<b>ANSD</b>	Agence nationale de la statistique et de la démographie
<b>BAD</b>	Banque Africaine de Développement
<b>BDR</b>	Banque de données routières
<b>BID</b>	Banque Islamique de Développement
<b>BM</b>	Banque mondiale
<b>BRT</b>	Bus rapide de transport
<b>CC</b>	Changements climatiques
<b>CCNUCC</b>	Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique
<b>CDKN</b>	Climate and Development Knowledge Network
<b>CDN</b>	Contribution déterminée au niveau national
<b>CES/DRS</b>	Conservation des eaux et des sols / Défense et restauration des sols
<b>CETUD</b>	Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar
<b>CORDEX</b>	Coordinated Regional Experiments
<b>COUS</b>	Centre des opérations d'urgence sanitaire
<b>CSE</b>	Centre de Suivi Ecologique
<b>DEEC</b>	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés
<b>DFID</b>	Department for International Development
<b>DGPPE</b>	Direction de la Gestion et de la Protection des ressources en Eau
<b>DIREL</b>	Direction de l'élevage
<b>DPEE</b>	Direction de la Prévision et des Etudes Economiques
<b>DPPD</b>	Document de programmation pluriannuelle des dépenses
<b>DSV</b>	Direction des services vétérinaires
<b>ESP-Dakar</b>	Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FDTU</b>	Fonds de Développement des Transports Urbain
<b>FIDA</b>	Fonds international de développement agricole
<b>FVR</b>	Fièvre de la vallée du Rift
<b>GFDRR</b>	Facilité mondiale pour la prévention des risques de catastrophes et de relèvement
<b>GIZ</b>	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (Société allemande pour la coopération internationale)
<b>GRC</b>	Gestion des Risques et Catastrophes
<b>IIED</b>	International Institute for - Environment and Development
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IPD</b>	Institut Pasteur de Dakar
<b>IRD</b>	Institut de recherche pour le développement
<b>ISRA</b>	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
<b>LMM</b>	Liverpool Malaria Model
<b>LNERV</b>	Laboratoire national de l'élevage et de recherches vétérinaires
<b>LPAOSF/ESP</b>	Laboratoire de Physique de l'atmosphère et de l'océan Siméon Fongang / Ecole Supérieure Polytechnique
<b>LPSD</b>	Lettre de politique sectorielle de développement
<b>LPST</b>	Lettre de politique sectorielle des transports
<b>MCG</b>	Modèle climatique global
<b>MCGs</b>	Global Climate Models
<b>MCR</b>	Modèle climatique régional
<b>MNT</b>	Maladies non transmissibles
<b>MSAS</b>	Ministère de la santé et l'action sociale
<b>NASAC</b>	Network of African Science Academies
<b>ODI</b>	Overseas Development Institute
<b>ONAS</b>	Office national de l'assainissement du Sénégal

<b>ONG</b>	Organisation Non Gouvernementale
<b>PAM</b>	Programme alimentaire mondial
<b>PAMU</b>	Programme d'Amélioration de la Mobilité Urbaine
<b>PANA</b>	Programmes d'action nationaux d'adaptation
<b>PAPI</b>	Programme d'action prioritaire de prévention des inondations
<b>PAST</b>	Programme d'Ajustement Sectoriel des Transports
<b>PDNA</b>	Post disaster need assessment
<b>PNA</b>	Plan national d'adaptation
<b>PNA-FEM</b>	Plan National d'Adaptation – Fonds pour l'Environnement Mondial
<b>PNARZI</b>	Programme National d'Aménagement et de Restructuration des Zones d'Inondation
<b>PNDSS</b>	Plan national de développement sanitaire et social
<b>PNUD</b>	Programme des Nations Unies pour le Développement
<b>PRACAS</b>	Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise
<b>PROGEP</b>	Projet de gestion des eaux pluviales et d'adaptation au changement climatique
<b>PS-COUS</b>	Plan stratégique du centre des opérations d'urgence sanitaire
<b>PSN-PNLP</b>	Plan stratégique national de lutte contre le paludisme
<b>PSNSC</b>	Plan Stratégique National de Santé Communautaire
<b>RCP</b>	Representative Concentration Pathway
<b>RCPs</b>	Representative Concentration Pathways
<b>REDISSE</b>	Regional disease surveillance systems enhancement project
<b>S4CAST</b>	SST-based statistical ForeCAST
<b>SAED</b>	Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal
<b>SIMR</b>	Surveillance intégrée de la maladie et la riposte
<b>SNSE</b>	Système national de surveillance épidémiologique des maladies animales
<b>SNTR</b>	Stratégie Nationale de Transport Rural
<b>UCAD</b>	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
<b>UNECA</b>	United Nations Economic Commission for Africa
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)
<b>UNICEF</b>	Fonds des nations unies pour l'enfance (United Nations of International Children's Emergency Fund)
<b>USAID</b>	United States Agency for International Development
<b>WHO</b>	World health organization (Organisation mondiale de la santé)

## Table des matières

<b>Sigles et abréviations .....</b>	<b>1</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>3</b>
<b>Liste des illustrations .....</b>	<b>4</b>
<b>Tableau synoptique du projet.....</b>	<b>5</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>6</b>
i. Contexte et périmètre de l'étude .....	6
ii. Rappel des termes de références .....	7
<b>1. Objectifs.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Données et méthodologie .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Difficultés rencontrées .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future.....</b>	<b>14</b>
4.1. Indicateurs de vulnérabilité passée et actuelle.....	14
4.2. Indicateurs de vulnérabilité future.....	15
<b>5. Évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture .....</b>	<b>17</b>
5.1. Vulnérabilité passée et actuelle au climat .....	17
5.1.1. Les facteurs climatiques .....	17
5.1.2. Évaluation de la vulnérabilité liée au climat.....	20
5.1.3. Les autres facteurs liés à la baisse des rendements agricoles .....	22
5.1.3.1. La dégradation des terres.....	23
5.1.3.2. Le manque d'équipements agricoles.....	23
5.1.3.3. Le dépeuplement des campagnes .....	24
5.2. Vulnérabilité future au climat .....	25
<b>6. Adaptation au changement de l'agriculture.....</b>	<b>31</b>
<b>7. Evaluation du cout de l'inadaptation.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusions .....</b>	<b>37</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>38</b>
Annexe 1 : Bibliographie .....	38
Annexe 2 : Questionnaire d'enquête .....	39
Annexe 3 : Matrice d'évaluation de la vulnérabilité .....	41

## Liste des illustrations

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Synoptique projet .....	5
Tableau 2 : Simulations de CORDEX utilisées dans le modèle d'impact agronomique (en colonne les MCRs ainsi que leurs institutions d'origine et en ligne les MCGs ainsi que leurs institutions d'origine. Le signe «&» indique que le MCR a désagrégé le MCG correspondant) (Sylla, 2022).....	11
Tableau 3 : Facteurs non climatiques de vulnérabilité de l'agriculture au Sénégal .....	24
Tableau 4 : Exemples projets et programmes ayant une composante d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'agriculture .....	31
Tableau 5 : Mesures d'adaptations face aux impacts du climat .....	33
Tableau 6 : Pertes liées à l'absence de mesures d'adaptations de l'agriculture face aux impacts des changements climatiques .....	36

### Liste des figures

Figure 1 : Trajectoire d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre l'horizon 2100 (GIEC, 2014) .....	10
Figure 2 : Anomalies pluviométriques standardisées du Sénégal entre 1994 et 2018 .....	14
Figure 3 : Anomalies standardisées des températures du Sénégal entre 1994 et 2018 (données ANACIM) .....	14
Figure 4 : Évolution des cumuls annuels de pluies au Sénégal à l'horizon 2100 (Géoportail Sénégal) .....	15
Figure 5 : Évolution du nombre de jours de pluies au Sénégal à l'horizon 2100 (Géoportail Sénégal) .....	16
Figure 6 : Projections des températures moyennes au Sénégal en 2051-2080 (Géoportail Sénégal) .....	16
Figure 7 : Évolution des températures moyennes selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2100.....	16
Figure 8 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements d'arachide au Sénégal (1994-2018).....	17
Figure 9 : Corrélation entre rendement d'arachide et pluviométrie au Sénégal (1994-2018) .....	18
Figure 10 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de mil au Sénégal (1994-2018) .....	18
Figure 11 : Corrélation entre rendement de mil et pluviométrie au Sénégal (1994-2018) .....	18
Figure 12 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de maïs au Sénégal (1994-2018) .....	19
Figure 13 : Corrélation entre rendement de maïs et pluviométrie au Sénégal (1994-2018) .....	19
Figure 14 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de riz au Sénégal (1994-2018) .....	19
Figure 15 : Corrélation entre rendement de riz et pluviométrie au Sénégal (1994-2018) .....	20
Figure 16 : Sensibilité et exposition de l'agriculture pluviale à la variabilité et au changement du climat.....	20
Figure 17 : Sensibilité et exposition de la riziculture irriguée à la variabilité et au changement du climat .....	21
Figure 18 : Sensibilité et exposition du système de production maraîcher à la variabilité et au changement du climat .....	21
Figure 19 : Sensibilité et exposition de l'élevage extensif à la variabilité et au changement du climat.....	22
Figure 20 : Sensibilité et exposition de l'élevage intensif à la variabilité et au changement du climat.....	22
Figure 21 : Risques liés à la production agricole au Sénégal (EMAP, 2004) .....	23
Figure 22 : Simulation des rendements d'arachide avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparé à la période historique (1981-2010).....	26
Figure 23 : Simulation des rendements de maïs avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010).....	26
Figure 24 : Simulation des rendements de mil avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010).....	27
Figure 25 : Simulation des rendements de riz avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010).....	27

### Liste des cartes

Carte 1 : Écarts des rendements d'arachide entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010.....	28
Carte 2 : Écarts des rendements de mil entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010 .....	29
Carte 3 : Écarts des rendements de maïs entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010 ...	30

## Tableau synoptique du projet

Tableau 1 : Synoptique projet

Titre du marché :	Études de vulnérabilités approfondies aux changements climatiques dans les régions de Kaffrine, Kédougou, Matam, Saint-Louis et Ziguinchor
Client :	Projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal
Projet :	Projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal
Référence :	C1853/21
Financement :	Fonds pour l'environnement mondial (FEM)
Consultant :	IDEV-ic /INFOGES
Date (début / fin) :	Août 2021 / mai 2022
Durée :	9 mois
Nombre d'experts :	6
Zone du projet :	Régions de Kaffrine, Kédougou, Matam, Saint-Louis et Ziguinchor
Description sommaire :	L'objectif général de la mission est de réaliser des études de vulnérabilité approfondies et d'identifier les mesures d'adaptation aux changements climatiques dans les secteurs de l'Agriculture, la Santé, la gestion des risques de catastrophe liée aux inondations et aux Infrastructures de transports terrestres dans les régions de Kaffrine, Kédougou, Matam, Saint Louis et Ziguinchor.
Résultats attendus :	
Livrables :	<input checked="" type="checkbox"/> <b>L1 : rapport d'orientation méthodologique</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>L2 : rapport sur l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>L3 : rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L4 : rapport sur l'évaluation de l'impact macroéconomique des différents scénarii</li> <li>• L5 : rapport sur les modèles et scénarii économiques de résilience/d'adaptation aux CC</li> <li>• L6 : rapport sur les pertes et dommages attendues dans les secteurs en cas d'inaction ou de maladaptation</li> </ul>
Mots clés :	Changements climatiques, Etude de vulnérabilité, Kaffrine, Kédougou, Matam, Saint Louis, Ziguinchor

## Introduction

La présente mission s'inscrit dans le cadre du contrat n° C1853/21 en date du 16 août 2021 signé entre le groupement IDEV/INFOGES et la coordination du Projet d'appui au Plan National d'Adaptation du Sénégal (PNA), pour l'élaboration des études de vulnérabilités approfondies aux changements climatiques des secteurs de l'agriculture, de la santé, des infrastructures de transports terrestres et de la gestion des risques de catastrophes axée sur les inondations au niveau national.

Pour rappel, la vulnérabilité face aux changements climatiques est définie comme étant « la situation dans laquelle un système est sensible ou incapable de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. Elle est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation» (CARE, 2010).

La présente étude est financée dans le cadre du Plan National d'Adaptation du Sénégal, avec l'appui du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) et du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). Elle concerne les secteurs de l'agriculture, des infrastructures de transports terrestres, de la santé et de la gestion des inondations. Son objectif est de permettre de renforcer la capacité des ministères sectoriels et des administrations locales à mieux évaluer les impacts du changement climatique et à adapter les politiques et les budgets existants en matière d'intégration des risques posés par les changements climatiques et des mesures d'adaptation à moyen et à long terme.

Mis en œuvre dans le cadre de la composante portant sur l'action de « combler les lacunes et les faiblesses en capacités dans la mise en œuvre du processus PNA », l'étude devra être centrée sur le développement des capacités techniques et fonctionnelles des centres de surveillance du climat et de l'hydrologie (ANACIM, DGPRE), des centres de recherche (LPAOSF/ESP, UCAD, CSE, ISRA) et des décideurs afin de mieux utiliser les informations disponibles sur le climat historique et futur pour planifier les stratégies d'adaptation à court et à long termes.

Il s'agit pour le pays, particulièrement vulnérable aux tendances négatives des changements climatiques et confronté aux défis de faible documentation et disponibilité des données de qualité, de se donner les moyens d'intégrer la dimension climatique dans les politiques sectorielles. Cela permet d'asseoir une meilleure coordination institutionnelle entre les structures étatiques dans l'identification et la réponse aux priorités à moyen et à long terme d'adaptation aux changements climatiques. Il s'agit également de mettre en place des systèmes et capacités nécessaires pour que l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans la planification du développement, l'évaluation des coûts socio-économiques et environnementaux, la prise de décision et la budgétisation du pays soit systématique plutôt que d'être une activité ponctuelle.

### i. Contexte et périmètre de l'étude

Le Sénégal couvre une superficie de 196772 km<sup>2</sup> dont un cinquième (20%) convient à l'agriculture (NEPAD-PDDAA, 2006). C'est un pays sahélien à cheval entre les domaines sahélien et soudanien avec un climat de type semi-aride tropical. Il est marqué par six grandes régions agro écologiques sur la base des caractéristiques climatiques, édaphiques et floristiques.

Avec environ 437 000 exploitations de 4,3 ha en moyenne, le secteur agricole sénégalais contribue pour 15,3% au Produit intérieur brut (PIB) selon la Banque mondiale (<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=SN>), et occupe 69% de la population active, indication de sa faible productivité (<https://agriculture.gouv.fr/senegal>).

Sur les 19,7 millions d'hectares que couvre le pays, 3,8 millions d'hectares sont cultivables. Le pays possède un potentiel irrigable de 350 000 ha avec 130 000 ha de superficies aménagées.

Depuis quelques années l'État du Sénégal a pris l'engagement de verser 10% de son budget annuel dans l'agriculture. De même, le Plan Sénégal Émergent a identifié le secteur agricole comme le principal moteur de la sécurité alimentaire et de la croissance socio-économique à l'horizon 2035.

Malgré toutes les potentialités et les politiques agricoles mises en œuvre depuis l'indépendance, le développement du secteur agricole est confronté à plusieurs facteurs limitants dont le plus déterminant reste le facteur climatique, et particulièrement la pluviométrie et la température.

Les études de vulnérabilité aux changements climatiques montrent une forte sensibilité de l'agriculture. L'évaluation des différents impacts et vulnérabilités au niveau national montre que l'ensemble des secteurs clés du Plan Sénégal Émergent demeurent tous directement ou indirectement exposés aux impacts des changements climatiques. Sur le plan économique, une simulation faite avec le modèle T21 a montré que l'augmentation des températures aura une incidence négative sur la croissance du produit intérieur brute et entrainera un niveau de pauvreté plus élevé au Sénégal (DEEC, 2020). Cette vulnérabilité concerne à la fois les communautés, les écosystèmes, les infrastructures et l'économie.

Cette présente étude s'inscrit dans la continuité des travaux en cours pour une caractérisation de la vulnérabilité aux changements climatiques sur l'ensemble du territoire national et pour l'ensemble des secteurs de développement. En effet, avec l'appui de la GIZ et de Climate Analytics, un travail a été effectué dans la région de Fatick pour le secteur de l'agriculture, dans le cadre du projet « Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA) ». Les résultats de cette étude ont montré une forte sensibilité des céréales (mil, maïs et sorgho) au réchauffement climatique et au déficit pluviométrique de début de saison à Niakhar et à Toubacouta et une meilleure résilience de l'arachide qui connaîtra une légère hausse des rendements (Climate Analytics, 2018).

Une autre étude de vulnérabilité a été menée dans la vallée du fleuve Sénégal, grâce à un appui de l'Agence Française de Développement (AFD) dans le cadre de l'initiative Adapt'Action. Elle a montré que l'agriculture pluviale dans la vallée du fleuve Sénégal est affectée par « des déficits hydriques et des baisses de rendement répétées ». Cela est principalement lié au nouveau contexte climatique qui perturbe le calendrier cultural et expose les cultures à des baisses de la quantité et de la qualité de la production, mais également à une détérioration des aménagements hydro-agricoles et des infrastructures.

Cette partie du pays subit également les effets néfastes de la remontée du niveau de la mer et les conséquences de l'ouverture de la brèche de Saint-Louis (intrusion marine, salinité des eaux et des nappes dans le Delta).

Pour cette étude sectorielle, l'étendue couvre le territoire national.

## ii. Rappel des termes de références

L'analyse de la vulnérabilité approfondie des secteurs de l'agriculture, de la santé, des infrastructures de transports terrestres et de la gestion des risques et catastrophes liés aux inondations est commanditée par le programme PNA-FEM mis en œuvre par le ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD).

La démarche suggérée par le PNA-FEM repose sur une approche participative à travers une étroite collaboration et sous la coordination des comités sectoriels mis en place au sein de chaque ministère sectoriel pour les études de vulnérabilités sectorielles. L'approche participative va reposer sur l'implication des ministères sectoriels, acteurs locaux, communautés locales à travers l'application d'une méthodologie qualitative et quantitative et appliquée aux études de la vulnérabilité.

L'approche basée sur la modélisation climatique globale va servir dans un premier temps, à évaluer les impacts futurs des changements climatiques en se concentrant sur les effets biophysiques. Elle permet de comprendre, systématiser et hiérarchiser les facteurs contribuant à la vulnérabilité des systèmes étudiés. Pour les études, les méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité proposées par le Groupe Intergouvernemental des experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) respectivement dans le 4<sup>ème</sup> rapport (AR4) seront utilisées.

Les livrables attendus à l'issue du déroulement de la mission sont :

- Un rapport sur l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques dans les secteurs des infrastructures de transports terrestres, de la santé, de la GRC/inondation et au besoin dans le secteur de l'agriculture ;
- Un rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques du secteur des infrastructures de transports terrestres ;
- Un rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques du secteur de l'agriculture ;
- Un rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques du secteur de la gestion des risques de catastrophe axée sur les inondations ;
- Un rapport d'analyse de la vulnérabilité approfondie aux changements climatiques du secteur de la Santé ;
- Un rapport sur l'évaluation de l'impact macroéconomique des différents scénarii ;
- Un rapport sur les modèles et scénarii économiques de résilience/d'adaptation aux CC dans les secteurs concernés ;
- Un rapport sur les pertes et dommages attendus dans les secteurs en cas d'inaction ou de mal adaptation au niveau national.

# 1. Objectifs

L'objectif de cette présente étude est de caractériser les facteurs de vulnérabilité de l'agriculture au Sénégal, liés directement au climat et aux changements climatiques.

Sur la base des facteurs de vulnérabilité identifiés, des axes seront identifiés pour les options d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. Celles seront ensuite hiérarchisées, de manière participative avec les acteurs du secteur, pour faciliter l'élaboration du plan national d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques.

## 2. Données et méthodologie

Les données météorologiques décennales ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM).

Les statistiques agricoles sont obtenues auprès de la Direction de l'analyse et des prévisions statistiques du ministère chargé de l'agriculture.

Des questionnaires ont également été élaborés pour collecter, au niveau sectoriel, des données sur les facteurs de vulnérabilité et les options d'adaptation.

Pour les paramètres climatiques, la moyenne de 20 stations a été calculée pour chaque année pour représenter l'indice climatique du Sénégal entre 1994 et 2018 (voir formule ci-dessous). La même approche est utilisée pour les rendements, en considérant les départements correspondant aux stations météorologiques utilisées.

$$I = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n$$

x étant la valeur de la pluie de la station ou du rendement du département  
et n étant le nombre d'observation

Pour résoudre le problème d'échelle entre les données climatologiques et les données agricoles, elles ont toutes été transformées en indices. La comparaison des données climatiques et agricoles a été faite en utilisant la méthode de standardisation qui permet de ramener les variables à la même unité.

$$IS = \frac{x - moy}{ET}$$

où : IS = Indice standardisé, x = la valeur de l'observation,  
moy = moyenne de la série et ET = écart type de la série.

Pour l'analyse de la vulnérabilité future, les sorties de modèles CORDEX (COordinated Regional Experiments) sont utilisées en raison de leur haute résolution, de la bonne coordination dans la conception des simulations et de la disponibilité des scénarios de forçage RCP4.5 et RCP8.5. Ces scénarios ont été utilisés, malgré l'existence des SSP, pour être en cohérence avec les études de vulnérabilité réalisées jusqu'ici, en accompagnement du plan national d'adaptation et basées sur 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC (AR4).

Le RCP4.5 est une hypothèse où, dans le futur, les mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre permettront de réduire le réchauffement qui sera modéré (figure 1). Le scénario RCP8.5 est une hypothèse de concentration maximale de gaz à effet de serre se traduisant par un réchauffement très important dans le futur. Il correspond donc à un forçage maximal sans mesure d'atténuation des émissions (Moss et al. 2010).

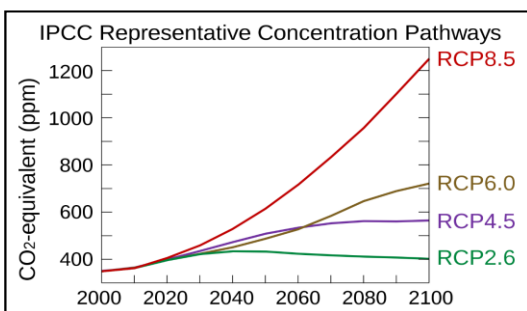


Figure 1 : Trajectoire d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre l'horizon 2100 (GIEC, 2014)

Les sorties de sept modèles climatiques CORDEX (tableau 2 ont ainsi été utilisés pour évaluer l'impact des changements climatiques futurs sur les rendements des cultures d'arachide, de mil et de maïs.

*Tableau 2 : Simulations de CORDEX utilisées dans le modèle d'impact agronomique (en colonne les MCRs ainsi que leurs institutions d'origine et en ligne les MCGs ainsi que leurs institutions d'origine. Le signe «&» indique que le MCR a désagrégé le MCG correspondant) (Sylla, 2022).*

	Modèle: CM5 Institution: CNRM	Modèle: MPI-ESM Institution: MPI-M	Modèle: HadGEM2-ES Institution: UKMOHC
Modèle: RCA Institution: ROSSBY	&	&	&
Modèle: REMO Institution: GERICS		&	
Modèle: CCLM Institution: KIT	&	&	&

L'impact des changements climatiques sur l'agriculture a été évalué par le modèle SIMPLACE géré par l'université de Bonn.

#### Description du modèle SIMPLACE

LINTUL5 est un modèle biophysique qui simule la croissance, la biomasse et le rendement des plantes en fonction du climat, des propriétés du sol et de la gestion des cultures à l'aide d'algorithmes dérivés expérimentalement. LINTUL5 a été largement utilisé dans diverses études à l'échelle d'un site, d'un pays ou d'un continent.

Il a montré sa capacité à simuler la croissance et le développement de l'arachide, du maïs et du mil, et permet de prendre en compte les cultures en rotation. L'effet des cultures de légumineuses sur les cultures suivantes dans la rotation est simulé comme une fraction de l'absorption de l'azote par la fixation biologique qui est un des paramètres de culture.

La version appliquée de LINTUL5 simule la croissance potentielle des cultures (limitée uniquement par le rayonnement solaire) dans des conditions bien arrosées ; approvisionnement suffisant en nutriments ; et l'absence de ravageurs, de maladies et de mauvaises herbes. La production de biomasse est basée sur le rayonnement intercepté selon la loi de Lambert-Beer et l'efficacité d'utilisation de la lumière. La biomasse produite est répartie entre les différents organes de la culture (feuilles, tiges, organes de stockage et racines) selon des coefficients de répartition définis en fonction du stade de développement de la culture. La phénologie est simulée par l'accumulation de temps thermique au-dessus d'une température de base définie. La photosynthèse et le taux de croissance total des cultures sont calculés en multipliant la lumière interceptée et l'efficacité d'utilisation du rayonnement (RUE). La croissance totale de la culture, la répartition des racines et des tiges et l'expansion de la surface foliaire sont en outre influencées par le stress hydrique. Le stress hydrique se produit lorsque l'eau disponible dans le sol se situe entre un point critique défini et un point de flétrissement ou supérieur à la capacité au champ (engorgement). Le point critique est une valeur spécifique à la culture qui est calculée selon une référence et dépend du développement de la culture, de la tension hydrique du sol et de la transpiration potentielle. Les contraintes liées à l'eau, aux nutriments (NPK), à la température et aux radiations limitent l'accumulation quotidienne de biomasse, la croissance des racines et le rendement. Les indices de stress sont calculés quotidiennement pour les limitations en eau et en éléments nutritifs et varient de 0 à 1. L'estimation de l'augmentation quotidienne de la biomasse des cultures considère, un jour donné, l'indice de stress maximal parmi les stress hydriques, azotés, phosphorés et potassiques. Le stress hydrique se produit lorsque l'eau disponible dans le sol est inférieure à la demande en eau des cultures. Il en va de même pour le stress azoté, c'est-à-dire lorsque l'azote disponible pour la culture dans le profil du sol raciné est inférieur à la demande en azote de la culture.

Concernant le modelé agronomique, sa calibration faite avec des coefficients issus des expérimentations en station (à Nioro, Bambey et Sinthiou Malème) et la validation avec des données d'observations de rendement a permis d'obtenir un niveau de précision avec des écarts de moins de 11%. À cela il faudra y ajouter l'incertitude liée aux données de projections climatiques.

Pour simuler un système de culture en continu, le modèle a été intégré dans un cadre de modélisation général, SIMPLACE (Scientific Impact Assessment and Modeling Platform for Advanced Crop and Ecosystem Management). SLIM est un modèle conceptuel de bilan hydrique du sol subdivisant le sol en un nombre variable de couches, remplaçant l'approche à deux couches dans Lintul5. L'effet des résidus de cultures sur le rendement des cultures a été mis en œuvre dans le modèle de culture. Avant la récolte des cultures annuelles, certains paramètres culturaux définissent le taux de mortalité des racines et le début de la sénescence racinaire. Les racines mortes sont transférées dans ce que l'on appelle le "pool de litière de racines" dans le SoilCN SimComponent. L'effet de la rétention des résidus de culture sur la culture se fait principalement par le maintien d'une certaine teneur en azote organique du sol et par la suite des concentrations moyennes d'azote minéral plus élevées dans le sol, améliorant ainsi l'apport moyen d'azote à la culture.

### **3. Difficultés rencontrées**

La principale difficulté a été l'impossibilité d'obtenir des données météorologiques journalières d'observation. En effet, les modèles d'impact agronomique qui donnent les meilleurs résultats requièrent de telles données et on a dû se limiter aux données décennales et mensuelles pour caractériser les facteurs climatiques de vulnérabilité passée et actuelle, avec une approche simplifiée basée sur une corrélation des évolutions temporelles des indicateurs agricoles et climatiques.

Concernant l'analyse de la vulnérabilité future, les résultats des scénarios de changement climatique ont été reçus avec beaucoup de retard, ce qui n'a pas facilité l'exploitation des données fournies.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité et l'identification des stratégies d'adaptation, sur 28 cibles, seuls cinq ont répondu malgré plusieurs relances du comité technique.

## 4. Risques climatiques et vulnérabilité actuelle et future

### 4.1. Indicateurs de vulnérabilité passée et actuelle

Les activités liées à l'agriculture sont fortement influencées par les conditions climatiques (TCN, 2015). En effet, le secteur agricole est dominé par des systèmes de cultures pluviales basés sur l'arachide, le mil, le sorgho, et le niébé. Avec le « programme maïs » des années 2000, cette culture a connu une forte expansion dans le centre-sud, l'est et le sud du pays.

En raison de son caractère pluvial, le premier facteur de risque du secteur agricole est le climat, en raison de variabilité et des changements observés et prévus. En effet, les sécheresses, les inondations et les températures extrêmes occasionnent des pertes importantes de productions, comme ce fut le cas en janvier 2002 (FAO, 2008 ; Khouma 2011).

Durant la période 1994-2018, la variabilité pluviométrique a été un phénomène récurrent qui a accentué la vulnérabilité de l'agriculture. Il n'y a pas une véritable tendance durant cette période (le coefficient de détermination étant presque nulle) et la forte variabilité reste le principal facteur de risque à l'échelle annuelle (figure 2).

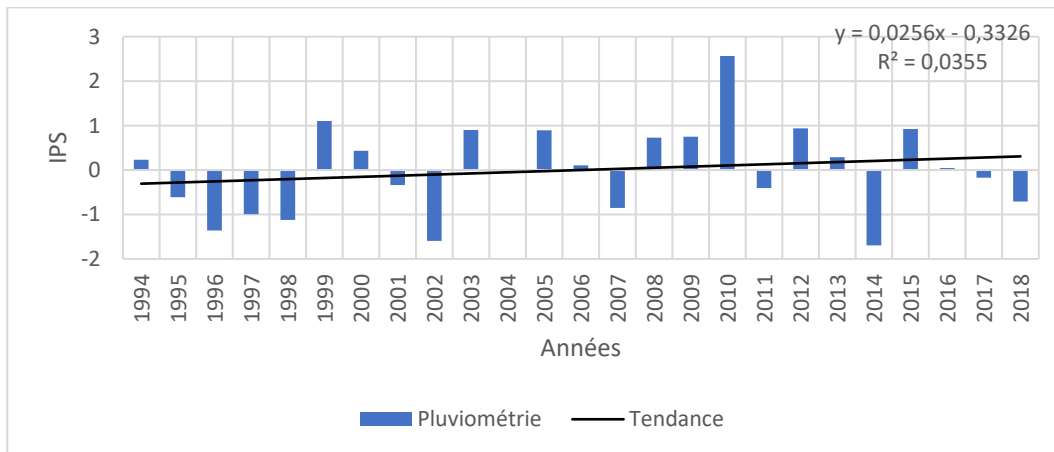


Figure 2 : Anomalies pluviométriques standardisées du Sénégal entre 1994 et 2018

Concernant la température, des études récentes ont montré que l'évolution des températures est marquée par une tendance à la hausse (Ly et al. 2013; Longueville et al. 2016).

L'analyse des figures 3a et 3b confirme cette tendance à la hausse des températures au Sénégal entre 1994 et 2018. L'amorce des anomalies positives de la température est observée en 2003 pour la température maximale et 2004 pour la température minimale (figure 3).

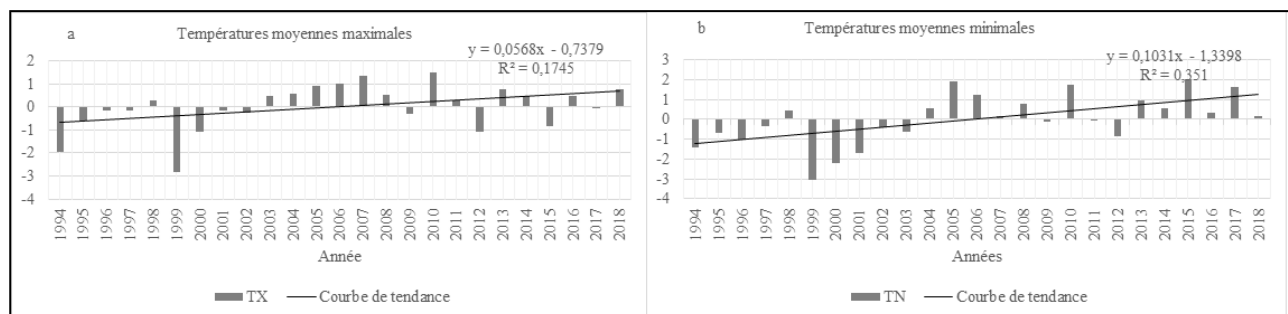


Figure 3 : Anomalies standardisées des températures du Sénégal entre 1994 et 2018 (données ANACIM)

La première période représente 40% de la série soit 10 années. En dehors de l'année 1998 avec 0,43 °C, les autres années ont des écarts négatifs. Les années 1999, 2000, 2001 et 1994 détiennent

les écarts les plus élevés avec respectivement -3,02 ; 2,2 ; 1,71 et 1,43 °C. Les années 1995, 1996, 1997, 2002 et 2003 enregistrent des écarts inférieurs à -1 °C.

Couvrant 60 % de la série, la deuxième partie est dominée par les années à écart positif. L'année 2015 détient le record avec un écart de 2 °C. Les années 2005, 2006, 2010 et 2017 ont des écarts supérieurs à 1°C et celles de 2004, 2007, 2008, 2014, 2016 et 2018 notent des écarts inférieurs à 1 °C.

D'autres facteurs de risques climatiques ont été relevés dans des études antérieures. Il s'agit notamment des pluies hors saison (EMAP, 2004), de l'incertitude et du retard du démarrage de la saison des pluies (Diop, 1996 ; Rauch, 2019) et des événements exceptionnels (fortes pluies, vagues de chaleur ou et de froid).

Considérant les pluies journalières, l'analyse des indices pluviométriques est focalisée sur la pluviosité, en considérant les pluies supérieures à 20 mm. Selon les résultats du rapport sur le secteur des infrastructures, le nombre de jours de pluie supérieure à 20 mm a une fréquence plus importante dans la zone sud du pays. En effet, les valeurs les plus importantes sont observées au niveau des stations de Ziguinchor, Kédougou et Kolda avec 21 et 18 jours observés par an. Les stations de l'est et du centre ont des valeurs entre 7 et 12 jours (Tambacounda, Kaolack, Fatick, Diourbel, Thiès, Dakar et Matam), tandis que Saint-Louis et Louga enregistrent les fréquences les plus faibles avec une moyenne de 4 à 5 jours par an.

## 4.2. Indicateurs de vulnérabilité future

Pour la pluie, on note une baisse des cumuls pluviométriques à l'échelle du Sénégal. Cette baisse est légèrement plus importante dans le long terme, avec le scénario RCP8.5 comparé au RCP4.5 (figure 4). Dans le moyen terme (2035-2050), la différence n'est pas significative entre les deux scénarios. En effet, 627 mm sont attendus en 2040 avec un écart de 224 mm pour le scénario RCP4.5, contre 645 mm avec un écart de 224 mm pour le scénario RCP8.5.

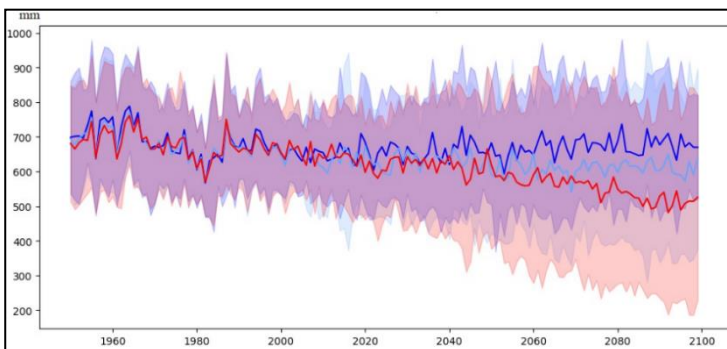


Figure 4 : Évolution des cumuls annuels de pluies au Sénégal à l'horizon 2100 (Géoportail Sénégal)

Cette baisse s'accompagne d'une réduction du nombre de jours de pluies dans le futur (figure 5). Elle sera plus importante pour le scénario RCP8.5, comparativement au RCP4.5. Cela suppose donc que la répartition de la pluie au cours de la saison sera mauvaise et aura un impact négatif sur l'alimentation en eau et la productivité des cultures.

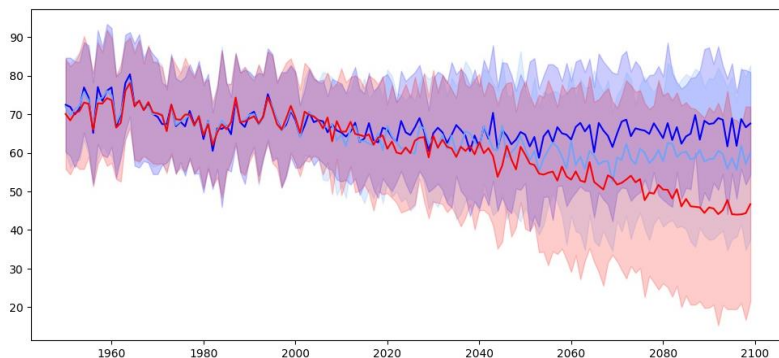


Figure 5 : Évolution du nombre de jours de pluies au Sénégal à l'horizon 2100 (Géoportail Sénégal)

Concernant la température, les projections montrent une tendance à la hausse sur toute l'étendue du territoire pour tous les scénarios aussi bien pour le moyen que le long terme (Figures 6). Le réchauffement le plus faible est généralement observé dans les régions de Dakar, de Thiès et de Ziguinchor alors que le réchauffement le plus élevé est attendu dans les régions de Matam et de Tambacounda, surtout pour le scénario RCP8.5.

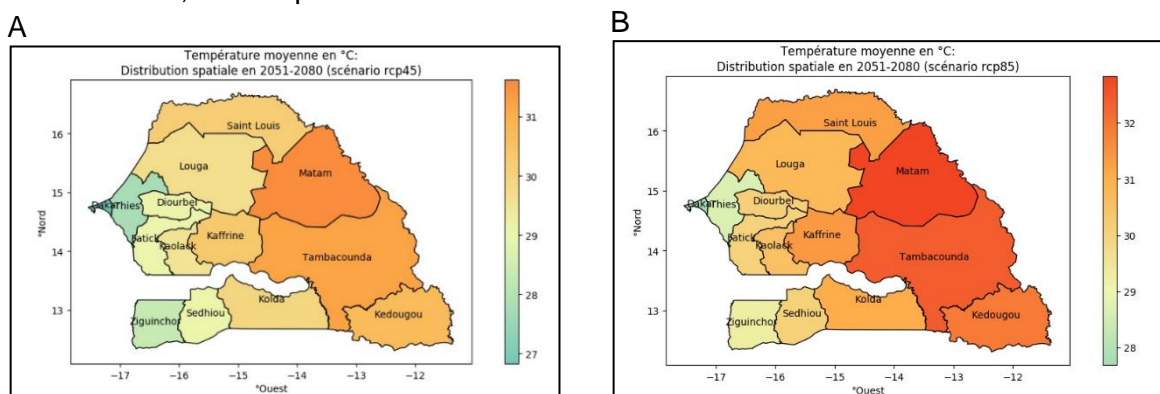


Figure 6 : Projections des températures moyennes au Sénégal en 2051-2080 (Géoportail Sénégal)

Il faut également noter que l'augmentation des températures sera beaucoup plus importante avec le scénario RCP8.5 durant le long terme (figure 7).

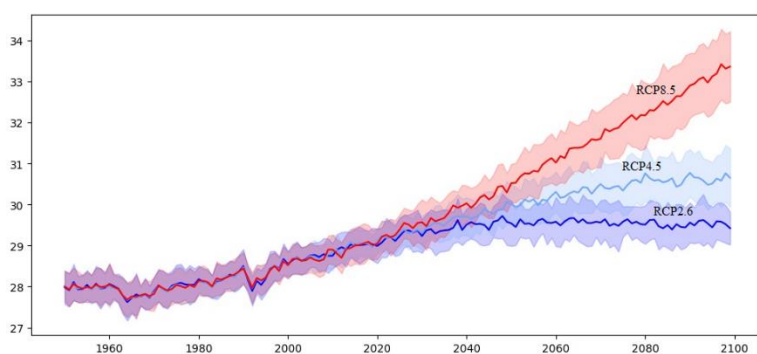


Figure 7 : Évolution des températures moyennes selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 à l'horizon 2100

Les périodes caniculaires attendues pourraient ainsi augmenter la demande en eau des plantes, dans un contexte de baisse des pluies annoncée dans le long terme avec le scénario RCP8.5. L'analyse de la durée de l'hivernage, réalisée dans le cadre du PAS-PNA, confirme la tendance future de réduction de sa durée, déjà mise en évidence dans le passé (Diop, 1996). En effet, « à l'horizon 2035, des longueurs de saison d'environ 75 jours seront observées dans les deux sites, qui vont ensuite diminuer jusqu'à atteindre 65 à 70 jours en 2050. Au-delà de 2060 la longueur de la saison diminue jusqu'à atteindre 50 jours donc très défavorable à la plupart des cultures » (PAS-PNA).

## 5. Évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture

Pour l'évaluation de la vulnérabilité agricole au niveau national, le comité national a retenu les cultures d'arachide, de mil, de maïs, de riz et l'élevage (intensif et extensif). L'exploitation des résultats de l'enquête réalisée auprès d'acteurs au niveau national montre que les systèmes de productions agricoles affectés par les chocs climatiques sont le système horticole de contre saison et l'agriculture traditionnelle avec comme sous système de production l'agriculture pluviale et l'agriculture de décrue, la riziculture irriguée et les systèmes d'élevage extensif et intensif. En l'absence de statistiques sur les produits horticoles, ce travail sera axé sur le système traditionnel tel que retenu par le comité sectoriel sur l'agriculture.

Ces cultures sont pratiquées dans différents systèmes de production. Le système pluvial concerne les céréales dont les plus fréquentes sont le mil, le sorgho, le maïs, le fonio, le sésame, le riz de plateau et de bas fond, mais également les légumineuses qui comportent l'arachide et le niébé. On rencontre le système pluvial sur la quasi-totalité du pays, en dehors vallées du fleuve Sénégal, du bassin de l'Anambé et de la zone des Niayes où prédomine le système irrigué. Ce dernier concerne principalement la riziculture irriguée dans les vallées du Sénégal et de l'Anambé et l'horticulture dans la zone des Niayes et dans la vallée du fleuve Sénégal. L'horticulture est dominée par l'oignon, la pomme de terre et la tomate.

### 5.1. Vulnérabilité passée et actuelle au climat

#### 5.1.1. Les facteurs climatiques

De tous les facteurs climatiques, la pluviométrie est de loin le paramètre le plus important dans les activités agricoles. En effet, dans le système traditionnel, les cultures sont en grande majorité pluviales et se pratiquent pendant l'hivernage qui dure 3 à 5 mois selon les régions et rythme les activités culturales. Avant les sécheresses sahéliennes des années 70 et 80, les bonnes conditions pluviométriques permettaient d'assurer de bons rendements pour les différentes spéculations cultivées. Avec les épisodes de sécheresses, un impact négatif a été noté sur la performance des cultures pluviales. En effet, l'enquête réalisée auprès des acteurs au niveau national et les résultats de l'étude menée par EMAP (2004) ont révélé que la sécheresse constitue le facteur climatique de vulnérabilité le plus important. L'analyse de l'évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie annuelle et des rendements agricoles montre clairement la dynamique synchrone de ces deux paramètres.

Pour l'arachide, les années 1996, 1997, 2002, 2004, 2007, 2011 et 2014 ont enregistré une pluviométrie et des rendements déficitaires (figure 8). À l'opposé, les années 1999, 2000, 2003, 2005, 2009, 2010, 2012, 2015 et 2016 ont noté une pluviométrie et des rendements excédentaires.

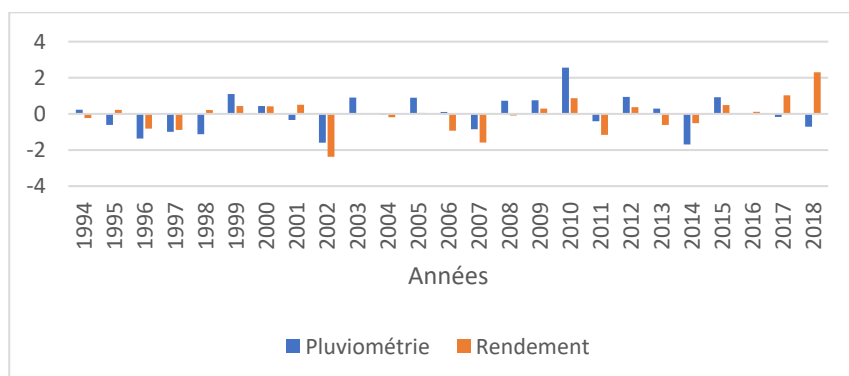


Figure 8 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements d'arachide au Sénégal (1994-2018)

La pluviométrie annuelle explique 31,5% de la variation des rendements d'arachide entre 1994 et 2018 (figure 9).

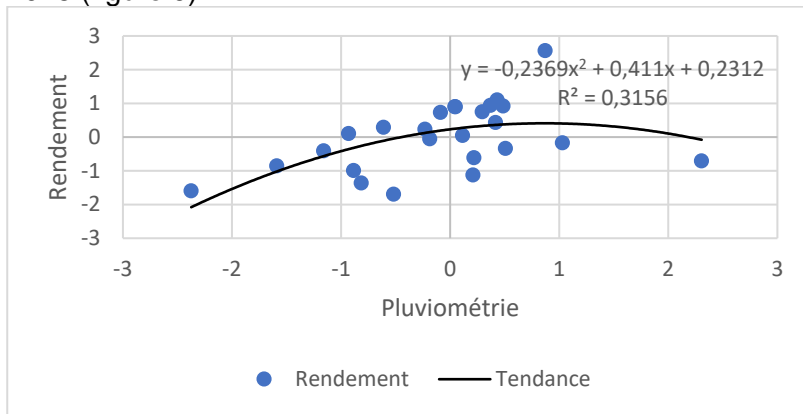


Figure 9 : Corrélation entre rendement d'arachide et pluviométrie au Sénégal (1994-2018)

Pour le mil, les déficits hydriques observés en 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2004, 2007, 2011 et 2014 ont entraîné des rendements agricoles plus faibles durant ces années. Pendant les années d'excédent pluviométrique (1999, 2000, 2003, 2005, 2008, 2012 et 2015), de bons rendements agricoles ont également été observés (figure 10).

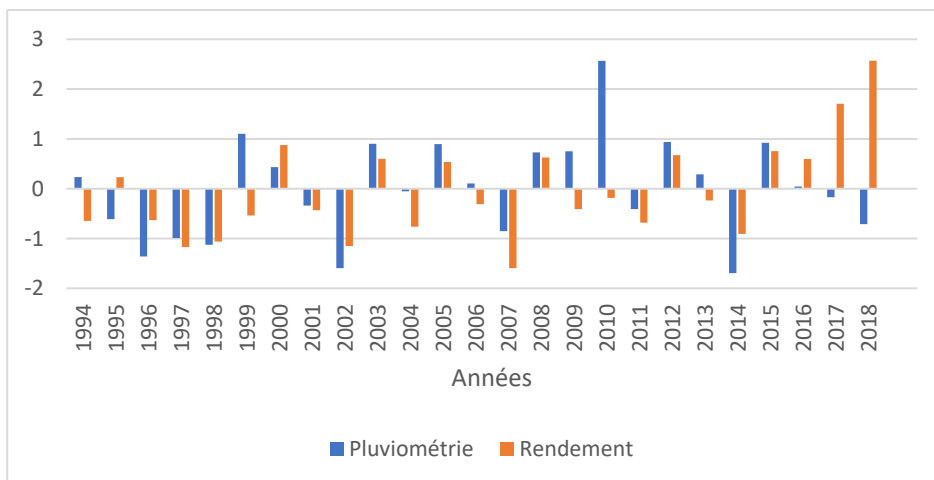


Figure 10 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de mil au Sénégal (1994-2018)

L'analyse de la corrélation entre la pluviométrie interannuelle et les rendements de mil montre que 42% de la variance des rendements de mil sont expliqués par la pluie annuelle, soit un coefficient de corrélation de 0,65 (figure 11).

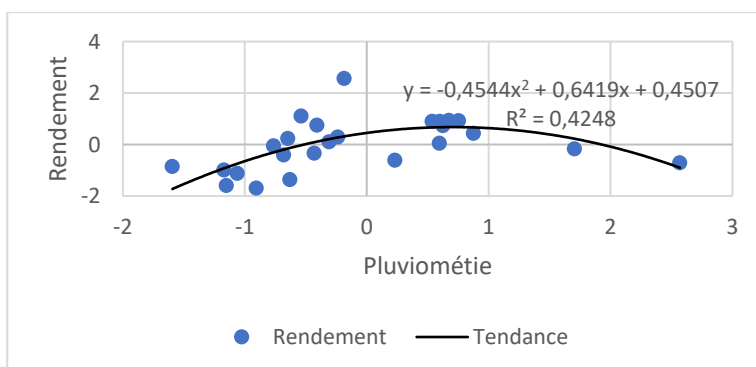


Figure 11 : Corrélation entre rendement de mil et pluviométrie au Sénégal (1994-2018)

Concernant le maïs, les années 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2007, 2011 et 2014 ont connu une pluviométrie et des rendements déficitaires. L'analyse de la figure 12 montre aussi que les années 2003, 2005, 2006, 2008, 2013, 2014 et 2015 ont réalisé une pluviométrie et des rendements excédentaires. Seulement 36% des années n'ont pas de correspondance entre pluviométrie et rendement du maïs.

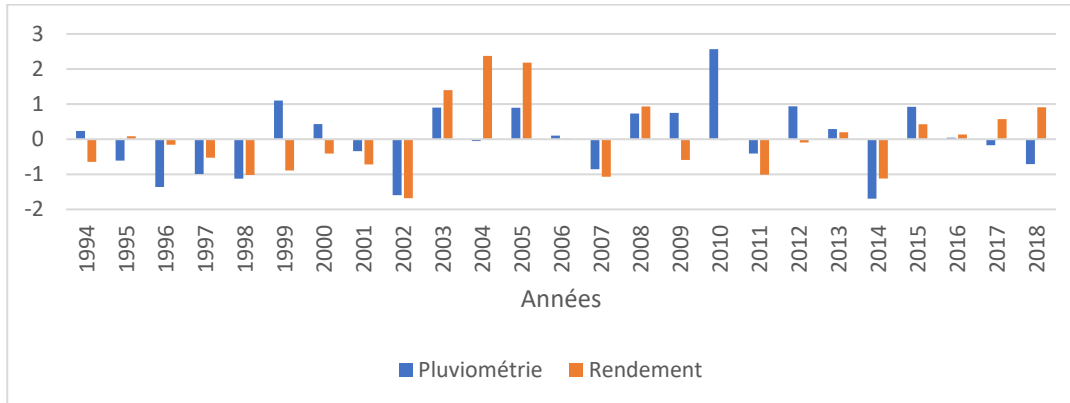


Figure 12 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de maïs au Sénégal (1994-2018)

L'analyse de la figure 13 montre qu'avec un coefficient de détermination de 0,2554 sur la période 1994-2018, la pluie annuelle explique 50% de la variance des rendements de maïs.

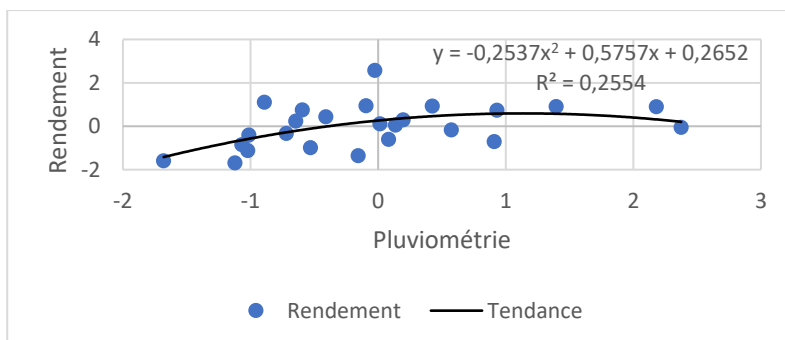


Figure 13 : Corrélation entre rendement de maïs et pluviométrie au Sénégal (1994-2018)

Pour le riz, des pluviométries et des rendements déficitaires sont enregistrés pendant les années 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2004, 2007, 2014 et 2017. A l'inverse, les années 2003, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2015 laissent apparaître une pluviométrie et des rendements excédentaires (figure 14).

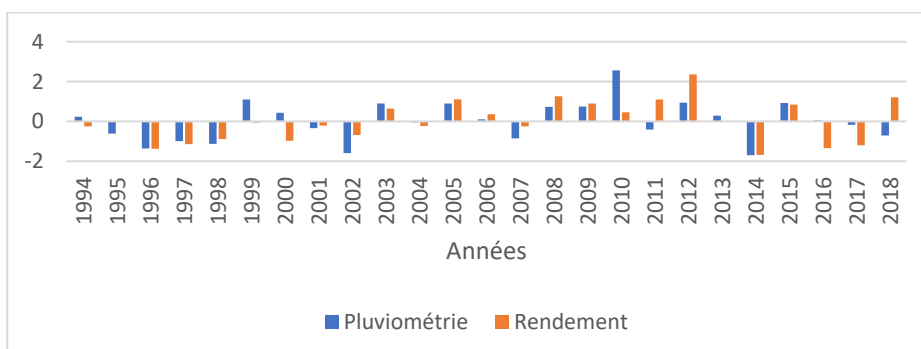


Figure 14 : Évolution des anomalies standardisées de la pluviométrie et des rendements de riz au Sénégal (1994-2018)

Pour mesurer la relation statistique entre les deux paramètres, la corrélation logarithmique utilisée montre que 36% de la variance des rendements de riz sont dus à la pluviométrie annuelle, avec un coefficient de corrélation de 0,60 (figure 15).

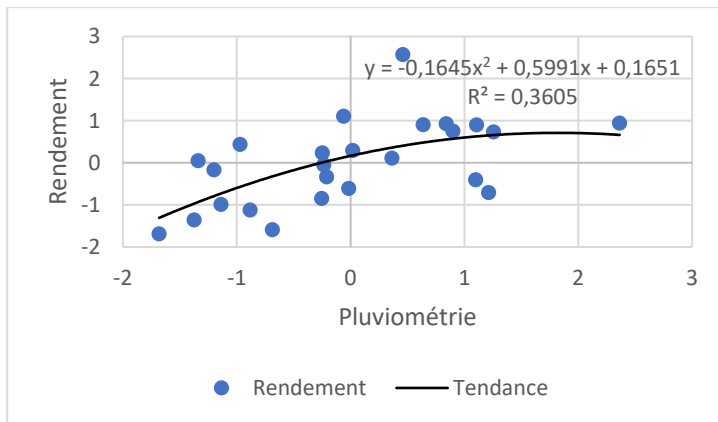


Figure 15 : Corrélation entre rendement de riz et pluviométrie au Sénégal (1994-2018)

D'autres facteurs de vulnérabilité liés au climat ont été mis en évidence par les résultats de l'enquête. Il s'agit notamment de la variabilité intra-annuelle de la pluviométrie, des événements extrêmes (vague de froid ou de chaleur, vents violents, inondations), des pluies hors saison.

### 5.1.2. Évaluation de la vulnérabilité liée au climat

L'évaluation de la sensibilité et de l'exposition est basée sur une échelle de 0 (nulle) à 4 (très forte), les valeurs de 1, 2 et 3 représentant respectivement un niveau faible, moyen et fort.

L'analyse de la figure 16 montre que l'agriculture pluviale présente une très forte sensibilité et une très forte exposition à la sécheresse et au retard des pluies. Elle a aussi une forte sensibilité et une forte exposition aux très fortes pluies. La plus faible sensibilité et la plus faible exposition de l'agriculture pluviale sont observées respectivement avec les pluies hors saison et les vagues de froid.

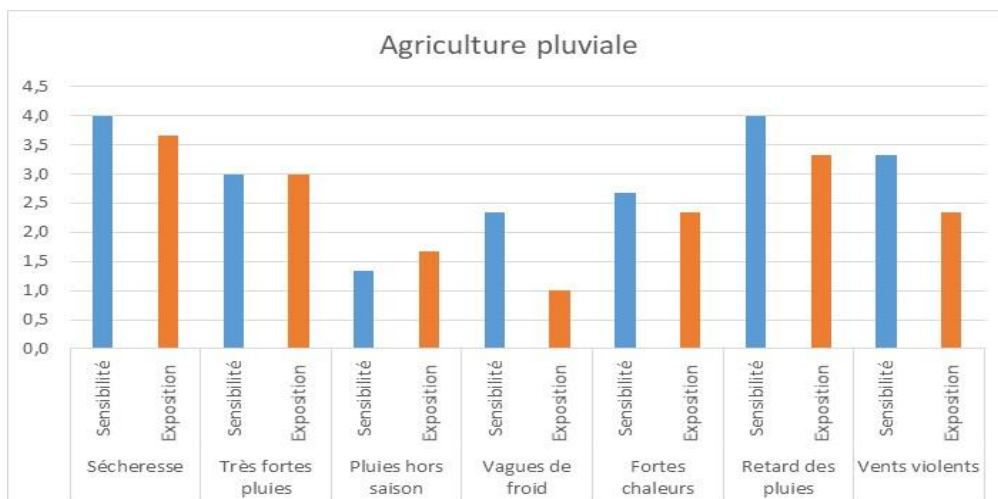


Figure 16 : Sensibilité et exposition de l'agriculture pluviale à la variabilité et au changement du climat

Concernant la riziculture irriguée, la sécheresse est le principal facteur de risque climatique avec une très sensibilité et une très forte exposition (figure 17). Ce système de production est également moyennement sensible aux vagues de froid et aux vents violents. La plus faible sensibilité et la plus faible exposition de la riziculture irriguée sont observées respectivement avec les pluies hors saison le retard des pluies.

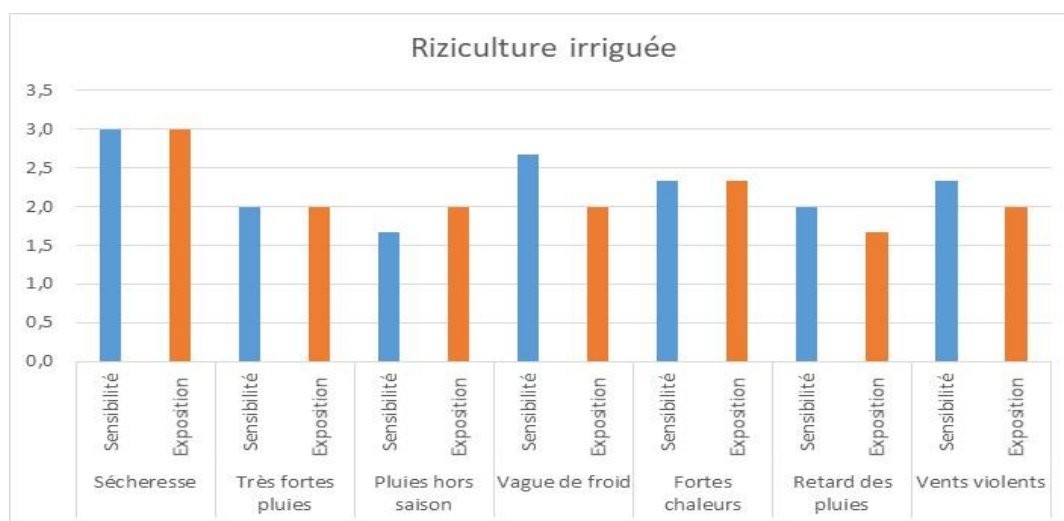


Figure 17 : Sensibilité et exposition de la riziculture irriguée à la variabilité et au changement du climat

Le système de production maraîchère est fortement sensible à la sécheresse et aux très fortes pluies (figure 18). Il est aussi fortement exposé aux fortes chaleurs. La sensibilité est moyenne pour les pluies hors saison, les vagues de froid, le retard des pluies et les vents violents. Une forte exposition aux fortes chaleurs et une faible exposition aux vaques de froid sont également révélées par les enquêtes.

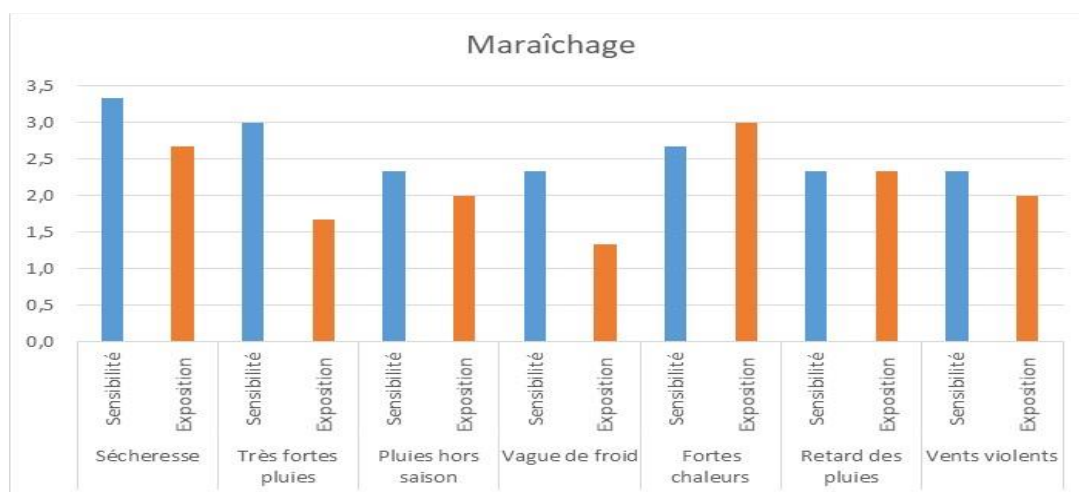


Figure 18 : Sensibilité et exposition du système de production maraîcher à la variabilité et au changement du climat

L'élevage extensif est fortement sensible à la sécheresse et au retard d'installation des pluies (figure 19). Il est également fortement exposé à la sécheresse, aux fortes chaleurs et au retard des pluies. Une forte sensibilité est notée aussi pour les vagues de froid et les pluies hors saison. L'exposition et la sensibilité aux très fortes pluies et aux vents violents sont moyennes.

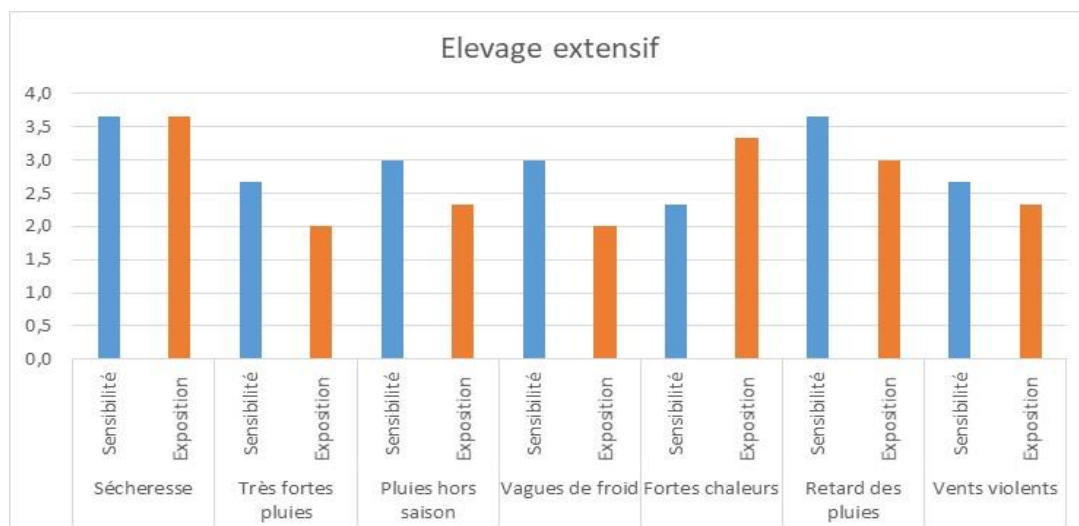


Figure 19 : Sensibilité et exposition de l'élevage extensif à la variabilité et au changement du climat

L'élevage intensif est le système le moins sensible et le moins exposé à la variabilité et au changement du climat. En effet, ce système est moyennement sensible à la sécheresse, aux vagues de froids, aux fortes chaleurs et au retard des pluies (figure 20).

Il est moyennement exposé à la sécheresse, aux fortes chaleurs et au retard des pluies. L'exposition aux pluies hors saison est faible, de même que la sensibilité aux très fortes pluies (figure 20).

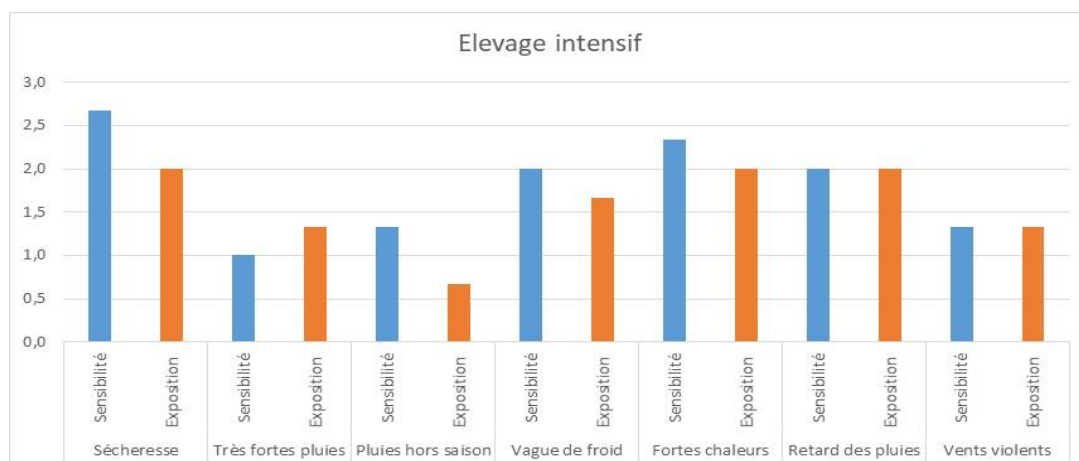


Figure 20 : Sensibilité et exposition de l'élevage intensif à la variabilité et au changement du climat

### 5.1.3. Les autres facteurs liés à la baisse des rendements agricoles

En dehors du climat, d'autres facteurs naturels et anthropiques contribuent à la baisse des rendements agricoles. Selon la DPEE (2013), « des filières comme l'arachide sont confrontées à des contraintes liées non seulement aux perturbations climatiques mais aussi à la dégradation des sols, à l'absence de renouvellement et d'entretien du parc de matériel, à l'insuffisance de l'appui ou conseil aux producteurs etc. À cela s'ajoute le dépeuplement des campagnes à travers le phénomène de l'exode rural.

Des facteurs de risques non climatiques ont également été identifiés dans des travaux antérieurs et au cours de l'enquête réalisée dans le cadre de cette étude (EMAP, 2004). Il s'agit, entre autres, des invasions de sauterelles et autres ravageurs, des maladies, de la divagation des animaux, des inondations, du vol de production, etc. (figure 21).

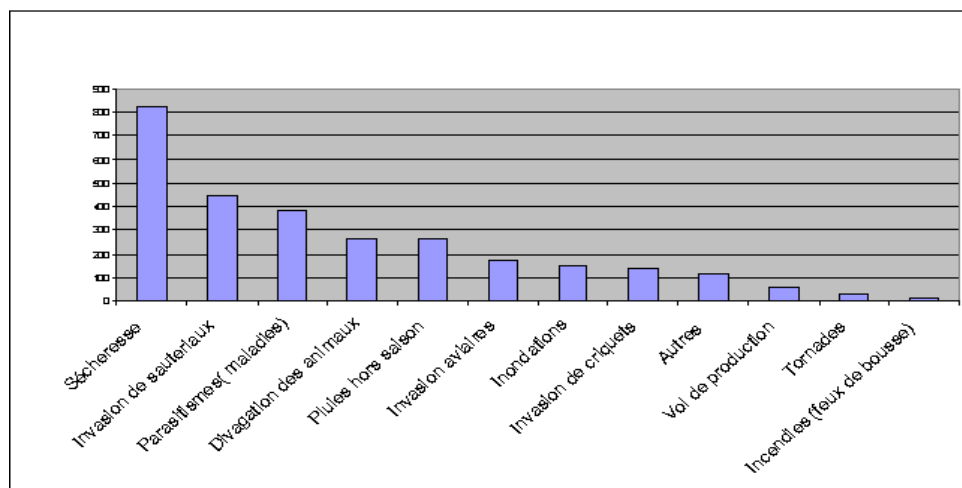


Figure 21 : Risques liés à la production agricole au Sénégal (EMAP, 2004)

### 5.1.3.1. La dégradation des terres

La dégradation des sols est un phénomène bien présent au Sénégal. Selon l'analyse environnementale pays du Sénégal réalisée en 2008 par la Banque mondiale, les terres dégradées sont estimées entre 36% et 40% et les 2/3 des terres arables sont touchées par ce phénomène. La prédominance des sols ferrugineux tropicaux et la nature sableuse des sols expliquent l'intensité de l'érosion hydrique lors des fortes pluies et éolienne avec la présence de l'harmattan, vent chaud et sec. Existant depuis des dizaines d'années, le problème menace désormais toutes sortes d'activités, en particulier dans les secteurs de la production agricole, pastorale et forestière. Selon Boissy (2021), l'érosion a causé une baisse de la production céréalière de 686 072 tonnes au cours de la période 2004 et 2009 au Sénégal.

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle mondiale. En 1997, la superficie des terres salées au Sénégal était estimée à 1 700 000 ha par le Bureau pédologique de la Direction de l'Agriculture, soit près 45 % de la superficie totale cultivable du pays, un taux qui démontre l'ampleur de la dynamique des terres salées. Ce phénomène affecte surtout le Bassin Arachidier, la vallée du fleuve Sénégal et la Casamance. En effet, l'extension des terres salées provoque un déséquilibre environnemental qui affecte l'activité agricole, et dont l'impact se résume à la réduction des terres arables (Faye et al, 2019).

### 5.1.3.2. Le manque d'équipements agricoles

L'agriculture sénégalaise souffre depuis toujours du manque d'équipements agricoles. Il s'agit pour l'essentiel du petit matériel agricole rudimentaire très vétuste comme la houe occidentale, la houe sine, le semoir, la charrue, la charrette, les animaux de traits, etc.

Malgré une longue histoire en matière de mécanisation agricole, aussi bien en matériel de culture attelée qu'en motorisation, et les différentes stratégies de mécanisation mises en œuvre pour contribuer à l'intensification de la production agricole, la performance en matière de mécanisation reste très faible. En effet, les données de agridata.sn sur les machines agricoles (11710 tracteurs soit 38,7 machines agricoles, tracteurs par 100 km<sup>2</sup> de terres arables au Sénégal) entre 1994 et 2012, prouvent clairement que le secteur agricole sénégalais souffre énormément de l'insuffisance de la mécanisation du secteur agricole. Selon le PRACAS (2014) de 2000 à 2012 il n'y a eu que 50 000 unités (semoirs, houes, arara.) qui ont été distribuées dans le bassin arachidier.

L'équipement motorisé ne concerne pour l'essentiel que les périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal, de l'Anambé, la zone cotonnière (Programme sénégalais-indien) ainsi que quelques organismes d'assistance au monde rural.

Selon les travaux de l'ISRA et de la SAED (2008) sur la mécanisation de la riziculture (opérations culturales, technologies post-récoltes et transformation), cités par le PRACAS (2014), il ressort que dans la vallée du fleuve Sénégal, 43% des tracteurs, 22% des équipements, 53% des matériels de récolte et 64% des batteuses sont soit en panne ou soit inutilisables parce qu'inadaptés à l'environnement de la vallée. Dans ces conditions, les tracteurs ne couvrent que 50% des besoins en travaux culturaux, les moissonneuses-batteuses et les batteuses respectivement 20% et 4% des demandes. Néanmoins, les demandes en matériels motorisés, tous genres confondus, augmentent dans l'ensemble du territoire national et surtout dans les zones de riziculture irriguée.

### 5.1.3.3. Le dépeuplement des campagnes

L'exode rural, à savoir le déplacement des populations vers ou à partir des villes et entre les zones rurales s'accroît de plus en plus et vide les campagnes. Aujourd'hui, les exploitations agricoles s'enfoncent dans un processus de dégradation continue. Plusieurs régions agricoles se retrouvent face à un problème d'exode des jeunes et donc, de diminution de la main d'œuvre disponible. Ce phénomène prive l'agriculture de ses bras les plus valides qui migrent vers les villes et vers l'étranger, à la recherche d'emplois, de revenus et de mieux-être. Le manque d'intérêt des jeunes pour l'agriculture se mesure par cette assertion d'un vieux producteur lors d'une enquête menée dans la région de Thiès en 2007 dans le cadre du projet Infoclim mis en œuvre par le Centre de Suivi Ecologique : « ceux qui aiment l'agriculture ne peuvent pas la pratiquer, et ceux qui peuvent la pratiquer ne l'aiment pas ». Cela fait référence aux personnes âgées qui n'ont plus la force de travailler dans les champs, à l'opposé des jeunes qui préfèrent migrer vers les centres urbains. Cette enquête avait révélé que 70% des jeunes qui partent en exode ne reviennent plus dans les champs.

Parmi les risques non climatiques révélés par l'enquête auprès des services techniques de l'Agriculture, des organisations de producteurs et des ONG, on peut citer la non maîtrise des itinéraires techniques de production, les dysfonctionnements récurrents dans l'approvisionnement en intrants (retard, insuffisance, problème dans la distribution), le déficit de financement, les problèmes fonciers, les problèmes de commercialisation, les contraintes matérielles, etc. (tableau 3).

Tableau 3 : Facteurs non climatiques de vulnérabilité de l'agriculture au Sénégal

Syst. ou sous syst. production	Contraintes	Effets/ Impacts passés ou actuels	Éléments impactés
Cultures irriguées de contre saison (riz, maraîchage)	Manque ou vétusté du matériel agricole et des aménagements hydro-agricoles dans la vallée	Pénibilité du travail	Baisse de la productivité
Riziculture irriguée	Non maîtrise des itinéraires techniques ;	Cultures	Baisse des rendements et de la production
	Non maîtrise de l'eau à l'échelle parcellaire	Cultures	Baisse des revenus
	Absence de protection contre les crues pour les petits périmètres	Émigration	Moyens de subsistance
	Manque de contrôle effectif de l'eau aussi bien au plan quantitatif qu'au plan chronologique (panne, rupture de carburant)	Pauvreté galopante	Production alimentaire
Agriculture pluviale	Urbanisation	Réduction des espaces agricoles	Terres agricoles
	Concurrence de l'agrobusiness	Accès au foncier	Terres agricoles
	Nombre élevé de petites organisations	Capacité de négociation de producteurs	Revenus des producteurs
	Manque de connaissances des producteurs	Capacité de négociation de producteurs	Revenus des producteurs

Syst. ou sous syst. production	Contraintes	Effets/ Impacts passés ou actuels	Éléments impactés
Système d'élevage extensif	Manque de couloirs de transhumance	Mobilité	Alimentation du bétail
Système d'élevage intensif	Manque de financements et cherté des prix de l'aliment bétail	Alimentation du bétail	Production de viande et de lait
	Cherté des produits animaux problème de transformation et de commercialisation	Alimentation du bétail	Revenus des producteurs
Agriculture pluviale	Non maîtrise des itinéraires techniques	Baisse des rendements et de la production	Basse des revenus
	Non maîtrise de l'eau à l'échelle parcellaire	Baisse des rendements et de la production	Basse des revenus
	Faiblesse de l'appui-conseil	Baisse des rendements	Production alimentaire
Agriculture pluviale (mil, arachide)	Pression foncière du fait de la forte croissance démographique	Diminution des surfaces exploitables par ménage (moins de 4 ha)	Impossibilité de faire des jachères de longues durées
			Baisse de la fertilité des sols
Culture maraîchères	Non maîtrise des itinéraires techniques	Baisse des rendements et de la production	Baisse des revenus
Maraîchage	Débit faible	Surexploitation des points d'eau	Cultures maraîchères
	Forte utilisation des intrants chimiques	Pollution	Eaux et sols
Maraîchage irrigué (zone de Fatick)	Salinisation des eaux souterraines	Difficultés à produire des légumes et des fruits	Les arbres fruitiers touchés par le sel finissent par mourir (ex. manguiers)
Maraîchage irrigué (zone de Podor)	Systèmes de pompage et d'irrigation basés sur l'utilisation d'énergie thermique	Coût d'investissement très élevé	Faible rentabilité des productions

## 5.2. Vulnérabilité future au climat

L'évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture au climat futur a été faite en utilisant les facteurs climatiques basés sur la pluie et la température. Les données utilisées sont des sorties de modèles CORDEX (Sylla, 2022). Le modèle agronomique SIMPLACE est utilisé pour simuler le comportement des cultures ciblées (arachide, mil et maïs), avec le rendement comme indicateur.

Pour les variétés d'arachide à cycle long, les projections futures montrent une baisse des rendements par rapport à la période historique (figure 22). Cette baisse est estimée à 65% pour le scénario RCP4.5 sur la période 2020-2050 et de 67% sur la période 2035-2065.

Pour le scénario RCP8.5, le pourcentage de baisse attendue est de 85% pour les périodes 2020-2035 et 2035-2065. La même observation est faite pour la variété à cycle court (Fleur 11) avec une baisse de -56% et -71% pour le RCP4.5 en 2020-2050 et en 2035-2065. Pour le RCP8.5 la baisse est plus accentuée avec -82% quelle que soit la période.

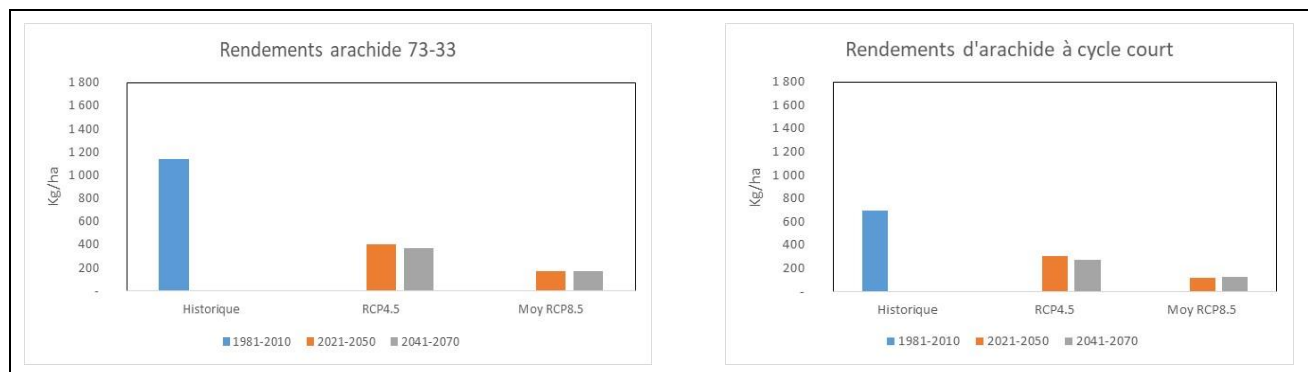


Figure 22 : Simulation des rendements d'arachide avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparé à la période historique (1981-2010)

La culture du maïs présente des situations différentes selon la longueur du cycle de la variété et selon les scénarios de changement climatique. En effet, pour le maïs à cycle long, une hausse des rendements est attendue avec le scénario RCP4.5 (figure 23). Les pourcentages de hausse sont de 30% et 21% respectivement pour les périodes 2020-2050 et 2035-2065.

En revanche, une baisse de rendement de 40% est attendue avec le scénario RCP8.5 pour la période 2020-2035 et de 41% pour la période 2035-2065, en comparaison avec la situation de référence (1981-2010).

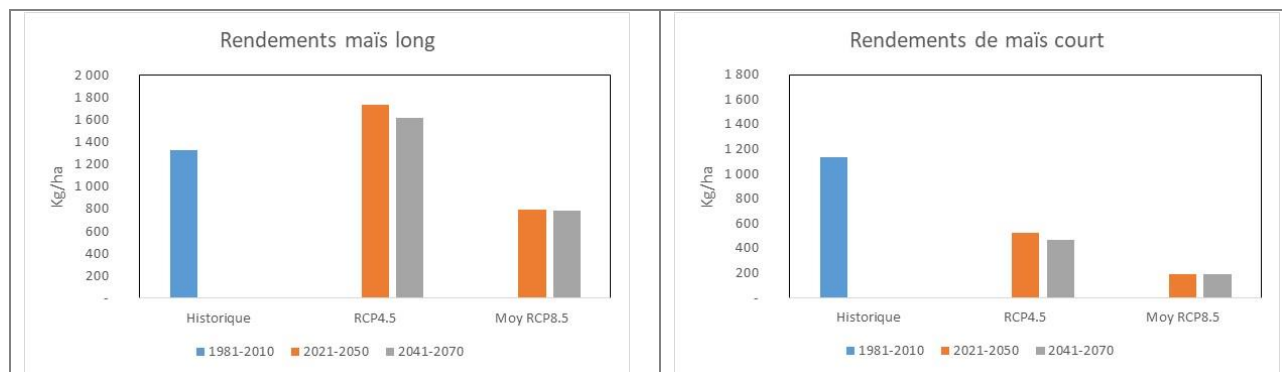


Figure 23 : Simulation des rendements de maïs avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010)

Concernant la variété de maïs à cycle court, une baisse des rendements est prévue pour les deux scénarios et sera plus accentuée pour le scénario RCP8.5. Le pourcentage de baisse prévue avec le RCP4.5 est de 54% pour la période 2020-2050 et 58% pour la période 2035-2065. Elle est de 83% avec le scénario RCP 8.5 pour les deux périodes.

Concernant la culture de mil, les conditions climatiques prévues avec le scénario RCP4.5 permettront d'avoir des rendements en hausse pour le mil à cycle long pour le scénario RCP4.5 par rapport à la période historique 1981-2010 (figure 24). Le pourcentage de hausse prévue est de 40% pour la période 2020-2050 et 30% pour la période 2035-2065. En revanche, considérant le scénario RCP8.5, une baisse de rendements de 40% est prévue à aux horizons 2020-2050 et 2035-2065.

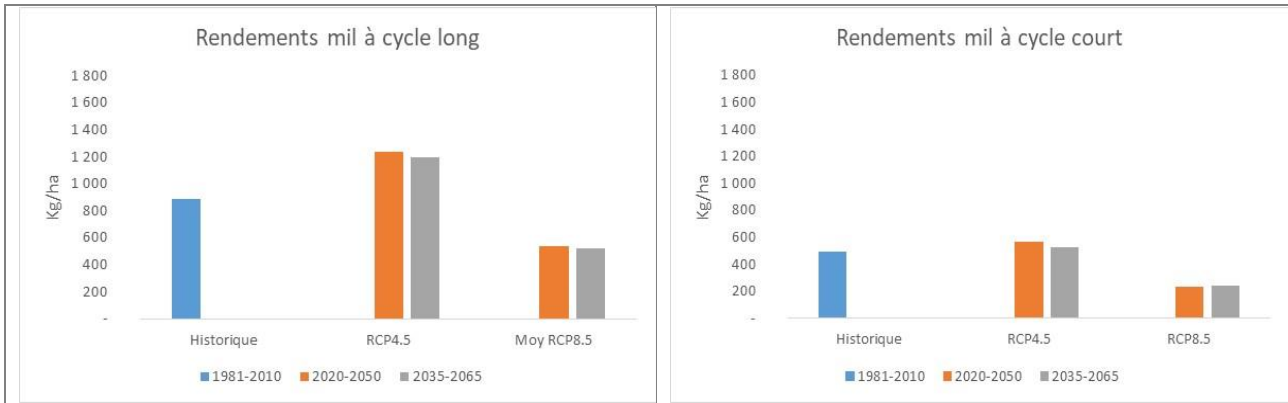


Figure 24 : Simulation des rendements de mil avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010)

Pour les variétés de mil à cycle court, les résultats montrent également une hausse des rendements pour le scénario RCP4.5 et une baisse pour le RCP8.5. Le pourcentage de hausse avec le RCP4.5 est de 16% pour la période 2020-2050 et de 7% pour la période 2035-2065. Le pourcentage de baisse avec le RCP8.5 est de 53% pour la période 2020-2050 et de 51% pour la période 2035-2065.

Concernant le riz, une hausse des rendements est observée globalement au Sénégal pour les variétés Nerica 8 et Nerica 12, aux horizons 2035 et 2065 (figure 25).

Les changements climatiques semblent ne pas affecter les rendements de riz cultivé au Sénégal, en considérant ces deux variétés.

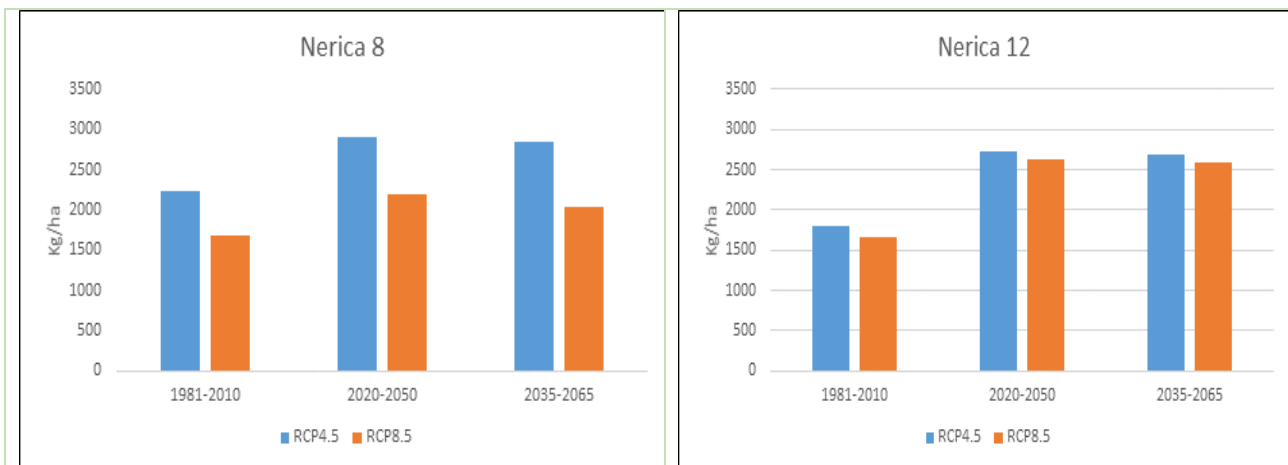
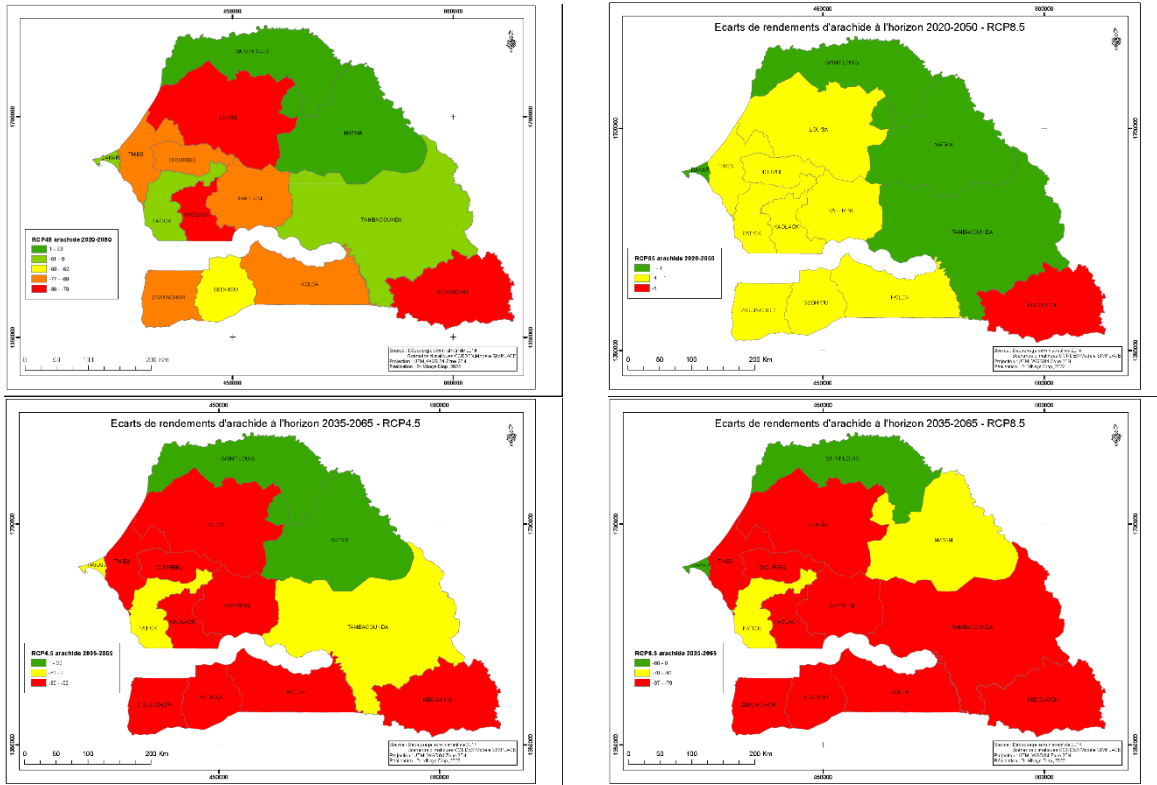


Figure 25 : Simulation des rendements de riz avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5, comparée à la période historique (1981-2010)

La cartographie du risque climatique sur les rendements montre que l'impact du changement climatique sur la productivité des cultures est différent selon la situation géographique.

En effet, les écarts de rendement, toutes variétés confondues, peuvent être positifs ou négatifs, en comparant les scénarios futurs (2020-2050 et 2035-2065) avec la période historique (1981-2010).

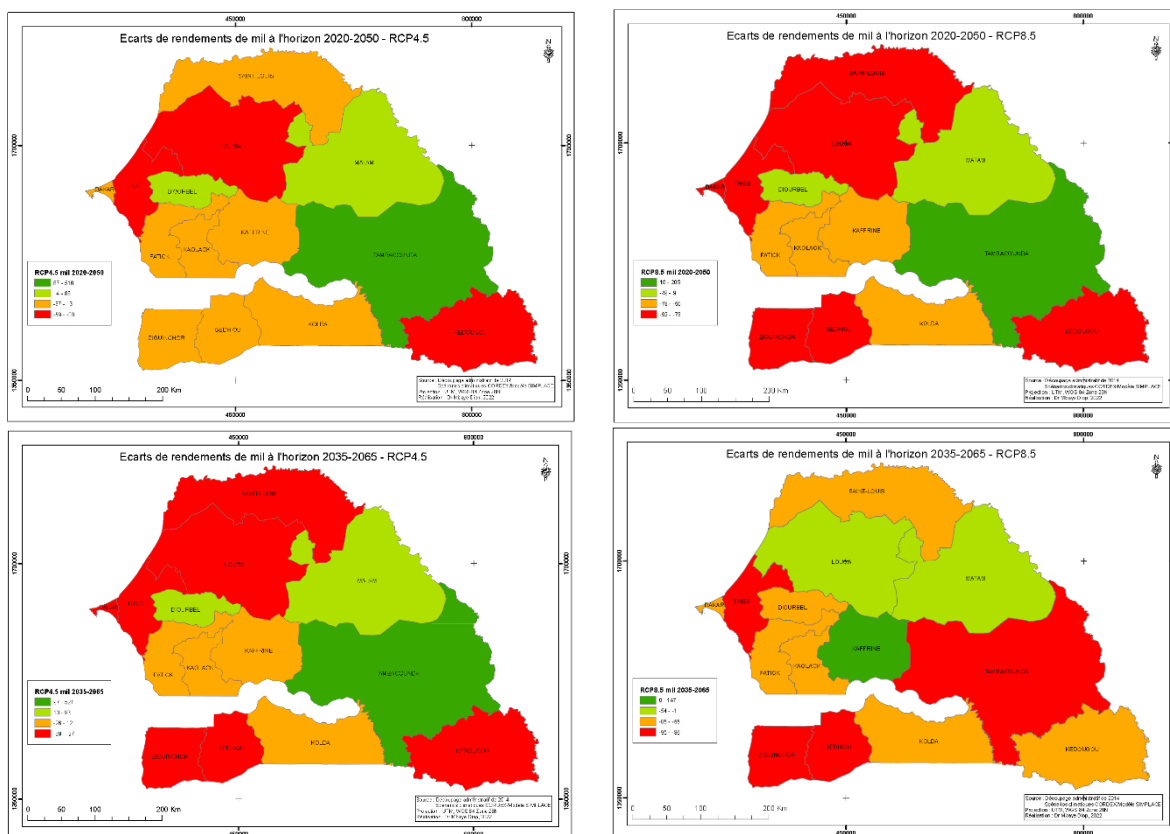
Pour l'arachide, une hausse des rendements est attendue quelle que soit la période, avec le scénario RCP4.5 dans la zone nord (régions de Saint-Louis et Matam), alors que partout ailleurs, des baisses sont attendues (carte 1). Ces baisses sont plus accentuées dans les régions de Louga, Kaolack et Kédougou avec des pertes plus accentuées. Pour le scénario RCP8.5, les rendements d'arachide sont relativement stables pour la période 2020-2050, alors que des baisses sont partout observées pour la période 2035-2065.



Carte 1 : Écarts des rendements d'arachide entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010

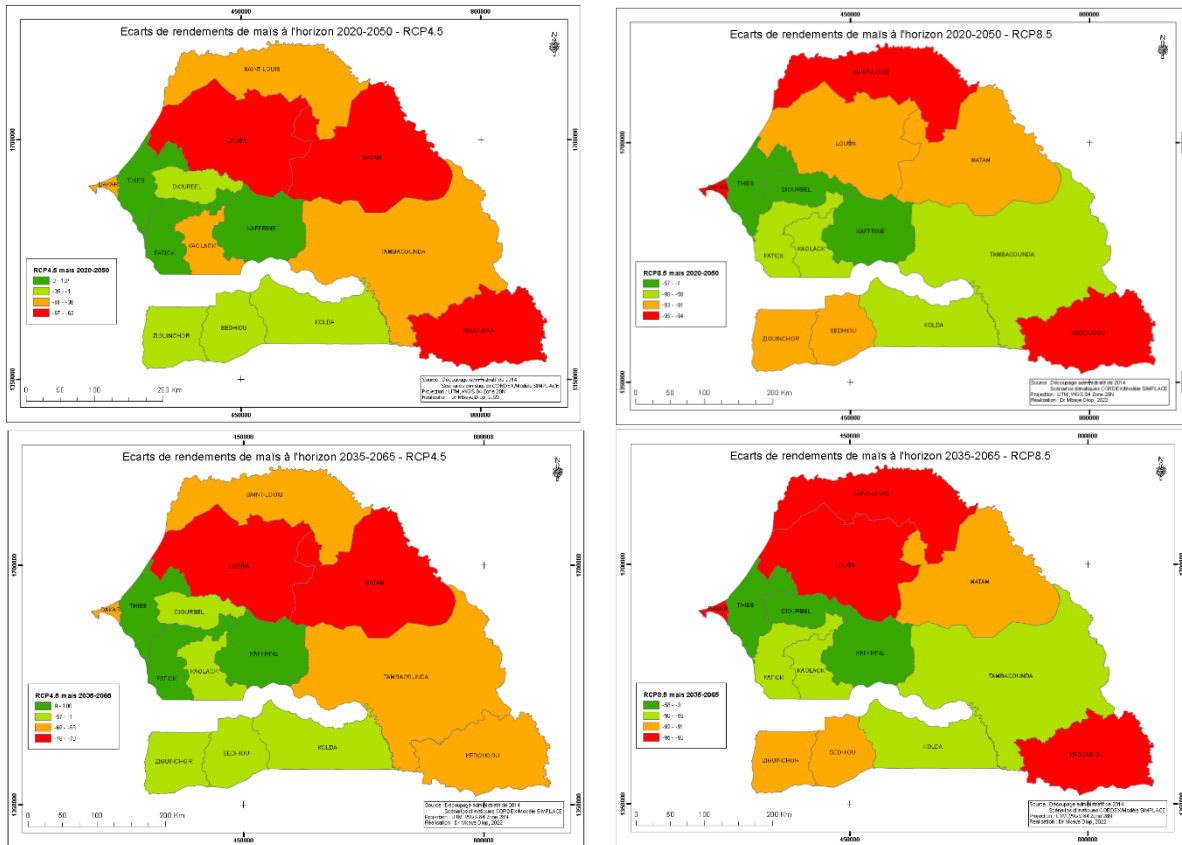
Pour la culture de mil, des hausses de rendements sont attendues avec le RCP4.5, dans les régions de Diourbel, Matam et Tambacounda où elles seront plus fortes que celle que soit la période, d'ici à 2065 (carte 2). Ailleurs, des basses de rendements sont prévues, avec des pertes plus importantes dans les régions de Louga, Thiès, Kédougou (2020-2050) et auxquelles il faut rajouter Saint-Louis, Ziguinchor et Sédhiou (2035-2065).

Avec le scénario RCP8.5, une hausse de rendement est observée à Tambacounda, Diourbel et Matam (2020-2050) et à Kaffrine, Louga et Matam (2035-2065). Les plus importantes baisses de rendements sont attendues à Saint-Louis, Louga, Thiès Ziguinchor, Sédhiou et Kédougou (2020-2050), et à Thiès, Tambacounda, Ziguinchor et Sédhiou (2035-2065).



Carte 2 : Écarts des rendements de mil entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010

L'impact des changements climatiques sur la productivité du maïs montre une hausse des rendements dans les régions de Thiès, Fatick et Kaffrine, avec des écarts très importants pour le scénario RCP4.5 (carte 3). Dans les autres régions, des baisses de rendements sont observées. En revanche, des baisses de rendements sont partout observées avec le scénario RCP8.5, mais elles sont moins accentuées dans les régions de Thiès, Diourbel et Kaffrine et prononcées à Kédougou, Saint-Louis et Louga.



Carte 3 : Écart des rendements de maïs entre les scénarios de changements climatiques et la période 1981-2010

## 6. Adaptation au changement de l'agriculture

La capacité d'adaptation est définie comme la capacité d'un système à s'adapter à un changement pour réduire les effets négatifs potentiels, à tirer profit des opportunités offertes par ce changement ou à faire face à ses conséquences (Parry et al. 2007). Les facteurs qui déterminent la capacité du système à s'adapter dépendent des ressources du système et de son environnement socio-économique, structurel, institutionnel et technique.

Au Sénégal, plusieurs projets et programmes ont été mis en œuvre, avec l'appui des partenaires techniques et financiers, pour prendre en charge certaines actions d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. Les indicateurs d'adaptation indiqués dans le tableau 4 montrent que le Sénégal possède une capacité d'adaptation avérée au niveau institutionnel, à travers les projets/programmes mis en œuvre.

En effet, les indicateurs d'adaptation mentionnés traduisent la prise en compte de la très forte sensibilité et la très forte exposition des différents systèmes de productions identifiés à la sécheresse et au retard de l'installation des pluies.

*Tableau 4: Exemples projets et programmes ayant une composante d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'agriculture*

Projets	Indicateurs d'adaptation	Période de mise en œuvre
APEFAM	Aménagement de casiers rizicoles Maîtrise de l'eau d'irrigation par la réalisation de cuvettes de décrue Construction d'entrepôts de stockage pour lutter contre les pertes post-récolte Unités de transformation des produits agricoles	2015-2023
PCAE	Mise en place d'entrepôts pour les produits agricoles Production de semences certifiées de variétés d'arachide adaptées	2020-2024
PAPRIZ	Réhabilitation et mise en valeur de périmètres rizicoles dans la vallée Amélioration des techniques de culture (mécanisation)	2016-2021
PDIDAS	Diversification des cultures Pratique d'agroforesterie	2014-2021
PDCVR	Aménagement hydro-agricole (digues anti sel) Mécanisation riziculture	2018-2024
TIERS SUD	Aménagement de terres agricoles Gestion irrigation Développement de filets de sécurité pour la résilience	2017-2022
PREPIV	Réhabilitation de terres rizicoles villageoises Gestion irrigation	2019-2023
PAPSEN	Diversification des cultures Maîtrise de l'eau / gestion irrigation	2012-2021
PROVALE-CV	Valorisation des eaux pour l'agriculture Pratique d'agriculture intelligente face au climat	2019-2024
PADAER II	Maîtrise de l'eau/Gestion de l'irrigation Création d'infrastructures de stockage Santé animale	2019-2024
PARIIS	Maîtrise de l'eau/Gestion de l'irrigation Aménagement de terres agricoles	2019-2024
DRIARS	Réalisation d'infrastructures de production Maîtrise de l'eau/Gestion de l'irrigation Santé animale	2016-2021
PDEAS	Aménagement de terres agricoles Mise en place d'infrastructures hydro-agricoles Infrastructures de production aquacole	2017-2022

Projets	Indicateurs d'adaptation	Période de mise en œuvre
PNDIL	Maitrise de l'eau	2017-2022
ASAMM	Mise en place d'infrastructures hydro-agricoles Aménagement de périmètres rizicoles	2013-2021
PIESAN	Utilisation de semences améliorées Promotion des pratiques de gestion durable des terres	2020-2022
PAIS	Infrastructures de production Réhabilitation de vallées Diversification des cultures	2016-2021

Par ailleurs, l'exploitation des résultats du questionnaire appliqué aux services techniques du ministère de l'agriculture, du ministère de l'élevage, des organisations de producteurs et des ONG a permis d'identifier différentes options d'adaptation aux risques climatiques. Ces options sont évaluées selon sept critères : la cohérence avec les politiques, la faisabilité, la durabilité, l'acceptabilité sociale, l'efficacité, l'équité et le coût. Elles ont, au préalable été regroupées en trois axes stratégiques : 1) Amélioration de la base Productive, 2) Développement des chaînes de valeur agricoles et 3) Gouvernance et Pilotage stratégique (tableau 6).

Le premier axe comporte trois sous axes : Gestion Durable des Terres (GDT), Gestion Durable des ressources en eaux et Gestion durable du capital semencier. Parmi les options d'adaptation identifiées, l'option prioritaire est :

- la défense et restauration des sols (Haies vives, brises vents, gabions et cordon pierreux) couplée avec la régénération naturelle assistée (RNA) pour le sous-axe GDT ;
- le développement de l'agriculture irriguée pour le sous-axe Gestion Durable des ressources en eaux ;
- l'amélioration de l'utilisation des semences adaptées pour le sous-axe Gestion durable du capital semencier.

Pour l'ensemble des options de l'axe 1, l'amélioration de l'utilisation des semences adaptées reste l'option prioritaire. La politique d'adaptation au niveau national devrait alors insister sur (i) les projets de recherche sur les variétés adaptées aux différentes zones agroécologiques (ii) et la bonne organisation de la filière semencière avec le renforcement des moyens de contrôle et une très forte implication du secteur privé.

Le deuxième axe comporte également deux sous-axes : (i) Pratiques culturelles adaptées et (ii) Amélioration des mesures de conservation et de transformation.

Parmi les options d'adaptation identifiées pour le sous-axe « Pratiques culturelles adaptées », la diversification culturelle est la priorité.

Concernant le sous-axe « Amélioration des mesures de conservation et de transformation », c'est l'option « Améliorer la Gestion post-récoltes (Transformation et conservation) » qui est prioritaire.

En comparant les options de l'axe 2, c'est la diversification culturelle qui est considérée comme prioritaire. La politique d'adaptation du secteur agricole devrait par conséquent renforcer cette option dans les projets et programmes du ministère en charge de l'agriculture.

Le troisième axe (Gouvernance, pilotage stratégique) comporte trois sous-axes : (i) Gestion des risques et aléas climatiques, (ii) Promouvoir la recherche agro-climatologique et (iii) Finance climatique.

La priorisation montre que l'option « Améliorer l'accès aux services climatiques (Informations climatiques ; Système d'alerte précoce etc.) » est prioritaire pour le sous-axe (i).

Pour le sous-axe (ii), c'est plutôt le Développement de semences (céréalières et horticoles) adaptées qui est la priorité.

En fin pour le sous-axe (iii) c'est le renforcement du système de financement qui est l'option prioritaire.

En analysant la priorisation des options du troisième axe, c'est l'option « Améliorer l'accès aux services climatiques (Informations climatiques ; Système d'alerte précoce etc.) » qui est prioritaire. La politique d'adaptation de l'agriculture aux effets négatifs des changements devrait alors promouvoir le développement des services climatiques en appuyant toutes les actions dans ce domaine.

Tableau 5 : Mesures d'adaptations face aux impacts du climat

Axes Stratégiques	Sous-axes stratégiques	Propositions d'options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale	Efficacité	Équité	Coût	Note	Rang
Amélioration de la base Productive	Gestion Durable des Terres (GDT)	Renforcement de la lutte contre la salinisation des terres	4	3	2	4	2	4	2	21	5
		Amélioration de l'Amendement des sols	3	3	3	4	2	3	2	20	6
		Défense et restauration des sols (Haies vives, brises vents, gabions et cordons pierreux)/ Régénération Naturelle Assistée (RNA)	4	4	3	3	3	3	2	22	3
	Gestion Durable des ressources en eaux	Mise en place des d'équipements adaptés pour la conservation, le transport et l'utilisation rationnel des ressources en eau	5	4	4	3	2	3	1	22	3
		Développement de l'agriculture irriguée	5	4	4	4	3	3	1	24	2
	Gestion durable du capital semencier	Améliorer l'Utilisation de semences adaptées	4	4	3	5	4	3	3	26	1
	Développement des chaînes de valeur agricoles	Pratiques culturales adaptées	Système de riziculture intensive (SRI)	4	4	3	4	3	2	2	22
Utilisation d'Énergies renouvelables dans le système irrigué			4	3	3	4	3	4	2	23	4

Axes Stratégiques	Sous-axes stratégiques	Propositions d'options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale	Efficacité	Équité	Coût	Note	Rang
		Promouvoir les pratiques agricoles adaptées et éprouvées (Ajustement des densités de semis pour le mil et le riz pluvial ; Améliorer la Fertilisation organique et minérale des cultures)	4	4	4	4	4	4	3	27	2
		Diversification des cultures	5	5	5	4	4	4	4	31	1
		Mettre en place de fermes agroécologiques	3	3	4	3	3	3	2	21	6
	Amélioration des mesures de conservation et de transformation	Améliorer la Gestion post-récoltes (Transformation et conservation)	5	3	4	4	3	4	2	25	3
		Mettre en place des Infrastructures et équipements adaptés	5	3	2	3	3	2	2	20	7
	Gouvernance, Pilotage stratégique	Gestion des risques et aléas climatiques	Améliorer l'accès aux services climatiques (Informations climatiques ; Système d'alerte précoce etc.)	4	4	4	4	3	4	2	25
Renforcer la Gestion des nuisibles			5	3	3	4	3	4	2	24	2
Améliorer la gestion des Pertes et dommages (Assurance agricole)			4	3	3	1	2	2	2	17	8
Promouvoir la recherche agro-climatologique		Gestion capitalisation des connaissances endogènes sur le climat	2	4	4	4	3	3	4	24	2
		Modélisation	4	4	4	2	3	3	2	22	5
		Développement de semences (céréalières et horticoles) adaptées	4	4	4	4	3	3	2	24	2
Financie		Améliorer les systèmes de gestion	3	4	2	4	2	3	2	20	7

Axes Stratégiques	Sous-axes stratégiques	Propositions d'options d'adaptation	Cohérence avec politiques	Faisabilité	Durabilité	Acceptabilité sociale	Efficience	Équité	Coût	Noté	Rang
	climatique	des subventions et lignes de crédits sur les technologies adaptées au climat									
		Renforcer l'Accès aux systèmes de financements	4	3	3	4	3	2	2	21	6

En somme, la planification de l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques devra nécessairement intégrer la budgétisation de projets et programmes portant prioritairement sur l'amélioration de la gestion post-récoltes (transformation et conservation), la diversification culturale et le développement des services climatiques.

## 7. Évaluation du cout de l'inadaptation

Une tentative d'évaluation du cout de l'inadaptation et de la mal-adaptation aux effets des impacts des changements climatiques a été faite. Les hypothèses suivantes ont servi de base à cette évaluation :

- les superficies n'ont pas évolué significativement ;
- les prix n'ont pas changé.

Les résultats montrent que l'absence de mesures d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'agriculture entrainerait une perte qui peut atteindre avec le scénario RCP8.5 381 959 825 000 Fcfa pour l'arachide, 159 684 720 000 Fcfa pour le maïs et 216 000 000 000 Fcfa pour le mil (tableau 6).

Toutefois, un effet positif est observé avec le scénario RCP4.5 pour le mil, car même s'il n'y a pas de mesures d'adaptation, on observe une hausse des revenus tirés de la production de mil.

Pour le riz paddy, l'absence de mesures d'adaptation n'a pas d'effet d'impact négatif sur les revenus tirés de la production de riz paddy au Sénégal. On aura plutôt tendance à enregistrer des gains de production et de revenus qui peuvent atteindre près de 8 milliards en 2050 avec le scénario CRP8.5.

*Tableau 6 : Pertes liées à l'absence de mesures d'adaptations de l'agriculture face aux impacts des changements climatiques*

Cultures	Productions 1994-2018		Pertes RCP4.5		Pertes RCP8.5	
	Tonnes	CFA	2020-2050	2035-2065	2020-2050	2035-2065
Arachide	1797458	449 364 500 000	- 292 086 925 000	- 301 074 215 000	- 381 959 825 000	- 381 959 825 000
Maïs	762 000	257 556 000 000	- 61 813 440 000	- 95 295 720 000	- 157 109 160 000	- 159 684 720 000
Mil	900 000	360 000 000 000	+100 800 000 000*	+68 400 000 000*	- 216 000 000 000	- 16 200 000 000
Riz Paddy	395 738	64 109 633 725	+ 1 699 978 391	+ 4 503 435 126	+ 4 610 184 756	+ 7 947 389 640

Cette approche a une limite, car les superficies pourront évoluer dans le futur, compte tenu de la dégradation des sols qui résultent des changements climatiques et de certaines pratiques agricoles inadaptées. Aussi, les prix des produits agricoles sont volatils et dépendent de facteurs divers, dont l'état de disponibilité sur le marché qui dépend des sécheresses, des conflits (guerre en Ukraine), etc.

Il est donc recommandé d'entreprendre une étude économique poussée qui prend en compte les agrégats au niveau interne et externe pour une modélisation du cout de l'inadaptation aux changements climatiques dans le secteur agricole.

## Conclusions

L'analyse de vulnérabilité approfondie de l'agriculture aux changements climatiques a porté sur les risques climatiques et sur les impacts révélés par les analyses statistiques et observés par les acteurs au niveau national, mais également sur les stratégies d'adaptation suggérées par ces derniers. En effet, la comparaison entre les pluies et les rendements observés entre 1981 et 2010 montre que le pourcentage de variance des rendements expliquée par la pluviométrie annuelle est de 31% pour l'arachide, 42% pour mil, 25% pour le maïs et 36% pour le riz. D'autres facteurs de risques climatiques et non climatiques ont été révélés par l'enquête menée auprès de services techniques de l'État, d'organisations de producteurs et d'organisations non gouvernementales. Il s'agit, entre autres de la sécheresse intra-saisonnière, des pluies hors-saison, des épisodes de froid extrême et de forte chaleur, des inondations, de l'insuffisance du matériel agricole et du financement, de la cherté de l'aliment de bétail, etc.

L'utilisation des sorties de modèles climatiques dans le modèle de cultures SIMPLACE a permis d'évaluer l'impact des scénarios de changement climatique sur les rendements agricoles. Pour la culture d'arachide, quelle que soit la durée du cycle, on observe une baisse des rendements avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 aussi bien pour la période 2020-2050 que pour la période 2035-2065, par rapport à la période historique (1981-2010). Cette baisse est plus accentuée pour le scénario RCP8.5 avec -85%, contre -65% à -67% pour le RCP4.5.

Pour la culture de mil à cycle long, une hausse des rendements de 40% et 35% est attendue avec le scénario RCP4.5, respectivement pour les périodes 2020-2050 et 2035-2065. En revanche, les résultats du scénario RCP8.5 montrent plutôt une baisse des rendements attendus entre 2020-2050 et 2035-2065. Les variétés de mil à cycle court affichent une baisse des rendements, quel que soit le scénario, avec -40%.

Pour la culture de maïs, une hausse des rendements d'au moins 16% est attendue pour les variétés à cycle long avec le scénario RCP4.5, tandis qu'une baisse d'au moins 40% sera observée pour le scénario RCP8.5. Pour les variétés à cycle court, des baisses de rendements sont prévues pour les scénarios et les deux périodes.

Le riz semble ne pas être vulnérable aux changements climatiques, car une hausse des rendements est observée pour les deux variétés considérées (Nerica 8 et Nerica 12), quels que soient le scénario et la période considérés.

Les impacts des changements climatiques sur l'agriculture présentent des situations diversifiées selon la zone géographique. Certaines régions sont affectées négativement selon la culture, le scénario de changement climatique et l'horizon futur. Il est donc important que la planification des interventions pour l'adaptation et les programmes de recherche tiennent compte de ces différences de sensibilité locale dans les mesures d'adaptation à envisager.

Différentes stratégies d'adaptation aux impacts négatifs des changements climatiques sur l'agriculture sont expérimentées ou suggérées. Elles sont classées en trois axes : 1) Amélioration de la base Productive, 2) Développement des chaînes de valeur agricoles et 3) Gouvernance et Pilotage stratégique. Les résultats de la priorisation des options d'adaptation montrent que pour l'axe 1, c'est l'option « améliorer l'utilisation de semences adaptées » qui est prioritaire. Concernant l'axe 2, la priorité est accordée à l'option « diversification des cultures », tandis que pour l'axe 3, c'est l'option « Améliorer l'accès aux services climatiques (Informations climatiques ; Système d'alerte précoce etc.) » qui est considérée comme prioritaire.

Au regard de ces résultats, la planification de l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques devra accorder une priorité à ces trois options dans les projets et programmes du ministère en charge de l'agriculture.

## Annexes

### Annexe 1 : Bibliographie

- Bineta Faye, Dome Tine, Ndiaye Dethié, Diop Cheikh, Guilgane Faye et Aminata Ndiaye, 2019 : « Évolution des terres salées dans le nord de l'estuaire du Saloum (Sénégal) », Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol.25 - n°2, 2019, 81-90.
- CARE, 2010. Manuel Analyse de la Vulnérabilité et de la Capacité d'adaptation au Changement climatique, 43p.
- EMAP, 2004 : Etude sur les risques agricoles. Rapport, 142 p.
- Gueladio KA, 2018 : Variabilité pluviométrique et ses impacts sur les activités agricoles dans le Sud-Ouest du Bassin Arachidier : Cas de la Commune de Keur Samba Guèye. Département de géographie, mémoire de master, 100 pages.
- M. Jean Bernard Sambou, 2021 : Le Sénégal, en quête de statistiques agricoles, prix AgriData pour le développement agricole et durable au Sénégal, 15 pages.
- LPSDA-MAER DEC, 2018 : Lettre de Politique Sectorielle de Développement de l'Agriculture (LPSDA) 2019 – 2023 version finale, 41 pages.
- NEPAD-PDDAA, 2006 : Projet de restauration de la base productive agricole dans le Bassin arachidier, 39 pages.
- Longueville et al. 2016
- Ly et al. 2013
- Pierre Corneille SAMBOU, 2015 : Evolution climatique récente, impacts et stratégies d'adaptation des populations dans les Arrondissements de sakal et de ndande, dans la Région de Louga. Faculté des lettres et sciences humaines, Département de géographie. Thèse de Doctorat unique, 461 pages.
- PRACAS, 2014 : Volet agricole du plan Sénégal émergent (PSE), Document principal, 108 pages.
- Rauch, M., Blifernicht, J., Laux, P., Salack, S., Waongo, M., and Kunstmann, H. 2019: Probabilistic forecasts of the onset of the rainy season using global seasonal forecasts, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-677, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-677>.
- Réseau Agro-Innov, 2017 : Portrait-diagnostic de la santé des sols agricoles, 76 pages.
- Sylla M.B, 2022 : Données et scénarios de changement climatique pour les études de vulnérabilité sectorielles et régionales au Sénégal. Rapport, 30 p.
- <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=SN>

## Annexe 2 : Questionnaire d'enquête

INFORMATIONS GÉNÉRALES	
1.1. Identification	<input type="checkbox"/> Date de conduite de l'enquête : <input type="checkbox"/> Noms des enquêteurs :
1.2. Localisation géographique	<input type="checkbox"/> Région / Département / Localité(s) : □
1.3. Participants	<input type="checkbox"/> Nom institution / structures enquêtées : <input type="checkbox"/> Nom de la (les) personne(s) enquêtée(s) : <input type="checkbox"/> Statut de la personne enquêtée : <input type="checkbox"/> Système de production d'intérêt :

2. PRINCIPAUX SYSTÈMES OU SOUS SYSTÈMES DE PRODUCTION D'INTÉRÊT DE LA STRUCTURE	
2.1. Lister le système de production d'intérêt	Avec comme sous système de production
Riziculture irriguée,	
Cultures maraichères,	
Agriculture pluviale	
Autres (à préciser)	

3. CHANGEMENTS CLIMATIQUES OBSERVÉS ET LEURS IMPACTS/ CONSÉQUENCES		
3.1. Types de risques/chocs hydro-climatiques affectant le système ou sous système de production (lister et prioriser)	NB : Le risque est un événement incertain qui provoque des dégâts lorsqu'il se produit	
Préciser ci-dessous		
Risques/chocs observés	Système ou sous-système impacté	Impacts/effets observés

4. AUTRES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ DU SYSTÈME DE PRODUCTION				
4.1. Autres contraintes majeures sur le système ou sous système de production d'ordre socio-démographique, technologique, organisationnel, financier (lister et prioriser les contraintes en fonction de leurs effets/impacts passés et actuels sur le sous-système)				
Préciser ci-dessous				
Système ou sous système de production	Contraintes	Effets/Impacts passés ou actuels	Éléments impactés (quels sont les éléments du système ou du sous-système qui sont impactés ?)	Priorité (prioriser les contraintes en fonction de leurs effets/impacts passés et actuels sur le sous-système)

5. STRATÉGIES ADOPTÉES & ENVISAGÉES FACE AUX EFFETS/IMPACTS DU CC		
5.1. Réponses déjà apportées et savoirs locaux (pour chaque risque climatique et type d'impact priorisé)		
Préciser ci-dessous		
Effets/risques passés ou actuels	Réponses déjà apportées	Mesures d'adaptation à entreprendre

6. ACTIONS PRIORITAIRES A METTRE EN ŒUVRE DANS LE FUTUR (2035 à 2050)			
Actions prioritaires à mettre en œuvre pour le système de production ou sous système de production d'intérêt face à des changements globaux d'origine climatique : climat de plus en plus chaud, pluies de plus en plus variables, recrudescence de phénomènes météorologiques extrêmes (liés aux Vagues de chaleur, inondations, Sécheresse) et à divers changement globaux (accroissement population)			
6.1. Effets /impacts attendus (pour chaque action prioritaire, quels sont les effets/impacts attendus sur le SP ou le sous SP et le risque lié à sa mise en œuvre ?)			
Préciser ci-dessous			
Système de production / sous-système de production	Actions prioritaires	Effets/impacts attendus	Risques probables (Pour chaque action prioritaire, quels sont les risques probables associés à la mise en place d'une telle action ?)

7. Besoins prioritaires en renforcement des capacités		
Domaine	Nature du besoin	Préciser les besoins
Organisationnel		
Recherche - développement		
Formation		
Autres (préciser)		

### Annexe 3 : Matrice d'évaluation de la vulnérabilité

	Sécheresse		Très fortes pluies		Pluies hors saison		Vague de froid		Fortes chaleurs		Retard des pluies		Vent violents	
	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition	Sensibilité	Exposition
Agriculture pluviale														
Riziculture irriguée														
Maraîchage														
Élevage extensif														
Élevage intensif														