

ETUDE PORTANT SUR LONG TERM LOW EMISSION

Climate Resilient Agriculture Development Pathways for the Agriculture sector in Senegal

CIAT | AICCRA | AGNES



AICCRA

Accelerating the Impact of CGIAR
Climate Research for Africa



REPORT

Acknowledgements

Accelerating Impacts of CGIAR Climate Research in Africa (AICCRA) is a project that helps deliver a climate-smart African future driven by science and innovation in agriculture. It is led by the Alliance of Bioversity International and CIAT and supported by a grant from the International Development Association (IDA) of the World Bank. Explore AICCRA's work at aiccra.cgiar.org.

The Accelerating Impacts of CGIAR Climate Research for Africa (AICCRA) project is supported by a grant from the International Development Association (IDA) of the World Bank. IDA helps the world's poorest countries by providing grants and low to zero-interest loans for projects and programs that boost economic growth, reduce poverty, and improve poor people's lives. IDA is one of the largest sources of assistance for the world's 76 poorest countries, 39 of which are in Africa. Annual IDA commitments have averaged about \$21 billion over circa 2017-2020, with approximately 61 percent going to Africa.

CIAT, the Ministry of Environment and Development Sustainable (MEDD), the Ministry of Agriculture and Rural Equipment (MAER) and AGNES led the process to develop this study supported by national consultants and a Technical Climate Change Committee consisting of stakeholders from the Ministries and the relevant national institutions.

Contact

Task Leader: Dr. Caroline Mwangera, Thematic Leader, CSA Practices & Technologies, AICCRA

Email: c.mwangera@cgiar.org

Accelerating Impacts of CGIAR Climate Research for Africa (AICCRA).

Email: aiccra@cgiar.org



Liste des Sigles et Abréviations

AFD : Agence Française de Développement

AIC : Agriculture Intelligente face au Climat

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine

AMP : Aires Marines Protégées

ANA : Agence nationale de l'Aquaculture

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

ANCAR : Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural

AP : Accord de Paris

APSIM : Agricultural Production Systems sIMulator

BAD : Banque Africaine de Développement

BM : Banque Mondiale

CCASA : La Plateforme de Dialogue Sciences sur l'Adaptation de l'Agriculture face au Changement climatique

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CDKN : Climate and Development Knowledge Network

CDN : Contribution Déterminée au niveau National

CESE : Conseil Economique, Social et Environnemental

CIAT : Centre International d'Agriculture Tropicale

CLPA : Conseils Locaux de Pêche Artisanale

CMIP6 : Sixth Phase of the Coupled Model Intercomparison Project

CNAAS : Caisse nationale d'Assurance Agricole du Sénégal

CNAAS : Compagnie Nationale d'Assurance Agricole du Sénégal

CO2 : Dioxyde de Carbone

COMNACC : Comité National sur les Changements Climatiques

COS : Carbone Organique du Sol

COV : Coefficient of Variation



CSA : Climate Smart Agriculture

CSE : Centre de Suivi Ecologique

CSE : Centre de Suivi Ecologique

DAMPC : Direction des Aires Marines Protégées Communautaires

DAPSA : Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles

DEFCCS : Direction des Eaux et Forêts, Chasse et Conservation des Sols

DPN : Direction des Parcs Nationaux

DRDR : Direction Régionale de Développement Rural

DSSAT : Decision Support System for Agrotechnology Transfer

EIC : Education, Information et Communication

EWEMBI : Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and biais-corrected for ISIMIP

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FVC : Fonds Verts pour le Climat

FVR : Fièvre de la vallée du Rift

GCM : Global Climate Model

GDD : Growing Degree Days

GES : Gaz à Effet de Serre

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GTP : Groupes de Travail Pluridisciplinaire

HWSD : Harmonized World Soil Database

IA : Inspections d'Académie

IEF : Inspections de l'Education et de la Formation

ISRA : Institut Sénégalais de Recherche Agricole

LAI : Indice de surface foliaire

LBA : La Banque Agricole

LINTUL: Light INTerception and UTILization model



LOASP : Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale

LOSEC : Laboratoire d'Océanographie, des Sciences de l'Environnement et du Climat /UASZ

LPAO-SF : Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongang/UCAD

MAER : Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural

MEDD : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable

MEN : Ministère de l'Éducation Nationale

MESRI : Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

MIRCA 2000: Global Monthly Irrigated and Rainfed Crop Area around the year 2000

MOS : Matière Organique du Sol

MRV : Monitoring, Reporting et la Verification

NASAC : Network of African Science Academies

NDVI : Indice de végétation par différence normalisée

NPK : Nitrate Phosphate Potassium

OCB : Organisations Communautaires de Base

ODD : *Objectifs de Développement Durable*

ODI : Overseas Development Institute

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

ONG : Organisation Non Gouvernementale

P2RS : Programme multinational de renforcement de la résilience à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle au Sahel

PAM : *Programme Alimentaire Mondial*

PASA : Projet d'Appui à la Sécurité Alimentaire

PGIES : Gestion intégrée des écosystèmes dans quatre paysages représentatifs du *Sénégal*

PIB : Produit Intérieur Brut

PNA : Plan National d'Adaptation

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement



PPCB : Péripleumonie Contagieuse Bovine

PRI : Réflectance photochimique

PRODAM : Projet de Développement Agricole dans le département de Matam

PROGEDE : Projet de gestion durable et participative des énergies traditionnelles et de substitution

PROGERT : Projet de Gestion et de Restauration des Terres dégradées du Bassin Arachidier

RNA : Régénération naturelle Assistée

RUE : Radiation use Efficiency

SAP : Système d'Alerte Précoce

SD : Standard Déviation

SDDR : Services Départementaux de Développement Rural

SIMPLACE : Scientific Impact assessment and Modelling Platform for Advanced Crop and Ecosystem management

SRI : **Système** de Riziculture Intensif

SSP : Shared Socio economic Pathways

SVP : Sylvopastorale

TSUM : Cumulative daily average temperature above the base temperature

UAP : Unités AgroPastorales

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

UNECA : United Nations Economic Commission for Africa

UNEP: United Nations Environment Programme

UP : Unités Pastorales

WEDO : Women's Environment & Development Organization

WRF : Weather Research and Forecasting model

ZPC : Zones de Production Contrôlée



Résumé

La variabilité et le changement climatiques ont eu et auront des répercussions assez considérables sur les populations et leurs activités socio-économiques et les ressources hydriques et forestières. Dans le cadre de ce travail, nous avons analysé les données de modèles climatiques de la sixième phase du projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP6) et examiné les changements projetés des températures, des précipitations sur les six (6) zones éco-géographiques du Sénégal (Niayes, Bassin arachidier, Casamance, Sénégal Oriental, Vallée du fleuve de Sénégal, et la zone sylvo pastorale) et des débits sur les trois bassins fluviaux (Casamance, Gambie, Sénégal). Les changements de températures et de précipitations sont calculés globalement sur les périodes 2021-2040, 2041-2070 et 2071-2100 par rapport à la référence 1981-2010.

La moyenne d'ensemble des modèles climatiques projette une augmentation continue des températures moyennes, minimales et maximales dans tout le Sénégal (pouvant atteindre plus de 4 C au long terme sous le scénario ssp 585). Le réchauffement projeté est plus important dans le Sénégal oriental et la zone sylvo pastorale. Cette hausse générale des températures pourrait favoriser le stress thermique des animaux, un risque d'extrême inconfort chez les personnes et une augmentation des pertes d'eau par évapotranspiration. Quant aux précipitations, elles sont caractérisées par une très forte variabilité interannuelle et d'une décroissance des précipitations de 2015 à 2100. Le bassin arachidier est la zone la plus affectée par la diminution des précipitations (24%). Cependant des conditions faiblement humides sont projetées sur le futur proche (2021-2040) par rapport à la référence (1981-2010). La tendance à la baisse est beaucoup plus accentuée vers 2045 à 2100.

En outre, les événements extrêmes humides sont caractérisés aussi par une forte variabilité et une légère hausse plus marquée dans le futur proche. Cette hausse augmente les risques d'inondation dans les zones urbaines et périurbaines. Les écoulements futurs sont fortement impactés par le changement climatique. Ainsi, les stations de Kolda (fleuve Casamance), de Gouloumbou (fleuve Gambie) et de Kidira (fleuve sénégal) pourraient connaître une légère hausse des débits d'écoulement (jusqu'à 20%) à l'horizon 2030; tandis qu'aux horizons 2060 et 2100, une baisse d'environ 40% est projetée.

Concernant les impacts sur l'agriculture, quel que soit le scénario, la période, où la culture considérée, les changements de rendement simulés étaient généralement plus positifs dans les régions de l'Ouest et du Nord et plus négatifs dans les régions Sud-Est. Dans les horizons futurs, l'augmentation du CO2 entraîne un impact positif (52%) pour les plantes C3 (arachide) et un impact négatif (-45%) pour les plantes C4 (maïs, mil et sorgho). Ainsi, pour l'arachide la variété Fleur11 (90 jours) présente une augmentation de rendement supérieure à la variété 77-33 (105 jours) indépendamment de la période ou du scénario considéré.

Ainsi, des stratégies d'adaptation et d'atténuation ont été proposées pour réduire les impacts négatifs du changement climatique.

Mots clés : changement climatique, Sénégal, impacts, agriculture, pluies, températures, stratégies d'adaptation.

1. Introduction

Aujourd'hui, la prise de conscience par rapport à la problématique des changements climatiques dans les pays du Sud ne fait plus de doute. En effet, même si des progrès restent à réaliser tant sur la production de connaissances sur la mise à disposition de celles-ci, ainsi que la capacité à les mettre en œuvre pour arriver à inverser la tendance actuelle, des efforts sont en train d'être réalisés pour une meilleure prise en compte desdits changements au regard de leurs implications économiques graves sur tout le processus de développement, mais également sur le vécu quotidien des populations.

Il est communément admis que, du fait de sa faible capacité d'adaptation, l'Afrique reste très vulnérable aux changements climatiques (Nicholson et al, 2013 ; Engelbrecht et al, 2015 ; NASAC, 2015 ; Niang et al, 2014 ; UNECA, 2014 ; CDKN et ODI, 2014 IPCC, 2014, IPCC, 2018). En effet, non seulement elle reste le continent dont le réchauffement est plus rapide que la moyenne, mais les projections climatiques font état d'une hausse de 3 à 4 °C au cours du siècle. Cela va nécessairement entraîner voire exacerber les défis existants, qu'ils soient d'ordres économique et financier, scientifique et technologique, etc. Dans certaines régions, il est attendu que le réchauffement entraîne la réduction des rendements de cultures ainsi que la productivité du bétail, la diminution du potentiel halieutique et des pénuries d'eau. Les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations devraient être plus fréquents, avec des impacts négatifs sur la santé et la vie humaine (UNEP, 2013), avec la réapparition ou l'extension géographique de certaines pathologies. Les changements climatiques sont également à l'origine des migrations d'espèces sauvages entraînées par la dégradation voire même la perte d'habitat (UNECA, 2014 ; UNEP, 2016,).

Le Sénégal figure parmi les pays les plus vulnérables par rapport aux changements climatiques. D'ailleurs, ayant très tôt compris comment le développement économique et social du Sénégal serait compromis sans une bonne prise en charge de la question du changement climatique au regard de ses incidences sur les secteurs clés tels que l'agriculture, l'élevage, la pêche, les ressources en eau et le tourisme. L'Etat du Sénégal est non seulement signataire des conventions internationales dans le domaine de l'environnement et du climat, mais il s'est résolument engagé pour une meilleure prise en compte des changements climatiques dans les politiques et plans de développement. Ainsi, cela participe au renforcement des capacités d'adaptation et de résilience du pays. C'est dans ce sens que le gouvernement du Sénégal a

soumis sa version actualisée de la CDN au secrétariat de la CCNUCC en décembre 2020, avec un objectif d'atténuation de 36 % (dont un objectif inconditionnel de 7 % et un objectif conditionnel de 29 %) d'ici 2030, par rapport au scénario de référence. Dans la même veine, le Sénégal s'est engagé depuis 2015 dans le processus de réalisation de son Plan National d'Adaptation (PNA), à ce jour des études sont menées dans certaines zones agro écologiques et ou sont en cours.

En effet, aux horizons 2035, toutes les simulations climatiques montrent, pour le Sénégal, une augmentation de la température moyenne allant de 0.5°C (au centre ouest) à 1.7°C au Nord-Est et une baisse de la pluviométrie comprise entre - 2 à -3% (au sud et au sud-est) et -17 à -20% (centre et ouest) du pays. En outre, il a été trouvé une augmentation des séquences sèches, mais aussi une augmentation des pluies extrêmes et l'élévation du niveau de la mer ne sera pas en reste. Les impacts négatifs concerneront alors : une avancée de la mer avec l'érosion côtière, une accentuation de la désertification, la réduction des mangroves, la perte de terres arables et de pâturages, la diminution de la biodiversité halieutique, la réduction de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation, la boisson et autres activités productrices, etc., sans compter la marginalisation de certaines couches sociales (notamment les femmes, les enfants et les groupes vulnérables), qui sont confrontées à des obstacles formels et informels dans l'accès et le contrôle des ressources (la terre), aux services de l'État et aux marchés.

A cet effet il est impératif de favoriser de conduire des études prospectives dans le long terme et aussi de développer des synergies avec le développement, la prévention et gestion des risques et la réduction de catastrophes afin d'aider les communautés à mieux faire face aux changements climatiques.

Ainsi, il urge que le Sénégal à l'instar d'autres pays signataires de l'AP sur le climat se montre plus ambitieux en élaborant dans stratégies dans le long terme avec une économie inclusive avec de faibles émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 et au-delà. La stratégie portée par un programme visionnaire, une certitude politique, s'articulera autour de la mise à l'échelle d'une « agriculture qui augmente durablement la productivité et la résilience (adaptation), réduit/élimine les GES (atténuation) dans la mesure du possible et améliore la réalisation des objectifs de sécurité alimentaire et de développement pour une transformation économique durable.

Dans toutes les zones agro écologiques du pays, les changements climatiques affectent déjà dramatiquement les écosystèmes naturels dont dépendent les communautés rurales pauvres, et en particulier les femmes, pour développer leurs systèmes de production et en somme leur

survie. De plus de gros problèmes environnementaux émergent et se répercutent tant sur la biodiversité animale et végétale, et tant sur la production agricole, les ressources en eau, l'économie et la sécurité alimentaire des populations s'en trouvent menacées, voire fragilisées et cette situation continue de s'exacerber.

Conscient de cette situation on ne peut plus préoccupante le Gouvernement du Sénégal a considéré le Sous-secteur de l'Agriculture (Agriculture, Élevage, pêche, ressource en eau) comme une priorité dans sa Contribution Déterminée au niveau national (CDN) afin de développer et mettre à l'échelle des stratégies d'adaptation et d'atténuation sobres en carbone à l'horizon 2035 à travers des options conditionnelles et inconditionnelles.

L'analyse de la situation montre que cette stratégie est innovante mais s'inscrit dans le moyen et court terme. Face à cette situation, le Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural (MAER) et le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) en partenariat avec Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT) comptent conduire une étude qui engagera les services d'un Consultant pour décliner la ou les trajectoires climatiques mais aussi les voies de développement agricole à long terme (2050, 2080) à faibles émissions de Gaz à Effet de Serre et résilientes au climat en s'appuyant sur l'étude d'analyse situationnelle qui intègre les engagements de la CDN.

Les conclusions de cette étude LTS permettront de préparer et de formuler un programme ambitieux pour une meilleure mobilisation des ressources financières et technologiques nationales et internationales, et une utilisation efficace des ressources publiques court et à long terme qui stimulent la transformation économique durable.

L'objectif global de cette consultation est de fournir des informations climatiques locales en utilisant les nouveaux scénarios SSP (Shared Socio economic Pathways) pour développer des voies de développement agricole à long terme, à faible teneur en carbone et résistantes au climat pour le Sénégal.

2. Zone d'étude

Le Sénégal est constitué de 6 zones éco-géographiques - Niayes, Casamance, Ferlo (sylvo-pastorale), Vallée du fleuve, Bassin arachidier et Sénégal oriental - marquées par des conditions pédo-climatiques, humaines et agricoles spécifiques (Figure 1). Le Sénégal est subdivisé en six zones éco-géographiques qui abritent une diversité écosystémique relativement élevée avec la présence d'écosystèmes forestiers, d'écosystèmes agroforestiers,

d'écosystèmes fluvio-lacustres et enfin d'écosystèmes marins côtiers grâce à l'existence d'une côte de plus de 700 km (source: <https://rris.biopama.org/policy/spanb-du-senegal-2015-2025>). Le pays se retrouve à la fois dans trois domaines climatiques (sahélien au nord, soudanien au centre et sub-guinéen au sud).

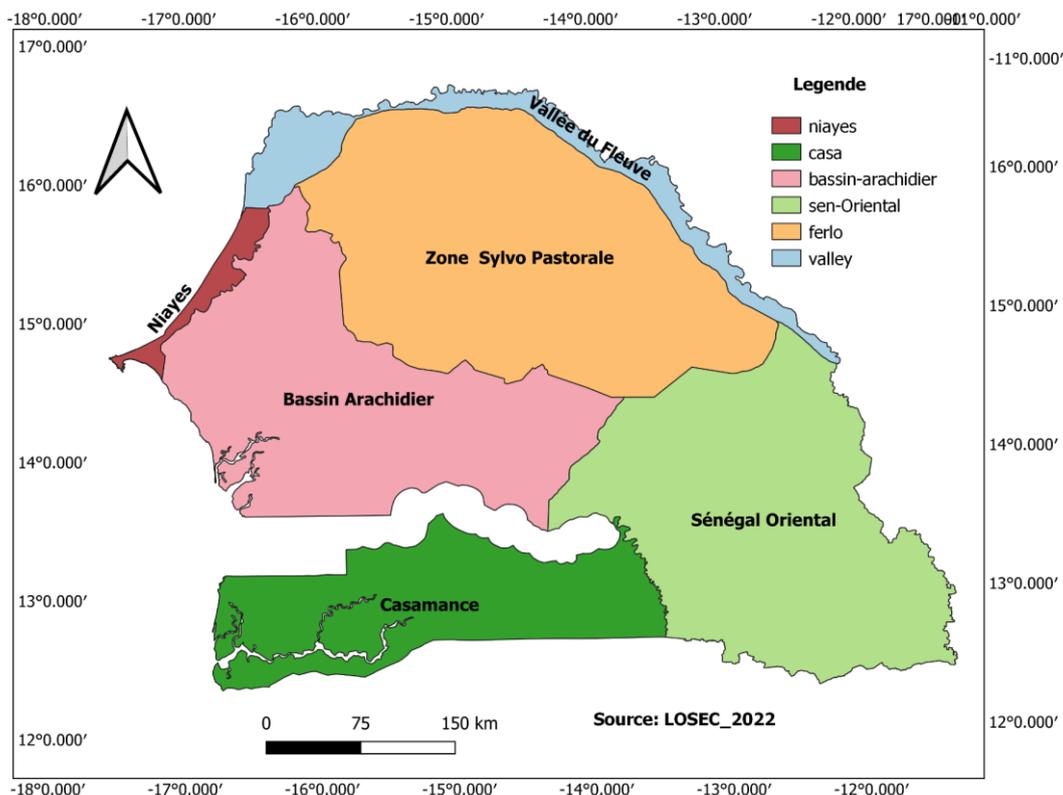


Figure 1 : Zones Éco géographiques du Sénégal

2.1 Les Niayes

L'essentiel de la production maraîchère du Sénégal, vient de la zone des Niayes. D'après Ndiaye et al. (2012), généralement, on peut distinguer quatre aspects importants sur la pédologie dans la zone des Niayes : une salinisation plus marquée dans la partie méridionale, une alcalinisation corrélée à l'abondance du calcium plus importante dans la Niaye littorale de Saint-Louis, une acidification uniquement notée au nord dans la partie continentale et un ensablement des cuvettes maraîchères dans la quasi-totalité de la zone. Ainsi, selon Aguiar (2009), la proximité de l'océan favorise la pénétration de masses d'air « fraîches » d'origine océanique, favorisant des températures moyennes annuelles relativement peu élevées le long du littoral (ex. 24.5°C à Saint-Louis) par rapport à l'hinterland (ex. 26.5°C à Louga). Le littoral nord du Sénégal possède donc un caractère climatique qui tranche avec le climat sahélien plus continental. Son régime pluviométrique est caractérisé par une saison pluvieuse qui s'étale

entre les mois de juin et octobre. Les cumuls annuels de précipitations diminuent du Sud vers le Nord, soit en moyenne de 500 mm à moins de 300 mm.

2.2 La Vallée du fleuve

La Vallée du fleuve Sénégal se situe dans la partie nord du pays et s'étend le long du fleuve Sénégal de Saint-Louis à Bakel (FALL, 2006). La zone est subdivisée en quatre sous zones, la haute vallée, la moyenne vallée (amont et aval), le delta qui se trouvent dans trois régions administratives. La haute vallée se trouve dans le département de Bakel situé dans la région de Tambacounda, la moyenne vallée amont se trouve dans la région de Matam et la partie avale dans la région de Saint-Louis; le delta se trouve également à Saint-Louis (FALL, 2006). Une autre subdivision de la zone se fait suivant ses types de sol: le Waalo, le Diéri et le Dié Diogol qui correspond à la zone de transition entre le Waalo (au bord du fleuve) et le Diéri (F.A.O., 2003; FALL, 2006).

2.3 La zone Sylvopastorale

La zone sylvo pastorale, située au Sud du fleuve Sénégal, correspond au Ferlo où l'élevage extensif constitue l'activité dominante. D'une superficie de 55 561 km², elle constitue l'une des zones éco-géographiques les plus vastes. Administrativement, la zone sylvopastorale est centrée sur une partie des régions de Saint-Louis, de Louga et de Matam.

2.4 Le bassin arachidier

Le bassin arachidier avec 46 367 km² correspond à la zone où domine la culture de l'arachide et du mil. Le bassin arachidier est subdivisé en bassin nord couvrant les régions de Thiès, Diourbel et une partie de Louga et en bassin sud couvrant les régions de Fatick, Kaffrine et Kaolack. D'autres spéculations telles que le maïs, le sorgho, le niébé, le manioc, la pastèque et le riz pluvial y sont cultivées.

2.5 Le Sénégal oriental

Le Sénégal oriental couvre les régions administratives de Tambacounda et de Kédougou. L'agriculture pluviale y est pratiquée avec les céréales (mil, sorgho, maïs, riz et fonio). Il existe aussi un système de rotation coton-céréales. Concernant l'élevage, il est surtout bovin et s'associe à l'agriculture (F.A.O., 2003). C'est une zone riche en ressources minières. Ainsi, l'activité minière procure des revenus en dehors des activités agricoles (Faye, 2018).

2.6 La Casamance

La Casamance couvre les régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda. Comme dans le bassin arachidier, l'agriculture pluviale y est pratiquée avec la culture de céréales (riz pluvial, mil et

sorgho) et de l'arachide. La culture du riz de bas-fond avec un faible usage d'intrants y est aussi notée (Faye, 2018). Il existe aussi des périmètres aménagés irrigués où se fait la culture du riz irrigué (F.A.O., 2003). La plus forte pluviométrie du pays y est enregistrée. Les ressources forestières y sont quantitativement et qualitativement les plus riches et constituent les réserves les plus importantes du pays.

3. Données et Méthodes

3.1 Données

3.1.1 Sorties de modèles climatiques

Pour les projections climatiques, les nouvelles simulations des modèles CMIP6 présentées dans le 6^{ème} rapport d'évaluation du GIEC ont été utilisées. Nous avons travaillé avec les nouveaux scénarios socio-économiques partagés SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (Gidden *et al.* 2019). Ainsi, dix-huit (18) modèles climatiques ont été utilisés (Table 1) sont considérées. La moyenne d'ensemble de ces modèles a été calculée pour les analyses ; cela réduit la variabilité naturelle et les biais systématiques présents dans les modèles individuels (Akinsanola and Zhou 2019).

Tableau 1 : Liste des modèles du CMIP6 utilisés dans cette étude

Nom du GCM	Institut/Pays	Variant-id	Résolution Horizontale (Lat x Lon)	Références
ACCESS-ESM1-5	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/ Australia	r1i1p1f1	1.9° × 1.2°	Law et al. (2017)
CanESM5	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Environment and Climate Change/Canada	r10i1p1f1	2.81° × 2.81°	Swart et al. (2019)
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center/ China	r1i1p1f1	1.13° × 1.13°	Wu et al. (2019)
UKESM1-0-LL	Met Office Hadley Centre/UK	r17i1p1f2	1.88° × 1.25°	Tang et al (2019)
NorESM2-LM	Norwegian Meteorological Institute/ Norway	r1i1p1f1	2.5° × 1.9°	Seland et al. (2020)
NESM3	Nanjing University of Information Science and Technology/ China	r1i1p1f1	1.9° × 1.9°	Cao et al. (2018)
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute/ Japan	r1i1p1f1	1.13° × 1.13°	Yukimoto et al. (2019)
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology/ Germany	r10i1p1f1	0.9° × 0.9°	Mauritsen, T. et al. (2019)
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology/ Japan	r10i1p1f1	1.4° × 1.4°	Tatebe et al. (2019)

IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre Simon Laplace/ France	r10i1p1f1	2.50° × 1.26°	Boucher et al., 2019
INM-CM5-0	Institute for Numerical Mathematics/ Russia	r10i1p1f1	2° × 1.5°	Volodin et al. (2018)
INM-CM4-8	Institute for Numerical Mathematics/ Russia	r1i1p1f1	2° × 1.5°	Volodin et al. (2018)
HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Centre/ UK	r1i1p1f3	1.86 × 1.25	Ridley et al., (2018)
GFDL-CM4	National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ USA	r1i1p1f1	2.5° × 2.0°	Guo et al (2018)
FGOALS-g3	Chinese Academy of Sciences/ China	r1i1p1f1	2° × 2.3°	Pu et al (2020)
CNRM-ESM2-1	Centre National de Recherches Météorologiques/ France	r1i1p1f2	1.41° × 1.41°	Séférian et al. (2019)
CNRM-CM6-1	Centre National de Recherches Météorologiques/ France	r10i1p1f2	1.41° × 1.41°	Voltaire et al. (2019)
CESM2	National Center for Atmospheric Research/ USA	r11i1p1f1	1.25° × 0.94°	Lauritzen et al. (2018)

Le changement climatique affecte de nombreuses variables climatiques dont les précipitations et la température. Au niveau international, une majorité de pays se sont engagés par l'accord de Paris à maintenir l'augmentation de la température mondiale bien en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et à poursuivre les efforts en vue de limiter cette augmentation à 1,5°C. Le respect de cet objectif implique une diminution drastique de nos émissions de gaz à effet de serre (GES), et donc de profondes transformations sociales, politiques et économiques.

L'ampleur et la nature exacte de cette transition vers une économie bas-carbone dépendent des actions que nos sociétés vont mettre en place, et ne peuvent donc pas être parfaitement connues à l'avance. Cette transition induit ainsi des risques et opportunités pour les acteurs économiques que ceux-ci doivent anticiper pour construire au mieux leur stratégie face à un contexte d'incertitudes. Face à ce défi, la communauté scientifique a mis en place des scénarios appelés SSP (Shared Socio-Economic Pathways) en français trajectoires socio-économiques. Ces SSP sont des narratifs de développement socio-économique explorant des évolutions plausibles du monde en l'absence de politiques et de mesures supplémentaires pour limiter le réchauffement climatique (Riahi *et al.* 2017). Ces scénarios ont été définis par la communauté scientifique pour construire un cadre de réflexion commun et faciliter l'analyse des impacts du changement climatique, des options d'atténuation et d'adaptation, et de leurs coûts. Ces scénarios sont au nombre de cinq et décrivent les évolutions sociales, économiques, politiques et technologiques possibles d'ici la fin du 21^{ème} siècle. Dans ce

travail, nous allons étudier trois scénarios parmi les cinq, il s'agit du SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5.8.5 présentés dans le Tableau 2. Chaque scénario a été traduit en données quantitatives, concernant notamment la croissance économique, la population, l'urbanisation (O'Neill *et al.* 2017). Ces hypothèses ont été utilisées en entrée de modèles afin d'obtenir des scénarios de référence pour chaque SSP (c'est-à-dire ne prenant pas en compte d'objectif climat).

Tableau 2 : Les SSP étudiés et leur narratif

Scénario	Narratif	Défi pour l'atténuation	Défi pour l'adaptation
SSP1 Développement durable	Forte coopération internationale, priorité donnée au développement durable, amélioration des conditions de vie et préférences des consommateurs pour des biens et services respectueux de l'environnement, peu intensifs en ressources et en énergie.	Faible	Faible
SSP2 Poursuite des tendances	Les tendances sociales, économiques et technologiques actuelles se poursuivent, le développement et la croissance progressent de manière inégale selon les pays et les régions. Les institutions nationales et internationales œuvrent à la réalisation des objectifs de développement durable qui progressent lentement. L'environnement se dégrade malgré un développement moins intensif en ressources et en énergie.	Moyen	Moyen

SSP5 Développement conventionnel	Développement adossé à l'exploitation forte des énergies fossiles et marqué par des Investissements élevés dans la santé, l'éducation et les nouvelles technologies. Adoption de modes de vie intensifs en ressources et en énergie à travers le monde. La croissance économique et le progrès technologique sont élevés. Les problèmes de pollution locale sont bien gérés et l'adaptation est facilitée notamment grâce au recul de la pauvreté.	Elevé	Faible
--	--	-------	--------

Sources : Riahi et al. (2017), O'Neill et al. (2015), Bauer et al. (2017)

Le tableau 3 résume les indices climatiques calculés dans cette étude.

Tableau 3 : Indices d'extrêmes climatiques

Indices	Significations	Unités
Fréquence des jours pluvieux (R1mm)	Nombre de jours présentant un cumul pluviométrique journalier > 1 mm/j	jour
Intensité des jours pluvieux (sdii)	Intensité moyenne de la précipitation enregistrée pendant un jour pluvieux	mm/jour
Nombre de séquences de fortes précipitations (RX5day)	Nombre de séquences de 5 jours consécutifs présentant un cumul pluviométrique > 50 mm	jour
95 ^{ème} centile (jours très humides)	Valeur en dessous de laquelle 95% des données sont trouvées	mm/jour
Précipitations totales annuelles des jours	Cumul total annuel des pluies enregistrées pendant les jours pluvieux	mm

pluvieux (PRCPTOT)		
--------------------	--	--

3.2 Méthodes

3.2.1 Revue Littéraire

La revue de la littérature s'est appuyée sur des publications scientifiques pertinentes, des rapports d'études nationales et internationales sur le changement climatique, la modélisation du climat, l'agriculture au Sénégal. Il s'agissait d'identifier et de rassembler les informations les plus pertinentes pour le Sénégal et les lacunes en termes de modélisation en tenant compte des aspects de genre et d'inclusion sociale.

3.2.2 Analyse des données hydroclimatiques

Les indices pluviométriques ont été tous calculés durant la saison pluvieuse (Juin Juillet Août Septembre). Nous précisons que les taux de variations saisonnières, interannuelles et les changements interannuels ont été calculés en faisant la différence entre les périodes futures et celle de la période de référence ou la normale climatologique (1981-2010).

3.2.3 Modélisation agronomique

3.2.3.1 Modèle de culture

Une solution de modèle de culture dans le cadre de la plateforme de modélisation SIMPLACE (www.simplace.net) a été utilisée dans cette étude. Il combine le modèle de croissance des cultures LINTUL5 Wolf (2012) qui est un modèle biophysique qui simule la croissance des plantes, la biomasse et le rendement en fonction du climat, des propriétés du sol et de la gestion des cultures à l'aide d'algorithmes dérivés expérimentalement. LINTUL5 simule la croissance des cultures sous limitation de potentiel, d'eau et d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K). La croissance des plantes est simulée dans Lintul5 en fonction du rayonnement intercepté et de l'efficacité d'utilisation du rayonnement. Les stades de développement des cultures (DVS) sont simulés en fonction des sommes de températures quotidiennes (temps thermique) et des exigences de temps thermique spécifiques aux cultures, TSUM1 et TSUM2, pour le développement de l'émergence à l'anthèse et de l'anthèse

à la maturité, respectivement. LINTUL5 a été largement utilisé dans diverses études à l'échelle du terrain, du pays et du continent (Faye et al., 2018).

Une version modifiée du modèle de bilan hydrique du sol Slimwater (Addiscott et al., 1986; Addiscott and Whitmore, 1991) simule le bilan hydrique du sol et l'absorption d'eau par les cultures en utilisant l'équation FAO Penman-Monteith avec la culture de référence et la méthode du coefficient de culture double (Allen et al., 1998). Le module SlimwaterModified estime le changement quotidien de la teneur en eau du sol dans différentes couches de sol en fonction des volumes d'absorption d'eau par les cultures, de l'évaporation du sol, du ruissellement de surface et de l'infiltration sous la zone racinaire, sans tenir compte de l'interception de la canopée ni du ruissellement latéral du sous-sol.

La demande quotidienne en N, P et K, les facteurs d'absorption et de stress ainsi que le mouvement de l'azote dans le profil du sol et le lessivage de l'azote minéral du sol (Nitrate-N et Ammonium-N) sont calculés par le modèle NPKDemandSlimNitrogen.

Le renouvellement et le lessivage du nitrate et de l'ammonium sont étroitement liés à la dynamique de l'eau du sol où les données d'entrée liées aux changements quotidiens de la teneur en eau du sol et des flux d'eau du sol sont fournies par SlimwaterModified. L'azote minéral total quotidien est une entrée du modèle SoilCN.

Les racines mortes sont transférées dans ce que l'on appelle le « pool de litière de racines » dans le modèle SoilCN. Le modèle soilCN simule la dynamique du carbone organique du sol (COS) et de l'azote du sol en supposant plusieurs bassins de litière et trois bassins de matière organique du sol (MOS) différents et différentes couches de sol. Les trois pools de MOS sont : (i) pool de biomasse microbienne ou pool actif avec un temps de rotation de quelques mois, subdivisé en une fraction rapide et résistante (lente), (ii) pool de matière organique du sol jeune ou pool intermédiaire avec un temps de rotation de 1 à 5 ans et (iii) réservoir de matière organique du sol ancien ou réservoir passif avec plus de 200 ans de rotation (Corbeels et al., 2005).

La température horaire simulée de la canopée (Webber et al., 2016) est utilisée comme entrée du modèle de stress thermique (Gabaldón-Leal et al., 2016) lorsque la température horaire est supérieure à un seuil de température critique autour de la période de floraison. La température quotidienne de l'air est utilisée pour piloter tous les autres processus.

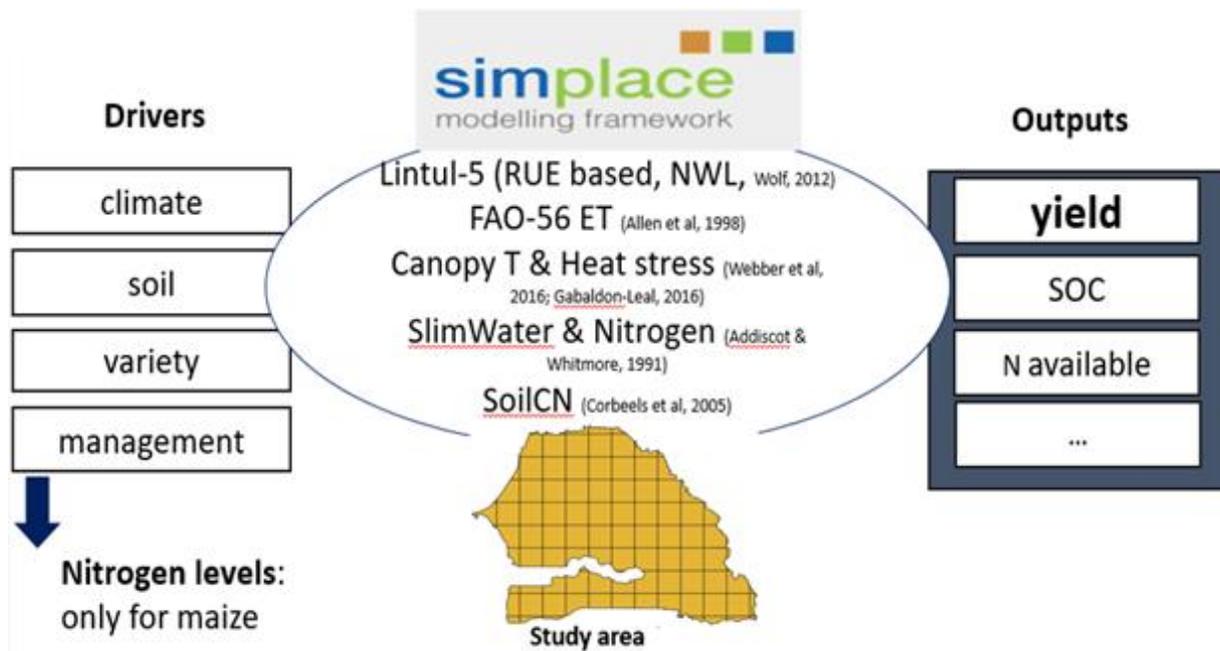


Figure 2: Aperçu global du schéma de simulation

3.2.3.2 Données sol

Les données sur les sols proviennent de la base de données mondiale harmonisée sur les sols (HWSD): <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>. Les données originales avaient une résolution de 30 secondes d'arc par 30 secondes d'arc (résolution de 1 km). Les caractéristiques physiques et chimiques de la couche arable (0-30 cm) et du sous-sol (30-100 cm) ont été sélectionnées pour l'argile, le limon, le sable, la densité apparente, le carbone organique, la capacité en eau disponible. Les données ont été agrégées à la grille de 50 km des données climatiques en sélectionnant la classe de sol ayant la plus grande superficie dans chaque unité de 50 km.

3.2.3.3 Données climatiques (plus de détails voir la partie climatique)

Les données climatiques journalières à 50 km x 50 km ont été dérivées des CMIP6 avec neuf GCMs. Les données climatiques comprenaient la température journalière minimale et maximale de l'air, les précipitations, le rayonnement global et la vitesse du vent. Les simulations ont été conduites pour la période de référence 1981-2010 et les périodes 2030 (2021-2040), 2060 (2045-2074) et 2100 (2075-2099).

Tableau 4: nombre de GCMs disponibles pour chaque scénario, X: (le scénario existe), vide : (le scénario n'existe pas).

GCMs	historical	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5
BCC-CSM2-MR	X	X	X	X
CanESM5	X	X	X	X
GFDL-ESM4	X	X		X
INM-CM5-0	X	X	X	X
IPSL-CM6A-LR	X	X		X
MIROC-ES2L	X	X	X	X
MPI-ESM1-2-HR	X	X		X
MRI-ESM2-0	X	X	X	X
UKESM1-0-LL	X	X		X

3.2.3.4 Exercice de simulation

L'étude est menée au Sénégal à une résolution de 50 km x 50 km basé des données climatiques pour les principales céréales (le maïs, le mil et le sorgho) et une légumineuse (l'arachide) pour des variétés de cycle court (~90 jours) et des variétés de cycle long (au moins 105 jours) pour chaque culture. De plus, pour le mil et le sorgho, une variété photopériodique a été simulée pour chacun. Au total, huit variétés différentes (Mais90, Mais120, Mil90, Mil120, MilPP, Sor90, Sor120, SorPP) ont été simulées avec l'utilisation actuelle d'engrais (limitation de N) et l'intensification (pas de limitation de NPK). Des simulations ont été menées pour les périodes 2030, 2060 et 2100 par rapport à la référence 1981-2010 à la fois dans des conditions ambiantes (sans changement de concentration de CO₂) et élevées (changement de concentration de CO₂). La concentration de CO₂ pour chaque période et chaque scénario est présentée dans le tableau x. Aucune adaptation sur les variétés entre le scénario de référence et les entre les scénarios futurs n'a été considérée pour les simulations.

Les paramètres de croissance des cultures ont été dérivés de Faye *et al.* (2018) où le calage a utilisé des ensembles de données expérimentales sur les variétés locales. Il n'y a eu aucun effet d'élévation de [CO₂] élevée sur l'efficacité d'utilisation des rayonnements (RUE) pour toutes les céréales.

Tableau 5: Concentration de CO₂ pour chaque période et scénarios

CMIP	Period	RCPs	CO ₂ ppm
	Historique		362
	2030	SSP1-2.6	439
		SSP2-4.5	4446
		SSP8-5.8	456
CMIP6		SSP1-2.6	471

2060	SSP2-4.5	534
	SSP8-5.8	646
2100	SSP1-2.6	459
	SSP2-4.5	593
	SSP8-5.8	958

Le modèle a été évalué avec l'ensemble de données de la FAO de 1979 à 2013 (FAO, FAOSTAT, 2020) avec les ensembles de données ré-analysées par EWEMBI (Figure x). Les données FAO sont relevées au niveau national pour chaque culture sans différenciation des variétés courtes ou longues. Ainsi, les rendements simulés ont été agrégés sur les variétés au niveau national afin de les comparer avec les données de la FAO selon la méthode Porwollik et al. (2017).

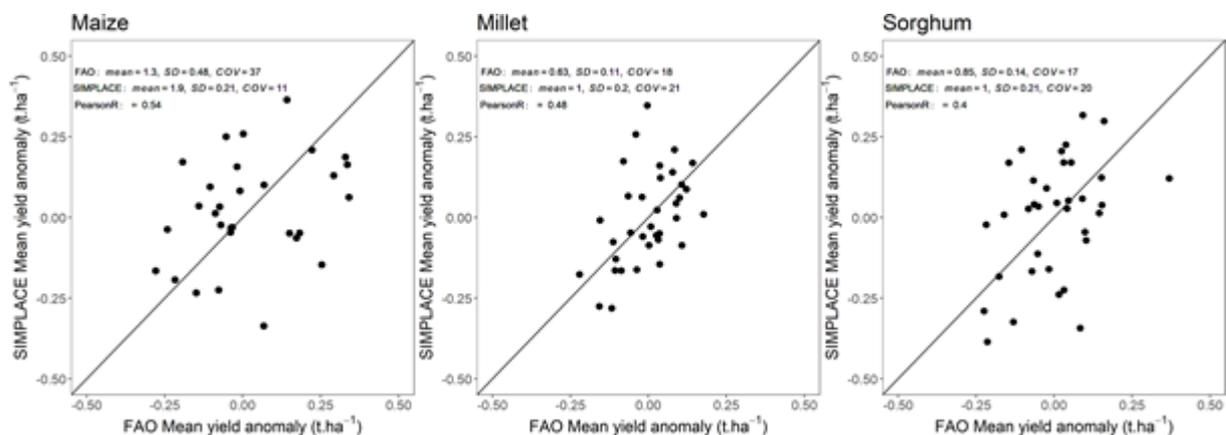


Figure 3 : Comparaison entre les anomalies de rendement des cultures simulées et les séries de données FAO au niveau national pour le maïs, le mil et le sorgho avec des moyennes mobiles sur 5 ans.

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur le Sénégal pour la période estimée 1979-2013 avec les données d'utilisation des terres MIRCA2000 (masque de culture) utilisant

l'ensemble de données climatiques EWEMBI. Les coefficients de corrélation de Pearson (Pearson R) ont été calculés entre FAO-Simplace ainsi que la moyenne de rendement (mean), l'écart type (SD) et le coefficient de variation (COV) pour FAO et SIMPLACE.

4. Résultats et Discussion

4.1 Revue documentaire

4.1.1 Impacts du changement climatique sur les systèmes agricoles et la sécurité alimentaire

Les populations rurales sont les plus exposées aux impacts du changement climatique en raison de leurs systèmes de production, d'élevage ou de culture moins performants et étroitement dépendants de la pluviométrie (Bazzaz et Sombroek, 1996). Sultan et al. (2015) ont indiqué que cette dépendance à la pluviométrie est très forte pour l'agriculture qui occupe près de 93% des terres cultivées en Afrique de l'Ouest. Cependant, plusieurs facteurs tels que l'accès réduit à des pratiques et technologies agricoles efficaces, des capacités économiques et institutionnelles limitées, un taux de croissance démographique élevé, sont parmi les principaux facteurs qui aggravent les impacts socio-économiques (Berg, et al, 2013 ; Berg, 2011 ; Challinor et al, 2007 ; Müller et al, 2011 ; Roudier et al, 2011 ; Salack et al, 2012 ; Sultan et al, 2015).

Le Sénégal, comme la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, est également fortement affecté par les changements des conditions climatiques. Les changements des variables climatiques au cours des 50 dernières années ont eu des conséquences importantes sur le secteur agricole sénégalais, où plus de 90 % des cultures sont pluviales (Noblet et al., 2018). En effet, les facteurs à l'origine de l'impact sur le secteur agricole sont le déficit hydrique des cultures dû à l'augmentation de l'évapotranspiration mais aussi le réchauffement qui est à l'origine du bouleversement de la carte variétale du pays (MEDD, 2016). Ces impacts sont l'une des causes de la contre-performance de l'agriculture sénégalaise et d'une baisse notable de sa contribution au Produit Intérieur Brut (PIB) du pays, qui est passé de 7 % en 2012 à 6,8% en 2013 (CSE, 2015 ; MEDD, 2016). La production agricole nationale a enregistré une baisse remarquable en 2014, attribuable à la baisse de la production céréalière (Noblet et al., 2018). Après les longues sécheresses sévères des années 1970 et 1980 qui ont eu des conséquences catastrophiques sur les sociétés humaines et les écosystèmes naturels, le pays fait maintenant face à une augmentation des événements extrêmes qui causent des difficultés substantielles

dans le secteur agricole (Gaye et al, 2015). Au Sénégal, les agriculteurs sont parmi les plus touchés par le changement climatique (Mbaw, 2017). Selon le Rapport sur le développement humain 2009, le changement climatique entraînera la salinisation des terres et des nappes phréatiques, ce qui accentuera la diminution des terres cultivables et la faible disponibilité des ressources en eau au Sénégal (République du Sénégal ; PNUD, 2009). En outre, leur rapport de 2013 indique que la vulnérabilité de l'agriculture sénégalaise aux effets du changement climatique est due à la combinaison de deux facteurs : la hausse des températures et la baisse des précipitations. La variabilité des précipitations et leur diminution sont les principaux facteurs qui affectent l'agriculture sénégalaise et les agriculteurs. En effet, 98% de l'agriculture est pratiquée pendant la saison des pluies, tandis que les cultures irriguées représentent 2% et sont cultivées principalement dans la vallée du fleuve Sénégal, dans les Niayes (DAPSA, 2015). Deryng et al. (2014) ont trouvé des conditions sèches dans les années à venir vers 2030; leur travail en ce qui concerne les impacts de la variabilité climatique sur les rendements des cultures dans les zones semi-arides du Sénégal est négatif. Ainsi, les rendements moyens des cultures à la fin des années 2030 pourraient diminuer de $7,5 \pm 16,7$ % dans le contexte du changement climatique : les rendements de l'arachide, du mil, du sorgho et du maïs diminuent entre 5,4 % et 12,3 % au milieu du siècle. En revanche, les rendements du coton, du riz et du manioc augmentent de 5% à 13,2%. De plus, les rendements moyens des cultures diminueront de $8,5 \pm 9,9$ %, le maïs affichant la plus forte baisse ($-8,8 \pm 14,7$ %) (Noblet et al., 2018). Les outils de modélisation tels que DSSAT (Hoogenboom et al., 1999) et APSIM (Keating et al., 2003) soulignent que le changement climatique projeté affecterait négativement la productivité céréalière dans les localités de Nioro et Fatick. Malgré ses performances erratiques, l'agriculture occupe toujours une place centrale dans l'économie nationale et constitue un levier essentiel pour la satisfaction des besoins alimentaires (Noblet et al., 2018). De plus, Faye et al. (2018) ont conclu que le changement climatique pourrait avoir des impacts négatifs sur les rendements de l'arachide au Sénégal en raison de l'effet de [CO₂] élevé. Cependant, ils ont suggéré que la température de la canopée simulée (T_c) devrait être utilisée à la place de la température de l'air (T_a) pour tenir compte avec précision de l'impact du stress thermique sur l'arachide, en particulier pendant la saison sèche.

4.1.2 Utilisation des modèles climatiques sur le Sénégal et leurs limites

En raison de leurs résolutions spatiales grossières, les GCM ne sont pas vraiment en mesure de reproduire les précipitations observées avec un niveau de fiabilité suffisant en Afrique de l'Ouest qui se caractérise par des caractéristiques climatiques complexes. L'utilisation directe

des simulations des MCG dans les études d'impact du changement climatique n'est pas recommandée, mais elles permettent plutôt de prendre en compte les tendances qu'elles expriment à travers les scénarios climatiques. Il est bien documenté que les modèles climatiques régionaux donnent de meilleurs résultats parce qu'ils représentent les caractéristiques climatiques à l'échelle régionale. L'utilisation des projections climatiques dans les études d'impact a considérablement augmenté au cours des dernières décennies. Cependant, les sorties de ces modèles climatiques sont toujours associées à des biais. Parmi les principales variables clés du changement climatique telles que les températures et les précipitations, il s'agit d'un accord général entre les modèles sur les signaux de températures (augmentation) alors qu'il existe une divergence considérable sur le signal des précipitations (augmentation et diminution). Au Sénégal, les impacts du réchauffement climatique présentent des risques sérieux pour l'agriculture, les ressources en eau et les zones côtières déjà fragiles (Noblet et al., 2018). Cette situation de sécheresses chroniques a conduit à un processus de désertification quasi irréversible, compte tenu de l'ampleur de la dégradation des écosystèmes, qui a entraîné une baisse des rendements agricoles, le défrichement de nouvelles terres, l'appauvrissement des populations rurales et leur migration vers les centres urbains sans emploi (Seck et al, 2005). Ces risques climatiques ont exacerbé la vulnérabilité des systèmes socio-économiques du pays. La croissance démographique, les sécheresses récurrentes, la stagnation de la production agricole et la dégradation de l'environnement se sont combinées pour créer une spirale descendante de la pauvreté (Samaké, 2015). Selon le dernier rapport du GIEC, il y aura une augmentation des problèmes de santé liés au changement climatique, particulièrement en Afrique. Au Sénégal, les problèmes devraient être principalement liés aux maladies vectorielles hydriques et aériennes telles que le paludisme, la méningite, la fièvre typhoïde et les maladies dues à la consommation/au contact avec de l'eau saumâtre ou de mauvaise qualité biologique. La santé animale pourrait également être impactée avec le développement de la fièvre de la vallée du Rift affectant le bétail, notamment dans la zone du Ferlo (Ndione et al, 2008). L'étude de Sarr et al. (2017) au Sénégal, révèle que certaines MCR s'accordent sur une diminution des précipitations et du nombre de jours de pluie d'ici 2100, sauf pour le modèle régional RCA4. Concernant l'évolution de l'intensité des jours de pluie, du cumul journalier maximal et du 99ième centile des précipitations, presque toutes les MCR sauf CanRCM4 prévoient une augmentation des événements pluviométriques extrêmes pouvant entraîner de fortes inondations sur le Sénégal. En ce qui concerne les séquences sèches et humides, toutes les projections obtenues

avec les MCR (à l'exception du modèle RCA4) montrent une augmentation (respectivement une diminution) de la durée maximale des séquences sèches (respectivement la durée maximale des séquences humides) sur tout le Sénégal. Cette augmentation des événements de précipitations extrêmes pourrait entraîner une augmentation des catastrophes naturelles telles que les inondations et les sécheresses qui pourraient affecter négativement les activités socio-économiques des populations locales. En outre, certains résultats de modèles prévoient que les températures annuelles moyennes pourraient augmenter de 1,1 °C à 3,1 °C d'ici les années 2060, et de 1,7 °C à 4,9 °C d'ici les années 2090 au Sénégal selon Zamudio et al (2016). Le rythme de réchauffement est susceptible d'être plus rapide dans les régions centrales du Sénégal et marqué par une augmentation de la fréquence des journées et des nuits chaudes par rapport au climat actuel (Mc Sweeney et al., 2010). En ce qui concerne les changements dans les précipitations, l'analyse menée par le gouvernement du Sénégal suggère que le pays pourrait connaître une diminution des précipitations avec une forte variabilité interannuelle. Bardin et al (2006) en utilisant des simulations de modèles climatiques, ont souligné que les modèles climatiques semblent atteindre les limites de leurs performances là où les précipitations sont faibles (zone sahélienne) et où se produisent deux saisons des pluies (zone guinéenne). De plus, bien qu'ils soient relativement performants en zone soudano-sahélienne en termes de dynamique saisonnière, ils sont incapables de reproduire les cumuls pluviométriques et la variabilité interannuelle des précipitations. Salack et al. (2012) ont montré qu'il existe une grande dispersion dans la représentation des précipitations d'un modèle régional à l'autre (et même pour un même modèle régional avec deux jeux de paramètres différents) tant à l'échelle saisonnière qu'à l'échelle intra-saisonnière. Cela pourrait remettre en cause les conclusions sur les impacts du changement climatique basées sur l'utilisation d'un modèle régional unique. Camara et al. (2019) ont également constaté que les modèles climatiques présentent certaines limites dans la reproduction des précipitations cumulées au-dessus du Sénégal. La quantité totale de précipitations est sous-estimée par la moyenne d'ensemble de 24 simulations de modèles climatiques. Cette sous-estimation n'est probablement pas due à la résolution horizontale, car les études menées avec des modèles régionaux montrent également une sous-estimation (Dieng et al., 2017). De plus, en raison des biais des MCR, des techniques de correction des biais sont souvent utilisées pour éliminer ces biais pour les études d'impact du changement climatique à l'échelle locale (Mbaye et al., 2015). Concernant l'impact des risques climatiques sur les secteurs de l'éducation et de la formation au Sénégal, il peut se résumer au décrochage scolaire dans les

zones urbaines et périurbaines touchées par les inondations, ainsi qu'à l'occupation des écoles (Gaye et al. 2015).

4.1.3 Identification des écarts de modélisation prenant en compte les aspects de genre et d'inclusion sociale

Le domaine de la modélisation climatique en Afrique de l'Ouest est largement dominé par les hommes. La quasi-totalité des études citées dans les sections précédentes ont été réalisées par des hommes. Cependant, il y a peu de femmes qui travaillent dans l'analyse des résultats des modèles climatiques alors qu'un nombre plus restreint d'entre elles font de la modélisation climatique. Dans le domaine de la modélisation climatique au Sénégal, Mame Diarra Dieng (actuellement chercheuse post-doctorale à l'Institut de technologie de Karlsruhe en Allemagne) est l'une des femmes qui a tourné des modèles climatiques au cours de sa thèse de doctorat et de ses travaux postdoctoraux sur l'Afrique de l'Ouest et le Sénégal. Dieng et al. (2017) en tournant le modèle climatique régional du Consortium pour la modélisation à petite échelle en mode climatique (CCLM), ont constaté que les biais dans les quantités de précipitations sont associés à des erreurs dans la saisonnalité des précipitations. La valeur ajoutée de la résolution plus élevée de la séquence imbriquée se reflète dans un biais plus faible dans les statistiques de précipitations extrêmes par rapport aux données de référence. En outre, ils ont constaté que le GDD (degrés-jours de croissance (GDD) devrait augmenter d'environ 8 % jusqu'en 2021-2050 et d'environ 5 % jusqu'en 2071-2100 pour toutes les cultures. Le WAV (disponibilité en eau) devrait être diminué jusqu'à 10% en 2021-2050, et jusqu'à 24% en 2071-2100 au Sahel, et 12% sur la Guinée et la Savane dans les deux périodes (Dieng et al. 2018). En outre, N'Datchoh Evelyne TOURÉ est aussi une modélisatrice du climat ; une comparaison des deux simulations (avec RegCM) a montré que la charge de poussière dans l'atmosphère influence grandement à la fois la structure du vent et de la température à différents niveaux, ce qui entraîne les changements observés dans les principales caractéristiques du système de mousson de l'Afrique de l'Ouest pendant l'été (N'Datchoh et al. 2018). A celles-là s'ajoutent aussi les travaux de Massara Diakhaté (en cours de valorisation) sur la prévision saisonnière en utilisant le modèle WRF. En ce qui concerne les analyses des modèles climatiques simulations, certaines études ont été menées sur le Sénégal et l'Afrique de l'Ouest par des femmes. Faye et al. (2021) ont montré que les modèles CMIP6 reproduisent raisonnablement les schémas spatiaux des indices de précipitations extrêmes sur l'ensemble de la région, bien que leurs performances soient assez différentes entre le Sahel De plus, Niang et al (2017) ont souligné qu'avec des simulations de modèles climatiques,

il peut être possible de prédire une convection anormale sur l'Afrique de l'Ouest avec une avance de 15 à 20 jours. A notre connaissance, le nombre de femmes faisant la modélisation climatique au vrai sens du terme, n'atteint pas cinq (5) en Afrique de l'Ouest.

Au Sénégal, la contribution des femmes au changement climatique n'a pas été bien documentée. Toutes les activités humaines contribuant aux émissions de gaz à effet de serre (GES), la quantification de la contribution des femmes, leurs rôles doivent être clairement analysés. L'inventaire des GES au Sénégal montre que les femmes sont impliquées dans les secteurs suivants : énergie, agriculture, foncier, transformation des produits agricoles et halieutiques, exploitation forestière et déchets. Si elles apparaissent comme des utilisatrices et des opératrices, leurs activités impactent l'ensemble de la population (WEDO, 2008). L'utilisation des ressources dépend du pouvoir et du contrôle que les femmes ont sur elles. Dans la plupart des cas, elles dépendent encore de l'homme chef de famille. Néanmoins, les femmes appartiennent au groupe le plus vulnérable et sont profondément touchées par la pauvreté. La condition de fragilité peut les amener à utiliser les ressources de manière irrationnelle. C'est la raison pour laquelle ils parcourent de longues distances et passent beaucoup de temps à aller chercher de l'eau, des combustibles et des moyens de subsistance pour leurs familles dans les zones rurales. Par conséquent, ils sont les premiers à subir les impacts du changement climatique. Les impacts sur la population, et plus particulièrement sur les femmes, devraient amener le gouvernement sénégalais à identifier les besoins d'adaptation qui permettront de faire face à tous les risques potentiels (WEDO, 2008).

4.2 Projections des précipitations et des températures

4.2.1 Précipitations

La figure 4 présente le diagramme Hovmoller de la pluie sur le Sénégal pour le futur proche (2021-2040), le moyen terme (2041-2070) et le futur lointain (2071-2100) sous les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5.8.5. L'analyse des résultats montre que la saison des pluies au Sénégal sera marquée par une forte variabilité latitudinale des précipitations dans le futur avec de fortes pluies enregistrées au mois d'août dans le centre et le sud du pays (entre les latitudes 11 et 15°N). Dans le futur proche (2021-2040), il n'y aura pas un grand changement sur les quantités de pluies enregistrées au Sénégal sous les trois scénarios.

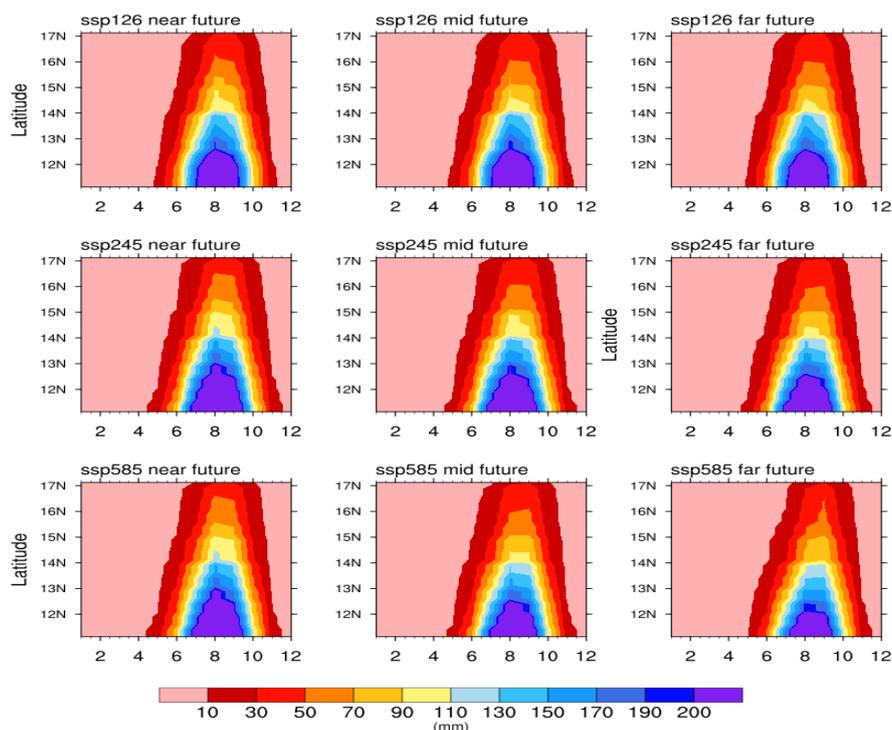


Figure 4: Variations latitudinales des précipitations mensuelles (Hovmoeller)

Par contre, le pays enregistrera moins de pluie dans le moyen terme (2041-2070) et le futur lointain (2071-2100) sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5 comparé au SSP1-2.6. Cette baisse des pluies sera plus ressentie dans le futur lointain sous le scénario SSP5.8.5. Ces baisses auront des conséquences négatives sur l'agriculture dans le pays qui est la principale source de revenus de près de 60 % de la population.

Dans le but de mieux diagnostiquer les impacts des scénarios SSP sur le climat du Sénégal, le cycle annuel de la pluie dans six (6) zones du pays est présenté sur la figure 5 pour la période historique (1991-2010) et le futur proche (2021-2040), sur la figure 6 pour la période historique (1981-2010) et le moyen terme (2041-2070) et sur la figure 7 pour la période historique (1981-2010) et le futur lointain (2071-2100). Sur les périodes historiques 1991-2010 et 1981-2010, l'analyse des résultats montre que la saison des pluies au Sénégal suit un gradient Sud-Nord avec de fortes précipitations au centre du pays (dans le bassin arachidier) et au sud (en Casamance et sur le Sénégal oriental) qui s'affaiblissent en remontant vers le nord (dans la vallée du fleuve, les Niayes et la zone sylvo pastorale).

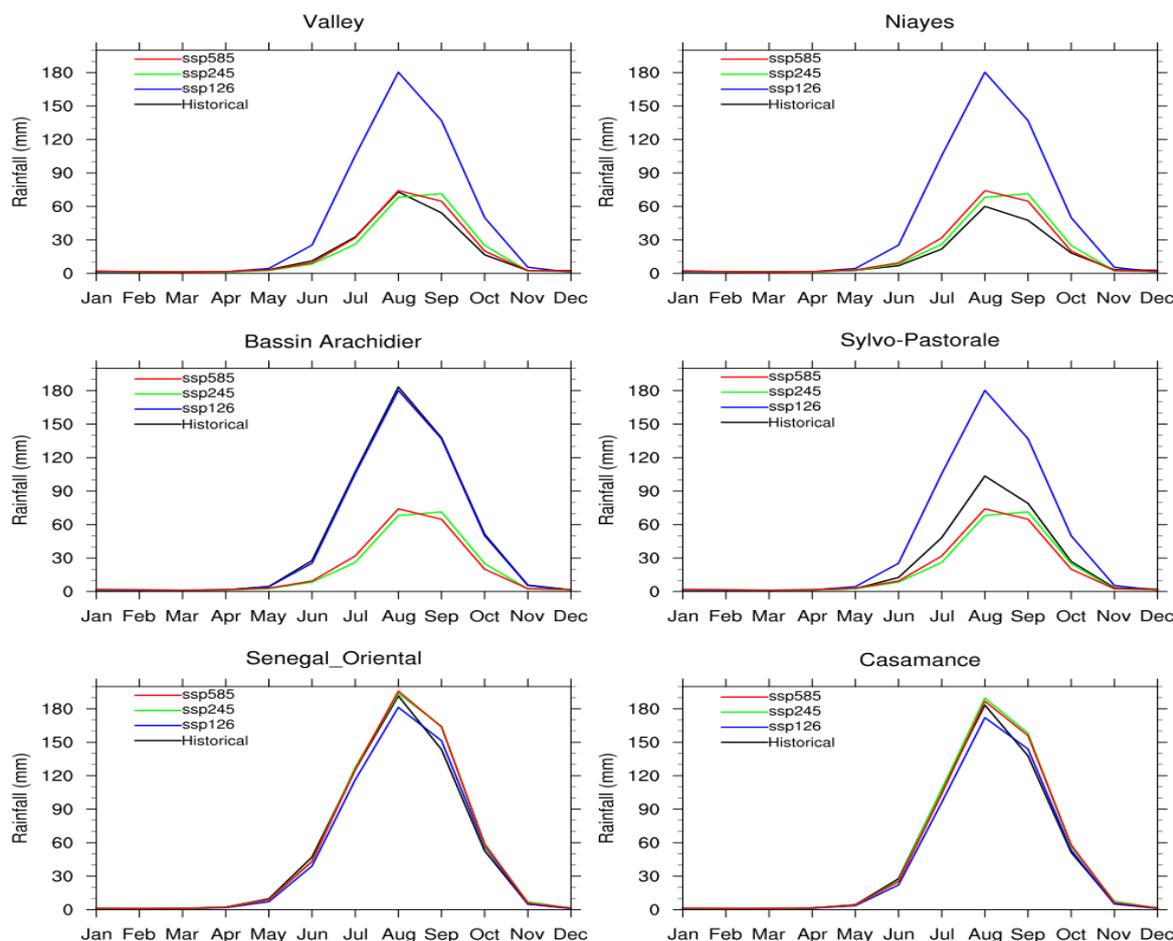


Figure 5 : Cycle annuel des précipitations sur la période historique (1991-2010) et le futur proche (2021-2040)

Le maximum de pluie est enregistré en Août dans les six zones du pays. A partir de septembre on observe un retrait de la bande de pluie vers le sud. Les résultats montrent que les précipitations augmenteront légèrement dans le futur proche (2021-2040) sous le scénario SSP1-2.6 au nord du pays (dans la vallée du fleuve, les Niayes et la zone Sylvo pastorale) (Figure 5), dans le moyen terme (2041-2070) sous le scénario SSP5.8.5 dans la vallée du fleuve et les Niayes (Figure 6) et dans le futur lointain (2071-2100) sous le scénario SSP2-4.5 dans la vallée du fleuve et les Niayes (Figure 7). Les résultats montrent également que les précipitations diminuent fortement dans le futur proche au niveau du bassin arachidier sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5 (Figure 5). Dans le moyen terme et le futur lointain, les précipitations baisseront sous les trois scénarios dans ce bassin (Figures 6 et 7). Les précipitations diminuent également au centre du pays (dans le bassin arachidier) et au sud (en Casamance et sur le Sénégal oriental) sous les trois scénarios (Figures 5, 6 et 7).

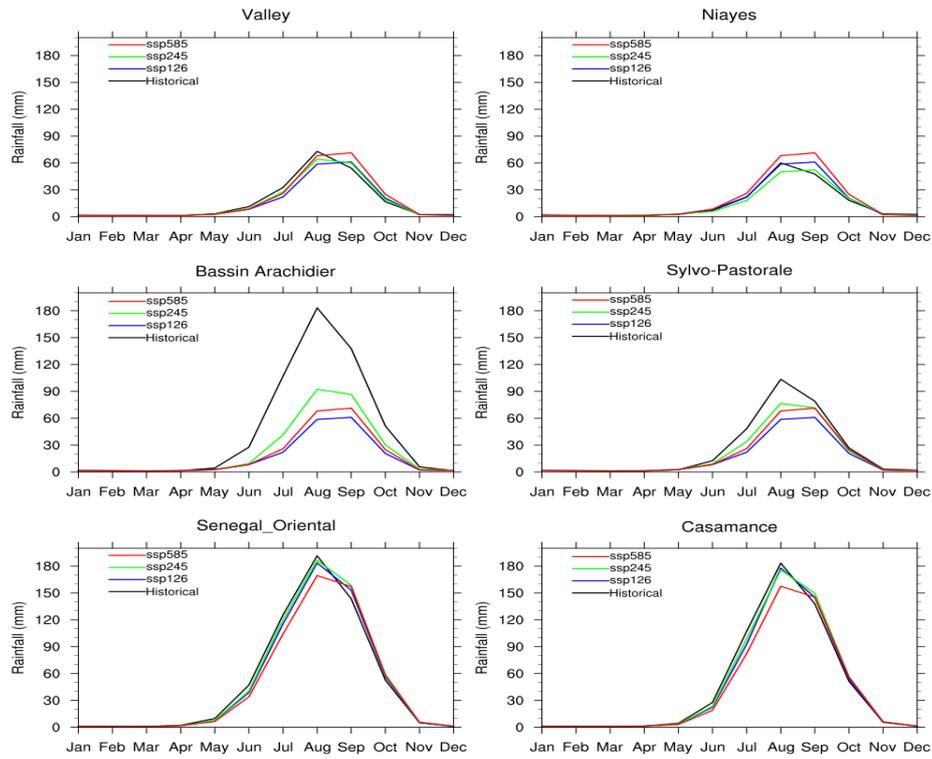


Figure 6 : Cycle annuel des précipitations sur la période historique (1981-2010) et le moyen terme (2041-2070)

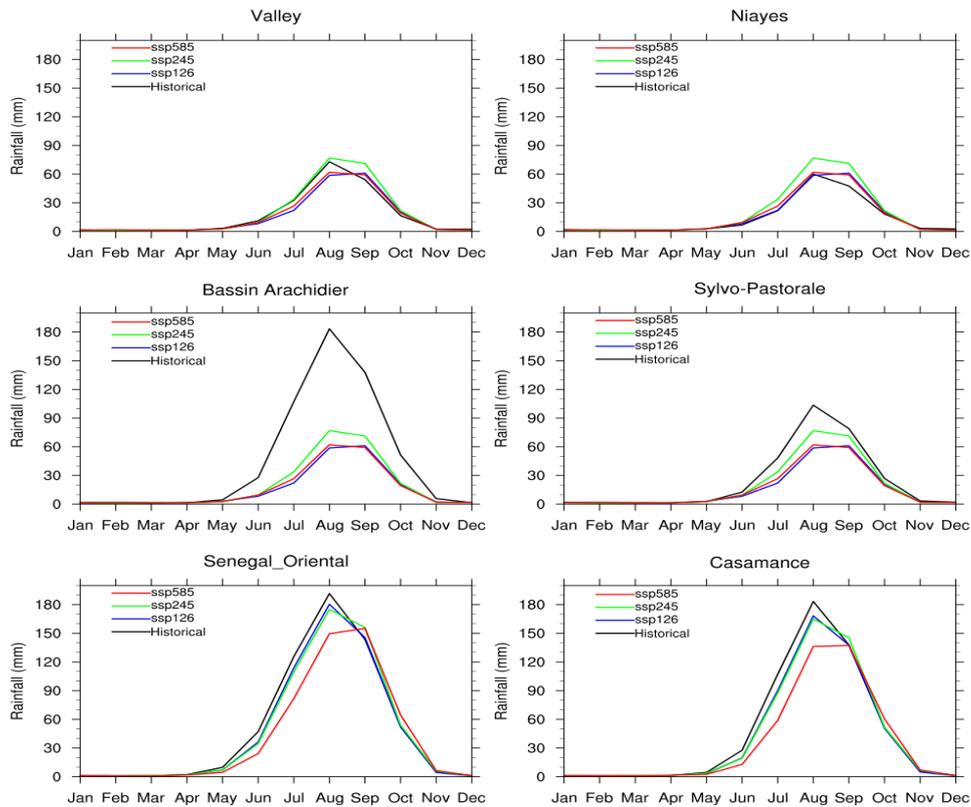


Figure 7 : Cycle annuel des précipitations sur la période historique (1981-2010) et le futur lointain (2071-2100).

La figure 8 présente les changements du nombre de jours pluvieux (en pourcentage) dans les futurs (proche, moyen et lointain) sur le Sénégal sous les trois scénarios étudiés. Dans le futur proche (2021-2040), les résultats projettent une légère augmentation du nombre de jours pluvieux au nord-est et sud-ouest du pays sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5 (Figure 8). Les résultats montrent également que le nombre de jours pluvieux diminue sur presque l'ensemble du Sénégal durant le futur proche (2021-2040) sous le scénario SSP1-2.6. Dans le moyen terme (2041-2070) et le futur lointain (2071-2100), on assistera à une baisse du nombre de jours pluvieux sur tout le Sénégal sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5. Cette baisse sera beaucoup plus importante au centre et au nord du pays et aura des conséquences négatives sur le pastoralisme qui est l'un des piliers de l'économie du pays.

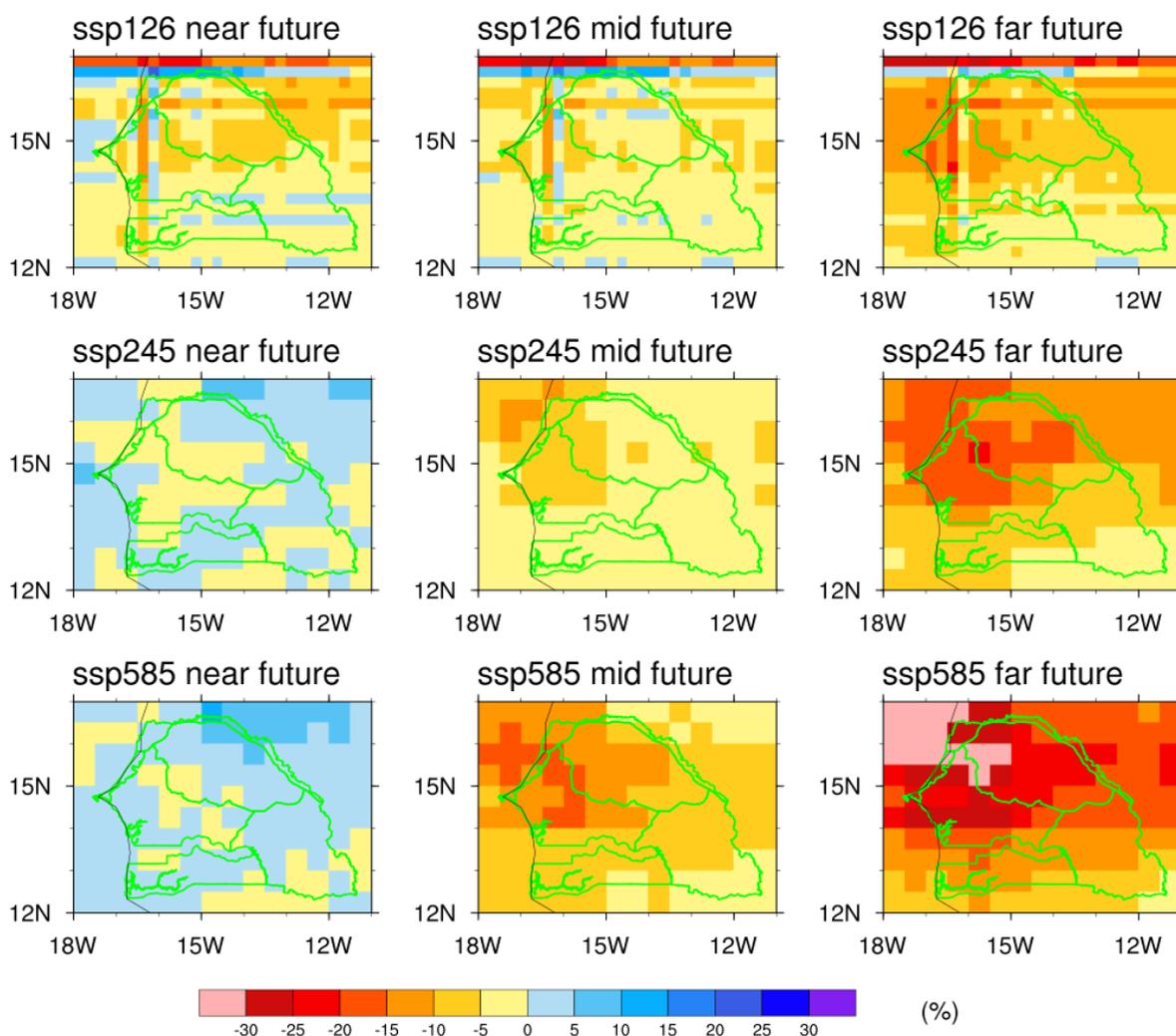


Figure 8 : Changement des jours pluvieux

Les figures 9, 10 et 11 présentent les changements mensuels des précipitations (en pourcentage) durant la saison pluvieuse (Juin-Octobre) dans les six (6) zones du pays sous les

trois scénarios étudiés. Pour le scénario SSP1-2.6, les résultats montrent que les précipitations baisseront en début de saison des pluies (Juin-Juillet) et au cœur de la saison des pluies (Août) dans quatre zones du pays (la zone Sylvo pastorale, le bassin arachidier, la vallée du fleuve et les Niayes) dans les futurs (proche, moyen et lointain). Cela est également observé sur le Sénégal oriental durant les futurs proche et moyen et sur la Casamance durant les futurs proche et lointain sous le même scénario (Figure 9). On assistera à une diminution des précipitations en début de saison des pluies (Juin-Juillet) et au cœur de la saison des pluies (Août) dans les six zones du pays dans le moyen terme (2041-2070) et le futur lointain (2071-2100) sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5 (Figures 10 et 11). Sur le moyen terme (2021-2040), on assistera à une légère augmentation des précipitations au cours des mois de Juillet et Août sur la Casamance sous le scénario SSP2-4.5 et sur le Sénégal oriental sous le scénario SSP5.8.5.

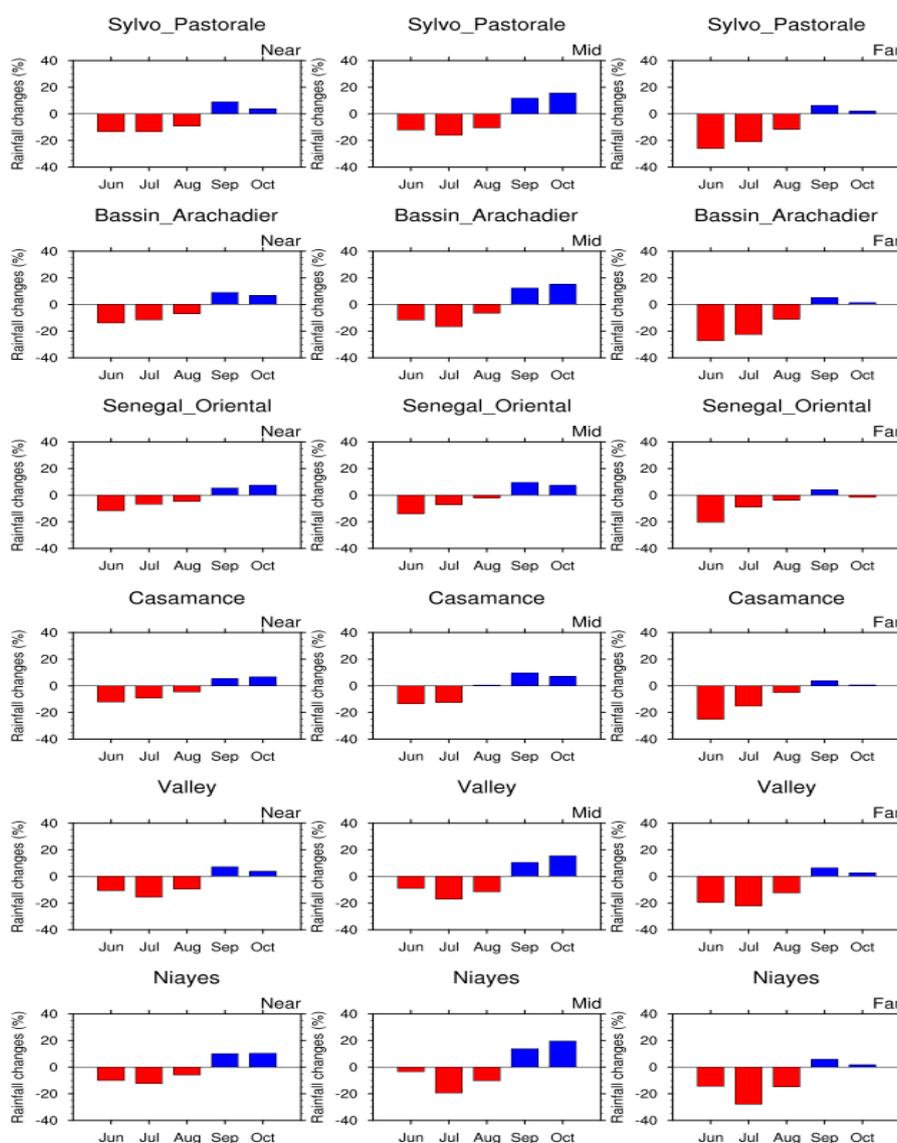


Figure 9 : *Changement des précipitations sous le scénario ssp1-2.6 durant la saison pluvieuse*

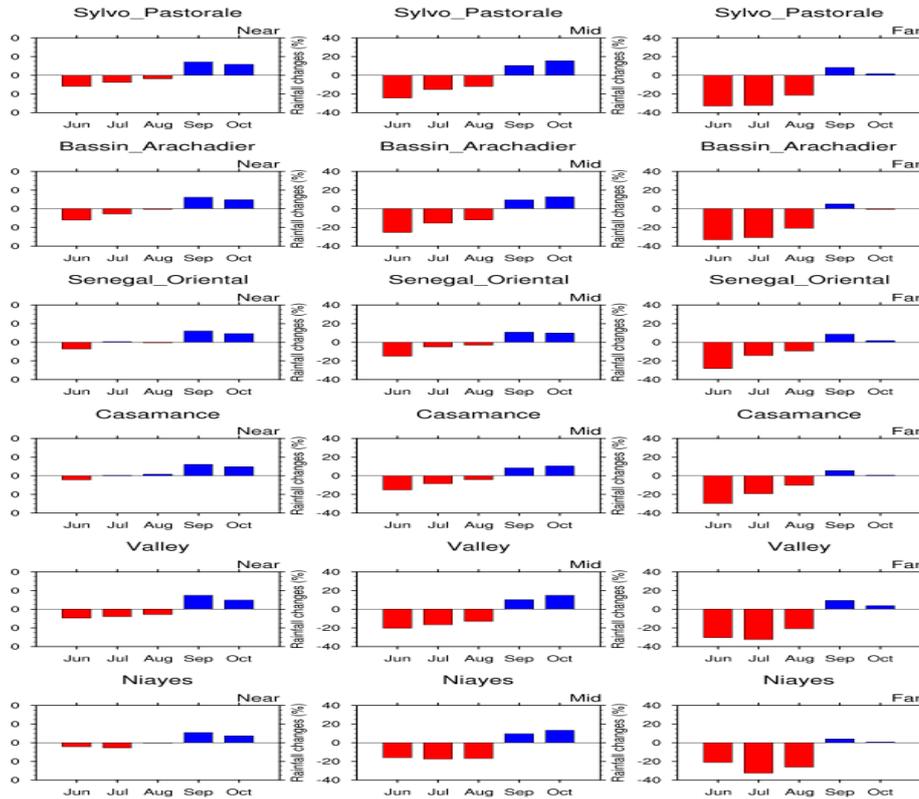


Figure 10 : *Changement des précipitations sous le scénario ssp2-4.5 durant la saison pluvieuse*

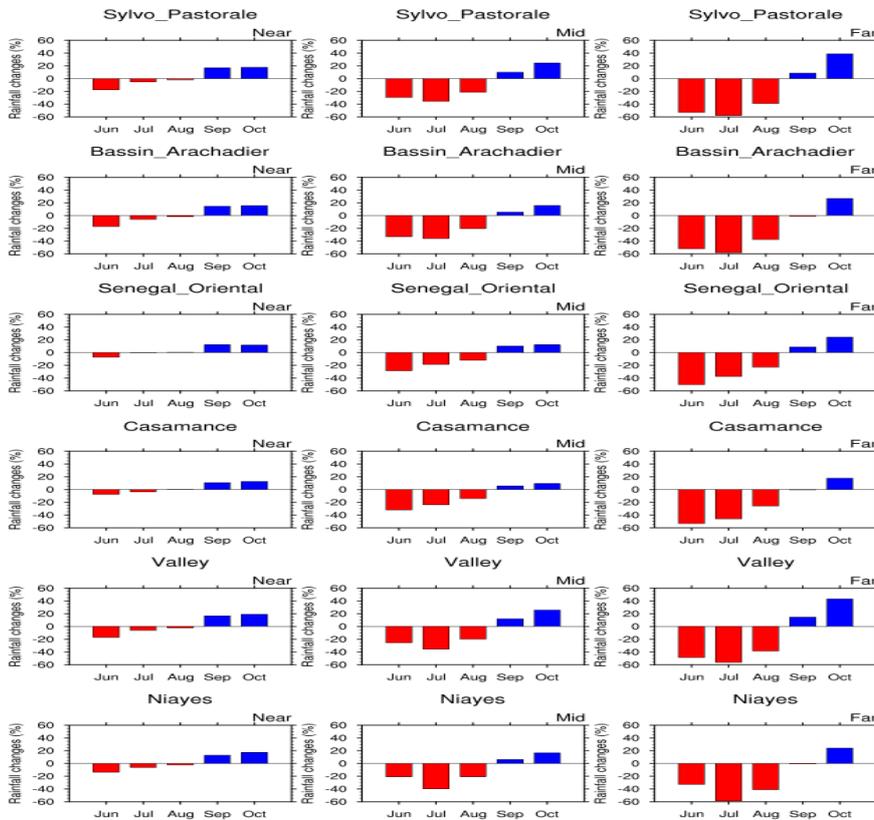


Figure 11 : *Changement des précipitations sous le scénario ssp5.8.5 durant la saison pluvieuse*

Dans la section suivante, nous diagnostiquons les changements attendus dans les extrêmes pluviométriques au niveau des six régions considérées sous ces trois scénarios. La figure 12 présente les changements interannuels des fortes précipitations sous les trois scénarios. Les résultats montrent qu'il y aura une forte fluctuation de cet indice dans le futur, on assistera à une alternance entre des années de baisse et d'augmentation des fortes précipitations dans les six zones du pays sous les trois scénarios étudiés. La baisse des fortes précipitations sera beaucoup plus ressentie dans le futur lointain (2071-2100) dans les six zones du pays sous le scénario SSP5.8.5 (Figure 12).

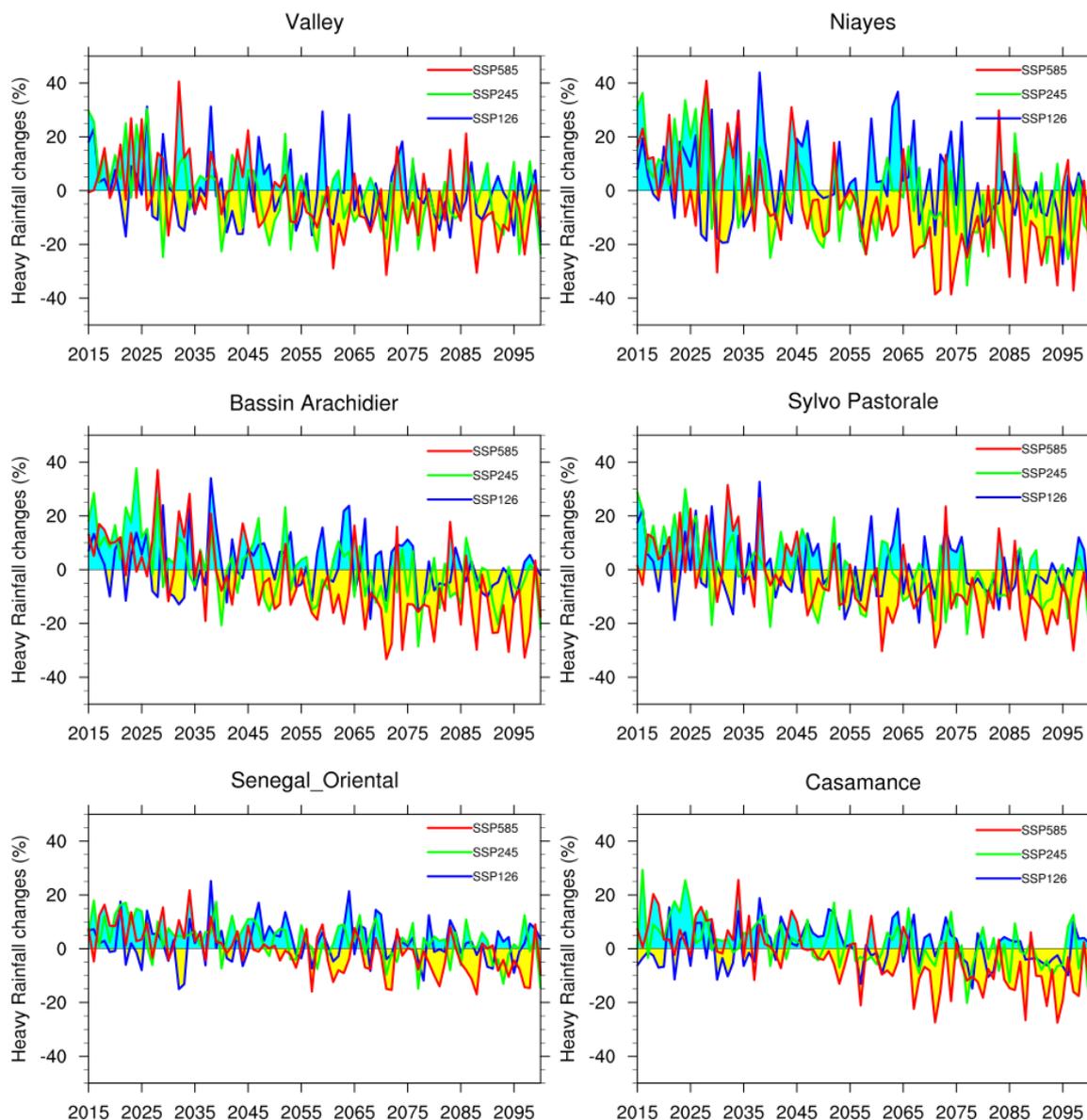


Figure 12: Changements interannuels des fortes précipitations sous les trois scénarios

Les figures 13 et 14 montrent respectivement les évolutions des changements interannuels du cumul total sur 5 jours de précipitations et de l'intensité moyenne des jours pluvieux dans

les six zones du Sénégal sous les trois scénarios. Dans le futur, on assistera à une alternance entre des années de baisse et d'augmentation du cumul total sur 5 jours de précipitations (Figure 13) et de l'intensité moyenne des jours pluvieux (Figure 14) dans les six zones du Sénégal sous les trois scénarios. L'amplitude des changements de ces deux indices sera beaucoup plus grande sous le scénario SSP5.8.5 dans la vallée du fleuve, la zone des Niayes, le bassin arachidier et la zone Sylvo pastorale. De forts pics de changements du cumul total sur 5 jours de précipitations seront enregistrés en 2055 et 2075 dans le bassin arachidier et la zone des Niayes sous le scénario SSP5.8.5 (Figure 13).

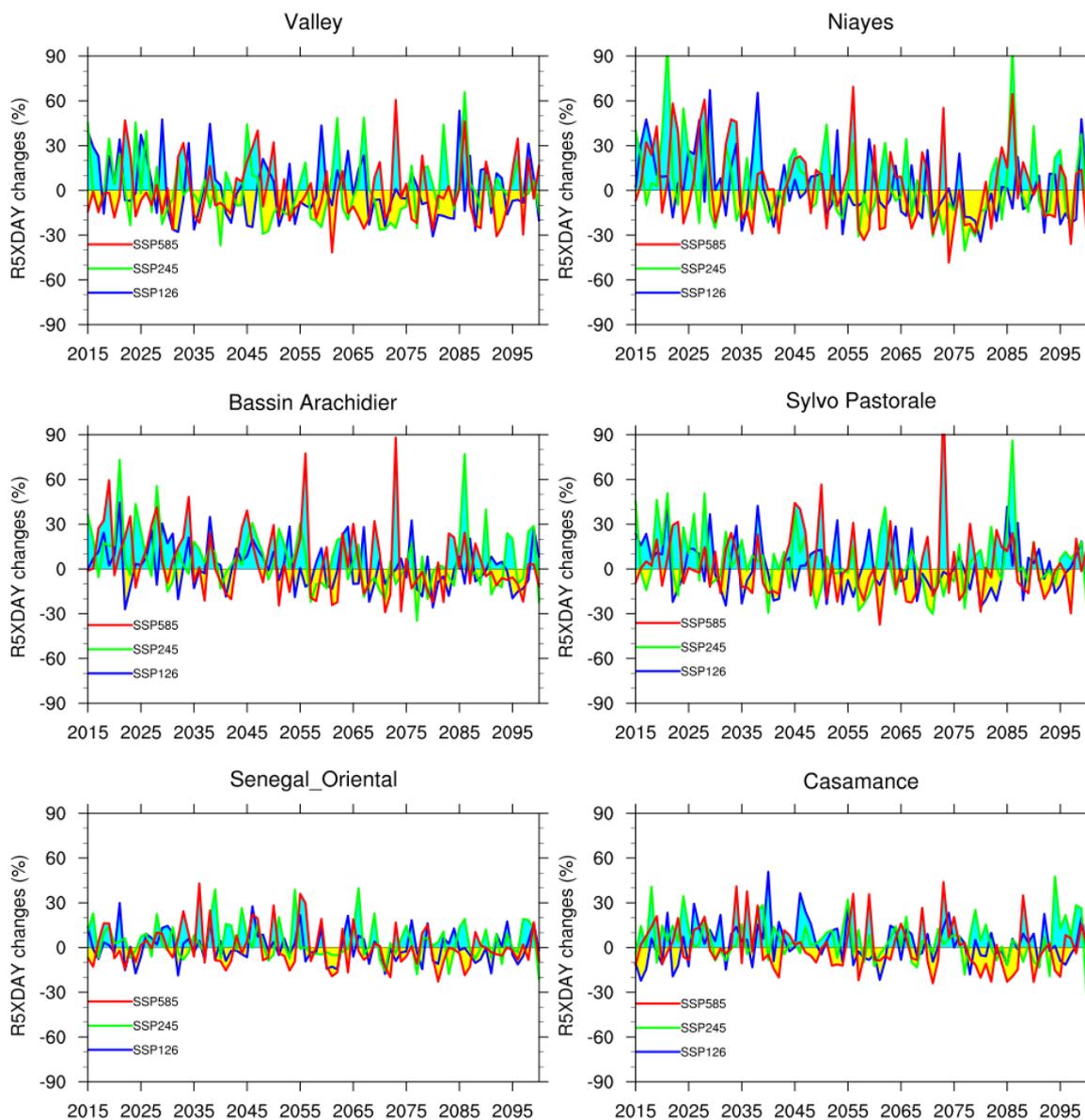


Figure 13 : Changements interannuels du cumul total sur 5 jours de précipitations sous les trois scénarios

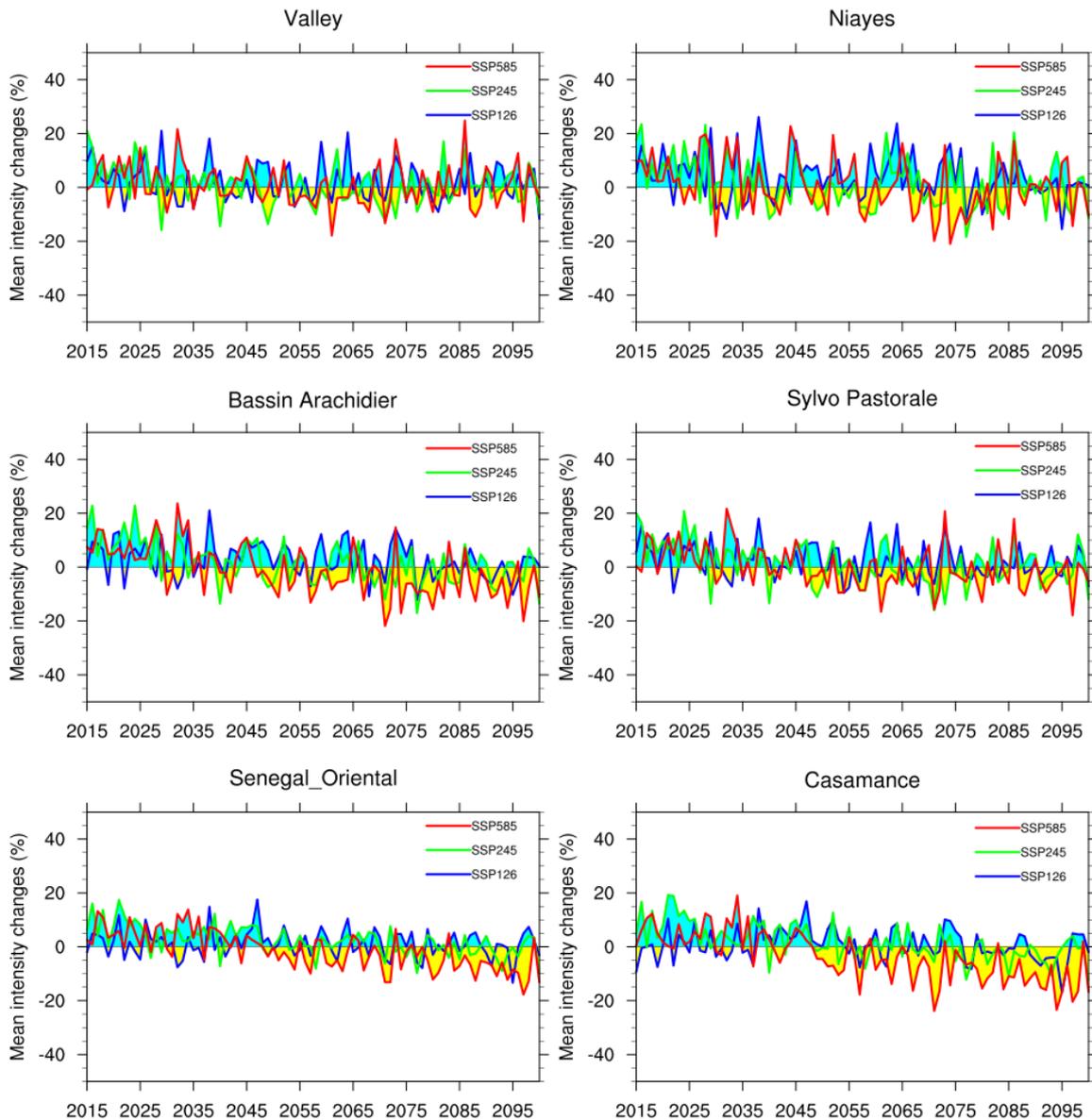


Figure 14 : *Changements interannuels de l'intensité moyenne des jours pluvieux*

Les changements interannuels du coefficient de variations des précipitations (ratio entre la déviation standard et la pluie moyenne) ainsi que les changements interannuels des précipitations moyennes sont présentés respectivement dans les figures 15 et 15. Le coefficient de variations des précipitations restera en deçà de 20% dans le présent et le moyen terme (2015-2040) avec une forte fluctuation interannuelle dans les six zones du pays sous les trois scénarios (Figure 15). A partir de 2055, on assistera à beaucoup d'années où le coefficient de variations des précipitations sera au-dessus de 20% avec une faible fluctuation interannuelle. Quand on observe les changements interannuels des précipitations moyennes (Figure 16), on assistera à une forte fluctuation interannuelle marquée par une succession des années de baisse et d'augmentation de la pluie dans les six zones du pays dans le présent et

le moyen terme (2015-2050) sous les trois scénarios. A partir de 2066, on assiste à une baisse générale des précipitations dans les six zones du pays sous les trois scénarios (Figure 16). Cette baisse sera plus ressentie sous le scénario SSP5.8.5.

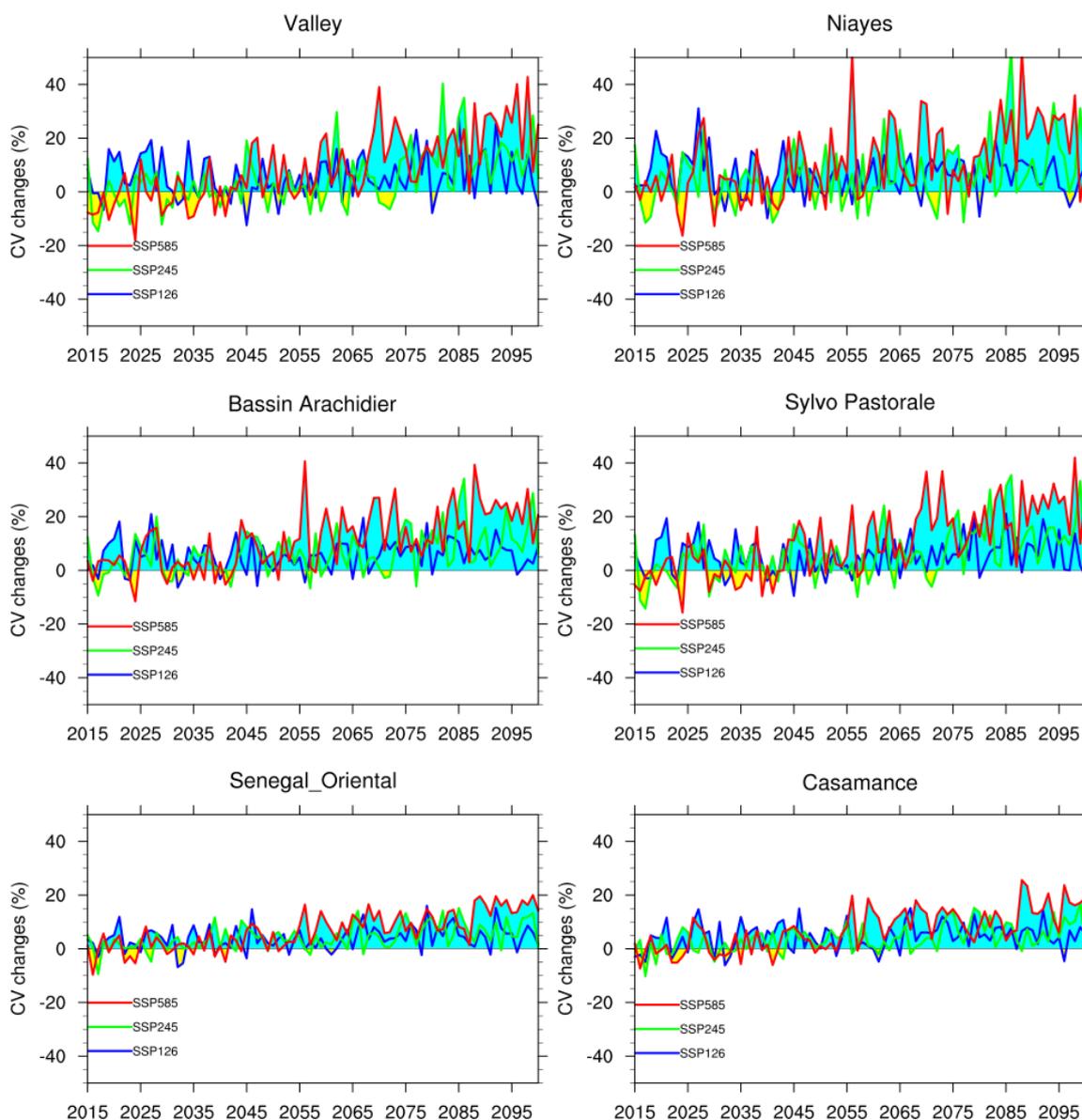


Figure 15 : *Changements interannuels du coefficient de variations des précipitations*

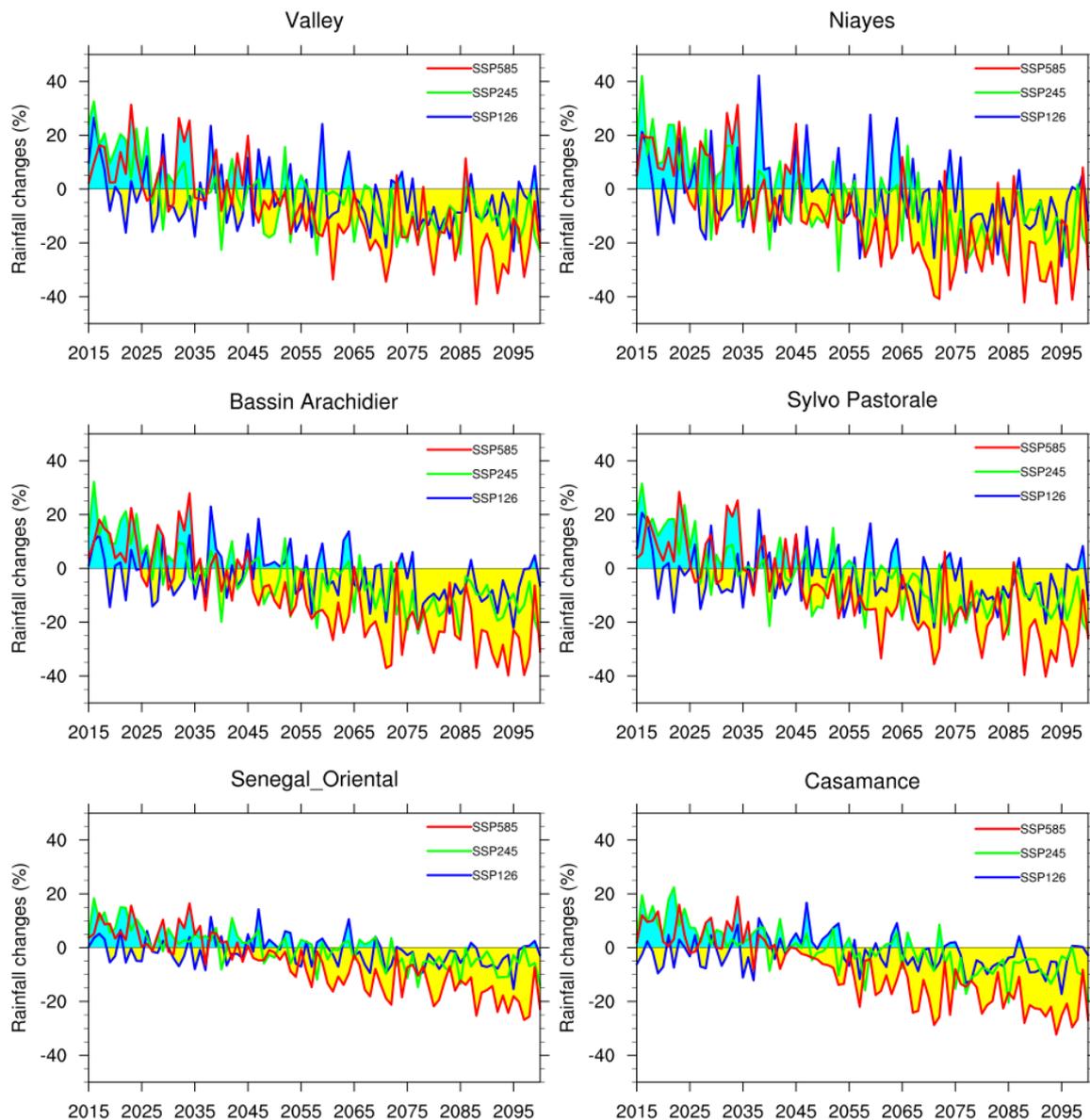


Figure 16 : *Changements interannuels des précipitations moyennes*

4.2.2 Températures

Le cycle annuel de la température moyenne est présenté sur les figures 17, 18 et 19 pour les périodes historiques (1991-2010 et 1981-2010) et le futur. Sur les deux périodes historiques (1991-2010 et 1981-2010), l'analyse des données montre que le nord (la vallée du fleuve et la zone Sylvo pastorale) et le centre du pays (le bassin arachidier) sont plus chauds que le sud (la Casamance et le Sénégal oriental) pendant la saison des pluies (Juin-Septembre) (Figures 17, 18 et 19). La température moyenne augmentera durant le futur dans les six zones du pays sous les trois scénarios. Ces augmentations seront plus importantes sous le scénario SSP1-2.6 dans le futur proche (Figure 17) et sous le scénario SSP2-4.5 dans le moyen terme (2021-2040) et le futur lointain (2071-2100) (Figures 18 et 19).

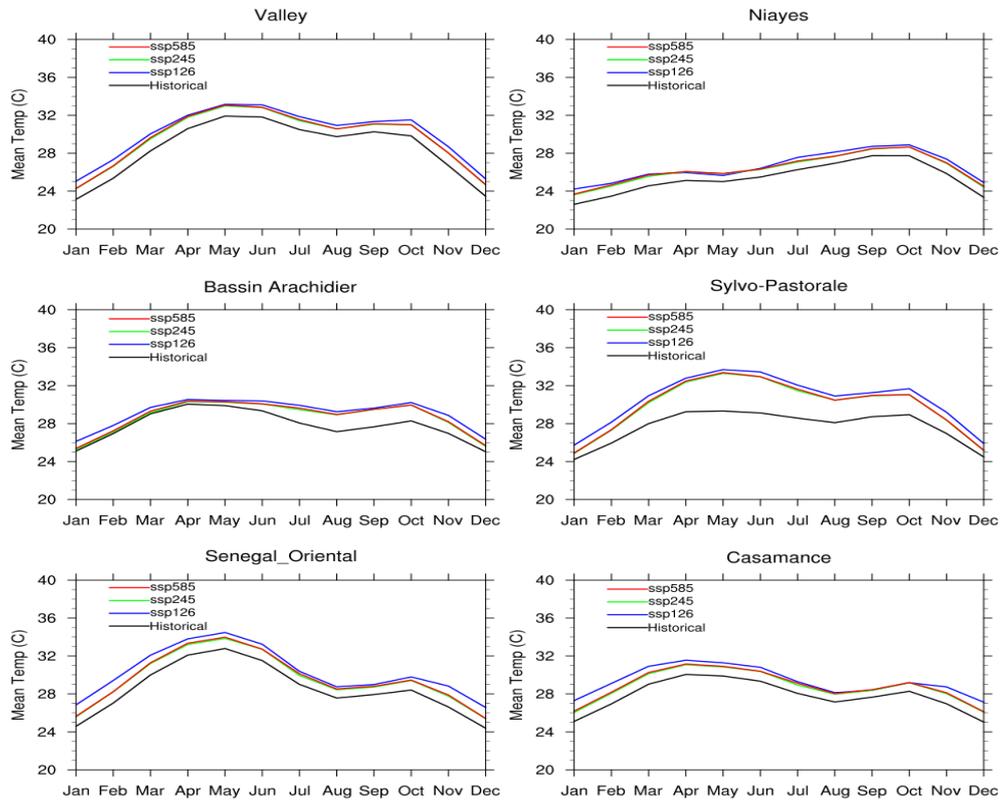


Figure 17: Cycle annuel de la température moyenne sur la période historique (1991-2010) et le futur proche (2021-2040)

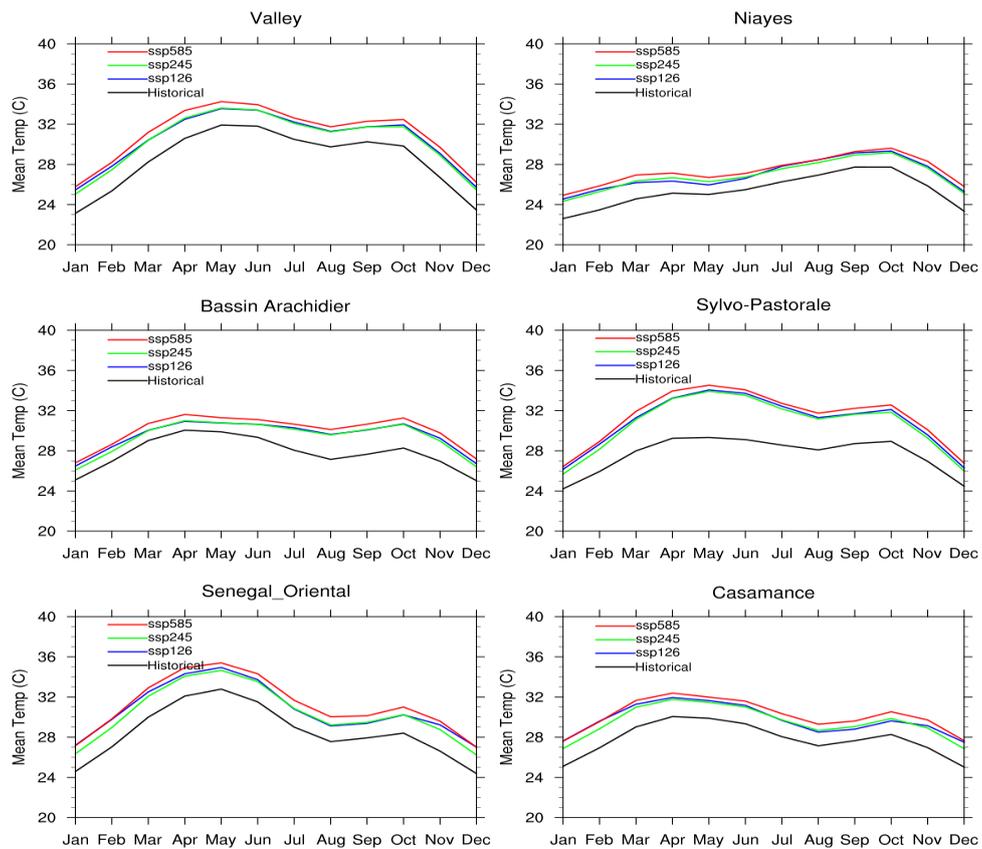


Figure 18: Cycle annuel de la température moyenne sur la période historique (1981-2010) et le moyen terme (2041-2070)

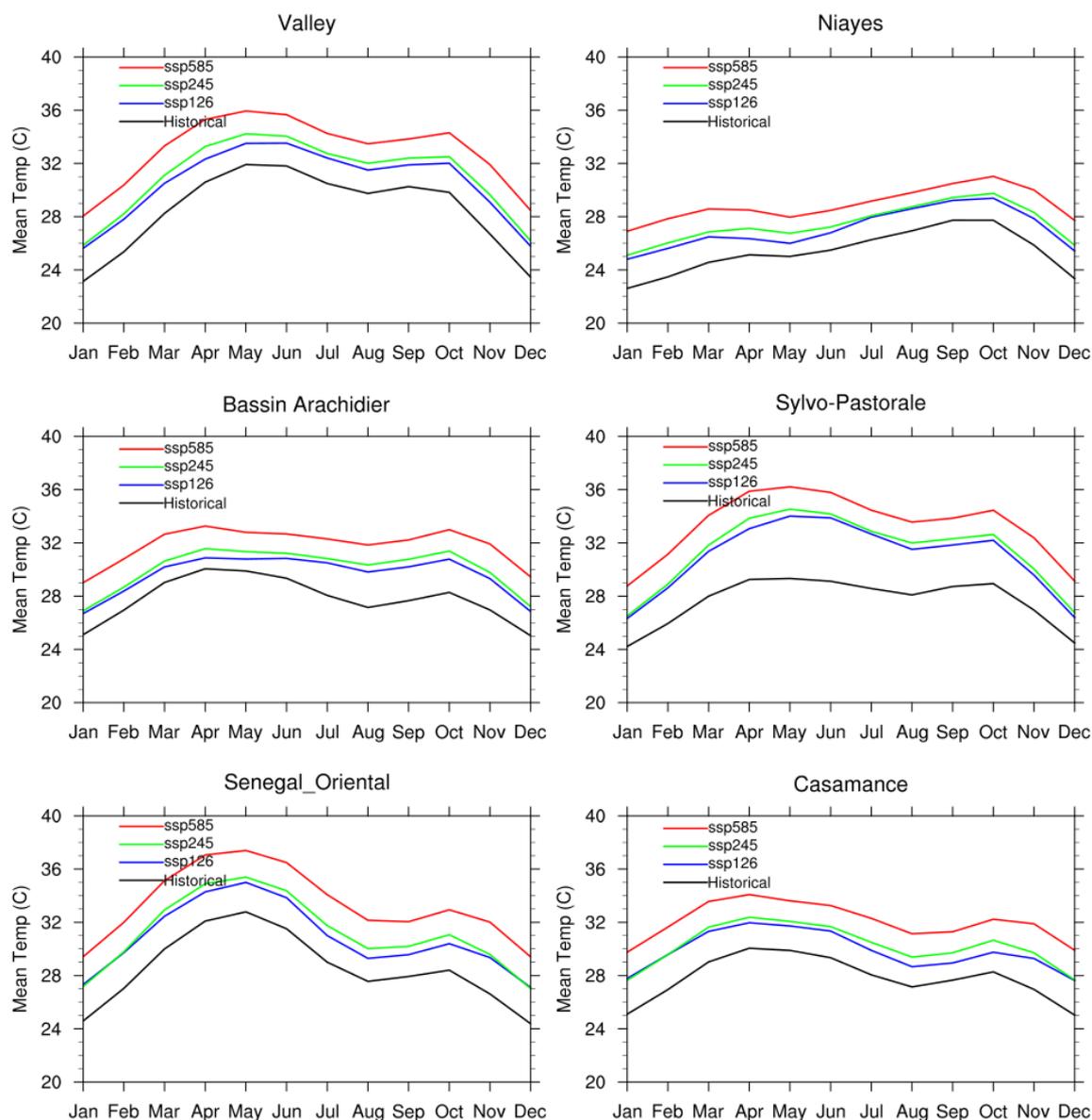


Figure 19: Cycle annuel de la température moyenne sur la période historique (1981-2010) et le futur lointain (2071-2100)

La connaissance de l'évolution des températures moyenne, minimale et maximale est d'une importance capitale pour plusieurs secteurs économiques, particulièrement pour l'agriculture. Les figures 20, 21 et 22 présentent respectivement l'évolution temporelle des changements interannuels de la température moyenne, minimale et maximale dans le futur par rapport à la période de référence. Les résultats montrent que les six zones du pays ont subi un faible réchauffement durant la période historique 2015-2020. Les températures (moyenne, minimale et maximale) augmenteront dans les six zones du pays sous les trois scénarios. Ces réchauffements s'amplifient à partir des années 2050 sous le scénario SSP2-4.5. En outre, l'agriculture qui est une source de revenu indispensable pour les paysans du pays est le secteur le plus sensible aux changements de la température. En effet, les très fortes

augmentations de température peuvent inhiber la croissance de certaines plantes (Salack et al. 2015; Basak et al. 2013). Ainsi, les rendements de certaines cultures telles que le blé, le riz, le maïs ou l'arachide peuvent être considérablement réduits par des températures extrêmement élevées au stade clé de développement. Ces augmentations de températures peuvent aussi avoir des impacts négatifs sur la santé humaine comme l'ont montré certaines études (Hass et al. 2016; Garland et al. 2015).

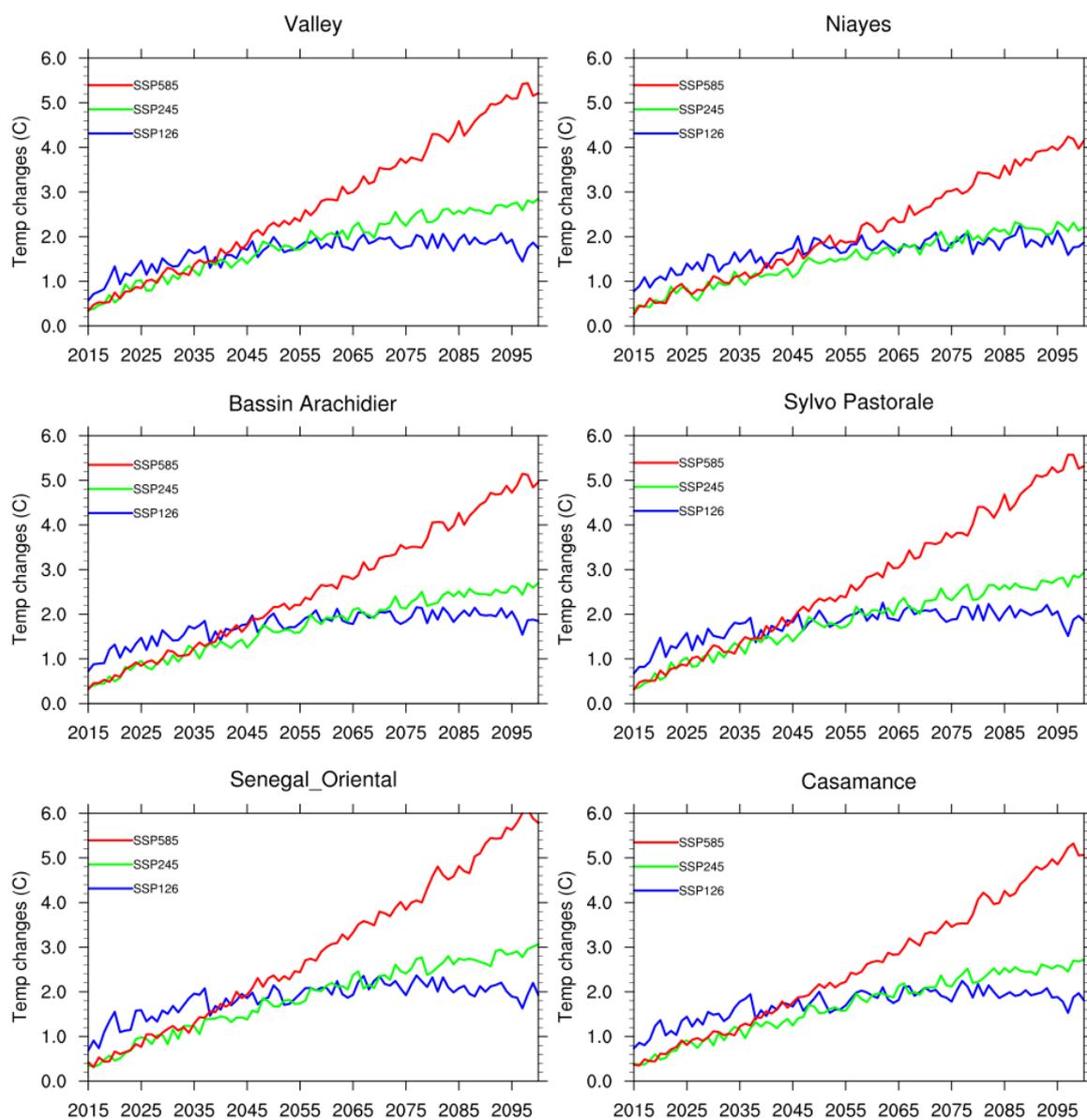


Figure 20 : *Changements interannuels des températures moyennes*

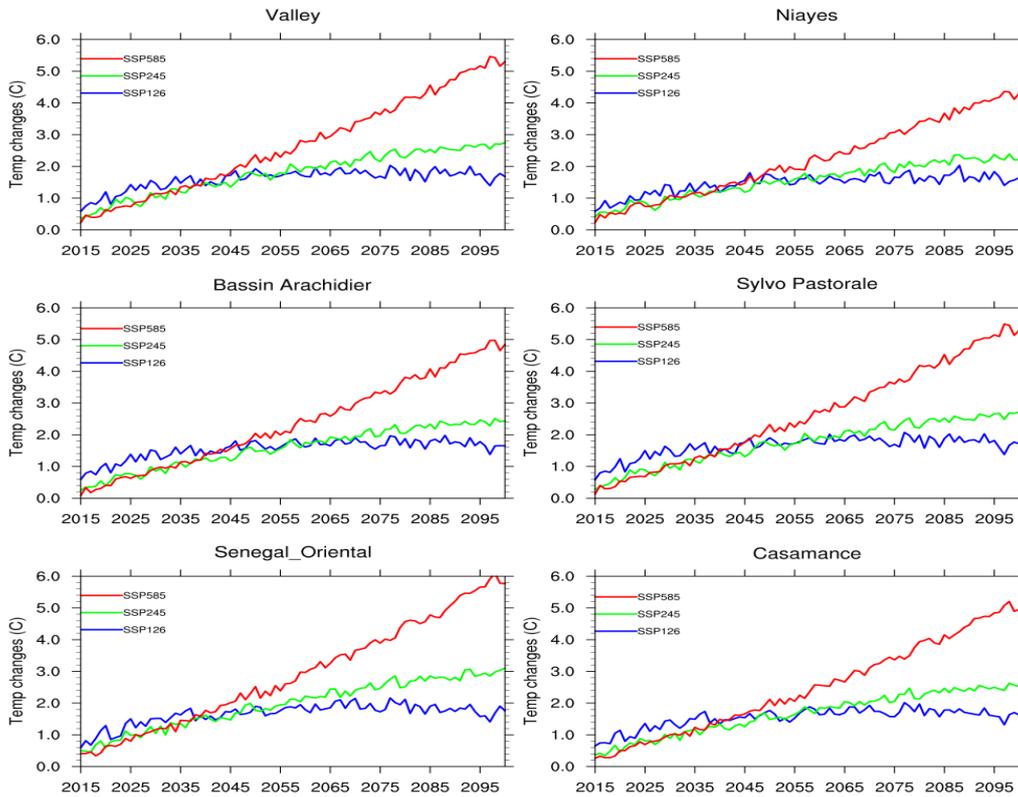


Figure 21 : *Changements interannuels des températures minimales*

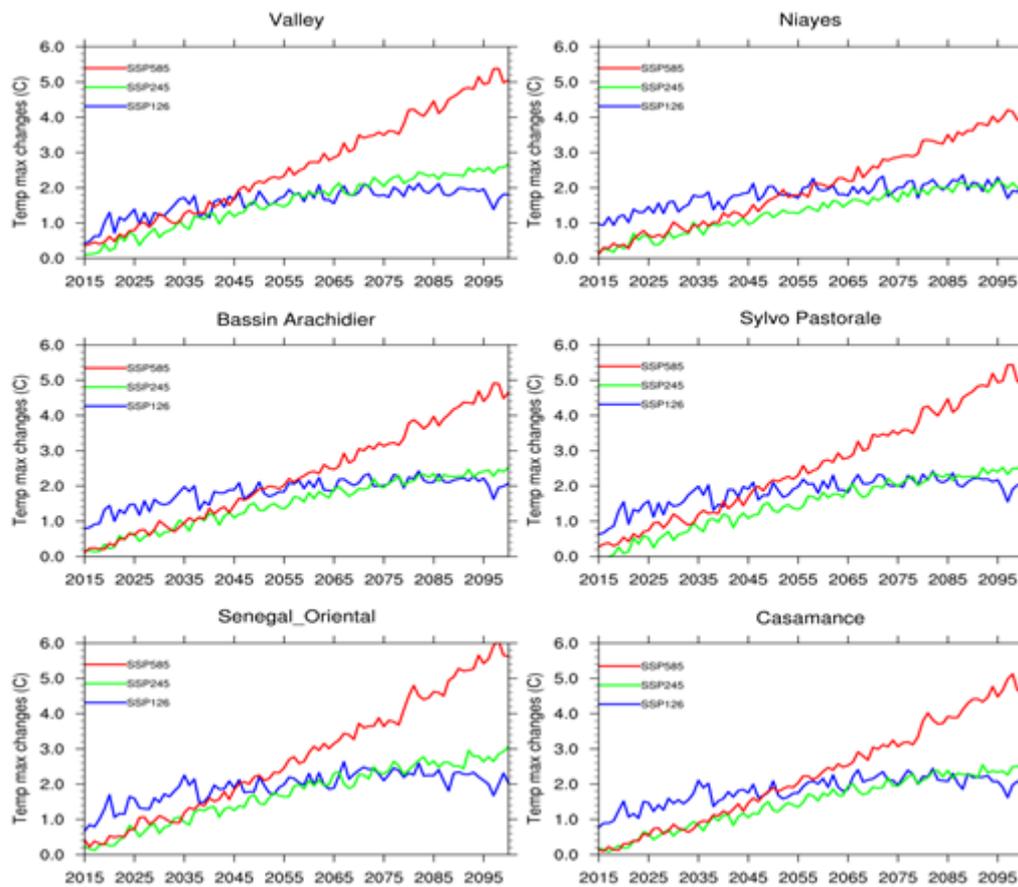


Figure 22 : *Changements interannuels des températures maximales*

En analysant, les figures 23, 24 et 25, les résultats montrent que les températures moyenne et maximale augmenteront beaucoup plus vite que celle minimale sous le scénario SSP1-2.6 dans le bassin arachidier, au sud (en Casamance et sur le Sénégal oriental) ainsi que dans les Niayes et la zone Sylvo pastorale (Figure 23). Ce qui suggère une augmentation de la fréquence des journées chaudes sous le scénario SSP1-2.6 dans le futur. Les résultats montrent également que les températures moyenne et minimale augmenteront beaucoup plus vite que celle maximale sous le scénario SSP2-4.5 dans les six zones du pays (Figure 24).

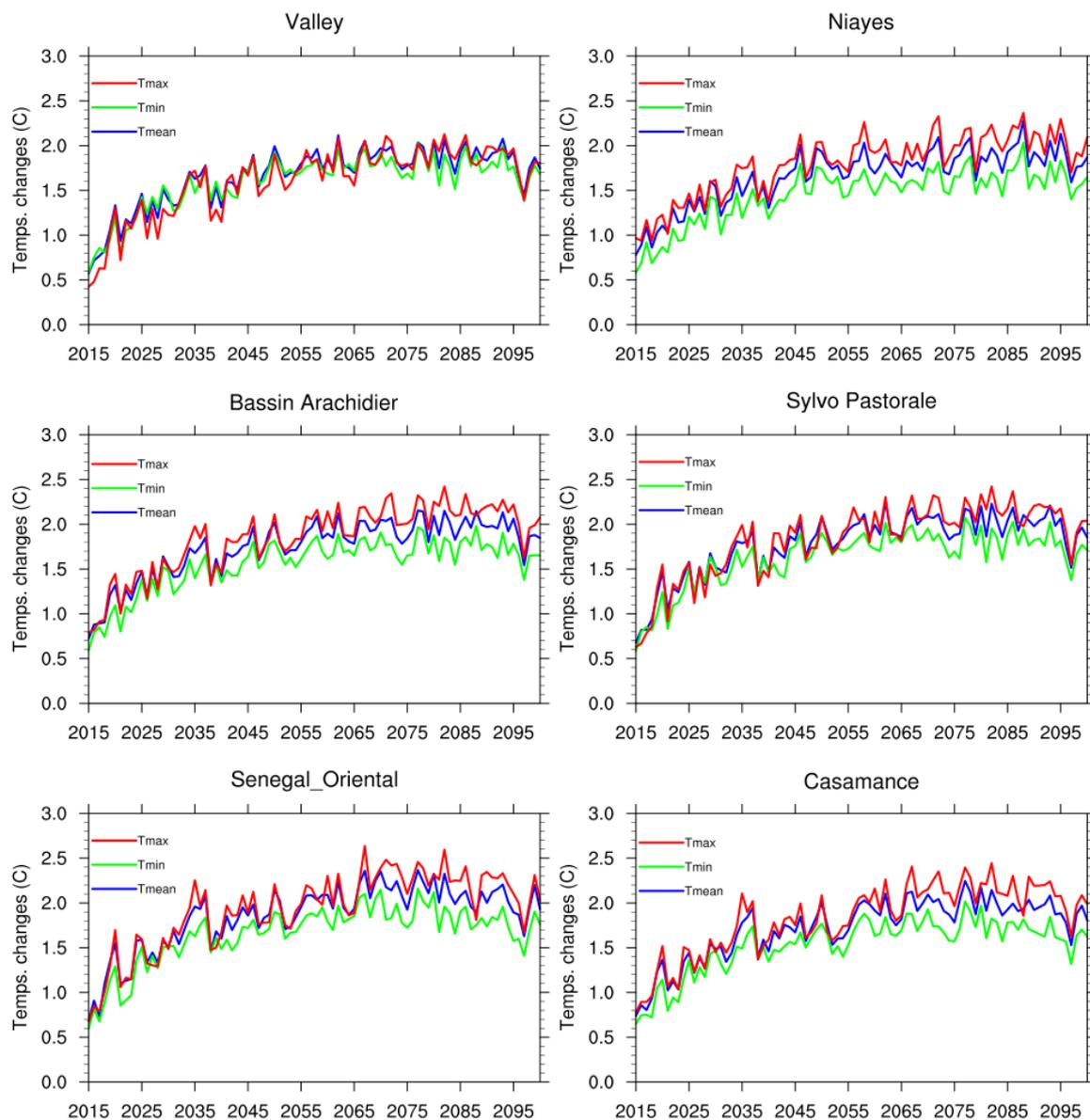


Figure 23 : Changements interannuels des températures moyennes, minimales et maximales sous le scénario ssp1-2.6

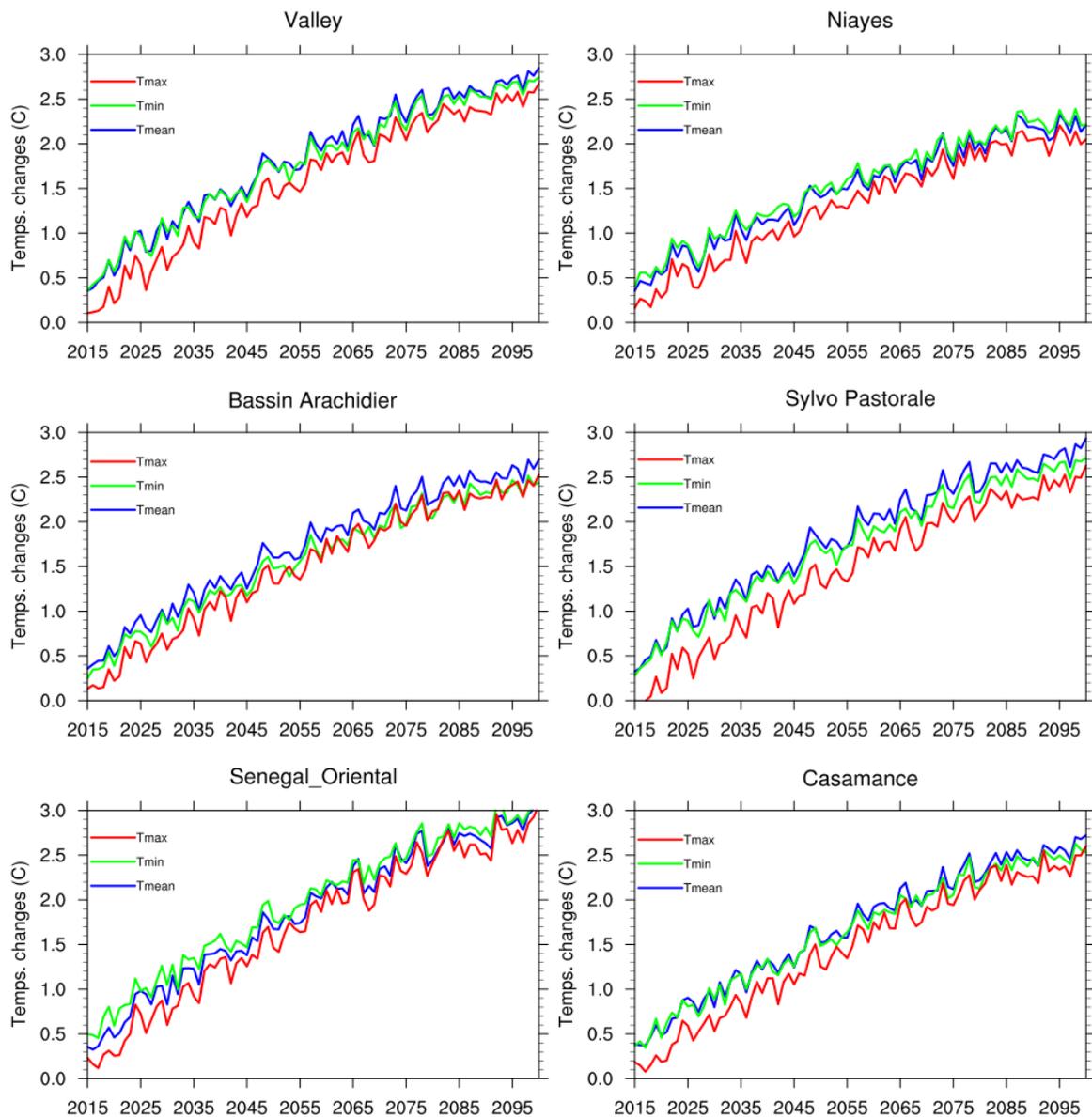


Figure 24 : Changements interannuels des températures moyennes, minimales et maximales sous le scénario ssp2-4.5

Cette variation de l'amplitude thermique aura des effets sur la biodiversité et les services écosystémiques, sur l'agriculture et sur la demande en énergie. L'augmentation rapide de la température minimale pourrait également entraîner une diminution sur la variation diurne de la température comme l'ont montré Ly et al. (2013); Caesar et al. (2006); Easterling, (1997) dans leurs travaux. On note qu'il n'y aura pas une grande différence entre l'amplitude de l'augmentation des températures moyenne, minimale et maximale dans le futur sous le scénario SSP5.8.5 (Figure 25).

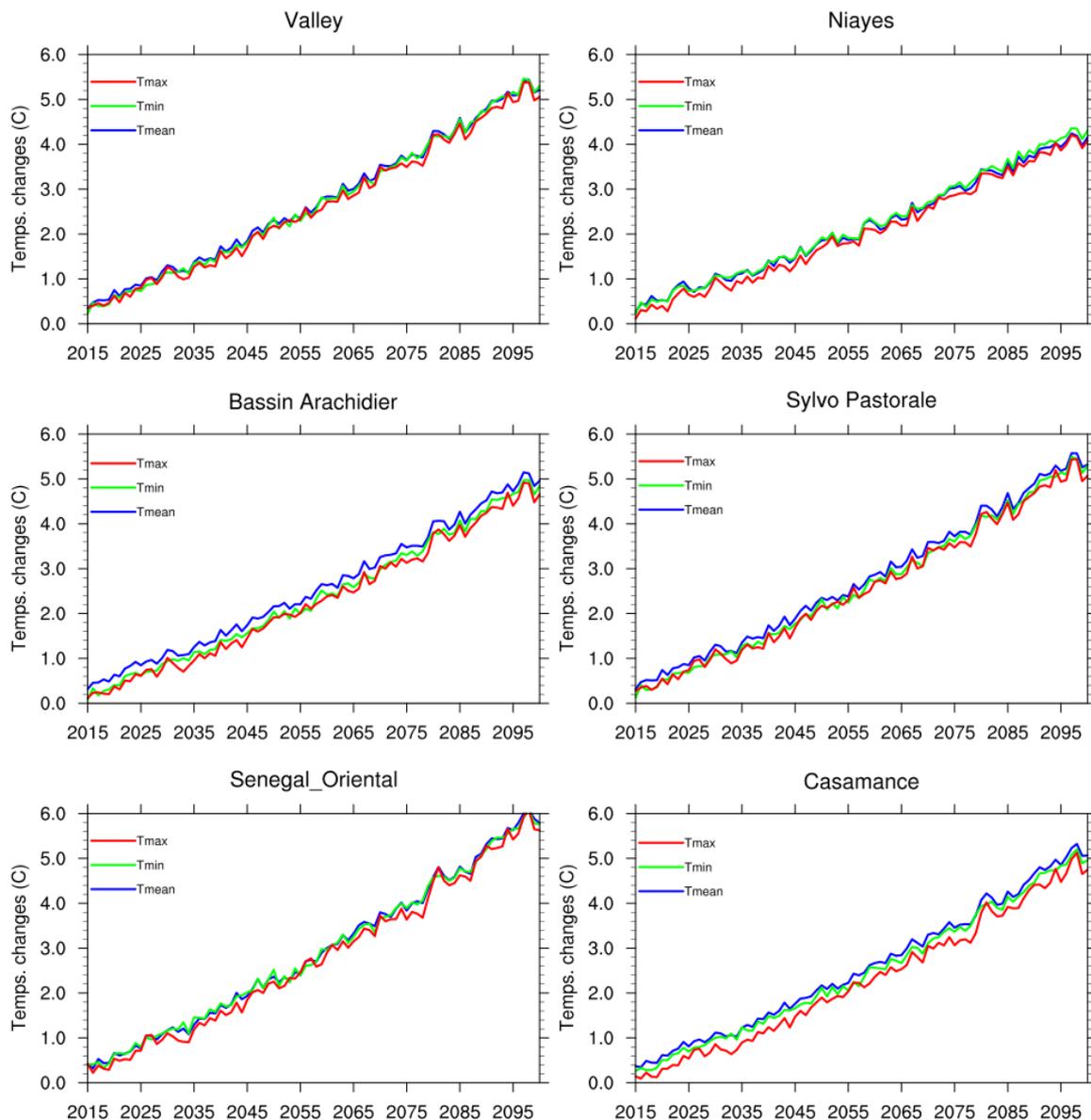


Figure 25 : Changements interannuels des températures moyennes, minimales et maximales sous le scénario ssp5.8.5

La figure 26 montre la distribution spatiale du changement annuel de la température moyenne sur le Sénégal dans le futur par rapport à la période de référence sous les trois scénarios. Les résultats montrent que l'ensemble du pays subira un réchauffement sous les trois scénarios durant le futur proche (2021-2040), le moyen terme (2041-2070) et le futur lointain (2071-2100). Ce réchauffement pourrait s'amplifier au fur et à mesure dans le futur selon les trois scénarios. Sur la période 2021-2040 (futur proche), le réchauffement sera plus ressenti sous le scénario SSP1-2.6. Nous notons aussi qu'il n'y aura pas de grandes différences entre les scénarios SSP2-4.5 et SSP5.8.5 sur le futur proche. Le réchauffement s'accroît considérablement à l'est du pays dans le moyen terme et dans le futur lointain sous le scénario

SSP5.8.5. Cette zone pourrait faire face à une situation d'inconfort thermique des populations et du bétail.

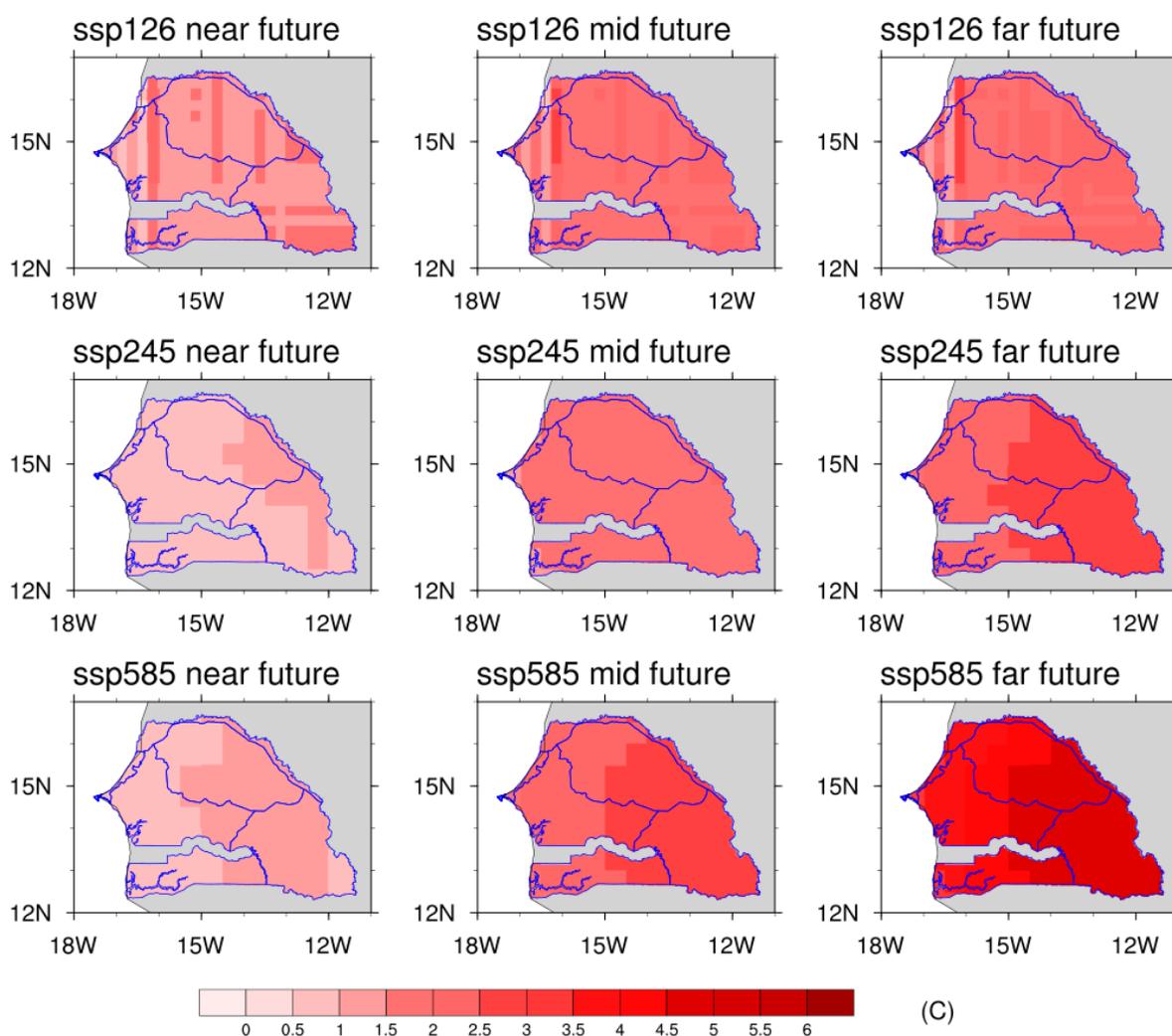


Figure 26 : *Changement annuel de la température moyenne*

Les figures 27 et 28 montrent les taux de changement des températures (minimale, moyenne et maximale) interannuelles dans les six zones éco-géographiques sous les scénarios ssp 245 et ssp 585. Quelle que soit la zone, la température ou le scénario considéré, nous notons une augmentation générale des températures pouvant atteindre plus de 3 C sous ssp 245 et 5 C sous ssp 585 à la fin du siècle. Le Sénégal oriental affiche le réchauffement le plus élevé tandis que la vallée du fleuve montre la hausse la plus faible. Le décalage du réchauffement entre les différentes zones apparaît vers 2050 ; cela pourrait être expliqué par la dominance de la variabilité interne du climat sur les projections aux horizons proches, tandis que les forçages anthropiques ont beaucoup plus d'influence sur le long terme dans les simulations climatiques. Des variations similaires sont aussi notées avec le scénario ssp 126 (voir annexe : figure A1).

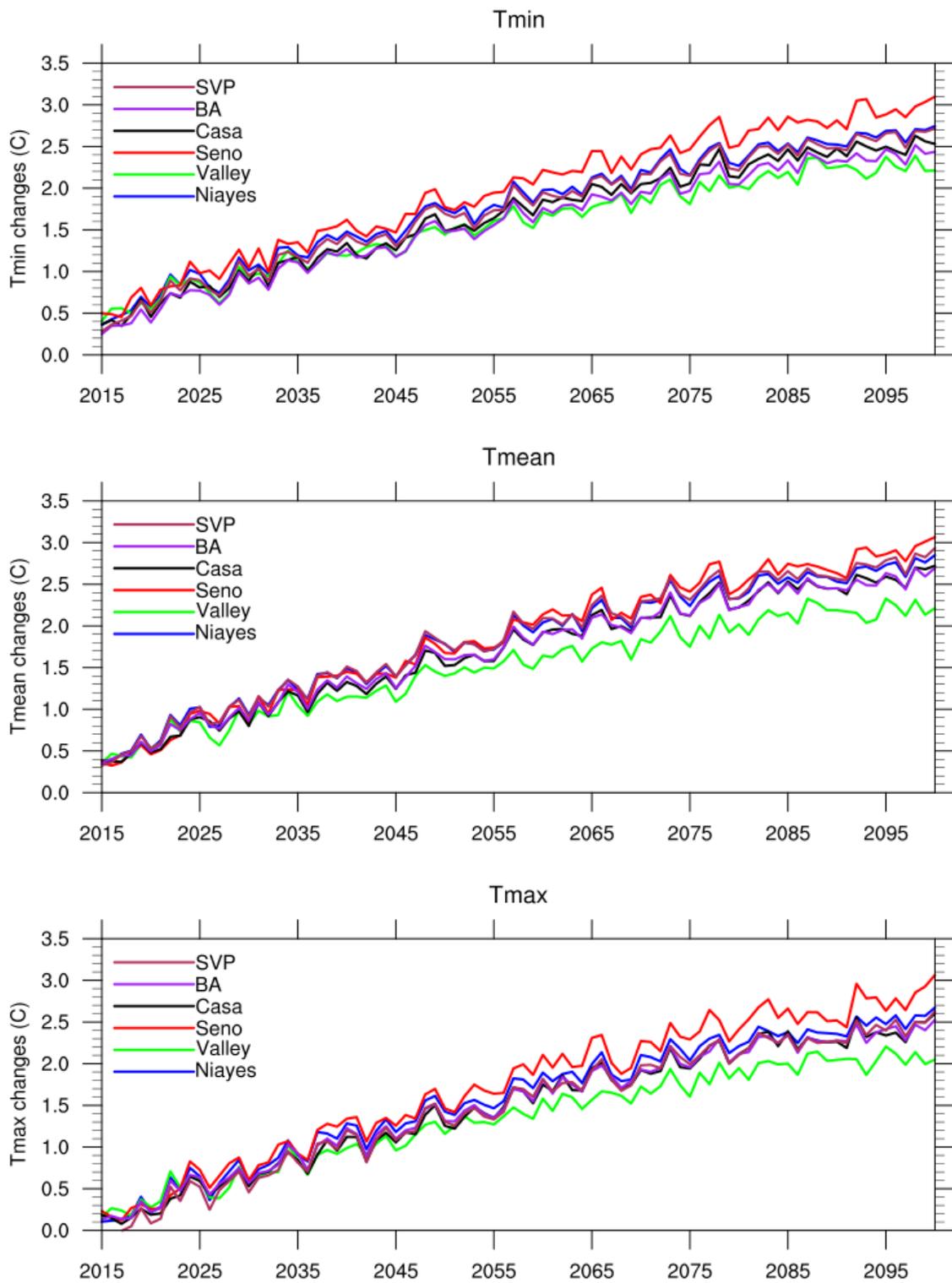


Figure 27: *Taux de changement des températures sous le scénario SSP 245 (SVP: sylvopastoral, BA: bassin arachidier, casa: Casamance, seno: Sénégal oriental).*

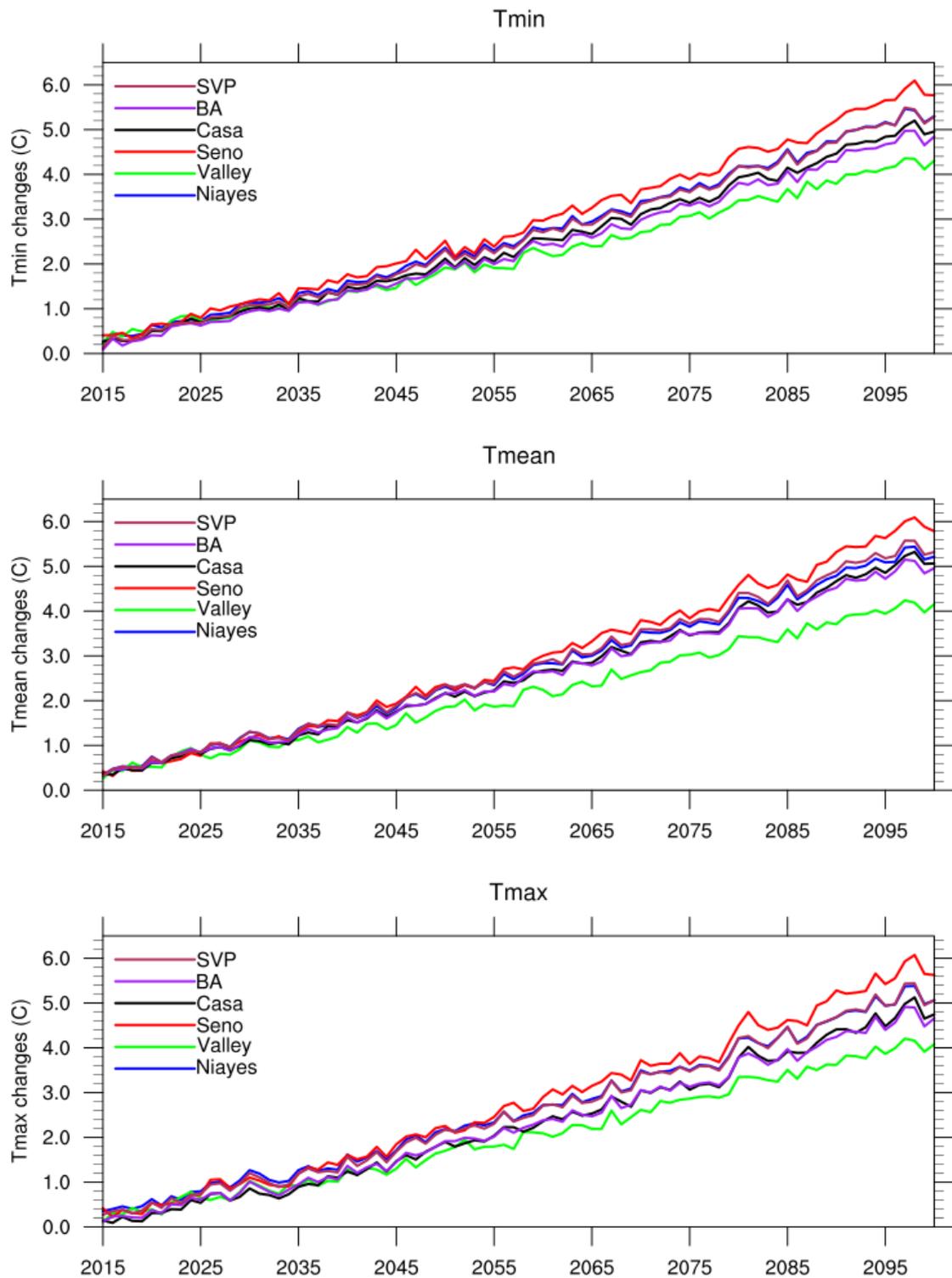


Figure 28: *Taux de changement des températures sous le scénario SSP 585 (SVP: sylvopastoral, BA: bassin arachidier, casa: Casamance, seno: Sénégal oriental).*

La figure 29 synthétise les changements de la température moyenne et des précipitations dans chaque zone éco-géographique sur le futur proche, moyen et lointain. Ainsi, pour le futur proche, les taux de changement ne dépassent 1.5 C quel que soit le scénario considéré.

Généralement, le réchauffement tourne autour de 1 C avec de faibles augmentations (> 5%) des précipitations sous les scénarios SSP 245 et SS P 585. Des conditions relativement normales pour les précipitations accompagnées d'un réchauffement d'environ 2 C sont trouvés au moyen terme sous le faible scénario. En outre, le réchauffement s'accroît avec le fort scénario (hausse de 2 à 3C). La diminution des pluies est beaucoup plus marquée dans le bassin arachidier alors que les températures se réchauffent plus dans le Sénégal oriental. Quant au futur lointain, la baisse des précipitations varie de -5% (Sénégal oriental) à -25% (bassin arachidier), tandis que la hausse de la température moyenne varie de 3,5 C (dans la zone des Niayes) à 4,85C (dans le Sénégal oriental). En général, les taux de changements sont plus importants sous le scénario ssp 585 aussi bien pour les températures que pour les précipitations au futur lointain.

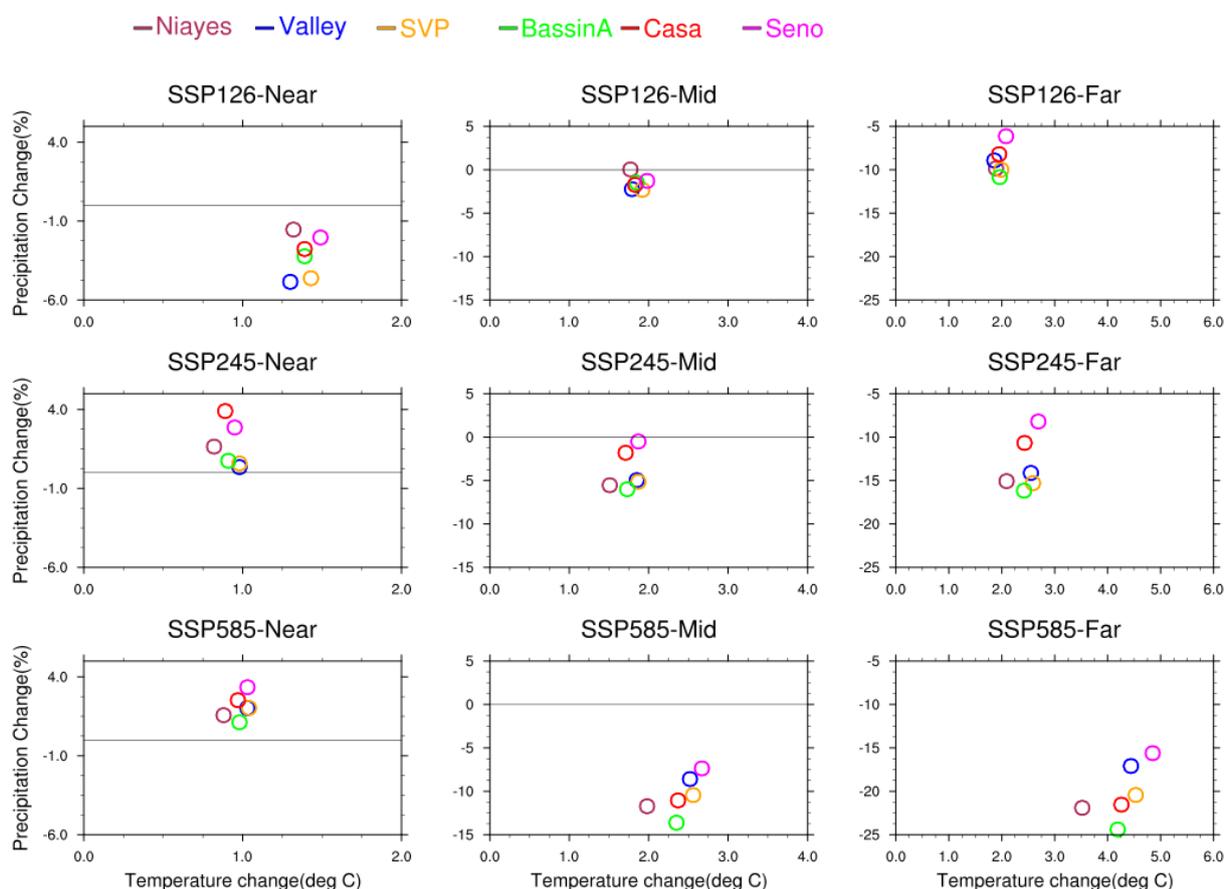


Figure 29: Taux de changement de la température moyenne et des précipitations sous les trois scénarios et sur toutes les périodes (SVP: sylvopastoral, bassinA: bassin arachidier, Casa: Casamance, Seno: Sénégal oriental).

4.2.3 Projections futures des débits

Dans cette section, nous avons utilisé les simulations hydrologiques réalisées en Afrique de l'Ouest dans le cadre du projet AMMA-2050 par Rameshwaran *et al.* (2022). Les analyses ont été réalisées sur les grands bassins versants à savoir : le bassin du fleuve Casamance (figure 30), celui du fleuve Gambie (figure 31), et le bassin versant du fleuve Sénégal (figure 32). Nous avons considéré que les stations hydrométriques situées au Sénégal pour les bassins transfrontaliers. Les taux de changements interannuels ont été calculés par rapport à la période de référence 1985-2014.

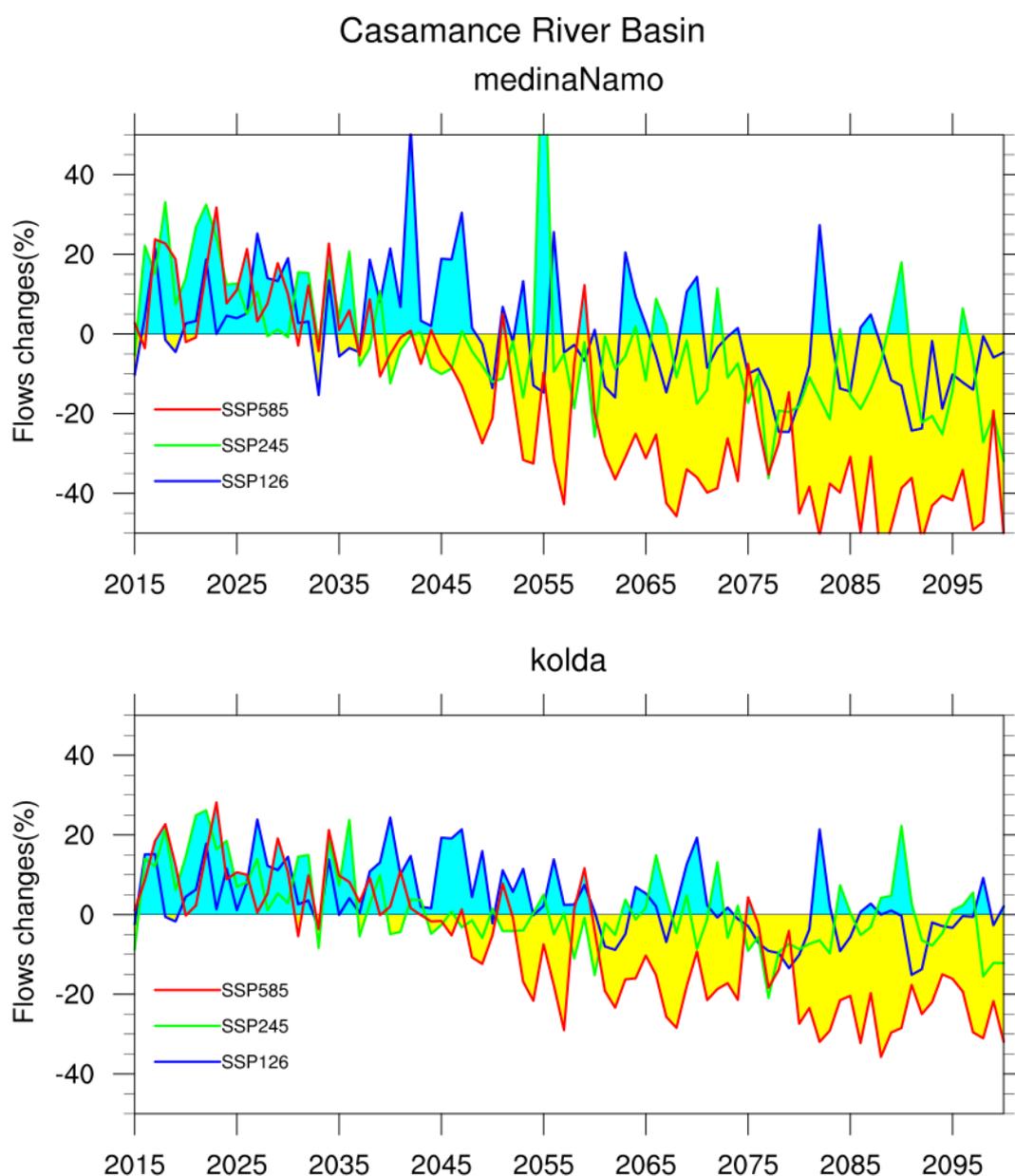


Figure 30: Taux de changements des débits futurs dans le bassin du fleuve Casamance aux stations de Médina Namu et Kolda

De fortes variations interannuelles sont observées sur l'ensemble des stations étudiées dans tous les bassins versants. De 2015 à 2045, les bassins versants pourraient connaître de légères hausses des écoulements (20%) comme indiquées sur les figures 26,27 et 28. Après ces conditions relativement excédentaires, l'ensemble des bassins vont faire face à une baisse considérable des débits pouvant atteindre 40% vers la fin du siècle avec le scénario sssp 585, en général. Dans le bassin du fleuve Casamance, la station de Médina Namou enregistrait les changements les plus importants jusqu' à -50%. Les stations de Simenti et de Gouloumbou seront beaucoup plus affectées par le déficit hygrométrique que celles de Kédougou et de Mako dans le bassin du fleuve Gambie.

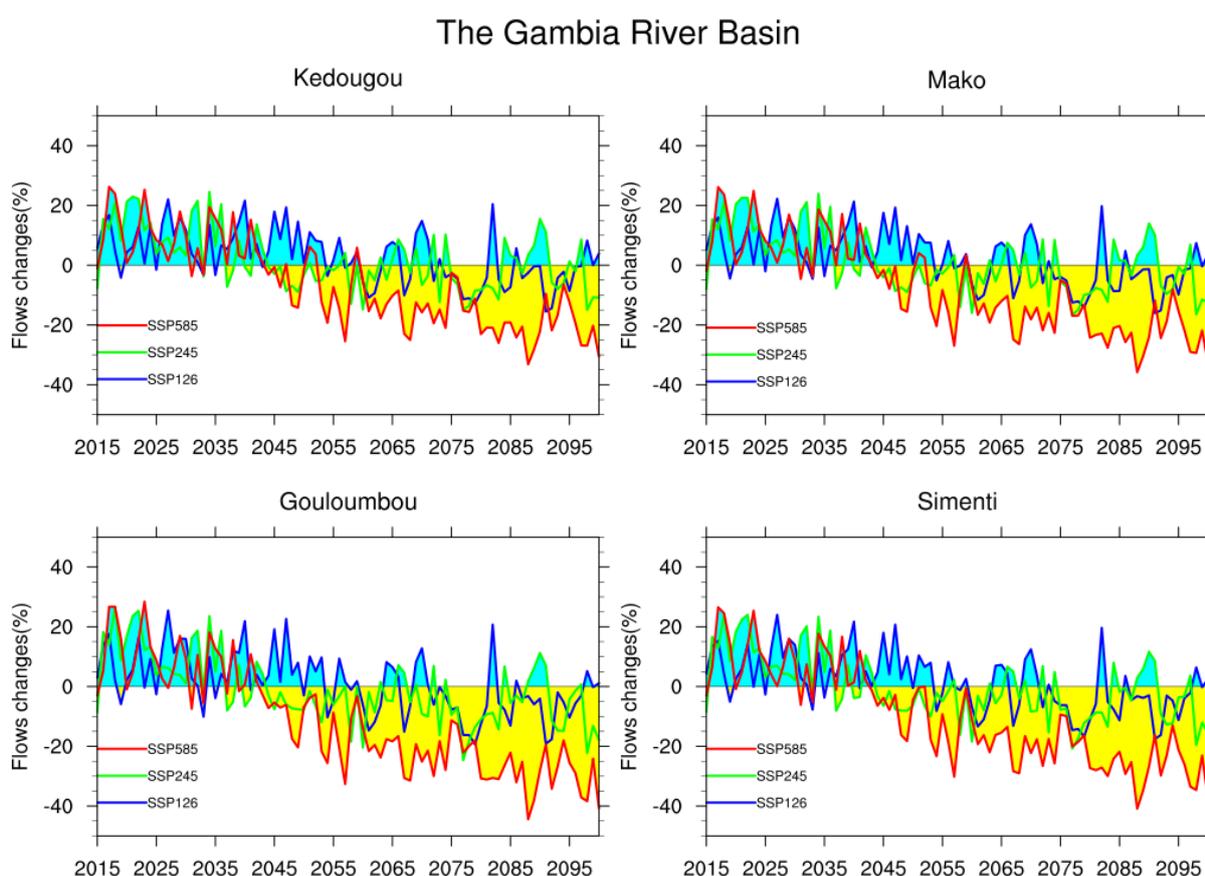


Figure 31: Taux de changements des débits futurs dans le bassin du fleuve Gambie aux stations de Kédougou, Mako, Simenti et Gouloumbou

Quant au bassin versant du fleuve Sénégal, les stations de Podor, Matam et Bakel montrent des tendances similaires entre elles ; tandis que la station hydrométrique de Kidira connaîtrait les changements les plus prononcées.

Ces conditions hydrologiques pourraient impacter négativement les usages de l'eau (AEP, agriculture, élevage, pêche, mines, industries, etc.)

Senegal River Basin

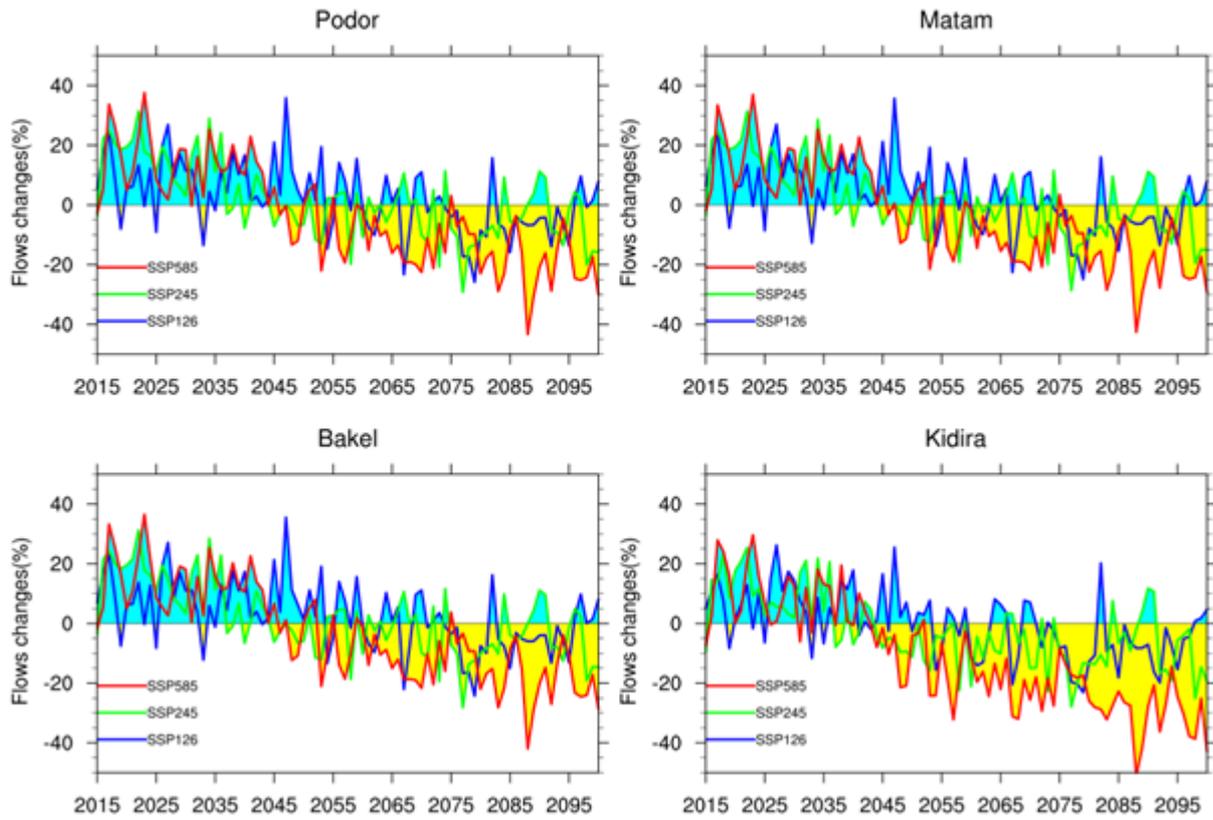


Figure 32: Taux de changements des débits futurs dans le bassin du fleuve Sénégal aux stations de Podor, Matam, Kidira et Bakel

4.2.4 Impacts du changement climatique sur l'agriculture

4.2.4.1 Variabilité des rendements moyens au Sénégal

L'analyse comparative de toutes les cultures, les différents scénarios et pour les différentes périodes au niveau du Sénégal montre les changements relatifs de rendement agrégés varient entre 52% de gains de rendement pour les cultures C3 (arachide) et 45% de pertes de rendement en grains pour les cultures C4 (Tableau 6).

Tableau 6. Changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur les années, sur le Sénégal et sur les GCMs en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les résultats présentés sont pour les périodes 2030, 2060 et 2100.

Crop	2030			2060			2100		
	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5
Peanut	16.58	17.74	16.51	22.01	27.66	31.72	15.21	32.73	52.06
Maize	0.21	0.76	0	-0.35	-4.91	-8.57	-2.56	-11.68	-12.44
Millet	-3.52	-3.24	-3.71	-5.05	-12	-19.05	-6.38	-21.43	-30.29
Sorghum	-5.44	-6.37	-6.98	-9.14	-18.48	-28.95	-9.55	-29.16	-45.17

Indépendamment du scénario RCP, de la période considérée, pour toutes les cultures, il est ressorti que les impacts du changement climatique sont généralement positifs pour l'arachide et négatifs pour les céréales (maïs, mil et sorgho) à l'exception du maïs grain où nous avons noté une faible augmentation d'environ 1% pour la période 2030 et le scénario SSP2-4.5 (Figure 33). D'autre part, les changements relatifs de rendement négatifs sont plus marqués pour la période 2100 et pour le scénario SSP5-8.5 variant de -12% pour le maïs à -45% pour le

sorgho. Le sorgho semble être plus impacté que le mil ou le sorgho. Par contre pour l'arachide l'effet positif du changement climatique pour l'ensemble des périodes varie de 17% pour le SSP1-2.6 à 52% pour les SSP5-8.5. En comparant les types de cultures, il y a moins d'incertitude entre les GCMs pour les céréales que pour la légumineuse et entre scénario l'incertitude est plus importante pour le SSP5-8.5 suivi du SSP2-4.5 et SSP1-2.6. Lorsque l'on considère l'impact sur la période, les simulations menées en 2030 montrent généralement peu de différences entre les scénarios.

Pour toutes les cultures, l'incertitude sur les GCMs est généralement bien marquée, de même que pour les scénarios SSPs et pour les périodes (surtout 2060 et 2100).

Toutefois, l'observation clé est que les différences les plus importantes sur les scénarios concernent les céréales en particulier le mil et le sorgho. Ainsi, pour les céréales, le signal climatique varie le plus avec les SSPs alors que pour la légumineuse, la plus grande source d'incertitudes était plutôt à travers les GCMs.

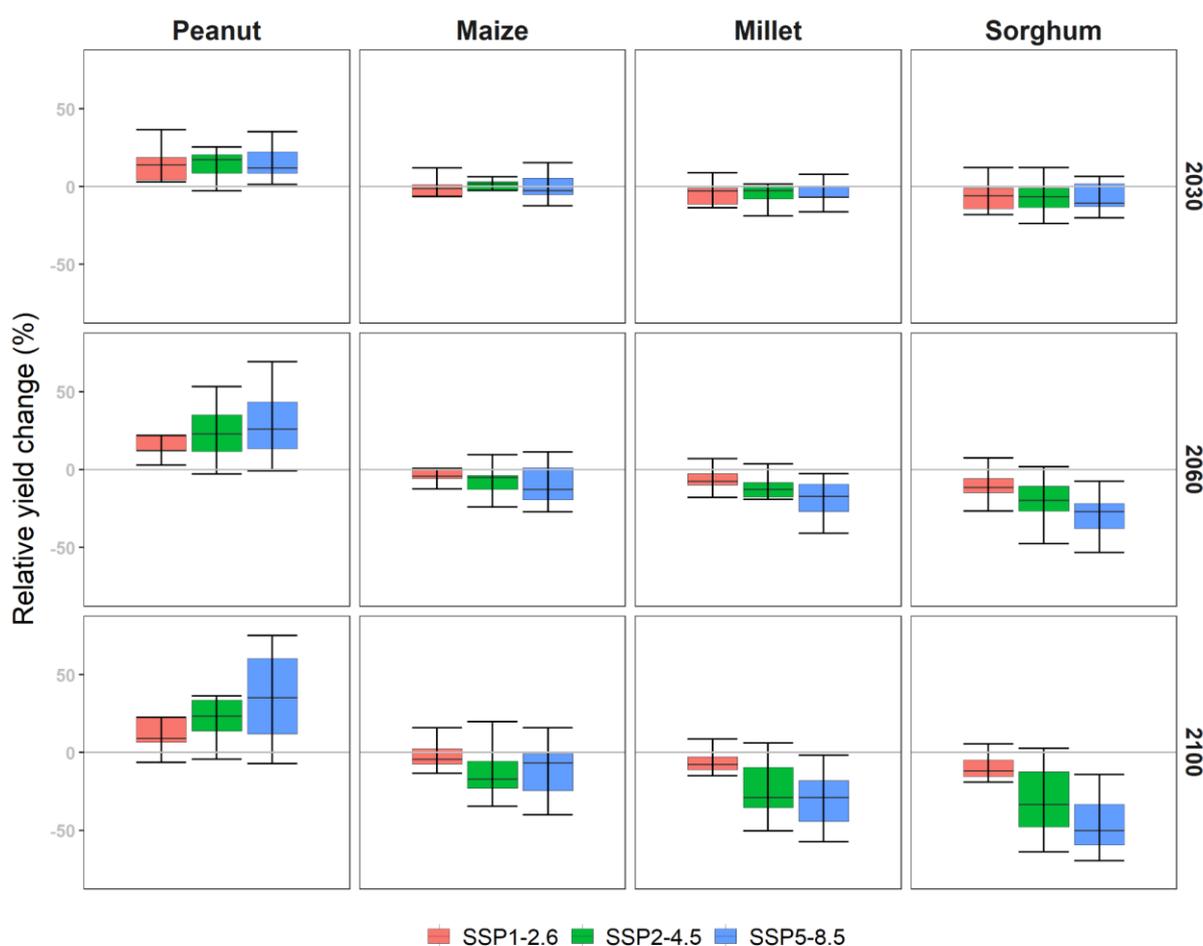


Figure 33. *Changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les périodes 2030, 2060 et 2100.*

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur les années et au niveau du Sénégal en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les tracés en boîte à moustaches illustrent la distribution entre les GCMs pour les 25e et 75e centiles, la médiane est indiquée sous la forme d'une barre horizontale dans chaque boîte et les moustaches s'étendent jusqu'à la valeur maximale/minimale dans les limites de 1,5 fois l'intervalle interquartile (les valeurs aberrantes ne sont pas affichées). Les barres orange, vertes et bleues représentent respectivement les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

Ces résultats agrégés cachent beaucoup d'informations sur la variation spatiale des changements de rendement simulés. Quel que soit le scénario, la période, ou la culture considérée, les changements de rendement simulés étaient généralement plus positifs dans les régions de l'Ouest et du Nord et plus négatifs dans les régions Sud-Est. Ces effets sont moins marqués pour la période 2030 (Figure 34) que pour la période 2100 (Figure 35).

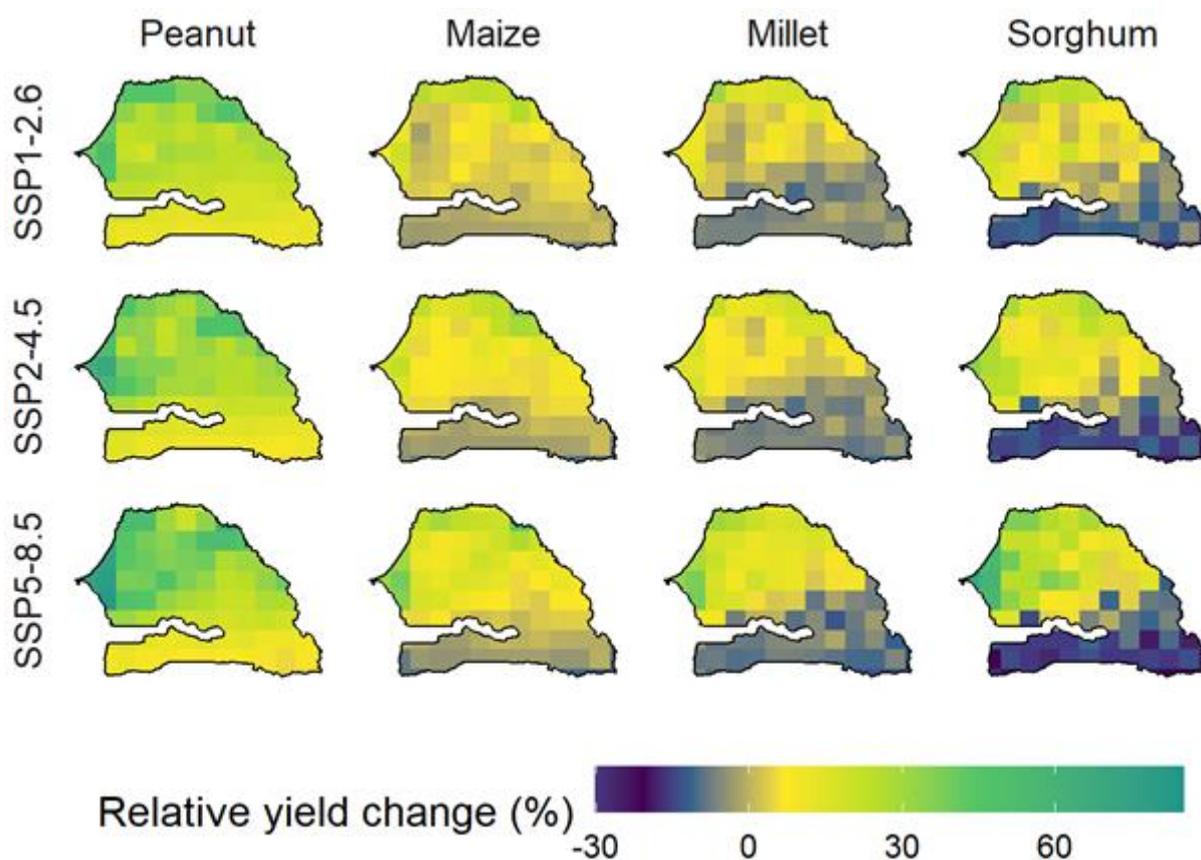


Figure 34. *Modèle spatial de changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) dans les colonnes pour la période 2030.*

La rangée du haut montre les simulations avec le scénario SSP1-2.6, la rangée du milieu le SSP2-4.5 et la rangée du bas le SSP5-8.5. Les résultats sont présentés ici en condition de

limitation d'eau et d'azote. Les données au niveau des pixels ont été agrégées sur l'ensemble des GCMs.

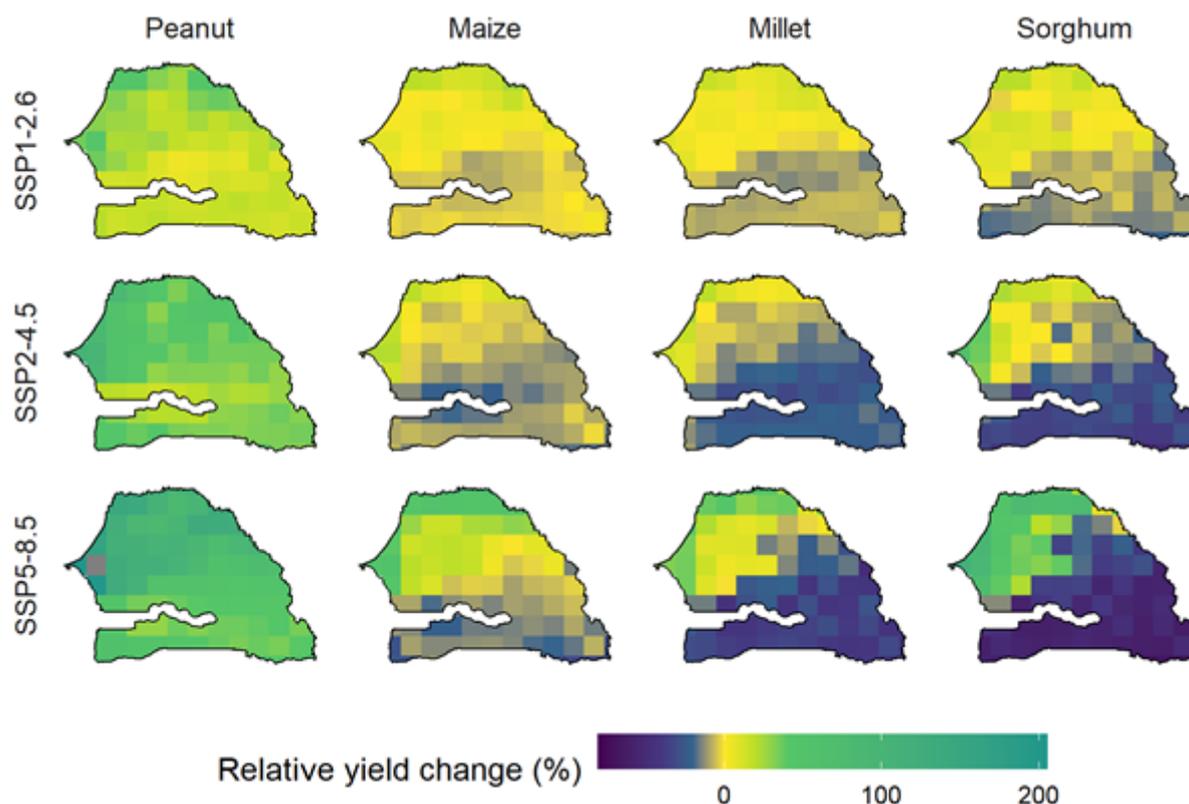


Figure 35: *Modèle spatial de changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) dans les colonnes pour la période 2100*

4.2.4.2 Les effets de l'augmentation du [CO₂]

Les simulations ont été conduites en deux phases :

- En condition ambiante où la concentration de CO₂ a été maintenue constante et ;
- En condition où la concentration de CO₂ varie en fonction du scénario considéré

L'augmentation de la concentration de CO₂ n'a pas d'effet sur l'efficacité d'utilisation de la radiation pour les céréales, par contre elle a un effet sur la transpiration. Pour la légumineuse, il y a aussi bien un effet d'augmentation du CO₂ sur l'efficacité d'utilisation de la radiation et sur la transpiration.

La fertilisation du CO₂ pour les légumineuses (Peanut) conduit à une augmentation du rendement pour de grandes parties du Sénégal, contrairement aux céréales, qui offrent beaucoup moins d'avantages. En condition ambiante, l'impact du changement climatique sur

toutes les cultures est négatif. Alors en en condition d'augmentation du CO₂, l'impact est positif pour les plantes C3 (arachide) et reste négatif pour les plantes C4 (maïs, mil et sorgho) même s'il est moins marqué en condition ambiante (Figure 36). La réponse positive de l'arachide culture C3 est attribuée au fait que l'effet de température plus élevé (réduction du cycle de culture, c'est-à-dire maturité précoce) est compensé par l'effet de la fertilisation au CO₂ qui réduit la conductance stomatique et la transpiration et améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ce qui n'est pas le cas pour les cultures C4.

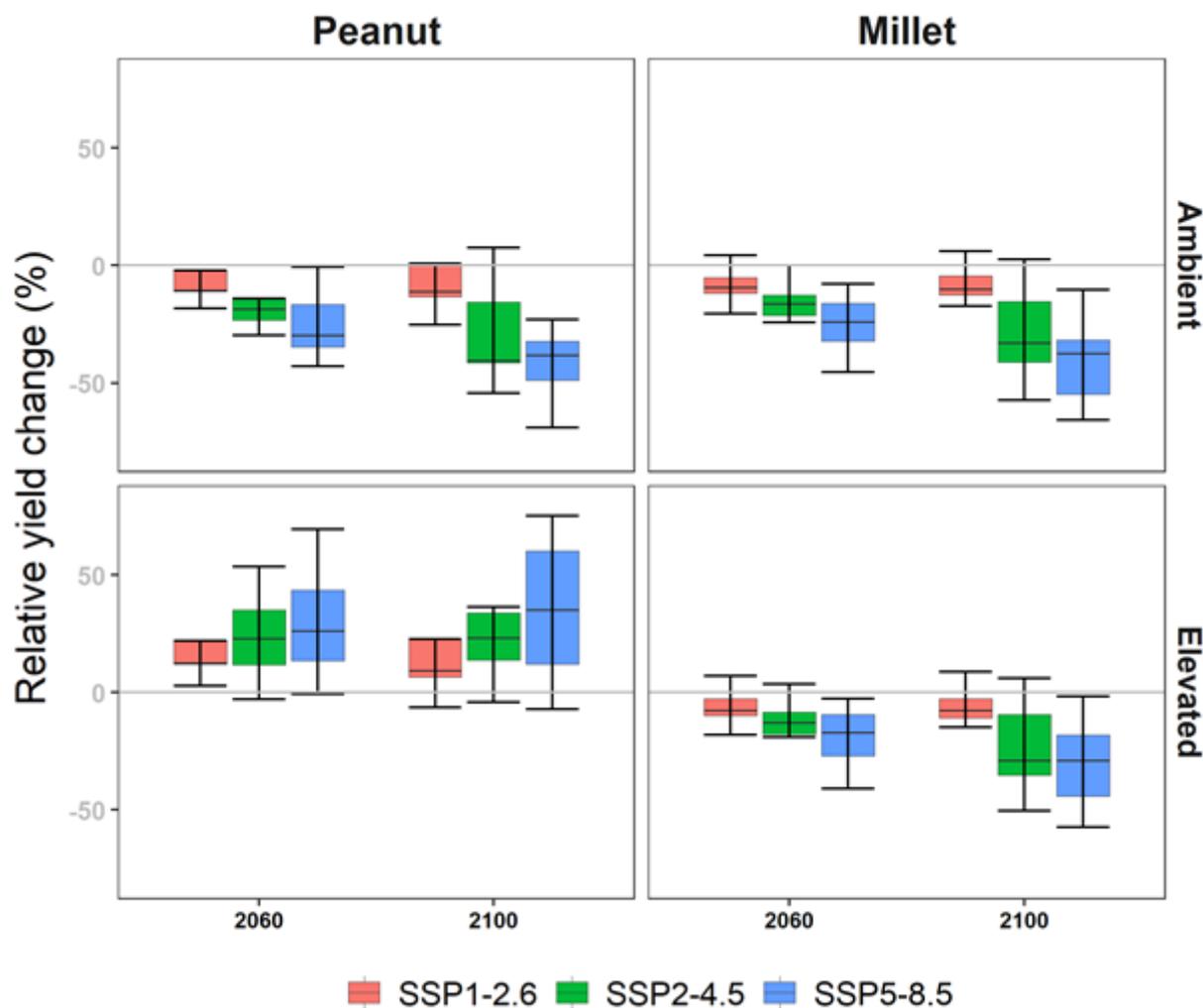


Figure 36. *Changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut) et le mil (Millet) en condition ambiante (Ambient) et d'augmentation de la concentration de CO₂ (Elevated).*

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur les années et au niveau du Sénégal pour la période 2060 (2045-2074) et la période 2100 (2075-2099) par rapport à la référence 1981-2010 en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les tracés en boîte à moustaches illustrent la distribution entre les GCMs pour les 25e et 75e centiles, la médiane est indiquée sous la forme d'une barre horizontale dans chaque boîte et

les moustaches s'étendent jusqu'à la valeur maximale/minimale dans les limites de 1,5 fois l'intervalle interquartile (les valeurs aberrantes ne sont pas affichées). Les barres orange, vertes et bleues représentent respectivement les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Les résultats sont montrés pour les simulations en conditions de limitation d'eau et d'azote.

4.2.4.3 L'impact de la variété

Dans cette partie, nous nous concentrerons d'analyser les résultats de l'arachide et du mil pour les variétés à cycle court (90 jours) et les variétés à cycle long. Pour l'arachide la variété Fleur11 (90 jours) présente une augmentation de rendement supérieure à la variété 73-33 (105 jours) indépendamment de la période ou du scénario considéré (Figure 37).

Tableau 7. Changements relatifs de rendement pour l'arachide (variété Fleur11 et variété 73-33) et le mil (variété Mil90 et variété Mil120) pour les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur les années, sur le Sénégal et sur les GCMs en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les résultats présentés sont pour les périodes 2030, 2060 et 2100.

	2030			2060			2100		
Crop	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5
73-33	16.12	17.45	16.68	21.42	26.38	30.43	15	30.91	50.17
Fleur1 1	17.26	18.09	16.96	22.83	29.16	33.31	15.75	34.97	54.48
Mil12 0	-3.49	-2.95	-2.95	-4.89	-11.48	-18.31	-6.21	-20.87	-28.78
Mil90	-3.35	-4.22	-5.53	-5.53	-13.54	-21.11	-7.57	-22.42	-34.93

Par contre pour le mil les pertes de rendements sont supérieures pour la variété courte Mil90 (90 jours) pour tous les scénarios et toutes les périodes avec -35% contre -29% pour la variété longue Mil120 (120jours) pour le scénario SSP5-8.5 et la période 2100, excepté le scénario SSP1-2.6 pour la période 2030 (Tableau 7).

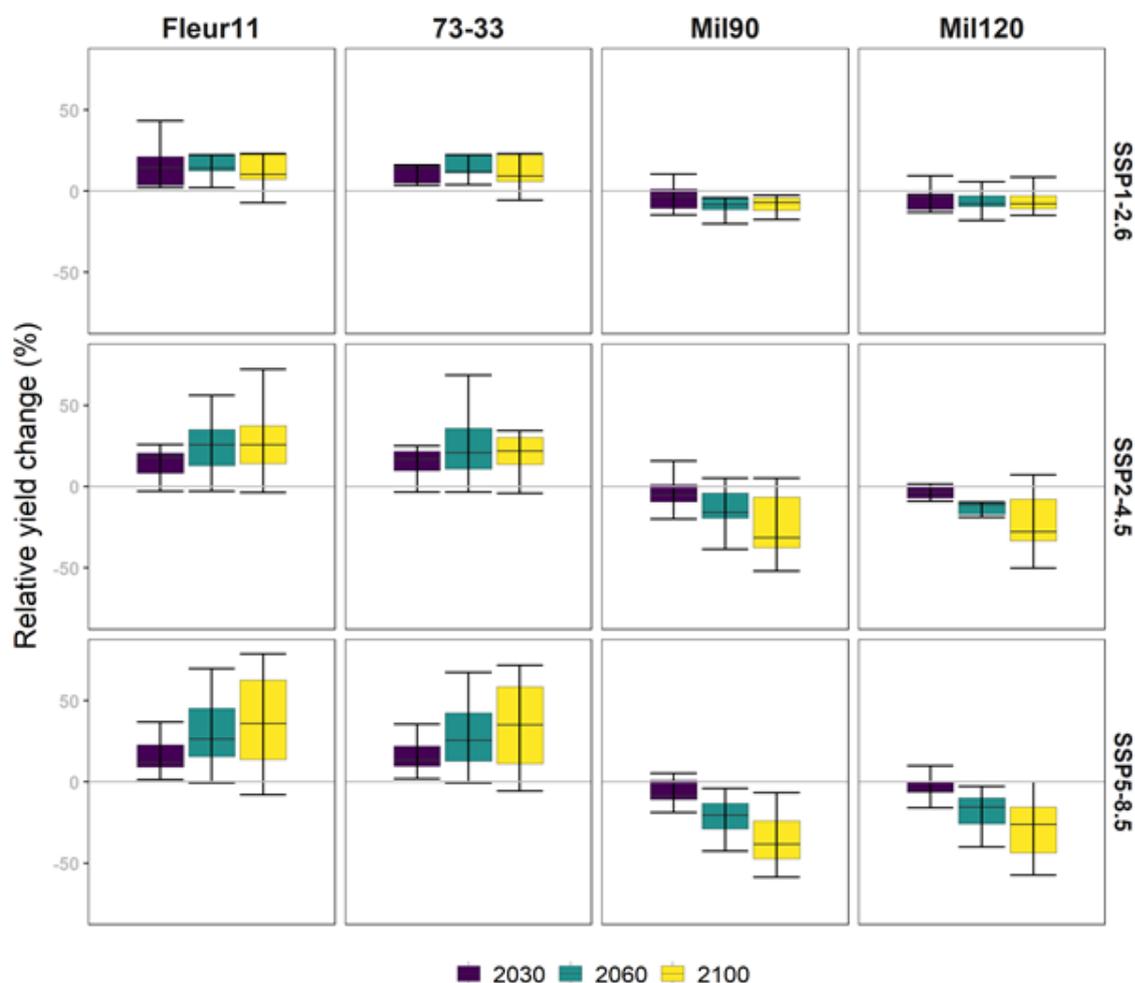


Figure 37 : Changements relatifs de rendement pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les périodes 2030, 2060 et 2100.

Les rendements au niveau du pixel ont été agrégés sur les années et au niveau du Sénégal en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les tracés en boîte à moustaches illustrent la distribution entre les GCMs pour les 25e et 75e centiles, la médiane est indiquée sous la forme d'une barre horizontale dans chaque boîte et les moustaches s'étendent jusqu'à la valeur maximale/minimale dans les limites de 1,5 fois l'intervalle interquartile (les valeurs aberrantes ne sont pas affichées). Les barres orange, vertes et bleues représentent respectivement les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

4.2.4.4 L'impact du changement climatique sur cycle de la culture

Les changements relatifs de la durée du cycle de la saison de croissance pour chaque culture, chaque scénario et chaque période sont consignés au niveau de la Figure 38. Pour l'ensemble des cultures et pour la période 2030, les changements relatifs de la durée du cycle de croissance sont similaires entre les scénarios. Les changements les plus importants sont notés pour le sorgho et le mil avec des valeurs absolues maximales de -16 et -17 jours respectivement (Tableau 8). Pour les différents types de cultures, nous notons moins d'incertitude entre les GCMs pour l'arachide que pour les céréales particulièrement le mil et le sorgho pour les périodes 2060 et 2100.

L'incertitude est plus importante pour le scénario SSP5-8.5 suivi du SSP2-4.5 et SSP1-2.6 pour la période 2100 pour le mil et le sorgho. Considérant toutes les cultures et pour l'ensemble des scénarios la réduction de la durée du cycle est plus importante pour le SSP5-8.5, suivi du SSP2-4.5 et du SSP1-2.6. Le raccourcissement de la durée du cycle de culture est généralement causé par les températures élevées et peut avoir comme effet la diminution des rendements des cultures.

Tableau 8. Différence absolue pour le cycle (récolte - semis) moyen pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

Les cycles au niveau de chaque pixel ont été agrégés sur les années sur le Sénégal et sur les GCMs en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres pour les périodes 2030, 2060 et 2100 relatives à la référence 1981-2010.

	2030			2060			2100		
Crop	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5	SSP1- 2.6	SSP2- 4.5	SSP5- 8.5
Maize	-3	-3	-3	-4	-5	-6	-4	-6	-7
Millet	-4	-5	-5	-6	-9	-11	-6	-13	-17
Peanut	-3	-3	-3	-4	-5	-6	-4	-6	-7

Sorghum	-4	-4	-5	-6	-9	-11	-6	-12	-16
---------	----	----	----	----	----	-----	----	-----	-----

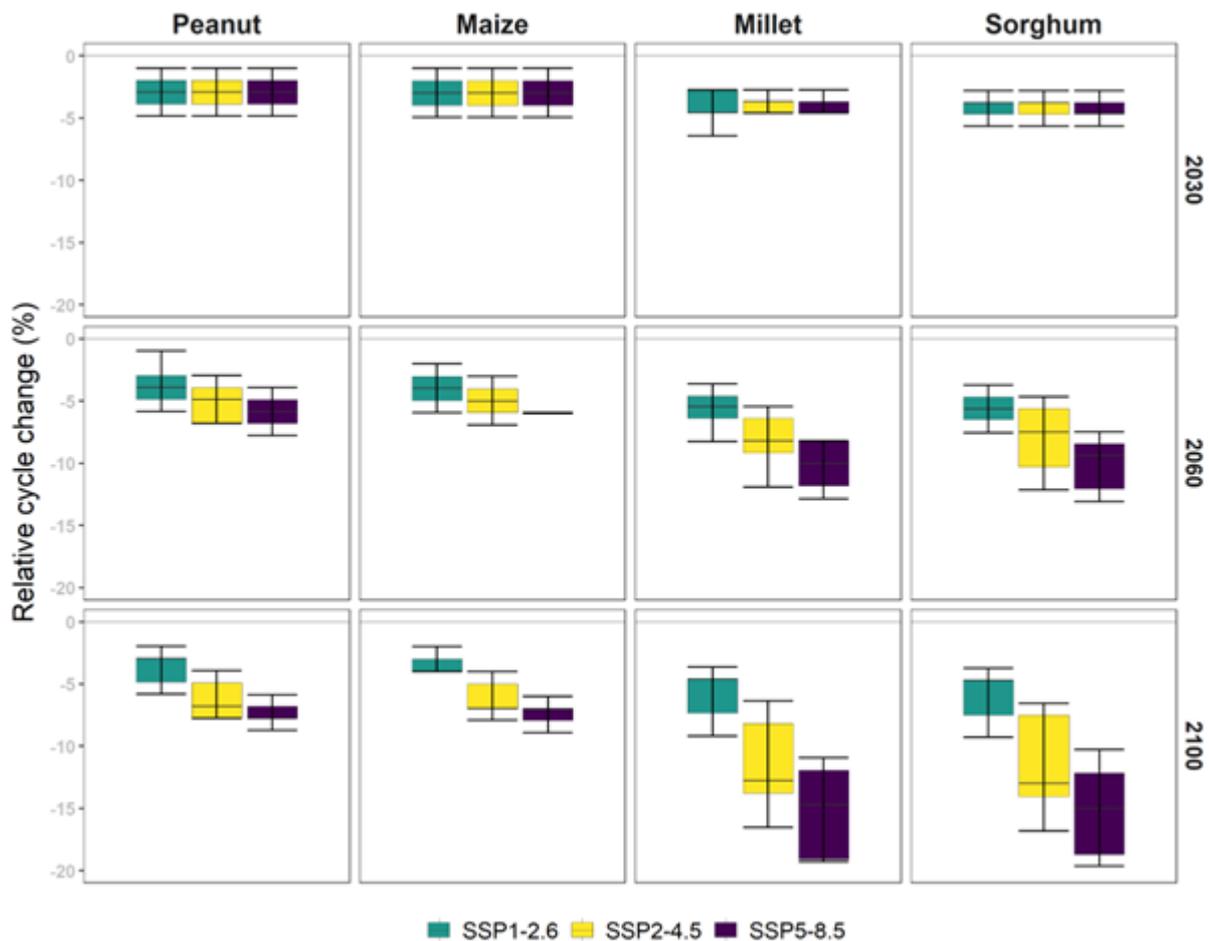


Figure 38 ; *Changements relatifs du cycle de culture pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les périodes 2030, 2060 et 2100.*

Les données au niveau du pixel ont été agrégées sur les années et au niveau du Sénégal en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Les tracés en boîte à moustaches illustrent la distribution entre les GCMs pour les 25e et 75e centiles, la médiane est indiquée sous la forme d'une barre horizontale dans chaque boîte et les moustaches s'étendent jusqu'à la valeur maximale/minimale dans les limites de 1,5 fois l'intervalle interquartile (les valeurs aberrantes ne sont pas affichées). Les barres vertes, jaunes et violettes représentent respectivement les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

4.2.4.5 Pas d'effet CO2 sur le cycle de la culture

L'augmentation de la concentration de CO2 n'a pas d'effet sur la diminution de la longueur du cycle de la culture quel que soit le scénario ou la période. Il faut noter les changements les

plus importants concernent le mil et le sorgho pour la période 2100 et pour le scénario SSP5-8.5 (Figure 39). Cette diminution de la longueur du cycle de la culture peut être attribuée à l'augmentation de la température qui accélère le cycle de vie de la culture d'où une maturité précoce. Ce phénomène qui intervient sur la phénologie de la plante peut entraîner dans la plupart des cas une diminution de rendement des cultures surtout chez les céréales.

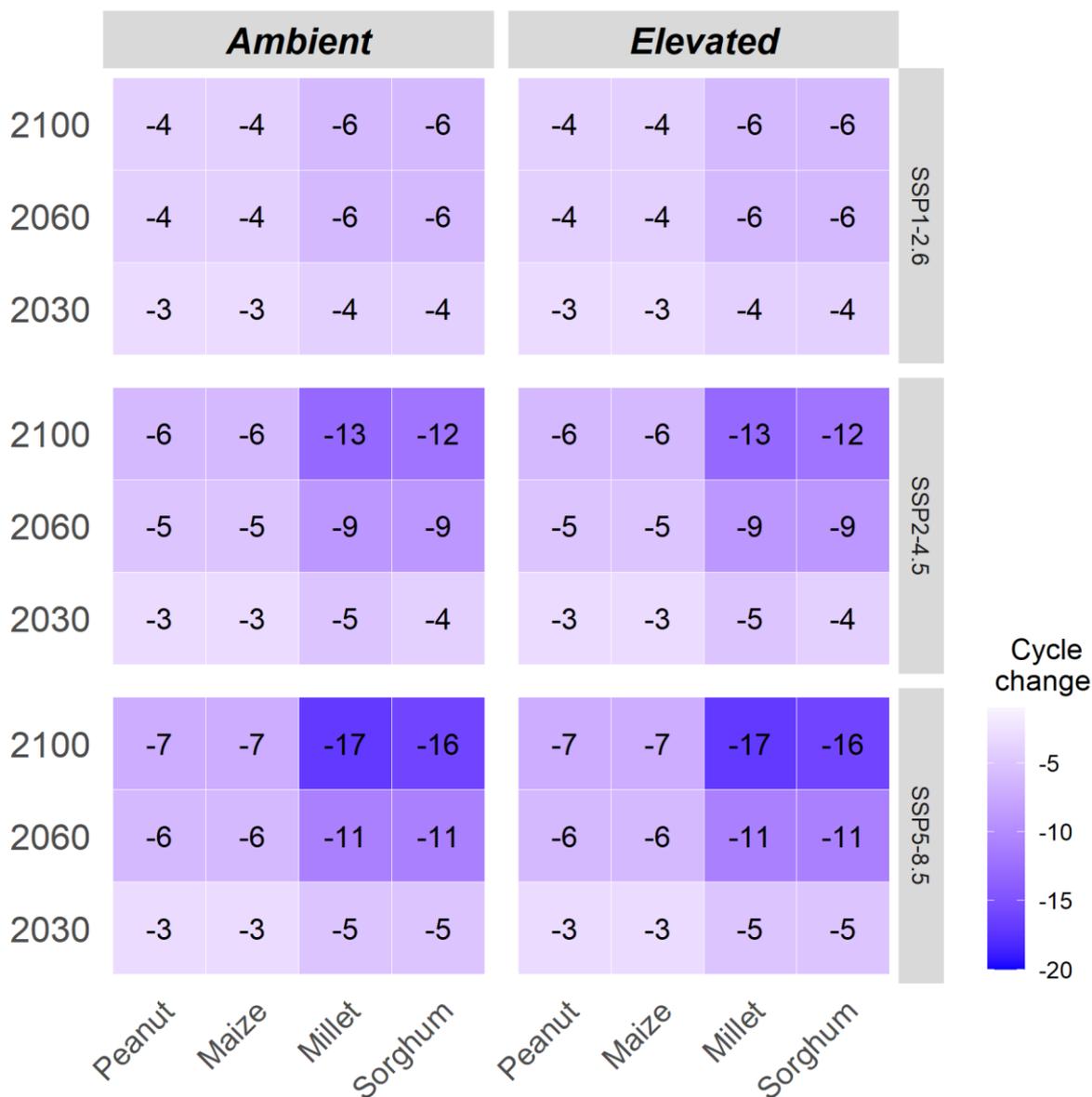


Figure 39. **Changement absolu du cycle de culture pour l'arachide (Peanut), le maïs (Maize), le mil (Millet) et le sorgho (Sorghum) pour les périodes 2030, 2060 et 2100 et pour les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5.**

La figure 40 montre la synthèse des impacts des changements de température et de précipitations sur les différentes cultures étudiées. Les résultats sont agrégés à l'échelle pixels, sur tout le Sénégal, sur les GCMs et sur les années en utilisant le masque de cultures MIRCA2000 pour l'utilisation des terres. Une augmentation de température de plus de 4°C

entraîne une diminution de rendement quel que soit le scénario considéré ou la culture indépendamment des changements de précipitations. A court terme (2030) les changements de rendement sont insignifiants avec une diminution de température inférieure à un et une variation des précipitations quasi nulle. A moyen et long terme les rendements diminuent proportionnellement à l'augmentation de la température et à la diminution des précipitations.

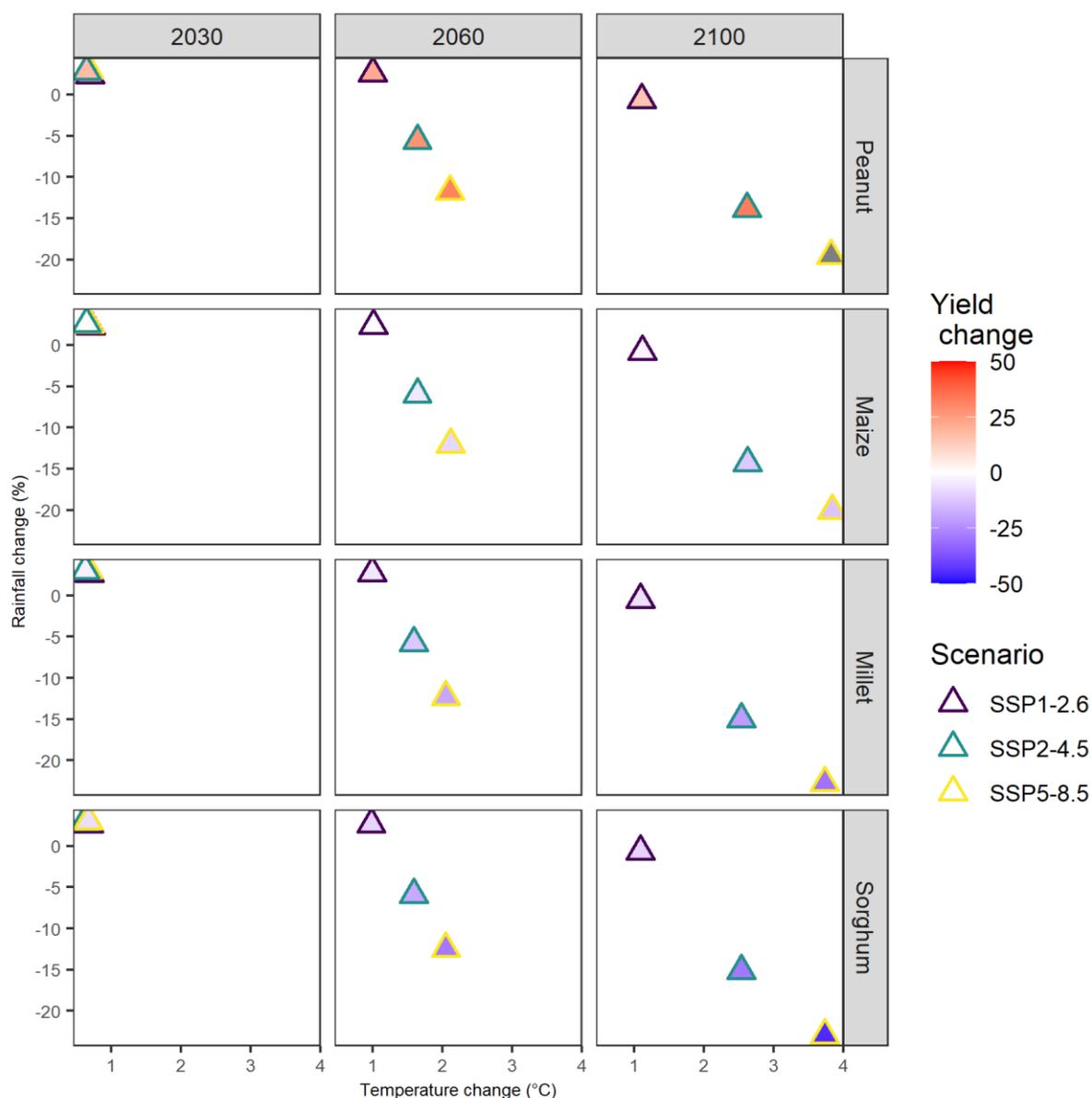


Figure 40: **Synthèse des changements de température et de précipitations sur les cultures le sorgho, l'arachide, le mil et le maïs aux horizons 2030, 2060 et 2100 sous les scénarios ssp1-2.6, ssp2-4.5 et ssp5-8.5**

La figure 41 synthétise les principaux impacts attendus aux horizons futurs ainsi que les conséquences qui pourraient en découler.

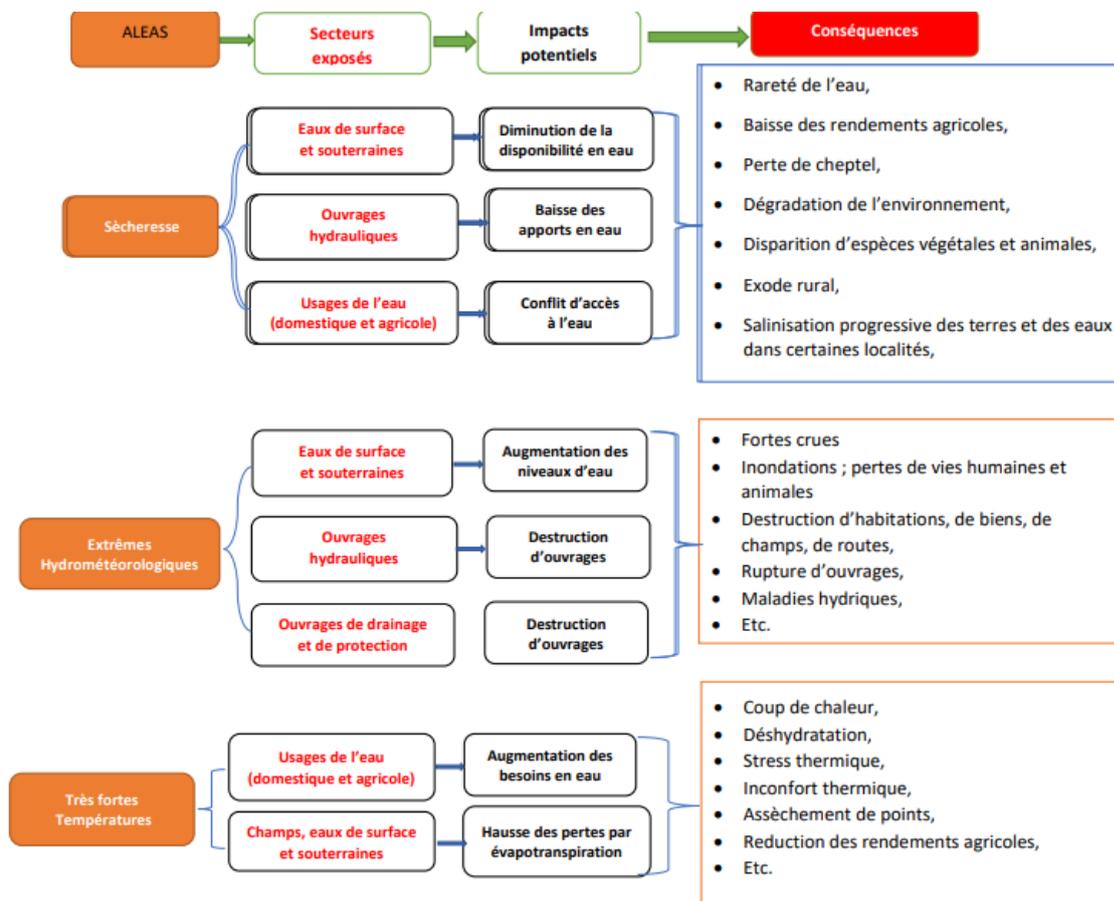


Figure 41: *Chaîne des aléas et des impacts potentiels*

5. Stratégies d'adaptation et d'atténuation

Le Sénégal a soumis, en décembre 2020, sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN) qui prouve son engagement à exécuter, évaluer et communiquer ses efforts pour réduire ses émissions nationales de 7% en inconditionnel et 29% en conditionnel à l'horizon 2030 par rapport à la situation de référence. En outre, le Sénégal se préoccupe de renforcer la résilience des systèmes humains et des écosystèmes. Dans cet engagement, l'Agriculture avec ses différents domaines, que sont ; la production végétale, l'élevage, la pêche et la foresterie sont bien pris en charge dans cette étude.

Retenons également que les projections faites à travers cette étude pour l'évolution des variations mensuelles, saisonnières, annuelles et interannuelles de la température et des précipitations donnent une tendance d'augmentations différenciées pour ces deux variables dans toutes les zones agroécologiques (voir ci-dessus). Cela donne le Business asual de l'état d'évolution de ces deux paramètres avec ses effets sur les cultures, le bétail, la pêche pour 2030, 2060, et 2100.

Ainsi, des options d'adaptation et d'atténuation pour les cultures, le bétail et la pêche pour 2030, 2060 et 2100, qui permettront au secteur agricole du Sénégal de passer à une voie de développement sobre en carbone et résiliente aux changements climatiques sont privilégiées et ont fait l'objet d'une sélection sur la base d'une analyse multicritère.

A cet effet, il est proposé d'améliorer l'intensité de la productivité des systèmes de production dans un contexte de changement climatique par la mise à l'échelle des pratiques et stratégies éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC). Ces pratiques et stratégies d'AIC permettront dans le moyen et long terme de contribuer à l'augmentation durable de la productivité des systèmes de production (production végétale, le bétail, la pêche etc.), à l'augmentation de la résilience des producteurs et productrices mais aussi à la réduction des gaz à effet de serre (GES) dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal.

Pour répondre à la commande de cette étude, l'analyse est orientée sur l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) afin de prendre en charge simultanément l'Adaptation, l'atténuation pour répondre au défi de la sécurité alimentaire. Rappelons que l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC, **CSA – Climate-smart agriculture**). L'AIC, un concept élaboré par la FAO, est une approche qui aide à gérer les systèmes agricoles si bien qu'ils pourront faire face au changement climatique de manière efficace. De plus, l'AIC est une approche visant à créer les conditions

techniques, politiques et financières pour parvenir à un développement agricole durable favorisant la sécurité alimentaire dans le contexte du changement climatique (FAO, 2013). L'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) est une approche intégrée qui vise à relever les défis intimement liés à la sécurité alimentaire et aux changements climatiques, afin d'atteindre explicitement trois objectifs :

- ***accroître durablement la productivité agricole, afin de soutenir l'augmentation équitable des revenus agricoles, l'amélioration de la sécurité alimentaire, et de promouvoir le développement ;***
- ***adapter et renforcer la résilience des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire face aux changements climatiques à plusieurs niveaux ; et***
- ***réduire les émissions de gaz à effet de serre produites par l'agriculture (y compris les cultures, l'élevage et la pêche).***

Cela ne signifie pas que chaque pratique appliquée au niveau de chaque endroit doit atteindre le triple objectif. L'approche de l'AIC vise plutôt à minimiser les contreparties (corrélations négatives) et à promouvoir les synergies en tenant compte de ces objectifs pour éclairer les décisions du niveau local au niveau mondial, à court, moyen et long terme, dans le but d'obtenir des solutions localement acceptables.

Les pratiques d'AIC qui seront proposées ci-dessous pour les cultures, l'élevage et la pêche pour 2030, 2060 et 2100 porteront sur des techniques des technologies éprouvées, des politiques, la gouvernance, les investissements, le financement afin d'aider les petits producteurs à améliorer durablement leurs systèmes de production dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal.

Il est présenté ci-dessous quelques technologies éprouvées d'AIC adaptées pour la production végétale mais aussi la gestion productive et sobre en carbone de certains domaines que sont les ressources en eau, le bétail, la foresterie et la pêche, et qui portent, entre autres, sur l'utilisation d'itinéraires techniques, le conseil agricole, le financement, la gouvernance, le suivi - évaluation, l'éducation, la communication etc. Toutefois, il est important de souligner que certaines options d'AIC sont transversales, et peuvent servir simultanément à tous les domaines de l'Agriculture. Ci-dessous sont présentées les pratiques d'AIC présélectionnées.

5.1 PRESENTATION DES OPTIONS D'AIC

5.1.1 Sur les cultures

- **Lutte contre la salinisation des terres**

La stratégie repose sur des actions intégrées qui doivent s'appuyer sur les infrastructures de mobilisation et de drainage des ressources en eau permettant ainsi de satisfaire durablement les besoins en eau des cultures durant tout le cycle végétatif.

Il est ainsi important de promouvoir la récupération des terres salées avec l'utilisation du phosphogypse et des coques d'arachide. La défense des terres menacées par la salinisation est capitale, et par conséquent, il est important de valoriser le lessivage des parcelles agricoles et en particulier celles pour la riziculture irriguée avant toute intervention.

- **Réhabilitation, réalisation d'aménagements et protection des zones de culture**

Afin de se souscrire durablement à toute forme de culture surtout pour celles irriguées surtout dans un contexte de changement climatique, il est recommandé de conduire au préalable des études spécifiques sur les infrastructures structurantes à réaliser en rapport avec les conditions physiques et socioéconomiques et des facteurs climatiques.

La réhabilitation des aménagements hydroagricoles est aussi une action à encourager afin de conserver les propriétés physicochimiques pour conduire les pratiques culturales idoines en vue d'assurer de meilleurs rendements agricoles.

De plus, les infrastructures structurantes devront être réalisées avec une forte implication des producteurs et des collectivités territoriales dans l'identification, la réalisation, l'entretien, la prévention, la réhabilitation et la maintenance.

- **Utilisation de biofertilisants**

Il s'agira de poursuivre la recherche, le transfert de technologies innovantes afin de disposer en quantité et en qualité des biofertilisants efficaces, compétitifs pour compléter et remplacer les intrants conventionnels. A cet effet, une stratégie de valorisation et de commercialisation des déjections des animaux, notamment des bovins, des boues de vidange sont collectées et transformées en fumure organique sous forme de biofertilisants dans les fermes agricoles mises en place par l'Etat et autres unités communautaires et privées. Cette approche

permettra aux petits producteurs qui ont du mal à se procurer d'engrais chimiques (Urée, NPK, etc.) de maintenir leurs terres en bonne santé et d'améliorer leurs rendements.

Globalement, on peut retenir que la mise à l'échelle d'une telle pratique à l'horizon 2100, réduirait très significativement les émissions de méthane, l'amélioration de la fertilité des sols et l'augmentation des rendements. Ce serait aussi un moyen d'augmenter le stockage de carbone du sol et d'éviter les émissions d'azote à partir des engrais chimiques.

Retenons également que d'autres procédés de transformation, de décomposition et de valorisation des sous-produits agricoles avec de la cendre de paille de céréales, de bouses d'animaux et de déchets ménagers biodégradables (parfois ajout de potassium) seront utilisés pour amender les terres après l'action très déterminante des microorganismes. Toutefois, la recherche agricole a également montré que l'amélioration du statut organique des sols par apport de matière organique (fumier ou compost) confère plus de résilience aux sols tropicaux et contribue à la séquestration de carbone.

- **Amélioration du mode d'utilisation des engrais**

Afin de réduire les pertes d'azote dans les périmètres agricoles surtout en irrigué, il est préconisé le placement des engrais (Urée et NPK) en profondeur. Cette pratique permet non seulement de mieux rentabiliser les engrais mais aussi de contribuer à la réduction des émissions d'hémioxyde d'azote dont le pouvoir réchauffant est 310 fois supérieur à celui du gaz carbonique.

5.1.2 Sur les ressources en eau

L'abondance de la ressource en eau au Sénégal ne doit pas amener à se faire des illusions, car la compétition pour les différents usages de l'eau (consommations humaine, agricole, pastorale, forestière, halieutique et environnementale etc.) sera de plus en plus rude avec les effets de la variabilité et du changement climatique. Les projections faites sur la dynamique de la pluviométrie en 2030, 2060 et 2100 ont montré une tendance baissière du cumul du volume d'eau annuel collecté avec une occurrence des évènements extrêmes tels que les inondations dans toutes les zones agroécologiques du pays. Il urge de proposer des stratégies innovantes d'allocation et d'utilisation de la ressource en eau dans les domaines de

l'agriculture, l'élevage, l'aquaculture et plus particulièrement en riziculture où on note une forte consommation évaluée pour une double culture sur un hectare à 36 000 m³.

Pour une utilisation efficace de l'eau tout en garantissant un meilleur niveau de productivité dans le court, moyen et long terme, il est proposé quelques stratégies sobres en carbone.

- **Techniques et technologies avancées d'irrigation**

Les techniques et technologies avancées d'irrigation avec l'utilisation du Goutte-à-Goutte, l'irrigation à grande échelle avec des aménagements structurants, des asperseurs, des pivots et autres appareils ont fait leur preuve en termes de maîtrise de l'eau et ont surtout garanti de bons rendements. Toutefois, il nous revient de reconnaître que l'acquisition de ces technologies peut être très onéreuse. A ce jour, au Sénégal, moins de 7% des terres agricoles sont exploitées avec une maîtrise de l'eau à travers l'utilisation de technologies avancées d'irrigation. Il convient d'inverser progressivement la tendance entre le pluvial et l'irrigué sur l'utilisation de l'eau en agriculture de sorte qu'en 2030, 20% des terres agricoles soient exploitées en irrigué pour 50% en 2050 et 95% en 2100.

Par exemple, pour la riziculture, le « Goutte-à-Goutte » n'est pas bien vulgarisé malgré ses bons résultats agronomiques après des essais par la firme israélienne NETAFIM en Chine, en Inde, aux USA et aux Philippines (voir Photo). Ces tests en champ réel sur de petites superficies ne dépassant pas 5ha et les rendements obtenus sont au moins identiques, sinon supérieurs de 15% à 20% pour certaines variétés. De plus, il a été constaté que les variétés irriguées répondent positivement au système « Goutte à Goutte ». Cette technologie appliquée en riziculture permet aussi de réduire les émissions de CH₄ car l'azote n'est pas en suspension dans l'eau. Il convient d'adopter cette pratique pour la riziculture irriguée dans la Vallée du Fleuve Sénégal et dans le Bassin de l'Anambé.

- **Protection contre les inondations**

Les projections climatiques ont montré une occurrence des événements extrêmes comme les inondations. Il est important alors d'apporter une solution durable pour la protection contre les inondations qui est une des préoccupations majeures des petits producteurs dans un contexte de changement climatique surtout dans les zones de rizicultures et de cultures irriguées.

Pour ce faire, il faudra réhabiliter les digues de protection existantes et les recalculer sur les hauteurs d'eau maximales et doter les petits périmètres qui en sont dépourvus d'endiguement de protection.

- **Le drainage**

Il est de notoriété que la maîtrise de l'eau est une option retenue en termes d'adaptation et d'atténuation avec l'utilisation des techniques et technologies avancées d'irrigation. D'autant plus que l'option d'adaptation est de tendre progressivement vers la maîtrise de l'eau avec l'adoption des techniques et technologies avancées d'irrigation.

A cet effet, il faut mettre en place dans chaque exploitation un système de drainage fonctionnel et adapté permettant d'évacuer les excès d'eau, car la submersion induit des modifications importantes dans les propriétés chimiques des sols du fait de la faiblesse des échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Dans ces conditions, la pression partielle en CO₂ augmente tandis que la pression partielle en O₂ et le potentiel redox diminuent. L'augmentation de la pCO₂ conduit à une diminution du pH, une dissolution de minéraux, principalement la calcite, et une augmentation de l'alcalinité dans la solution du sol.

Ainsi, il est aisé de comprendre que l'irrigation va de pair avec le drainage en perspective d'une irrigation durable avec une bonne productivité.

- **Alternance submersion et drainage**

Dans l'optique de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'augmenter la production, il est proposé de diffuser à grande échelle de nouvelles techniques de diminution de la consommation d'eau de façon efficiente surtout pour la riziculture irriguée alternant submersion et drainage des rizières. De telles techniques peuvent aider à réduire les émissions de méthane des rizières. Le méthane, faut-il le rappeler, est un gaz à effet de serre dont le pouvoir de réchauffement est 21 fois supérieur à celui du CO₂. Cela doit cependant être couplé à une technique efficiente de gestion de la fertilisation pour minimiser les émissions de N₂O dont le pouvoir réchauffant est 310 fois supérieur à celui du CO₂.

- **Réutilisation des eaux usées traitées**

La réutilisation des eaux usées est de plus en plus considérée comme une ressource alternative permettant de limiter les déficits en eau et ainsi de pallier aux pénuries d'eau engendrées par les changements climatiques. Cependant, avant toute réutilisation des eaux qui présentent certes des avantages agronomiques car contenant encore des nutriments il convient de connaître la quantité et la qualité des eaux afin d'effectuer le traitement tertiaire adéquat pour éliminer les germes pathogènes, les parasites, les métaux lourds etc. L'Office National de l'assainissement du Sénégal (ONAS) pourrait jouer faire ce travail de traitement et de recyclage des eaux en collaboration avec les services des Ministères en charge de l'Eau de celle de l'Agriculture pour une utilisation efficiente de l'eau usée recyclée. Toutefois, l'eau usée et recyclée en agriculture doit être compétitif avec un prix abordable mais doit être également disponible en quantité et à temps réel pour répondre aux besoins des agriculteurs (horticulture (floriculture, arboriculture) et même pour les cultures de grandes envergures (céréales, etc.).

5.1.3 Utilisation de services climatiques

- **Production de services climatiques utilisables**

Il urge de comprendre que la tendance évolutive de la variabilité et du changement climatique va s'accroître au fil des années entre 2030, 2060 et 2100 à moins que des mesures fortes d'adaptation et d'atténuation soient prises à l'échelle partout. Toutefois, il faut comprendre que toute action de prévention, de gestion, de résilience, d'adaptation et d'atténuation doit être bâtie autour des fondements scientifiques éprouvés, fiables et vérifiables.

Ainsi, il convient de renforcer les capacités techniques, opérationnelles de l'ANACIM, le LPAO-SP et de toutes les autres structures productrices de données scientifiques sur le climat et de les doter d'équipements de pointe tels que des radars, des drones, des stations météorologiques dans tous les 45 départements administratifs du pays. Ainsi, des prévisions climatiques, à temps réel, sur l'évolution de la température, la pluviométrie, les événements extrêmes (Vagues de froid et vagues de chaleur), des longues pauses sèches, l'ensoleillement et l'hygrométrie, la vitesse des vents, seront produites pour être utilisées par les producteurs.

- **Utilisation de services climatiques**

On vise, à l'horizon 2030, 2060, 2100, une démocratisation totale et entière des services climatiques au bénéfice de tous les usagers et en particulier des producteurs dans toutes les zones agroécologiques du pays. A cet effet, des efforts devraient être faits pour rendre disponibles et utilisables les informations climatiques d'aide à la prise de décision par les petits producteurs afin de les aider à anticiper sur l'évolution de la pluviométrie pour une meilleure planification de leurs activités agricoles au niveau de leur parcelle d'exploitation.

- **Mise en place de plateforme d'exploitation**

Des résultats de récents travaux conduits par l'ISRA font état de la perturbation du calendrier cultural avec une forte variabilité des dates de début et de fin de saison. Ces résultats corrélés aux tendances de la pluviométrie et de la température à l'horizon 2030, 2060 et 2100 ont fini de démontrer que les petits producteurs doivent s'attacher les services de production de données climatiques comme l'ANACIM à travers les Groupes de Travail Pluridisciplinaires (GTP) pour conscientiser, sensibiliser les acteurs concernés à tous les niveaux de développement à travers une meilleure planification des activités en se basant sur les facteurs climatiques et surtout pour des décisions raisonnées.

- **Diffusion à grande échelle des services climatiques auprès des acteurs dans toutes zones agroécologiques**

Les services climatiques produits par l'ANACIM, le LPAO-SP et toutes les autres structures ou entités mandatées pour cette tâche sont diffusés à temps réel auprès des usagers par SMS, cela dans toutes les zones agroécologiques, via aussi mails, messages vocaux en langues nationales et en Français. Notons dans les dispositions proposées que tous les 46 départements administratifs devraient disposer chacun d'une station météorologique équipée de machines et des appareils de mesures de paramètres climatiques.

De plus, les radios communautaires ainsi que les services techniques d'encadrement agricoles (DRDR, SDDR, ANCAR, etc.) peuvent aider à la sensibilisation de masse auprès des usagers des chaînes de valeur des filières agricoles dans toutes les zones agroécologiques.

- **Renforcement des capacités des acteurs sur l'importance et l'utilisation des services climatiques**

Il s'agira de renforcer les capacités des producteurs et des autres acteurs associés sur la variabilité, le changement climatique et de l'importance des services climatiques dans les secteurs de développement (agriculture, élevage, pêche etc.) et de voir leur impact sur toute les chaines de valeur des différentes filières et cela, dans toutes les zones agroécologiques.

Le renforcement des capacités des acteurs en gestion des risques climatiques sera également confié aux universités à vocation agricole et aux centres de formation à travers les curricula de formation. Ainsi, une masse critique d'experts formés sur la dimension changement apporte son expertise sur le management et surtout dans les négociations nationales, régionales et internationales sur le financement, le transfert de technologie, les stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Retenons que le renforcement des capacités des acteurs sur l'utilisation des services climatiques aide à la prise de décision et à la prévention des risques liés au climat.

5.1.4 Promotion de la recherche agricole et de l'utilisation des variétés améliorés

Dans un contexte de changement climatique, la recherche agricole a mis au point une panoplie de variétés de semences à haut rendement (série des Sahel) bien adaptées aux conditions écologiques. Cependant, l'obtention de ces rendements nécessite le strict respect des itinéraires techniques recommandés (calendrier cultural, quantité de semences, dose de fertilisants, entretien et protection des cultures, apport d'eau suffisante et de qualité etc.).

Chacune de ces variétés a été sélectionnée et homologuée dans une logique de productivité mais aussi d'adaptation aux conditions climatiques si différentes et si particulières (voir Tableau ci-dessous).

Il convient alors d'engager les chercheurs de l'ISRA, des Universités à vocation agricole, et des instituts de recherches agricoles à poursuivre davantage la recherche en proposant des stratégies innovantes d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique. De plus, il nous revient d'intégrer cette nouvelle disposition juridique et réglementaire portant adoption en procédure d'urgence le 03 juin 2022 par l'Assemblée nationale du **projet de loi n°08/2022 portant sur la biosécurité**. Ainsi, les chercheurs peuvent manipuler les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) résultant de la biotechnologie végétale moderne pour produire des semences, des vitro plants de toutes les spéculations agricoles végétales (céréales, légumineuses, horticulture) capables de s'adapter à la variabilité et au changement

climatique sans provoquer une dégradation de l'environnement ou déséquilibre écologique ni nuire à la santé humaine et animale.

Ainsi à l'horizon 2100, les chercheurs mettront à la disposition des producteurs des semences adaptés, des vitro plants de qualité et en quantité pour toutes les spéculations agricoles cultivées au Sénégal.

Tableau 9 : Variétés de semences homologuées

Variétés	Cycle	Rendement Potentiel	Saison de culture et Caractéristiques principales	Homologation
NERICA S-19	Moyen	11 T/ha	Variété d'hivernage, tolérante à la salinité, bon goût, grain long et fin	2009
NERICA S-21	Moyen	13 T/ha	Variété d'hivernage, tolérante à la salinité, bon goût, grain long et fin	2009
NERICA S-36	Moyen	11 T/ha	Variété d'hivernage, tolérante à la salinité, bon goût, grain long et fin	2009
NERICA S-44	Moyen	12 T/ha	Variété d'hivernage, tolérante à la salinité, bon goût, grain long et fin	2009
ISRIZ 01	Moyen	12,5 T/ha	Résistance à la salinité au froid et à la sécheresse ; s'adapte aux sols salés jusqu'à 4 dS/m et aux basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 02	Moyen	12 T/ha	Tolérante aux basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 03	Moyen	13 T/ha	Tolère les basses températures durant les phases de végétation en	2017

Variétés	Cycle	Rendement Potentiel	Saison de culture et Caractéristiques principales	Homologation
			début de saison sèche, tolère la salinité jusqu'à 4 dS/m	
ISRIZ 04	Moyen	13,5 T/ha	S'adapte très bien aux basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 05	Moyen	13,5 T/ha	Tolérante dans les basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 06	Moyen	13,5 T/ha	Tolérante devant les basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 07	Moyen	12,5 T/ha	Tolérante face aux basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 08	Moyen	11,5 T/ha	Tolérante dans les basses températures durant la phase végétative	2017
ISRIZ 10	Moyen	12,5 T/ha	Tolère la salinité jusqu'à 5,5Ds/m	
ISRIZ 11	Moyen	12,5 T/ha	Tolère la salinité jusqu'à 5,5Ds/m	2017
ISRIZ 12	Moyen	10,5 T/ha	Tolère le déficit hydrique en phase végétative	2017
ISRIZ 13	Long	12,4 T/ha	Tolérante face aux basses températures pendant la phase végétative	2017
ISRIZ 14	Long	12,1 T/ha	Tolérante face aux basses températures durant les phases végétative et reproductive	2017
ISRIZ 15	Moyen	12,5 T/ha	Tolérante aux basses températures et au froid	2017

Source : AfricaRice, 2010 et 2017

Depuis plusieurs décennies, les chercheurs de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) ont mis au point une riche sélection variétale avec l'homologation de 6 variétés d'arachide à cycle court (75 – 80 j) en 2010, 4 variétés de sorgho (105 à 110 j) et une variété de mil (95 jours), en 2011. La carte ci-dessous donne des informations pertinentes sur le profil du bassin arachidier assorti de la variabilité et du changement climatique.

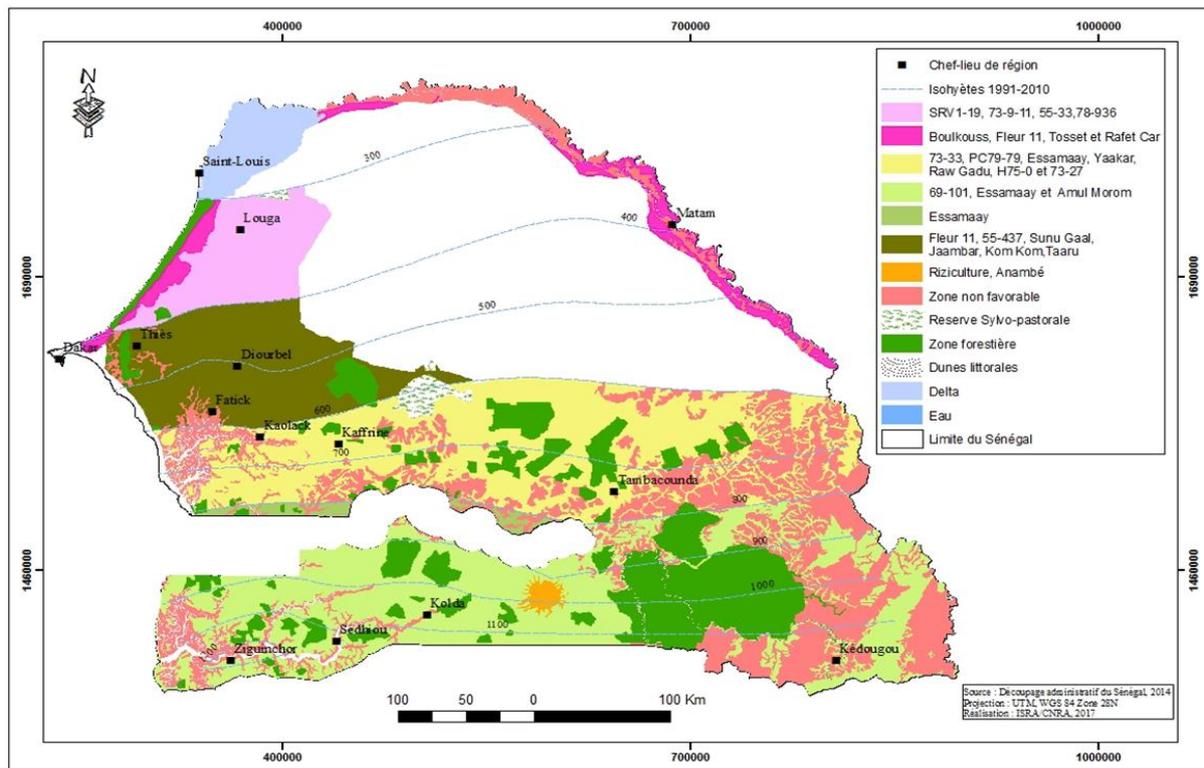


Figure 42 : Carte variétale de l'arachide dans un contexte de changement climatique, ISRA, 2018

5.1.5 Sur les pratiques agricoles

Les résultats obtenus des scénarios climatiques à l'horizon 2100 confirment la dynamique évolutive de la variabilité et du changement climatique. S'agissant d'une analyse du Business as Usual (BaU), si rien n'est fait, en termes d'ajustement et de mesures fortes d'adaptation et d'atténuation face au péril d'une occurrence des événements climatiques extrêmes (sécheresse, inondations, foudres, tempêtes, etc.), il surviendra une perturbation très prononcée du calendrier culturel, l'occurrence d'événements extrêmes tels que les vagues de chaleur et les vagues de froid, une détérioration des aménagements hydro-agricoles et des infrastructures. Dans la perspective d'apporter des stratégies innovantes pour faire face aux effets de la variabilité et des changements climatiques, il est proposé quelques approches éprouvées pour relever le niveau de productivité des petits producteurs.

- **La Régénération naturelle Assistée (RNA)**

La RNA sera aussi pratiquée dans les terres de culture comme stratégie commune d'adaptation et d'atténuation. Elle permettra de favoriser le développement des arbres dans les parcelles de cultures, ce qui contribue à la lutte contre l'érosion des terres, mais surtout à séquestrer une bonne partie du carbone atmosphérique. Elle permet également de stimuler la résilience des forêts et d'améliorer leur résistance face au changement climatique (adaptation). Cette pratique peut largement contribuer à l'adaptation et à l'atténuation au changement climatique de ses effets car elles contiennent plus de biomasse individuellement que les cultures annuelles seules ou les herbacées par exemple. Selon (Guo et Gifford, 2012), la RNA permet de maintenir la biodiversité et les services écologiques qu'elles fournissent, y compris le stockage du carbone pour l'atténuation des GES. Elles constituent également une source de diversification des ressources pour les populations rurales à travers la cueillette, l'utilisation de plantes médicinales, et de produits secondaires comme la gomme, le bois etc.

- **La mise à l'échelle de l'agroécologie**

Il s'agira de contribuer à protéger, restaurer et améliorer les systèmes agricoles et alimentaires face aux chocs climatiques dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal avec des espèces adaptées. Ainsi, les arbres, les cultures classiques et/ou des animaux sous une certaine forme d'arrangement spatial ou temporel doit être délibérément combiné et cette association permet de fournir aux populations des produits multiples tels que le fourrage, des fruits, du bois d'œuvre, du bois de chauffage, des produits médicinaux et autres, permettant ainsi, de diversifier les ressources et d'éviter la déforestation. La mise à l'échelle des systèmes agroécologiques diversifiés et bien intégrés peuvent, favoriser une plus grande séquestration du carbone, accroître la résilience des moyens de subsistance et fournir des solutions d'atténuation. Cette option permet de résister à d'autres chocs et facteurs de stress sociétaux, tels que les pandémies et les perturbations du marché, en relocalisant les systèmes alimentaires et en raccourcissant les chaînes de valeur, ce qui entraîne une plus grande résilience au changement climatique.

- **Promotion du Système de riziculture intensive (SRI)**

Le Système de Riziculture Intensif (SRI) est une pratique de riziculture qui alterne des périodes d'inondation des rizières et des périodes de détrempage. Il s'agit de repiquer des plants de riz

de quinze jours dans des poquets comprenant un seul brin et disposés de façon très espacée. Les résultats ont montré que les jeunes plants se sont très vite développés et ont donné parfois jusqu'à 20 épis. De même, les tallages sont plus élevés (60 à 80 talles par pied) et les rendements augmentent avec le tallage.

Au plan technique, le SRI est une pratique simple et maîtrisable par les exploitations familiales. Du fait de la quantité réduite de semences requises, le SRI ne nécessite pas de grandes pépinières. En outre, le SRI permet d'économiser près de 40% d'eau par rapport à la riziculture traditionnelle inondée.

La riziculture irriguée a certes besoin d'eau pour assurer un bon développement végétatif des cultures mais l'inondation constante inhibe leur croissance et favorise les émissions de méthane.

Le (SRI) est une pratique agricole éprouvée et appliquée dans la Vallée du Fleuve Sénégal et dans la région de Fatick par certains projets et programme comme le PRODAM et le P2RS pour faire face aux effets des changements climatiques tout en donnant de bons rendements aux riziculteurs. Force est cependant de reconnaître que la méthode reste encore le fait d'une faible minorité de paysans qui bénéficie de l'appui des projets.

La diffusion à grande échelle du SRI est une nécessité impérieuse du point de vue politique, économique et socio-culturel dans toute la Vallée du Fleuve Sénégal.

Au plan économique, la gestion des semences favorisée par le repiquage brin par brin réduit les montants dépensés pour l'achat d'intrants. Mais ce qui fait l'intérêt du SRI, c'est surtout l'augmentation importante du rendement agricole. Il reste ainsi un outil remarquable pouvant contribuer à la sécurité alimentaire, et cadre parfaitement avec la politique d'autosuffisance en riz de l'Etat du Sénégal. De plus, la pratique du SRI contribue de façon considérable à la diminution des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) pour la riziculture et cette pratique utilise moins d'engrais alors il ya moins de méthane en immersion.

Il s'agira d'étendre les superficies sous SRI de sorte qu'on ait respectivement en 2030, 2060 et 2100 des couvertures d'emblavures nationales respectivement de 20%, 50% et 80%.

- **Réduction des pertes post-récoltes**

Les pertes post récoltes représentent entre 15 à 30% de la production nationale et cela est fonction de plusieurs causes, dans les différentes zones agroécologiques. A cet effet, il est important de renforcer les capacités techniques en équipement des producteurs et des

transformateurs à toutes les étapes de conditionnement de la production (récolte, moisson, battage, séchage et nettoyage, stockage, transport, usinage, transformation etc.).

A cet effet, il est encouragé de diffuser à grande échelle des technologies ainsi que le triple ensachage ou une protection plus efficace contre les nuisibles.

L'objectif sera de réduire progressivement les pertes post-récolte de sorte qu'il y ait zéro perte récolte avant l'an 2100 et si possible même en 2060.

5.1.6 Sur l'utilisation de l'énergie

- **Promotion de l'utilisation de l'énergie solaire**

La promotion de l'énergie solaire constitue une option qui pourrait être associée aux sources d'énergie classiques pour réduire les émissions de GES, en supprimant l'impact du coût élevé de l'électricité et de celui des groupes et motopompes qui utilisent de l'énergie fossile (gasoil, essence) pour l'alimentation en eau des zones de production surtout en irrigué. Les installations photovoltaïques permettent de supporter les méthodes d'arrosage goutte à goutte, d'arrosage, de pivot ou d'inondation. Toutefois, il est impossible de souligner que le potentiel valorisant des panneaux photovoltaïques varie avec l'insolation.

La seule contrainte pourrait cependant être le coût élevé des investissements. Dès lors, une politique de subvention de l'accès aux installations solaires pour la production agricole pourrait être envisagée par l'Etat ou des partenaires au développement afin de promouvoir « l'irrigation verte » pour un taux de couverture de 20% en 2030, 50% en 2060 et de 80% en 2100.

Au Sénégal, l'Agence nationale de l'Electrification rurale (ANER) et d'autres structures de développement travaillent plus de deux décennies pour la promotion des énergies renouvelables et en particulier de l'énergie photovoltaïque.

- **Le transfert de technologies auprès des producteurs et autres usagers des filières agricoles**

Il s'agira de former les agriculteurs et autres usagers des filières agricoles à la compréhension des composantes des systèmes photovoltaïques (générateur photovoltaïque, batterie, régulateur, convertisseur, etc.). De plus, les petits producteurs doivent être également

outillés pour faire in situ l'application du câblage de systèmes photovoltaïques, l'assemblage et la maintenance des installations, la conception et le dimensionnement des installations photovoltaïques, l'application des systèmes photovoltaïques, le pompage solaire, la maintenance et le dépannage.

In fine, le Sénégal pourrait même disposer d'industries de fabriques de panneaux photovoltaïques et de disposer de plus de 10 000 experts qualifiés aux métiers de l'énergie solaire pour en assurer sa fourniture, la maintenance et autres services connexes.

- **La valorisation des sous-produits agricoles comme source d'énergie combustible**

Le potentiel en bois se raréfie partout au Sénégal, et pour remplacer l'utilisation du bois comme combustible, il est préconisé d'encourager l'utilisation des sous-produits de la production agricole, disponibles en abondance dans toutes les zones agroécologiques du pays. De plus, les producteurs peuvent se mutualiser autour de coopératives, d'organisations faitières pour la collecte de résidus de récolte et la production de bio charbon à partir des tonnes de biomasse qui sont brûlées chaque année. Une étude conduite par IED Afrique en 2012 a démontré qu'avec une production de 100 000 à 500 000 tonnes de bio charbon et avec ce produit transformé, il est possible de couvrir entre 30 et 100% des besoins en charbon entre et cela, 2030 et 2100.

Cette approche diminue la pression d'exploitation des ressources forestières et contribue à la conservation de nos écosystèmes forestiers et à la préservation des ressources naturelles.

- **Mise en place de mini serres**

Les chercheurs de l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP) ont mis en place des serres et des claies de séchage modernes qui fonctionnent grâce à la valorisation de l'énergie solaire. Aujourd'hui, le défi est de faire la promotion de ces unités auprès des transformateurs des produits agricoles et cela contribuerait beaucoup à la valorisation des produits et surtout à la lutte contre les pertes post récoltes.

5.1.7 Sur le Conseil agricole

- **L'encadrement et l'organisation des producteurs**

La libéralisation des filières agricoles ainsi que la politique de désengagement de l'Etat ont beaucoup contribué à l'organisation des producteurs en GIE, Unions, Fédérations, etc. pour apporter les changements que le gouvernement sénégalais a entrepris en vue de revitaliser son économie et promouvoir la souveraineté alimentaire.

Cette stratégie est déclinée dans la loi n° 2004-16 du 4 juin 2004 conçue pour l'orientation agro-sylvo-pastorale (LOASP). Cette loi, dont la durée de validité est de 20 ans, est le cadre légal de développement de l'agriculture sénégalaise pour les dernières années, à travers la modernisation de l'exploitation agricole familiale et la promotion de l'entreprenariat agricole et rural. Elle détermine également les statuts et les métiers des organisations de producteurs. A ce jour, la LOASP est en révision, et il est important de souligner que les nouvelles dispositions de la loi soient bâties autour des mécanismes de concertation avec l'intégration de la dimension changement climatique dans tous les domaines de développement agro-sylvo-pastoral et pêche sensibles au climat.

Ainsi, en renforçant progressivement le statut des producteurs tant dans le domaine de l'encadrement que dans celui de la performance de ses organisations, les producteurs seraient plus autonomes en termes de fournitures d'intrants, d'équipement, de vulgarisation, de commercialisation de leurs productions.

- **Renforcement des capacités des producteurs et autres acteurs associés**

Le savoir et le savoir-faire des producteurs dans le cadre de l'adaptation et de l'atténuation face au changement climatique doit être suffisamment mis à contribution ; cela, en vue d'en tirer le maximum de profit à travers la promotion des stratégies et pratiques d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) dans toutes les zones agroécologiques pour le développement de l'économie rurale et périurbaine en général.

Il convient également de souligner que le renforcement des capacités individuelles, institutionnelles sur l'utilisation des itinéraires techniques des pratiques d'AIC de tous les acteurs des filières agricoles du Sénégal s'avère nécessaire. Ainsi, les producteurs et acteurs associés, formés sur les stratégies d'adaptation, de résilience et d'atténuation face à la variabilité climatique vont conduire toutes les opérations édictées avec un respect des itinéraires techniques afin d'offrir un cadre décarbonisé entre 2030 et 2100.

- **Réformes institutionnelles pour prendre en charge le développement des filières agricoles dans un contexte de changement climatique**

La Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale (LOASP) est mise en œuvre depuis 2004. A deux ans de l'expiration des dispositions légales et réglementaires de la LOASP, le Gouvernement du Sénégal s'est proposé de réviser la LOASP et des dispositions réglementaires y afférant. Il convient de proposer, dans cette nouvelle loi en phase de formulation, l'intégration de la dimension changement climatique dans les chapitres, les articles, les décrets d'application et dans les dispositions de planification, d'aide à la prise de décision et aussi dans les mécanismes de financement.

Ainsi, cette nouvelle loi, soutenue par des décrets d'application mis en œuvre permettra au sous-secteur de l'agriculture plus résilient à faire face aux effets de la variabilité et du changement entre 2030, 2060 et l'an 2100. Ce cadre légal permettra la mise à l'échelle des pratiques éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat dans toutes les zones agroécologiques du pays afin de garantir une souveraineté alimentaire à moyen et long terme avec un cadre légal de développement sobre en carbone.

- **Appropriation des résultats de la recherche et équipement des producteurs**

Les résultats de la recherche agricole orientés sur le climat doivent être utilisés par les producteurs dans les exploitations agricoles avec un respect strict des itinéraires techniques. Le changement climatique exige la production et la multiplication de variétés de semences certifiées plus adaptées aux modifications des conditions climatiques de culture (vague de chaleur, vague de froids, vents chauds et secs, plus grande occurrence des nuisibles), des stratégies innovantes de gestion et d'exploitation des eaux et des sols. Pour se hisser au sommet de la trajectoire de la souveraineté alimentaire à court, moyen, long termes (2030, 2060 et 2100), il est attendu une appropriation des résultats de la recherche en termes d'adaptation, d'atténuation et de renforcement de la résilience.

De plus, il est indispensable voire capital de renforcer l'équipement agricole des producteurs et des acteurs de chaque chaîne de valeur pour faire face aux effets de la variabilité et du changement climatique.

5.1.8 Sur l'Élevage

- **Le stockage du foin, l'Ensilage et la fenaison**

Compte tenu de la variabilité saisonnière du climat, caractérisé par un régime de deux saisons (sèche et pluvieuse) et l'effet réel du changement climatique dans les écosystèmes naturels et agricoles, il est conseillé aux éleveurs de toutes les zones agroécologiques et en particulier ceux qui sont dans la zone sylvopastorale de pratiquer l'ensilage. De plus, le stock de foin, de feuilles d'arachide, de tiges de mil, de tourteaux et même d'aliment de bétail, doit être assuré dans des conditions optimales en saison sèche. La disponibilité du stock permet de couvrir en quantité et en qualité les besoins alimentaires du bétail.

En plus de ces deux pratiques présentées ci-dessous, il est proposé la mise à l'échelle de la fenaison, il s'agit de changer un fourrage vert, périssable, en un produit qui peut être facilement transporté sans danger d'altération, tout en maintenant les pertes en matière sèche et éléments nutritifs à un minimum.

Ces différentes techniques de production et de conservation de l'aliment de bétail doivent être diffusées à grande échelle et cela dans toutes les zones agroécologiques du pays à partir de 2030 tout en se fixant un taux de couverture à 100% en 2100.

- **L'assurance bétail**

Afin de renforcer la résilience du secteur de l'élevage et du bétail en particulier face aux effets du changement climatique, les éleveurs devront souscrire massivement aux polices d'assurance de la Caisse nationale d'Assurance Agricole du Sénégal (CNAAS) pour réduire le taux de mortalité du bétail. Les polices d'assurance bétail demandées à la CNAAS porteraient sur (i) l'assurance tous risques mortalité du bétail qui offre à l'éleveur une garantie contre les risques de mort naturelle ou celle causée par des accidents du bétail ;(ii) l'assurance mortalité accidentelle du bétail : elle garantit l'éleveur contre les risques de mort accidentelle de bétail, (iii) l'assurance mortalité volaille qui offre une protection contre les risques de mort de la volaille résultant d'accident ou de maladie.

La diffusion à grande échelle de l'assurance sur le gros bétail, les petits ruminants (chèvres et moutons) et la volaille pour renforcer leur résilience face aux impacts des changements climatiques est également une bonne initiative.

- **Promotion des cultures fourragères**

La production fourragère est en effet le principal levier de l'amélioration de l'alimentation des herbivores et donc de la productivité des systèmes d'élevage concernés. Cette pratique innovante permet d'améliorer la qualité de l'alimentation du bétail et de réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) liées à la fermentation entérique. Elle joue également un rôle essentiel dans la durabilité des systèmes mixtes qui allient productions végétales et animales. Toutefois, il convient de s'appuyer sur des évidences scientifiques pour faire le choix des plantes fourragères spécifiques dans chaque zone agroécologiques portant entre autres sur des critères de diversité des plantes, des milieux, des usages et des systèmes de production. A cet effet, il conviendra d'étendre cette approche dans les exploitations agricoles et pastorales et cela dans toutes les zones agroécologiques.

- **La maîtrise de l'eau pastorale**

Les projections ont montré que la disponibilité de l'eau se réduira au fil des années dans ce contexte marqué par la variabilité et le changement climatique avec une augmentation des températures. Il est constaté également que plus la température augmente, plus les besoins en eau pour le bétail connaissent une hausse. Afin de faire face à une perspective non reluisante, il est proposé des bassins de rétention, l'aménagement des mares, l'exhaure de l'eau souterraine par la mise en services de puits et forages à haut débit pour satisfaire les besoins des pastoraux et des éleveurs de façon générale.

- **Gestion durable des ressources pastorales**

Dans ce contexte de changement climatique il urge de développer des stratégies avancées de gestion concertée des ressources pastorales et agro pastorales partagées, à travers les unités pastorales (UP) et les unités agropastorales (UAP). Il s'agira de mettre à l'échelle les pratiques éprouvées que sont l'identification des parcours, des couloirs de passage et des zones de concentration à travers un plan de gestion concerté de l'espace pastoral qui définit des règles et des conventions pour la gestion des ressources pastorales, la mise en place ou la réhabilitation de points d'eau (forage, puits, mares etc.) et leur gestion par les populations bénéficiaires, la mise en place ou la réhabilitation d'infrastructures pastorales (parcs à vaccination, marchés à bétails etc.), la sécurisation de la mobilité du bétail par l'identification et la matérialisation des couloirs des transhumants et la gestion du foncier pastoral. Le code

pastoral est adopté en conseil interministériel en décembre 2022 et les dispositions requises pourraient garantir une durabilité des unités pastorales et agropastorales dans un contexte de changement climatique.

- **Gestion des maladies animales émergentes**

Des études ont montré que des maladies émergentes et ré-émergentes prospèrent du fait de la variabilité et des changements climatiques avec des pathologies qui surgissent de nouveau, après avoir disparu pendant plusieurs années. A titre d'exemple de maladies émergentes, on peut citer la maladie à virus Ebola que l'on a connue récemment dans des pays voisins du Sénégal comme la Guinée. La Fièvre de la vallée du Rift (FVR) et la Péripleurite Contagieuse Bovine (PPCB), qui sont des maladies ré-émergentes présentes au Sénégal. Des études récentes ont démontré que le développement des pathologies, l'apparition, le déclenchement et la diffusion d'épidémies de FVR, anthroponose sont liés à la variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie, la forte variation des autres paramètres climatiques tels que la température et l'humidité.

Il convient alors de s'appuyer des services des chercheurs de l'ISRA à produire en quantité des vaccins adaptés à la variabilité et au changement climatique pour faire face à l'essor des maladies émergentes et ré-émergentes liées au climat tout en cherchant à adapter les nouveaux vaccins avec ce contexte obligeant.

5.1.9 Dans le domaine de la pêche

- **Développement et promotion de l'aquaculture**

Des études scientifiques ont prouvé que des dynamiques induites par le changement climatique dans les océans avec l'acidification, les variations éventuelles des courants marins et leurs impacts sur les modifications du système d'upwelling font peser une menace réelle sur les captures de pêche au Sénégal et dans beaucoup de pays. Afin de faire face à cette situation qui ne cesse de s'accroître au cours des décennies, le Sénégal a opté, entre autres stratégies, pour l'adaptation, le développement de l'ostréiculture et la pisciculture rurale depuis très longtemps. Toutefois, il faut reconnaître que ces activités, même si elles sont

pertinentes, sont limitées dans l'espace et sont restées à l'état d'exploitations familiales et traditionnelles malgré les potentialités. Aujourd'hui, force est de constater que l'aquaculture se modernise avec les interventions de l'Agence nationale de l'Aquaculture (ANA) et celles des projets et programmes portés par des ONG, des OCB et aussi par les partenaires au développement.

Il est alors important de promouvoir à court, moyen et long terme le développement de l'aquaculture qui est restée à l'état embryonnaire avec seulement une production de 114,3 tonnes en 2005 ; ce qui ne représente que 0,03 % de la production nationale totale de poissons (ANA, 2012)¹ à laquelle il faut ajouter les effets des 27 projets phares du PSE, avec un objectif de production aquacole de 50 000 tonnes à l'horizon 2023.

En s'appuyant sur le nouveau code de l'aquaculture voté le 17 avril 2022 par l'Assemblée nationale, instituant des dispositions réglementaires d'exploitation de l'aquaculture, il urge alors de faire la promotion de l'aquaculture dans toute l'étendue du territoire national avec des ambitions 500 000 à 1 000 000 de tonnes à travers la mise en œuvre du Plan National de Développement de l'Aquaculture (PNDA) pour combler le gap de la pêche de capture.

- **Mise en place des Aires Marines Protégées (AMP)**

Par Décret n° 2004-1408 du 4 novembre 2004, le Sénégal opte pour la création d'Aires Marines Protégées (AMP) conformément aux directives et objectif 11 d'Aichi qui consiste pour les pays du littoral à préserver au moins 10 % des zones marines et côtières (Failler, 2020a). Les AMP permettent de restaurer et conserver les ressources halieutiques dans et autour de l'AMP et favoriser une utilisation durable de la biodiversité centrée sur la protection, la conservation, la valorisation des ressources biologiques et des habitats et de favoriser une participation efficace des acteurs à la gestion des AMP.

A ce jour, le Sénégal compte sept AMP, couvrant une superficie de 205 269 ha. La gouvernance des AMP ainsi que les résultats obtenus, sont mitigées si on se réfère aux objectifs de base

A ce jour, les effets des changements climatiques exigent la révision de la gestion des AMP en fixant à nouveau les objectifs à atteindre avec des indicateurs pour évaluer la performance. Il convient pour le moyen et long terme d'augmenter le nombre d'AMP sur le littoral sénégalais long de 700 km conformément aux recommandations du cinquième Congrès mondial des

¹ ANA, 2012. Résumé du plan stratégique opérationnel (PSO) pour l'atteinte des objectifs de développement de l'aquaculture au Sénégal. MEDD, 17 p.

parcs de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) en septembre 2003, qui incitaient à protéger au moins 5 % de l'espace littoral et marin national (IUCN, 2003).

- **Le repos biologique**

Depuis trois décennies, les zones de pêche nationales ont atteint les limites naturelles d'exploitation. Personne n'ignore que la pêche au Sénégal est confrontée aux effets liés aux aléas des changements climatiques et à la raréfaction des ressources halieutiques. Cette situation entraîne le déplacement des pêcheurs artisanaux de plus en plus loin vers la mer et avec des risques de pertes en vies humaines. Ainsi, pour faire face à cette situation critique et ramener assez de poissons pour garantir l'approvisionnement du marché, tout en limitant les captures pour préserver les stocks et les ressources halieutiques, il urge de promouvoir le repos biologique. Cette pratique adaptative de conservation des ressources halieutiques permet, entre autres avantages, de préserver certaines variétés de poissons notamment les espèces nobles et celles qui sont les plus soumises à la surpêche.

A cet effet, le Ministère en charge de la pêche en collaboration avec les entités locales de la pêche (groupements d'intérêts économiques interprofessionnels, comités de gestion des AMP, Conseils locaux de pêche artisanale (CLPA), associations des pêcheurs) va assurer le respect des dispositions de l'arrêté portant Repos biologique sur toute l'étendue du territoire national en zone démersale côtière. Le respect strict du **Repos biologique** permettra aux poissons et crustacés de se reproduire, de croître et se multiplier pendant cette durée. Il revient à la Direction de la pêche de s'assurer du respect de la période de repos dans le court, moyen et long terme pour assurer la protection des habitats et des ressources halieutiques.

5.1.10 La foresterie et la sylviculture

- **Gestion communautaire des forêts**

Les forêts du Sénégal connaissent une surexploitation anarchique depuis plusieurs décennies. Face à cette situation, l'Etat du Sénégal avec l'appui des partenaires technique et financiers a pu mettre en œuvre des projets comme (PROGEDE, PROGERT, PGIES, PASA, etc.). Il s'agira de faire cette approche de développer une meilleure conciliation entre activités pastorales et agricoles en réduisant considérablement la récurrence des conflits. Cette pratique de gestion constitue une réponse consensuelle pour la définition de règles d'accès et d'utilisation durable de ressources forestières à usage multiple et partagées.

Cette approche diffusée à grande échelle dans toutes les zones agroécologiques et cela à l'horizon 2100 permettra de réduire les conflits entre usagers, de réduire la pression sur les ressources forestières permettra une régénération de la diversité biologique dans ces aires protégées avec la participation active des communautés.

- **Restauration de la mangrove**

La régression connue des colonies de mangroves au Sénégal est provoquée par des phénomènes naturels (Sursalure des terres - Salinité – Sécheresses etc.) mais aussi par des actions anthropiques (Surexploitation des ressources, systèmes d'exploitation irrationnel et anarchiques des ressources etc.).

Face à un recul de 20 à 30% de la végétation de mangrove, il convient de faire du repeuplement, restauration et reboisement des habitats et dedans les zones estuariennes et lacustres de la Casamance, les Iles du Saloum, la Grande et la petite côte pour promouvoir un développement important des ressources halieutiques (poissons, huîtres, crevettes, etc.), le retour de la faune, de l'avifaune et d'autres espèces de la diversité biologique.

Il s'agira de poursuivre la recherche permanente de solutions et d'alternatives locales pour l'aménagement, la gestion et l'exploitation en vue d'augmenter les revenus des populations locales. A cet effet, tous les moyens de restauration et de repeuplement de la mangrove seront mis à disposition à l'horizon 2100 pour préserver cet écosystème fragile et exposé aux effets des changements climatiques.

- **Lutter contre les feux de brousse**

Dans son rapport 2006 intitulé "Suivi des feux de brousse au Sénégal", le CSE indiquait que pendant chaque saison sèche, "les incendies ravagent une grande partie des écosystèmes sénégalais. La saison des feux s'étend en général d'octobre à mai. La répartition temporelle et spatiale des foyers n'est pas homogène et varie d'une année à une autre.

Dans l'optique de lutter contre la dégradation des ressources des forêts et la préservation des ressources naturelles dans une perspective de développement durable il sera impératif de maîtriser les feux de brousse, devenus endémiques dans certaines zones agroécologiques

comme la zone sylvopastorale, le Delta du Saloum, Kolda, Ziguinchor et la zone du Sénégal oriental. Il convient dès lors de mettre en service les techniques et techniques appropriées comme les pare-feux verts, la valorisation de la paille et des résidus de récoltes avec la forte participation des communautés à la base.

Cette stratégie bien qu'elle nécessite une forte sensibilisation et mobilisation de tous les acteurs, nécessite des équipements appropriés et doit être diffusé à grande échelle de sorte qu'il n'y ait plus de feu de brousse au Sénégal à partir de 2060.

- **Foresterie péri-urbaine et communautaire**

Il s'agira de mettre les populations locales au centre du dispositif de sorte qu'elles gèrent les ressources forestières dont elles dépendent pour leur subsistance. Spécifiquement, il s'agit de régler par des textes juridiques ou des chartes précis prévoyant la participation effective des communautés locales pour l'exploitation et la gestion d'un ensemble de pratiques, techniques et méthodes d'utilisation des forêts, des réserves, des parcs et des ressources naturelles qui en dépendent. A terme, elle est donc une restitution historique des droits de propriété aux communautés locales dans le but est de bâtir une mobilisation sociale autour de la protection des forêts et des ressources naturelles mais aussi, de réduire la pauvreté en zone péri urbaine et rural par la valorisation des ressources disponibles. A cet effet, les communautés peuvent générer des revenus pour financer des projets de développement tels que la construction d'infrastructures scolaires ou sanitaires etc. et enfin cette approche permet de résoudre les conflits autour du foncier et des ressources naturelles entre des communautés voisines.

Il s'agira de s'appuyer des dispositions de l'Acte 3 de la décentralisation pour valoriser cette approche dans toutes les communes et départements administratifs du Sénégal et cela dès 2030.

- **Aménagement forestier**

Il s'agit de faire des aménagements forestiers avec l'appui des services techniques de l'Etat, tel que la Direction des Eaux et Forêts, Chasse et Conservation des Sols (DEFCCS), la Direction des Parcs Nationaux (DPN), la Direction des Aires Marines Protégées Communautaires (DAMPC), des ONG et des OCB. Cette approche permettra aux collectivités locales de

maintenir le contrôle sur l'accès aux ressources et de capter une part des redevances forestières

Ainsi, des zones de Production Contrôlée (ZPC) seront mises en service dans les zones périphériques des réserves, parcs et forêts seront aménagés pour garantir l'accès, la disponibilité et l'autonomisation des communautés pour l'exploitation rationnelle et l'utilisation des ressources naturelles de ces aires protégées.

Cette approche de gestion concertée et intelligente des ressources forestières à travers des plans d'aménagement permet de rationaliser l'exploitation mais également une gestion durable permettant de garantir de viabilité des écosystèmes.

5.1.11 Sur le financement

La finance climatique (Fonds Vert pour le Climat, Fonds d'Adaptation) doit être mobilisée au Sénégal dans les domaines de l'Agriculture, l'Élevage, la Foresterie, la Pêche, l'Énergie, etc. à travers des projets et programmes. De plus, soulignons que les projets dans ces domaines précités qui ne prennent pas en charge la dimension changement atteignent rarement les objectifs escomptés dans les délais après exploitation et analyse des résultats obtenus. Toutefois, soulignons que le l'Etat du Sénégal doit être le premier bailleur à soutenir toutes les initiatives de soutien en faveur de la mise à l'échelle des pratiques éprouvées d'AIC au Sénégal et cela dans toutes les zones agroécologiques.

- **Faire accéder les acteurs des zones agroécologiques à la finance climatique**

La Banque Agricole (LBA), première banque commerciale Sénégalaise accréditée au Fonds Verts pour le Climat (FVC), le Centre de Suivi Ecologique, (CSE), les partenaires bilatéraux et multilatéraux (BAD, BM, PNUD, FAO, PAM, AFD, etc.), peuvent et doivent aider à la conception, la formulation de projets éligibles à l'accès direct et aux ressources concessionnelles à longue maturité pour financer la transition vers une économie résiliente et sobre en carbone pour le développement des domaines précités dans le court, moyen et long terme.

A cet effet, les Fonds Readiness mis en place par le FVC peuvent les aider au renforcement des capacités des acteurs mais également à la formulation de projets et programmes éligibles au FVC mais également à d'autres guichets de la finance climatique.

Les acteurs nationaux en collaboration avec les partenaires au développement peuvent travailler en synergie pour formuler et mettre en œuvre au moins 30, 50, 80 voire même 100 projets et programmes respectivement en 2030, 2060 et 2100 pour mettre en œuvre toutes les stratégies d'adaptation et d'atténuation proposées en Agriculture, Elevage, Pêche, Energie, Foresterie ; Ressources en eau, etc.

- **Avoir le portage institutionnel de de la Plateforme CCASA**

La Plateforme de Dialogue Sciences sur l'Adaptation de l'Agriculture face au Changement climatique, dénommée « Plateforme CCASA » mise en place par le Ministre en charge de l'Agriculture par arrêté *n° 22886 du 15.12.2015 MAER/DA* a pour vocation, entre autres missions, de promouvoir la mise à l'échelle de l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal.

Ainsi, des plateformes locales CCASA fonctionnelles sont en cours de mise en place dans chaque département administratif afin de permettre aux acteurs de chaque circonscription territoriale d'échanger et de planifier sur des stratégies AIC à mettre en place. Ainsi, le fonctionnement d'un Système d'Alerte Précoce (SAP)/Climat permettra d'anticiper, d'agir de façon raisonnée face aux effets causés par la variabilité et le changement climatiques et de proposer des stratégies innovantes adaptées à chaque terroir pour soutenir le développement agro-sylvo-pastorale et pêche.

La plateforme CCASA, au nom du Ministère de l'Agriculture, de l'Équipement rural et de la Souveraineté alimentaire (MAERSA), pourra travailler avec les partenaires au développement dans le cadre de la conception, la formulation et la soumission des projets aux guichets du Fonds Vert pour le Climat (FVC) pour permettre la mise en œuvre de stratégies innovantes d'adaptation et d'atténuation dans le court, moyen et long terme à travers des projets financés par les opportunités de la finance climatique.

- **Souscription à l'Assurance agricole**

La fréquence des effets de la variabilité et du changement climatique a largement contribué à la dégradation des ressources naturelles et la baisse drastique de la productivité de toutes les spéculations agricoles, et cela dans toutes les zones agroécologiques d'où l'importance de

souscrire aux polices d'assurance agricole en vue de protéger les producteurs et autres acteurs des filières agricoles contre les effets de la variabilité et du changement climatique.

A cet effet, les services de la Compagnie Nationale d'Assurance Agricole du Sénégal (CNAAS) et d'autres structures d'assurances à vocation agricole sont sollicités pour atténuer, gérer, transférer les risques agricoles liés au climat.

Ainsi, à partir de 2030, le défi sera la généralisation de l'assurance des risques agricoles liés au climat à l'endroit des petits agriculteurs et autres acteurs des filières de développement agricoles.

Toutefois, il conviendra de souligner que la CNAAS devra proposer des produits d'assurance paramétriques qui seront conçus sur la base des effets de la variabilité climatique et des changements pédoclimatiques, mais aussi de proposer un niveau de résolution géographique efficace et proportionnelle aux effets et impacts sur les produits et les usagers.

A ce jour, le financement des campagnes rizicoles financées par La Banque Agricole (LBA) est assujéti à la souscription d'une police d'assurance. Cette initiative doit s'étendre dans toutes les filières et même dans les systèmes de production agro-sylvo-pastoraux.

- **Accès facile au financement et à la Subvention**

Le financement des producteurs est principalement assuré par La Banque Agricole (LBA), la BNDE et d'autres services de microfinances comme ACEP, IMCEC, Crédit Mutuel etc. Il convient de souligner que les producteurs rencontrent d'énormes problèmes pour l'accès au financement auprès des institutions bancaires et fiduciaires surtout avec les risques grandissants liés au climat. Toutefois, des efforts d'accès au financement a été amélioré depuis quelques années par les structures fiduciaires comme la LBA, l'ACEP avec des offres concurrentielles. A cet effet, les structures gouvernementales et privées doivent améliorer les services de crédit afin d'aider à atténuer voire minimiser les risques systémiques et économiques qui pèsent fortement sur les activités de production et de transformation agricole. Il convient alors de lever progressivement la défiance de la culture du crédit du fait d'antécédents institutionnels et de la méthodologie inappropriée du crédit agricole auprès de certaines institutions financières décentralisés afin qu'elles soient davantage plus souples et plus coopératives à l'endroit des petits producteurs.

De plus, la subvention de l'Etat destinée aux petits exploitants agriculteurs doit être disponible à-temps, être de qualité, et ne doit souffrir d'aucun détournement de destination afin de garantir de son efficacité dans un contexte de changement climatique.

Le guichet vert de la LBA sous financement du Fonds Vert pour le Climat (FVC) permettra d'aider à la conception, la formulation de projets éligibles à l'accès direct et aux ressources concessionnelles à longue maturité pour financer la transition vers une économie résiliente et sobre en carbone pour le développement de l'agriculture.

En somme, en perspective à 2030, 2060 et 2100, toutes les institutions financières du pays doivent aussi, quant à elles, mettre en place des politiques efficaces de gestion des risques climatiques spécifiques aux petits producteurs dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal afin de faciliter l'accès à des crédits de campagne aux petits producteurs agricoles.

5.1.12 Utilisation de techniques et technologies

- **Utilisation des drones**

Face aux changements climatiques, bon nombre de producteurs dans les différentes zones agroécologiques ont des accès limités à des informations exploitables pour savoir où et quand utiliser les intrants tels que l'eau, les engrais, les semences et les facteurs climatiques.

Dans l'optique de promouvoir une agriculture de précision, il est proposé l'utilisation de drones pour une meilleure gestion agricole afin de mesurer la variation inter-parcellaire et intra-parcellaire.

L'utilisation des drones par les producteurs pourra les aider à prendre des décisions éclairées pour utiliser l'eau de manière plus efficace dans les cultures et améliorer leurs rendements.

Les drones auront la particularité de réaliser une inspection visuelle des terres afin de repérer les adventices ou les dégâts nuisibles, mais aussi d'être dotés de divers capteurs qui facilitent l'analyse de toute une panoplie de données comme l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), l'indice de surface foliaire (LAI) ou encore un indice de réflectance photochimique (PRI) etc. Enfin, les informations ainsi obtenues sont présentées sous la forme de cartes, et analysées avec les producteurs de riz pour des décisions éclairées.

Force est cependant de reconnaître que, peu de producteurs profitent actuellement de cette technologie presque méconnue, le défi est de rendre acceptable et accessible cette technologie aux producteurs pour améliorer la performance agricole.

Il importe alors de souligner que plusieurs défis, technologiques, économiques, sociaux, et juridiques doivent être surmontés pour permettre l'utilisation à grande échelle des drones dans toutes les zones agroécologiques par tous les petits producteurs.

- **Mise à l'échelle des Serres agricoles, des tunnels et des fermes d'élevage intensifs**

Il s'agira de révolutionner les systèmes de production agricole par le développement de serriculture, qui est un mode de production agricole qui peut être à la fois intensif et respectueux de l'environnement. La culture sous serre est un excellent moyen de produire de nombreux végétaux en grande quantité et en enlevant certains aspects contraignant de la culture en plein air. C'est un système de production de masse qui assure l'approvisionnement régulier et sûr des populations en fruits, légumineuses, légumes frais, végétaux d'ornement etc. toute l'année et sous toutes les saisons et dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal. Cette technologie qu'est la serriculture, propose des solutions acceptables pour maîtriser à la fois le climat, les facteurs abiotiques et les flux biotiques et son exploitation nécessite pour la plupart des cas des logiciels de calcul des consommations d'énergie de chauffage et déshumidification.

On peut également retenir que c'est un système de production innovante qui permet de contrôler entièrement les conditions de cultures des plantes. Cette pratique agricole demande des investissements lourds et onéreux. Les cultures sous serre au Sénégal sont destinées à l'exportation. Il existe des serres et des tunnels avec pour toutes les dimensions.

On peut de la promotion de la mise en place des serres, il convient de soutenir et de développer les fermes d'élevage intensif pour toutes les espèces animales pour couvrir les besoins alimentaires d'origine animale (viande, lait, œuf, etc.) à toute la population.

Il

- **Fertigation en solaire**

Il s'agira de proposer un dispositif de fourniture et de contrôle du système d'irrigation d'eau et de fertilisation raisonnée aux cultures. Les contrôleurs d'irrigation automatiques permettent à l'eau de s'écouler vers des cultures ou des zones spécifiques, en fonction de déclencheurs tels que le temps, les conditions du sol, l'accumulation de rayonnement solaire, les contrôles environnementaux et d'autres algorithmes. Ce type d'automatisation peut être

complexe, car l'eau et les engrais et les substances nutritives doivent être appliqués aux cultures dans des volumes spécifiques sur des durées variables.

Il s'agira de faciliter l'accessibilité de la technologie et des outils aux petits producteurs bien qu'elle soit onéreuse. L'utilisation de ces équipements de pointe permettra d'augmenter les rendements agricoles et permettra de diminuer les émissions de gaz à effet de serre grâce à la substitution du fuel (essence et ou gasoil) par l'énergie solaire photovoltaïque.

- **Développement de modèles**

La gestion de l'eau en général et de l'irrigation en particulier pour des besoins agricoles fait appel à des processus complexes de dimensionnement et d'études. A cet effet, il est intéressant de prendre en compte le comportement hydrologique de tous les apports (pluies, plans d'eau permanents, et points d'eau pour l'irrigation.)

Pour ce faire, on propose de travailler en étroite collaboration avec les laboratoires, les universités et autres organes de recherche et d'étude pour développer, concevoir et produire des modèles hydrologiques afin de faire des simulations sur le fonctionnement hydrologique des parcelles de cultures dans les sites pilotes et enfin en vue de proposer la mise à l'échelle dans toutes les zones agroécologiques du pays.

La modélisation des paramètres climatiques de toutes les exploitations agricoles doit être faite à partir de 2030 et se poursuivre jusqu'en 2100 pour un meilleur suivi et contrôle de la dynamique des facteurs climatiques.

5.1.13 Education, Information et Communication (EIC)

- **Promotion des bonnes pratiques d'AIC**

Il s'agira de développer des conventions ou partenariat avec les radios communautaires, les organes de presse spécialisés en agriculture (*Agropasteur, Agri Infos etc.*) pour assurer la diffusion à grande échelle de l'information climatique pour une bonne planification des campagnes agricoles et une meilleure gestion des risques liés aux événements météorologiques. De plus, à travers les émissions et les publications, les journalistes et animateurs des radios communautaires et autres organes de presses spécialisés en agriculture tentent à chaque fois de sensibiliser et même de former les acteurs des filières agricoles sur

l'importance des services climatiques en agriculture et surtout de l'importance de la vulgarisation à grande échelle des techniques et technologies éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC).

Sur la base protocole d'affaire entre les organes de communication et les acteurs des filières agricoles, les résultats, les performances, les contraintes ainsi que les défis sont partagés en ligne, dans la presse écrite et aussi dans les radios communautaires.

- **Intégrer l'AIC dans les curricula des enseignements**

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Équipement rural et de la Souveraineté alimentaire (MAERSA) en partenariat avec le Ministère de l'Éducation nationale (MEN) et le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) proposera l'introduction de la dimension climatique, l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC), la gestion des risques climatiques dans les curricula des enseignements.

Il conviendra, alors, dès 2030, de réviser les curricula des enseignements au niveau des écoles à tous les niveaux mais aussi au niveau des universités et de demander aux Inspections d'Académie (IA) et Inspections de l'Éducation et de la Formation (IEF) de toutes les régions et aux universités ayant des départements spécialisés dans les domaines agrosylvopastoraux et celui de la pêche de conduire ces mesures de révision avec des enseignements adaptés.

Dans la même veine, les enseignants qui seront les relais auprès des élèves et étudiants vont bénéficier de renforcement de capacités sur les concepts liés au changement climatique, les stratégies d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) etc. Ainsi, en 2060, voire 2100, les populations pour leur grande majorité et en particulier les producteurs auraient compris et adopté les options éprouvées d'AIC.

- **Faire le plaidoyer auprès des décideurs**

Pour une meilleure intégration des bonnes pratiques d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC), il est attendu une plus forte implication et un appui consistant des décideurs nationaux et locaux (Maires, Députés, Membres du CESE, Autorités administratives et services techniques).

Il s'agira de produire des notes de synthèse, des dépliants, des Policy briefs et autres supports de communication et de plaidoyer pour aider à des prises de décision éclairées.

Toutefois, il faut reconnaître que le portage des questions relatives à la problématique des changements climatiques et en particulier de celles liées à l'AIC par les autorités administratives et politiques ne fait que faciliter la programmation, la planification et la budgétisation pour une mise à l'échelle des pratiques éprouvées dans toutes les zones agroécologiques du pays.

5.1.14 Gouvernance

- **Redynamiser l'observatoire de la mise à l'échelle de l'AIC**

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Équipement rural et de la Souveraineté alimentaire du Sénégal dispose en son sein un organe ; la plateforme de dialogue Sciences Politiques sur l'Adaptation de l'Agriculture au Changement climatique dénommée « plateforme CCASA », cette plateforme multi acteurs est chargée de faire la promotion et la mise à l'échelle de l'agriculture Intelligente face au Climat (AIC) sur toute l'étendue du territoire nationale. A cet effet, la plateforme CCASA va assurer le portage et le plaidoyer de l'AIC au sein du Bureau Exécutif du COMNACC dont elle est membre. La plateforme CCASA doit travailler en étroite collaboration avec toutes les structures productrices de données et de suivi des paramètres climatiques, pour assurer la diffusion à grande échelle des informations pertinentes d'aide à la prise de décision au niveau local et même au niveau des exploitations agricoles.

A cet effet, l'animation, la sensibilisation et le plaidoyer sur la problématique du changement climatique sera faite au niveau des terroirs avec l'implication et la participation active des acteurs à la base. Ainsi en 2030, 2060 et 2100, les acteurs à la base.

- **Mise en place de Systèmes d'alerte précoce/Climat**

Les petits producteurs au Sénégal sont victimes d'aléas climatiques périodiques qui provoquent des pertes de récoltes qui impactent sur leurs moyens d'existence et aussi sur leur sécurité alimentaire. Afin de prévenir et de gérer les risques climatiques pouvant impacter les acteurs des filières agricoles du Sénégal, il est proposé de mettre en place un Système d'Alerte Précoce (SAP) chargé de faire le suivi de la dynamique des facteurs climatiques.

Afin de disposer d'un SAP/Climat efficace, qui puisse alerter et prévenir, il faut doter les structures productrices de données climatiques d'équipements modernes comme des radars,

des drones aux services techniques. En plus de cela, il sera primordial de mettre en place un dispositif d'assistance ou d'aide rapide pour soulager les petits producteurs en cas de sinistre lié au climat.

5.1.15 Le Monitoring, Reporting et la Verification (MRV)

- **Mettre en place un dispositif de Suivi-Evaluation dénommée Monitoring-Reporting-Verification (MRV)**

Il s'agira de mettre en place un système de suivi-évaluation qui fait le suivi des actions de collecte des données et d'informations au fil du temps sur des activités d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC), y compris l'exactitude et la précision associée, pour un ensemble de variables pertinentes. Ces données et informations seront compilées sous un format standard de rapport. Celui-ci explique la divulgation transparente des informations sélectionnées pour les parties prenantes nationales et/ou la communauté internationale, y compris les bailleurs de fonds sur les stratégies d'AIC mises en œuvre.

Afin de donner un cachet objectif, rigoureux et scientifique des données et informations communiquées, il sera procédé à une revue, une analyse objective de celles-ci. De plus, cette étape de la vérification permet également de faire l'évaluation périodique afin d'assurer la fiabilité des données et la conformité aux principes et lignes directrices établis.

Ce travail sera appliqué pour toutes les actions faites en ce sens, et cela, dans toutes les zones agroécologiques. Ce qui permettra de renseigner sur des engagements et performances de l'Etat du Sénégal au sujet de la CDN et sur Objectifs de Développement Durable (ODD).

En d'autres termes, ce travail synergique de suivi, de collecte des données, d'évaluation dans les domaines de l'agriculture, l'élevage, la pêche, les ressources naturelles et les ressources en eau portant sur les stratégies d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique, permet de renseigner correctement autour des engagements du pays par rapport à l'Accord de Paris sur le Climat mais également par rapport à l'atteinte des ODD.

- **Disposer d'un pool d'experts MRV en Agriculture et utilisation des terres**

Afin de disposer d'un système MRV fonctionnel, robuste et pertinent pour tous les domaines de production agricole (Agriculture, Elevage, Pêche, Ressources en eau, Foresterie, etc.) et de

façon spécifique à toutes les filières des chaînes de valeur de production, il convient de disposer de plusieurs experts composés d'agents des Ministères, du secteur privé, des organisations de production, des collectivités locales et des partenaires à développement pour faire le travail de Monitoring, Reporting et de Verification (MRV). Pour cela, il convient de renforcer les capacités des experts aux techniques, outils et méthodologies de travail des systèmes MRV reconnus par le GIEC et la CCNUCC.

Ces experts doivent être formés sur les outils d'inventaire mais également sur les outils de calcul du GIEC afin de disposer de données et d'informations fiables sur les plans national et international.

En plus de cela, ces experts des différents domaines doivent travailler en synergie en vue de l'interconnexion des domaines pour un meilleur suivi des indicateurs de performance sur la problématique des changements climatiques.

- **Equipement et financement du MRV**

L'équipe d'experts en charge de faire le MRV dans les domaines de l'Agriculture, l'Elevage, la pêche, la foresterie, les ressources au Sénégal doit être outillée en outils d'inventaire (logiciel, ordinateurs performants et équipements de paramétrages) pour collecter, et analyser les données climatiques et celles sensibles au climat.

De plus, un budget dédié au MRV doit être mis en place afin de permettre la mise en œuvre de cette tâche qui nécessite une planification, des moyens et de la disponibilité des experts engagés.

Il convient alors d'appuyer le task force/Climat multisectoriels dans les domaines de l'Agriculture à une autonomisation en termes de ressources afin de lui permettre d'être pertinent, cohérent mais surtout disponibles à produire des rapports fiables et de qualité avec des indicateurs SMART.

5.2 La présélections des options d'AIC pour le court, moyen et long terme

Les cinquante-sept (57) pratiques d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) dans les domaines de l'Agriculture, l'Elevage, la Pêche, les ressources en eau, la Foresterie, sont proposées ci-dessous. Ces pratiques sont soumises à la présélection en se basant exclusivement sur les trois piliers de l'AIC que sont : **l'Adaptation, l'Atténuation** et la **Productivité**.

Tableau 10 : Options AIC et secteurs d'activités socio-économiques

Options AIC		Dans le domaine agricole
	N	Activités
Sur les sols de culture	1	Lutte contre la salinisation des terres
	2	Réhabilitation, réalisation d'aménagements et protection des zones de culture
	3	Utilisation de biofertilisants
	4	Amélioration du mode d'utilisation des engrais
Sur les ressources en eau	5	Techniques et technologies avancées d'irrigation
	6	Protection contre les inondations
	7	Le drainage
	8	Alternance submersion et drainage
	9	La réutilisation des eaux usées
Utilisation de services climatiques	10	Production de services climatiques utilisables
	11	Utilisation de services climatiques
	12	Mise en place de plateforme d'exploitation
	13	Diffusion à grande échelle des services climatiques auprès des acteurs dans toutes zones agroécologiques
	14	Renforcement des capacités des acteurs sur l'importance et l'utilisation des services climatiques
Promotion de la recherche agricole et de l'utilisation des variétés améliorés	15	Utilisation des variétés de semences adaptées à la variabilité et au changement climatique
Sur les pratiques agricoles	16	La Régénération naturelle Assistée (RNA)
	17	La mise à l'échelle de l'agroécologie
	18	Promotion du Système de riziculture intensive (SRI)
	19	Réduction des pertes post récoltes
Sur l'utilisation de l'énergie	20	Promotion de l'utilisation de l'énergie solaire
	21	Le transfert de technologies auprès des producteurs et autres usagers des filières agricoles
	22	La valorisation des sous-produits agricoles comme source d'énergie combustible
	23	Mise en place de mini serres

Options AIC		Dans le domaine agricole
	N	Activités
Sur le Conseil agricole	24	L'encadrement et l'organisation des producteurs
	25	Renforcement des capacités des producteurs et autres acteurs associés
	26	Réformes institutionnelles pour prendre en charge le développement des filières agricoles dans un contexte de changement climatique
	27	Appropriation des résultats de la recherche et équipement des producteurs
OPTIONS AIC		Dans le domaine de l'élevage
	28	Le stockage du foin, l'ensilage et la fenaison
	29	L'assurance bétail
	30	Promotion des cultures fourragères
	31	La maîtrise de l'eau pastorale
	32	Gestion durable des ressources pastorales
	33	Gestion des maladies animales émergentes liées au climat
OPTIONS AIC		Dans le domaine de la pêche
	34	Développement et promotion de l'aquaculture
	35	Mise en place des Aires Marines Protégées (AMP)
	36	Le repos biologique
OPTIONS AIC		La foresterie et la sylviculture
	37	Gestion communautaire des forêts
	38	Restauration de la mangrove
	39	Lutte contre les feux de brousse
	40	Aménagement forestier
	41	Foresterie urbaine et communautaire
OPTIONS AIC		APPROCHE TRANSVERSALE DANS TOUS LES DOMAINES
	42	Faire accéder les acteurs des zones agroécologiques à la Finance climatique

Options AIC		Dans le domaine agricole
	N	Activités
Sur le financement	43	Avoir le portage institutionnel de la Plateforme CCASA, Plateforme PECHE et autres existantes
	44	Souscription à la police d'Assurance Agricole indicielle
	45	Accès facile au financement et à la Subvention
Sur Utilisation de techniques et technologies de pointe	46	Utilisation des drones
	47	Fertigation au solaire
	48	Mise à l'échelle des Tunnels, Serres agricoles, fermes d'élevage intensive
	49	Développer des modèles (climato, hydrologiques, pédologiques etc.)
Sur l'Éducation, l'Information et la Communication (EIC)	50	Promotion des bonnes pratiques d'AIC
	51	Intégrer l'AIC dans les curricula des enseignements
	52	Faire le plaidoyer auprès des décideurs
Sur la Gouvernance	53	Redynamiser l'observatoire de la mise à l'échelle de l'AIC
	54	Mise en place de Systèmes d'alerte précoce/Climat
Sur le Monitoring, Reporting et Verification (MRV)	55	Mise en place d'un dispositif de Suivi-Evaluation dénommée Monitoring-Reporting-Verification (MRV)
	56	Création d'un pool d'experts MRV en Agriculture et utilisation des terres
	57	Equipement et financement du MRV

Les trois piliers de l'AIC répondant aux critères spécifiques ci-dessous (Adaptation, Atténuation et Productivité) ont été confrontés aux 57 options d'AIC retenues pour la présélection.

- Accroître durablement la productivité agricole, afin de soutenir l'augmentation équitable des revenus agricoles, l'amélioration de la sécurité alimentaire, et de promouvoir le développement ;
- Adapter et renforcer la résilience des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire face aux changements climatiques à plusieurs niveaux ; et
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre produites par l'agriculture

Le schéma ci-dessous renseigne sur l'interconnexion et l'interdépendance des trois piliers de l'AIC.

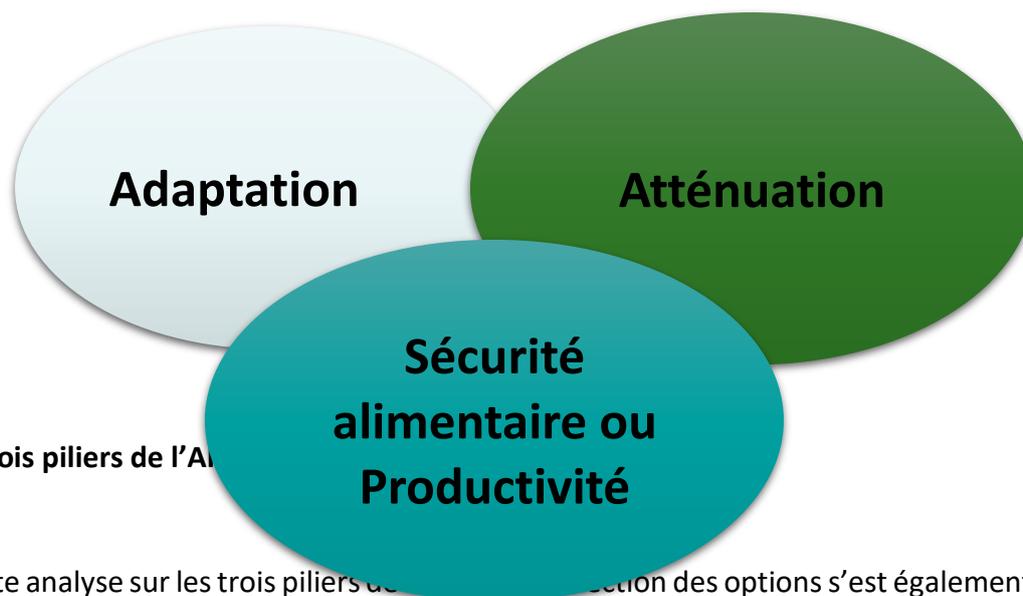


Figure 43: les Trois piliers de l'AIC

En plus de cette analyse sur les trois piliers de l'AIC, l'évaluation des options s'est également appuyée sur l'analyse de la vulnérabilité tout en indiquant comment passer de cette problématique pour faire de l'adaptation, promouvoir la résilience et l'atténuation dans les domaines de : l'Agriculture, l'Élevage, la Pêche et la Foresterie/sylviculture, les ressources face au changement climatique dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal.

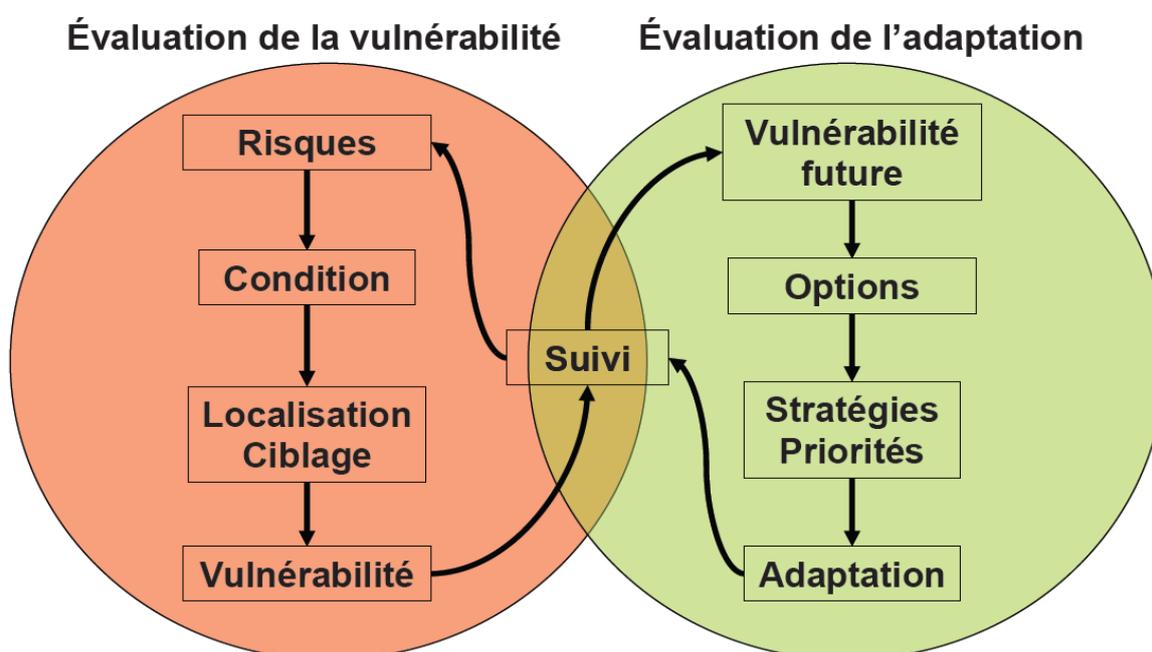


Figure 44: Cycle d'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation au Changement climatique

Au sortir de l'analyse des 57 options de pratiques d'AIC proposées sur la base des critères d'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation, seules **rente-trois (33)** ont été présélectionnées et sont jugées être les plus pertinentes et les urgentes. Toutefois, soulignons

que la sélection de certaines options cela n'enlève en rien de la pertinence et de l'efficacité des autres options non présélectionnées.

Les trente-trois (33) options d'AIC présélectionnées sont présentées dans le tableau ci-dessous. Toutefois, cette liste est présentée sans aucune considération d'hierarchisation. (Voir liste ci-dessous).

Tableau 11 : options d'AIC présélectionnées

	Options d'AIC présélectionnées
1	Utilisation de biofertilisants
2	Production de services climatiques utilisables
3	Techniques et technologies avancées d'irrigation
4	Réutilisation des eaux usées traitées
5	Réhabilitation, réalisation d'aménagements et protection des zones de culture
6	Utilisation de services climatiques
7	Développement et promotion de l'aquaculture
8	Mise en place des Aires Marines Protégées (AMP)
9	La Régénération naturelle Assistée (RNA)
10	Promotion du Système de riziculture intensive (SRI)
11	Le stockage du foin et l'Ensilage
12	Promotion de l'utilisation de l'énergie solaire
13	Réduction des pertes post récoltes
14	La mise à l'échelle de l'agroécologie
15	L'assurance bétail
16	Appropriation des résultats de la recherche et équipement des producteurs
17	Promotion des cultures fourragères
18	Réformes institutionnelles pour prendre en charge le développement des filières agricoles dans un contexte de changement climatique
19	La maîtrise de l'eau pastorale
20	Le repos biologique
21	Lutte contre la salinisation des terres

Options d'AIC présélectionnées	
22	Gestion des maladies animales émergentes liées au climat
23	Gestion communautaire des forêts
24	Restauration de la mangrove
25	Aménagement forestier
26	Utilisation des drones
27	Mise à l'échelle des Tunnels, Serres agricoles, fermes d'élevage intensif
28	Mise en place de Systèmes d'alerte précoce/Climat
29	Accès à la Finance climatique aux acteurs des filières agro écologiques
30	Mise en place d'un dispositif de Suivi-Evaluation nationale dénommée Monitoring-Reporting-Vérification (MRV)
31	Développer des modèles (climato, hydrologiques, pédologiques etc.)
32	Accès facile au financement et à la Subvention de l'Etat et des institutions financières nationales
33	Souscription à la police d'Assurance Agricole indicelle

5.2.1 Sélection et priorisation de pratiques d'AIC

La sélection et la priorisation des pratiques d'AIC se feront à l'aide de la grille ci-dessous. Les options AIC seront classées suivant leur note finale théorique qui ne sera que la somme arithmétique des notes finales données de l'évaluation. Cette note varie entre 0 et 50.

La sélection et la priorisation des pratiques d'AIC se feront suivant neuf critères que sont : **Adaptation, Atténuation, Coûts-avantages, Coûts-efficacité, Multicritères, Reproductibilité, Innovation, Durabilité, Impacts sur l'environnement.**

La moyenne arithmétique des notes constituera la note de la pratique par rapport à ce critère. Cette note varie entre 0 et 20. La pratique ne sera pas présélectionnée si la note obtenue est strictement inférieure à **14/20**.

À l'issue de l'évaluation, une liste de pratiques réaliste et réalisable sera retenue sur les trente-trois (33) options d'AIC présélectionnées.

Tableau 12 : Evaluation des options d'AIC présélectionnées

CRITERES	Sous critère	Principe d'évaluation	Note
	Adaptation Adapter et renforcer la résilience des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire face aux	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 9 points	/9

CRITERES	Sous critère	Principe d'évaluation	Note
3 piliers de l'AIC	changements climatiques à plusieurs niveaux		
	Atténuation Réduire les émissions de gaz à effet de serre produites par l'agriculture	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 9 points	/9
	Productivité Accroître durablement la productivité agricole, afin de soutenir l'augmentation équitable des revenus agricoles, l'amélioration de la sécurité alimentaire, et de promouvoir le développement	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 9 points	/9
Faisabilité économique	Coûts-avantages Coûts et bénéfices quantifiables financièrement quand les données nécessaires sont disponibles	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 6 points	/6
	Coûts-efficacité Etablissement des objectifs des mesures d'adaptation et recherche de la solution la moins coûteuse	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 6 points	/6
Multicritères	Données partiellement disponibles, facteurs difficilement quantifiables et avantages monétaires considérés parmi les nombreux critères utilisés	<u>Indication</u> : mettre 1 point par type d'activité identifié. La note finale ne dépasse pas 4 points	/4
Autres critères	Innovation Analyser la pertinence de l'action en termes de créativité, l'action s'appuie sur des résultats et évidences scientifiques	<u>Indication</u> : la note varie entre zéro et 2. Peu innovante 0, 1, 2 très innovante	/2
	Durabilité Il s'agira d'analyser la viabilité, la viabilité du système à se développer, à s'étendre de manière autonome (reproductibilité°)	<u>Indication</u> : la note varie entre zéro et 2. peu durable 0 1, 2 très durable	/2
	Impacts sur l'environnement Voir si les options d'AIC sélectionnées ou non ont des incidences positives ou	<u>Indication</u> : la note varie entre zéro et 3. Impacts très négatifs, 0, 1, 2 impacts très positifs	/3

CRITERES	Sous critère	Principe d'évaluation	Note
	négatives sur les ressources naturelles et sur l'environnement		
TOTAL ARYTHMETIQUE DES NOTES			/50

En se basant sur ces critères prédéfinis, une analyse de scoring a été appliquée aux **trente-trois (33)** bonnes options d'AIC retenues pour l'Agriculture, l'Elevage, l'Energie, les Ressources en eau, la Pêche et la Foresterie à l'horizon 2100 afin d'en sélectionner les meilleures pratiques ayant un score arithmétique cumulé avec une moyenne supérieure ou à 14/20.

Le tableau ci-dessous renseigne sur la grille d'analyse et d'évaluation multicritère, et donne le score cumulé de chaque pratique sélectionnée.

Tableau 13 : Méthodes de sélection des options d'AIC en Agriculture, Elevage, Pêche, foresterie, Eau et Energie

	SUR LES 3 PILIERS DE L'AIC				FAISABILITES			AUTRES CRITERES					NOTE TOTALE /50	Moyenne/2 0	Rang
	Adaptation /9	Atténuation /9	Productivité /9	Sous-total /27	Coûts-avantages /6	Coûts- efficacités /6	Sous -total /12	Innovation /2	Impacts sur l'environnement /3	Durabilité /2	Multicritère /4	Sous-Total /11			
Utiliser des biofertilisants et de la MO	8	8	7	23	5	5	10	2	3	2	3	10	43	17,2	1
Production de services climatiques utilisables	8	3	7	18	4	5	9	1	2	2	3	8	35	14	2
Techniques et technologies avancées d'irrigation	8	6	8	22	3	4	7	2	3	2	3	10	39	15,6	3
Réhabilitation, réalisation d'aménagement et protection des zones de culture	7	4	7	18	4	3	7	1	2	1	3	7	32	12,8	
Utilisation des services climatiques	8	4	8	20	4	4	8	1	2	2	2	7	35	14	4
Développement et promotion de l'aquaculture	8	3	8	19	3	4	7	1	1	2	3	7	33	13,2	
Mise en place des Aires Marines Protégées	8	8	8	24	5	5	10	1	3	2	3	9	43	17,2	5
Promotion de la Régénération naturelle assistée	8	8	8	24	5	5	10	1	3	2	3	9	43	17,2	6
Promotion du Système de Riziculture intensif	8	7	8	23	4	5	9	2	2	1	2	7	39	15,6	7
Stockage de foin et ensilage	7	5	8	20	3	3	6	2	2	2	2	8	34	13,6	
Promotion de l'utilisation de l'énergie solaire	7	8	8	23	3	5	8	2	3	2	3	10	41	16,4	9
Réduction des pertes post-récolte	8	6	8	22	5	5	10	2	2	2	3	9	41	16,4	10
Mise à l'échelle de l'agroécologie	8	8	8	24	5	5	10	1	2	2	3	8	42	16,8	11
Diffusion à grande échelle de l'assurance bétail	8	4	7	19	3	4	7	2	1	2	3	8	34	13,6	
Appropriation des résultats de la recherche et équipement des producteurs	8	8	8	24	4	5	9	2	2	2	3	9	42	16,8	12
Promotion des cultures fourragères	8	5	5	18	4	5	9	1	2	2	2	7	34	13,6	
Réformes institutionnelles pour prendre en charge le développement des filières agricoles dans un contexte de changement climatique	7	5	7	19	3	4	7	1	2	2	2	7	33	13,2	
Maîtrise de l'eau pastorale	8	7	8	23	4	5	9	2	2	2	3	9	41	16,4	13
Le repos biologique	8	6	8	22	5	5	10	1	2	2	2	7	39	15,6	14
Lutte contre la salinisation des terres	7	6	7	20	4	4	8	1	1	2	2	6	34	13,6	
Gestion des maladies animales émergentes liées au climat	7	6	6	19	3	4	7	2	1	1	2	6	32	12,8	
Gestion communautaires des forêts	7	8	7	22	4	4	8	1	1	2	3	7	37	14,8	15
Utilisation des drones	8	4	6	18	5	5	10	2	1	2	3	8	36	14,4	16
Mise à l'échelle des Tunnels, serres, agriculture et fermes d'élevage intensif	8	8	8	24	5	5	10	2	1	2	3	8	42	16,8	17
Restauration de la mangrove	6	8	7	21	4	5	9	1	1	1	3	6	36	14,4	18
Aménagement forestier	7	7	7	21	4	4	8	1	1	1	2	5	34	13,6	
Mise en place Système d'Alerte précoce (Climat) efficace	8	5	6	19	3	4	7	1	1	1	2	5	31	12,4	
Faire accéder les acteurs des filières agroécologiques de la finance climatique	7	7	7	21	3	3	6	2	1	1	3	7	34	13,6	
Mise en place d'un dispositif de Suivi-évaluation nationale dénommée MRV	7	7	6	20	4	4	8	2	1	1	3	7	35	14	19
Développer des modèles (climat/hydrologie, sol, pratiques etc.)	7	7	5	19	3	5	8	2	1	1	2	6	33	13,2	
Accès facile à la subvention de l'Etat et au financement auprès des institutions financières nationales	7	7	8	22	3	4	7	1	1	1	2	5	34	13,6	
Souscription aux polices d'assurance indicielles	8	6	8	22	4	5	9	2	2	1	2	7	38	15,2	20
Réutilisation des eaux usées traitées	8	6	7	21	4	5	9	1	1	1	2	5	35	14	21

Après exploitation des résultats obtenus, on peut retenir que seules vingt et une (21) options éprouvées ont un score cumulé de plus de **35/50**. En rapportant ces notes cumulées à une moyenne sur 20, les résultats ci-dessous sont obtenus.

Ainsi, au sortir de l'évaluation des trente-trois (**33**) options présélectionnées, seules vingt et une (**21**) ont été retenues avec une note supérieure à **14/20**. Il s'agit de (voir liste ci-dessous).

NB : Rappelons également que la priorisation et la sélection des options retenues en tenant en compte des options de développement et des engagements nationaux et internationaux.

Toutefois, il est important de souligner que les vingt et une (21) options sélectionnées ne seront pas mises en œuvre isolément mais une stratégie synergique sera trouvée pour plus d'efficacité

Tableau 14 : Pratiques ou options d'AIC

N	Pratiques ou options d'AIC	Note/50	Note/20
1	Utilisation de l'Energie solaire photovoltaïque	41	16,4
2	Souscription aux polices d'assurance indicielles	38	15,2
3	Utiliser les biofertilisants et de la matière organique	43	17,2
4	Production de services climatiques	35	14
5	Techniques et technologies avancées d'irrigation	39	15,6
6	Mise en place des aires Marines protégées	43	17,2
7	Utilisation des services climatiques	35	14
8	Promotion de la régénération naturelle assistée	43	17,2
9	Promotion du Système de Riziculture intensif	39	15,6
10	Appropriation des résultats de la recherche et équipement des producteurs	42	16,8
11	Mise en place d'un dispositif de Suivi-évaluation nationale dénommée MRV	35	14
12	Réutilisation des eaux usées traitées	35	14
13	Promotion de l'utilisation de l'énergie solaire	41	16,4

14	Réduction des pertes post-récolte	41	16,4
15	Mise à l'échelle de l'agroécologie	42	16,8
16	Maitrise de l'eau pastorale	41	16,4
17	Le repos biologique	39	15,6
18	Gestion communautaire des forêts	37	14,8
19	Utilisation des drones	36	14,4
20	Mise à l'échelle des Tunnels, serres, agriculture et fermes d'élevage intensif	42	16,8
21	Restauration de la mangrove	36	14,4

5.2.2 Impact socio-économique

Les projections démographiques à l'horizon 2100 montrent un accroissement de la population ramenant la population à 21 551 461 habitants en 2030, 45 987 237 habitants en 2060 et de 65 515 357 habitants en 2100 (Source Our World in Data), voir Tableau ci-dessous.

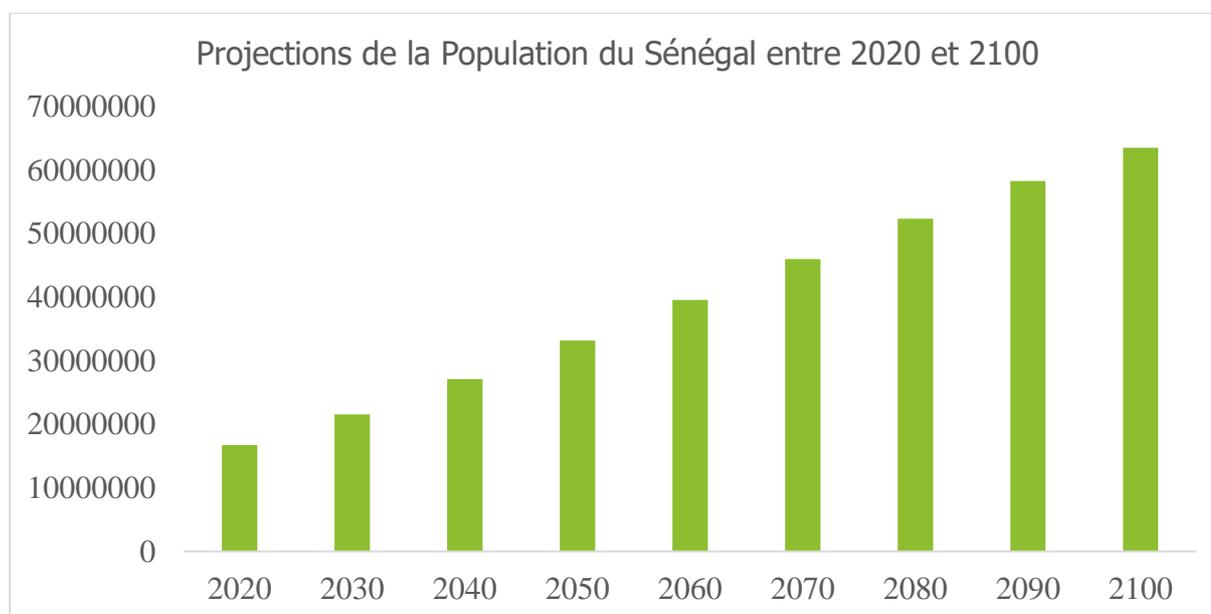


Figure 45 : Projections de la Population du Sénégal entre 2020 et 2100

Source : [Our World in Data](#)

Cette tendance d'augmentation de la population à l'horizon 2100 juxtaposée aux résultats des modèles climatiques qui indiquent une augmentation continue des températures moyennes, minimales et maximales dans tout le pays (toutes les zones agroécologiques) et pouvant atteindre plus de 4° C au long termes sous le scénario SSP 5.8.5. Quant aux précipitations, il est prévu une très forte variabilité interannuelle et d'une décroissance des précipitations à l'horizon 2100. Il convient de souligner que le Bassin arachidier constituera la zone la plus affectée par la diminution des précipitations. Face à cette situation non reluisante, des

rapports de L'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'Agriculture (FAO) en 2020, s'accordent à démontrer l'augmentation des besoins supplémentaire en céréales de 70% en 2050 au Sénégal. De plus, une étude conduite par le FIDA en 2020 et portant sur les projections des terres de cultures a montré la non extension de terres aménagées de 2030 à 2100. La figure ci-dessous renseigne sur la problématique du foncier agricole au Sénégal en projection à l'horizon 2100.

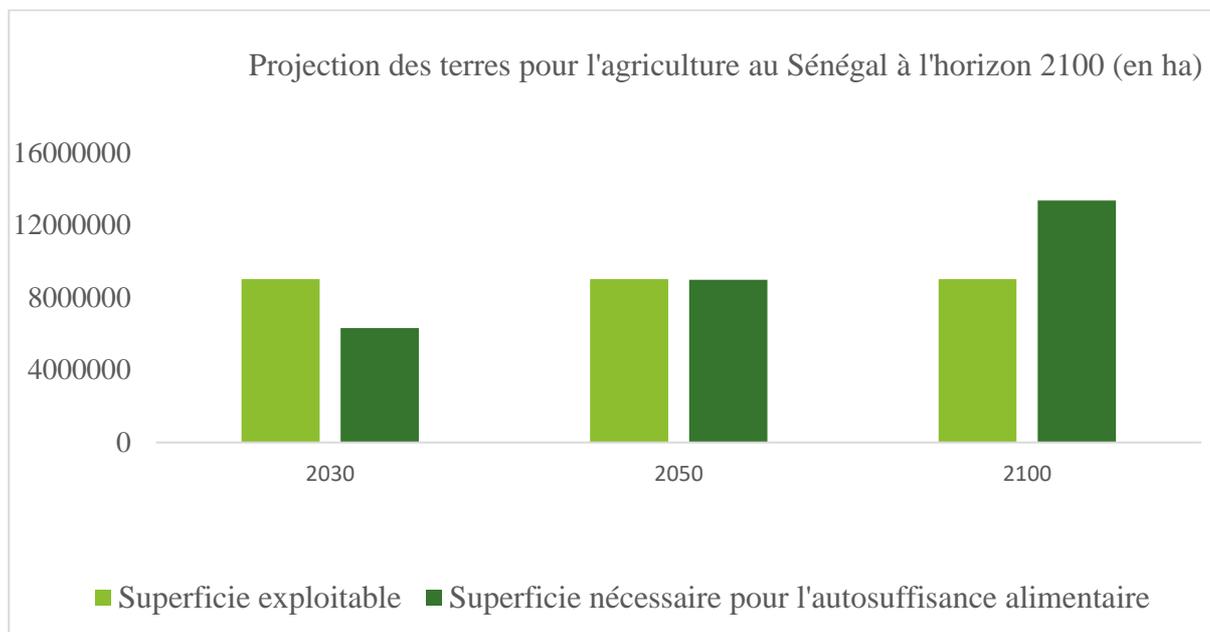


Figure 46: Projection des terres pour l'agriculture au Sénégal à l'horizon 2100 (en ha)

Source : (FIDA 2020)

A cet effet, la mise à l'échelle de l'AIC devient un impératif dans toutes les zones agroécologiques pour couvrir les besoins alimentaires des populations sénégalaises.

Toutefois, deux scénarii sont analysés. La première qui indique que les options d'AIC sont bien mises en œuvre avec la participative effective de tous les acteurs avec des moyens suffisants, le Sénégal assure sa souveraineté alimentaire, il est émergent avec un sous-secteur agrosylvopastoral et pêche très productif résilient et une gestion durable des énergies renouvelables et des ressources en eau.

Le deuxième scénario indique que les options AIC proposées ne sont pas adoptées ni mises à l'échelle dans les zones agroécologiques du pays. Les degrés de vulnérabilité et les effets des changements climatiques vont s'amplifier, entraînant une baisse de la productivité agro-sylvo-pastorale et de pêche, installer une insécurité alimentaire et une pauvreté endémiques. Cette situation installe le pays dans une insécurité alimentaire endémique et une accentuation de la pauvreté surtout au niveau des couches vulnérables.

5.3. Impact des stratégies d'adaptation et d'atténuation sur le genre et l'inclusion

L'approche de la mise à l'échelle des stratégies éprouvées d'adaptation et d'atténuation dans les zones agroécologiques du Sénégal de 2030 à 2100, impactera dans le court, moyen et long terme sur les droits des couches vulnérables et aura des effets sur les femmes pour l'égalité des sexes, l'inclusion et l'équité sociale

et de façon globale sur le genre. Toutefois, il est important de souligner que la prise en compte des questions de genre représente, de ce fait, un enjeu transversal pour l'ensemble des problématiques importantes, vecteurs de développement que sont le monde rural, le secteur agricole, les productions animales et le bétail, les ressources en eau, la pêche et l'aquaculture, les ressources forestières et l'énergie. Au regard des enjeux liés à la prise en compte de la dimension genre dans tous les secteurs, il convient d'analyser son impact et de décliner des perspectives qui contribuent à un développement inclusif.

5.3.1 Impacts du genre sur le secteur rural

La mise à l'échelle de toutes ces options d'adaptation et d'atténuation dans toutes les zones agroécologiques et en particulier en milieu rural va fortement contribuer à l'autonomisation des femmes au vu des nombreuses fonctions de production dans lesquelles elles sont fortement impliquées. Ainsi, entre 2030 et 2100, le pouvoir économique et politique des femmes, des jeunes et des couches vulnérables sera renforcé grâce au travail rémunéré décent et productif, à la transformation, à la commercialisation des produits agricoles à l'élevage et à la pêche.

Subséquentement, à la même période, les communes rurales vont bénéficier d'infrastructures, d'équipements et les couches vulnérables plus formées pour la gouvernance locale et auront toutes les possibilités d'accès aux capitaux et financements de production.

De plus, aussi bien en zone que dans les activités du secteur rural, il sera constaté un recul considérable de l'insécurité alimentaire et de la pauvreté grâce à l'accroissement de la productivité des femmes, au renforcement de la protection sociale, à la promotion des droits du travail décent et du dialogue social au sein des couches vulnérables et en particulier chez les femmes et les jeunes².

5.3.2 Impacts du genre sur le secteur agricole

L'agriculture va connaître un essor à partir de 2030 grâce à la mise à l'échelle des techniques et technologies d'agriculture Intelligente face au Climat (AIC) auprès des petits producteurs dans toutes les zones agroécologiques du Sénégal³.

La contribution des femmes, des jeunes et en particulier des couches vulnérables va jouer un rôle prépondérant dans le relèvement de la production, le recul de la pauvreté, de l'insécurité alimentaire tout en préservant les écosystèmes jugés fragiles.

Ainsi, à partir de 2030, les politiques de développement agricole et rural tenant compte de la dimension genre seront parvenues à doter les populations rurales, notamment les femmes, des pouvoirs et des moyens

² Agenda 2063 de l'Afrique et l'Acte additionnel pour l'égalité des droits entre les hommes et les femmes pour un développement durable dans l'espace de la CEDEAO, 2018

³ Rapport, 2018, Sénégal. Régional Strategic Analysis and Knowledge Support System (ReSAKSS)

nécessaires pour participer davantage à l'élaboration des politiques à la prise de décision dans toutes les sphères de la société : économique, politique, sociale et culturelle, ainsi qu'aux niveaux communautaire, national et international. Cela permettra aux femmes et aux couches vulnérables d'avoir l'accès physique et financier à la terre, aux intrants essentiels tels que les engrais, les pesticides et semences et auxquels facteurs de production et de techniques et technologies avancées d'agriculture, de bonne qualité pour accroître la productivité agricole (RPMA 2015 : chap. 2. RPMA 2015 : chap. 5 ; EDIC Éthiopie). De plus, il sera noté une augmentation des actifs et des revenus des actrices des filières agricoles et des couches vulnérables intervenant dans le domaine de l'agriculture pour leur autonomisation et leur inclusion dans des systèmes de production agricole résilients à la variabilité et au changement climatique et même aux chocs (phénomènes météorologiques extrêmes, sécheresse, inondations) et à d'autres catastrophes liées au climat).

Enfin, avant 2100, on devrait assister à une plus forte proportion de femmes et de jeunes autour de 60% qui travaille dans le secteur agricole d'autant plus, qu'à ce jour⁴, l'estimation de femmes travaillant dans le sous-secteur de l'agriculture tourne autour de 25%. Ces couches vulnérables, femmes et jeunes dont les capacités sont bien renforcées, vont développer à partir de 2030 des stratégies de coopération internationale, d'équipement et d'investissement dans les infrastructures rurales, la recherche et la vulgarisation des options éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC).

5.3.3 Impacts du genre dans le sous-secteur de l'Élevage

Il est connu que le sous-secteur de l'élevage joue un rôle primordial au Sénégal et les productions animales sont réalisées par près d'un tiers des ménages sénégalais, soit 550 514 ménages (ANSD, 2017). Le sous-secteur contribue fortement à l'amélioration de la sécurité alimentaire, la nutrition et l'amélioration des revenus des éleveurs, des agropasteurs et des pasteurs. Toutefois, il faut souligner que les femmes et les jeunes malgré leur exposition et leur sensibilité aux chocs liés au climat contribuent fortement à la production animale, à l'élevage du bétail, à la fourniture de services connexes aux systèmes de production animale.

Avec l'adoption des pratiques éprouvées d'adaptation et d'atténuation en élevage auprès des petits producteurs à partir de 2030, les femmes, les jeunes et autres acteurs des couches vulnérables verront leurs capacités renforcées et seront plus engagés dans le développement du sous-secteur. Soulignons également que la commercialisation des petits ruminants, de la volaille et des animaux laitiers et aussi dans la transformation des sous-produits d'élevage sera bien organisé et les acteurs gagneraient beaucoup plus de revus. De plus, les femmes et les jeunes, bien organisés dans les organisations faitières professionnelles

⁴ USAID, 2021, Nourrir l'Afrique (Feed the future)

auront un plus grand accès au foncier pastoral et au crédit ; ce qui permet ainsi le développement accéléré des chaînes de valeurs animales et agropastorales.

Les couches vulnérables, en particulier, les femmes et les jeunes, bénéficient à partir de 2030 de l'appui technique pour la mise à l'échelle des pratiques éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) et auront accès au crédit rural et aux facteurs de production. Cette situation serait favorable à la disponibilité en ressources alimentaires et fourragères pour nourrir les animaux et assurer la subsistance des petits exploitants et transformateurs agricoles pauvres et disposer d'une production animale de qualité. Ces femmes, ayant un parfait contrôle de la production animale, seront mieux actives dans les instances de décision, de négociation et d'influence pour conquérir les marchés nationaux, sous régionaux et internationaux pour en tirer des bénéfices et des avantages comparatifs.

5.3.4 Impacts du genre sur les Ressources en eau

A partir de 2030 allant à 2100, les enjeux liés à la gestion de l'eau en termes d'usage et d'intérêt seront grands, et cela aura des effets pour les différents usagers, consommateurs et utilisateurs. Pendant ce temps, les couches vulnérables auront déjà adopté les différentes options de maîtrise de l'eau proposées pour l'exploitation ou l'activité de production. L'adoption des stratégies renforcera leur autonomie par rapport à la demande en eau pour tous les besoins et usages et cet état de fait les libèrera afin qu'elles puissent s'adonner à des activités sociales, économiques et politiques pour lutter contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

Toutefois, les législateurs, à travers des lois, doivent adopter des lois pour subventionner les couches vulnérables. Les dispositions portant sur le redressement des inégalités dans le sous-secteur de l'eau afin qu'il y ait un impact positif sur le statut social, politique, et économique de la femme et des couches vulnérables afin qu'elles puissent mener à bien leurs activités domestiques et de production.

Pendant cette période, la disponibilité d'une eau de qualité et en abondance sera de mise pour tous les usagers et en particulier les femmes et les jeunes qui s'attacheront à des services bien ciblés. Ces cibles verront l'amélioration de, leur bien-être, leur santé, leur sécurité alimentaire en eau et surtout leur productivité. La disponibilité en eau en quantité et en qualité renforce l'autonomisation des populations surtout celles les plus vulnérables par rapport à la variabilité et au changement climatique.

5.3.5 Impacts du genre sur la Pêche et l'Aquaculture

Au Sénégal, 80 % des poissons et fruits de mer sont vendus par des femmes et assurent entre 16 et 80% des protéines animales consommées par les populations ; ce qui montre que leur contribution à l'économie, l'emploi et à la sécurité alimentaire sont bien connues (Centre de recherche océanographie (CRODT, 2016).

A partir de 2030, il est attendu un rôle stratégique des couches vulnérables (femmes, jeunes etc.) qui s'activeront dans la pêche et l'aquaculture en termes de, création d'emplois, de richesses, et d'équilibre de la balance commerciale pour asseoir et soutenir une dynamique de croissance forte et durable de la sécurité économique, alimentaire et sociale. A cet effet, les acteurs vulnérables (jeunes, femmes, etc.) auront une forte représentativité dans les, structures de gouvernance, les instances de décision au niveau institutionnel et aussi dans les organisations professionnelles de la pêche et de l'aquaculture. Ces acteurs ayant adopté les options d'adaptation et d'atténuation face aux effets des changements climatiques proposées auront bénéficié de renforcement des capacités techniques et managériales, d'équipements portant entre autres sur les technologies de stockage et certains services (ex : glace transport, stockage froid) et de financement de leurs activités génératrices de revenus et l'exploitation des fermes de production aquacole, piscicole et de transformation.

Les couches vulnérables, ainsi renforcées par des droits de propriété (bateau de pêche ou parcelle de terre pour la pisciculture et l'aquaculture), seront placées pour rivaliser sur les marchés nationaux, sous régional et international toujours en passe de devenir plus mondialisé et mécanisé.

La mise à l'échelle de ces stratégies mises en place pour le compte et au bénéfice des couches vulnérables permettra aux acteurs de contribuer de façon considérable à la rentabilité de la pêche et de l'aquaculture afin qu'elles puissent jouer le rôle socioéconomique attendu.

5.3.6 Impacts du genre sur les Ressources forestières

Les revenus provenant des ressources et activités forestières représentent environ un cinquième des revenus totaux des ménages ruraux vivant dans les forêts ou à proximité. Les femmes et les jeunes jouent un rôle important de conservation des forêts et réserves dans lesquelles ils pratiquent des activités de subsistance (CSE, 2020 – Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Sénégal).

Les jeunes, les femmes et autres couches vulnérables impliquées dans la gestion forestière ont l'opportunité de mettre à l'échelle des pratiques éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) de 2030 à 2100. Ces pratiques portent sur la conservation, la gestion et l'exploitation des ressources naturelles en particulier des réserves et des forêts.

Les jeunes et les femmes, impliqués dans les prises de décision de gestion financière et la gestion de la foresterie auront à contribuer à la reforestation, la gestion et l'exploitation durable des écosystèmes naturels menacés de disparition par les effets anthropiques et naturels. A cet effet, ces acteurs concernés doivent bénéficier de financement adéquat, de renforcement de capacités, de la valorisation des résultats de la recherche forestière. Et, cela favorisera l'autonomisation économique et financière des jeunes et des femmes. De plus, les jeunes et les femmes impliqués dans la gestion et l'exploitation des forêts et des réserves communautaires contribueront davantage aux moyens d'existence des ménages par le truchement

de leur apport en termes de revenus, de leur rôle dans la collecte des produits forestiers et aussi dans la préservation des ressources naturelles⁵.

5.3.7 Impact du genre sur l'énergie

Après la mise à l'échelle des pratiques éprouvées d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) proposées dans le domaine de l'Energie et leur adoption par les jeunes et les femmes à partir de 2030 et dans toutes les zones agroécologiques, il y aura une plus forte autonomisation de ces couches vulnérables⁶. De plus, pendant cette période, le rôle et les responsabilités des femmes au sein des instances politiques, institutionnelles pourra permettre d'amorcer un changement de mentalité, de pérenniser et d'adopter des pratiques innovantes d'exploitation, de gestion de l'énergie dans un contexte de changement climatique.

Avec l'accès garanti des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable accessible, aux couches vulnérables pour les besoins familiaux, les nombreuses activités domestiques et aussi pour les activités de production qui demandent des sources d'énergie stable avec une autonomie assurée.

Les femmes et les jeunes auront ainsi au courant 2030 à 2100 des services énergétiques sobres en carbone et de qualité pour couvrir leurs besoins en réfrigération, pompage d'eau, irrigation et aussi pour les autres activités ménagères et agricoles.

A cet effet, les jeunes et les femmes et autres couches vulnérables verront l'amélioration de leur situation sociale et économique et d'une participation plus active à la vie politique et à la prise de décision sur toutes les questions portant sur l'énergie.

Soulignons dans la même veine que la République du Sénégal, à travers le Ministère du Pétrole et des Énergies, a engagé un processus d'élaboration d'un Plan d'Action National sur la politique d'intégration de la dimension genre dans l'accès à l'énergie. Celui-ci vise à définir la stratégie quinquennale par laquelle le pays s'acquittera de ses obligations nationales. Cette nouvelle disposition réglementaire vient renforcer les dispositions de la CEDEAO.

⁵ (www.cifor.org/forests-trees-agroforestry)

⁶ Initiative Mondiale pour une Energie Durable pour tous (SE4ALL)

Conclusion

La transition vers une économie bas-carbone implique des modifications profondes des systèmes socio-économiques. Son ampleur et sa nature exacte dépendent des actions que nos sociétés vont mettre en place pour gérer l'enjeu climatique, et ne peuvent pas être parfaitement connues à l'avance. Elle induit donc des risques et opportunités pour les acteurs économiques, que ceux-ci doivent anticiper pour construire au mieux leur stratégie face à un contexte d'incertitudes. Dans ce cadre, l'utilisation de scénarios qui sont des représentations plausibles de situations futures incertaines comme les SSP est très utile pour mieux comprendre les enjeux à moyen et long terme de la transition bas-carbone. Cette étude est basée sur trois scénarios SSP à savoir les SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5.8.5. Les résultats montrent que les précipitations diminuent sur une bonne partie du Sénégal dans le futur sous ces trois scénarios. Cette baisse de la pluie aura des conséquences négatives sur l'agriculture. Pour ce qui est de la température, une augmentation générale est notée sous ces trois scénarios. Une bonne partie du pays pourrait connaître des augmentations de température beaucoup plus importantes qu'aux niveaux 1.5°C et 2.0°C fixés par l'accord de Paris 2015 sous les trois scénarios étudiés. Cette hausse de température dans le futur pourrait entraîner une augmentation de la consommation d'énergie pour la conservation des denrées et des aliments en milieu rurale et pour le refroidissement et la climatisation en milieu urbain. En outre, les événements extrêmes humides sont caractérisés aussi par une forte variabilité et une légère hausse plus marquée dans le futur proche. Cette hausse augmente les risques d'inondation dans les zones urbaines et périurbaines. Les écoulements futurs sont fortement impactés par le changement climatique. Ainsi, les stations de Kolda (fleuve Casamance), de Gouloumbou (fleuve Gambie) et de Kidira (fleuve sénégal) pourraient connaître une légère hausse des débits d'écoulement (jusqu'à 20%) à l'horizon 2030; tandis qu'aux horizons 2060 et 2100, une baisse d'environ 40% est projetée.

Concernant les impacts sur l'agriculture, quel que soit le scénario, la période, où la culture considérée, les changements de rendement simulés étaient généralement plus positifs dans les régions de l'Ouest et du Nord et plus négatifs dans les régions Sud-Est. Dans les horizons futurs, l'augmentation du CO2 entraîne un impact positif (52%) pour les plantes C3 (arachide) et un impact négatif (-45%) pour les plantes C4 (maïs, mil et sorgho). Ainsi, pour l'arachide la variété Fleur11 (90 jours) présente une augmentation de rendement supérieure à la variété 77-33 (105 jours) indépendamment de la période ou du scénario considéré.

Les stratégies proposées peuvent augmenter la résilience de certaines activités humaines telles que l'agriculture face aux changements climatiques.

Bibliographie

- Agence Française de Développement (AFD), 2021, Étude des vulnérabilités aux effets attendus du changement climatique dans les zones agroécologiques de la Vallée du fleuve Sénégal, Stratégie et Plan d'Actions d'Adaptation au Changement Climatique
- Aguiar, Lazar A. Al; Variabilités inter-annuelles et intra-saisonniers des précipitations le long du littoral nord du Sénégal entre 1950 et 2004, these de doctorat, 2009. UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL, PP: 208.
- Amy Faye, 2018: Climat et agriculture au Sénégal:Analyse économique de la disponibilité de l'eau d'irrigation dans un contexte de variabilité des précipitations dans les niayes. Thèse de Doctorat. UNIVERSITÉ CHEIKH-ANTA-DIOP DE DAKAR. pp:217
- Ardoin-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Dieulin, C., Casenave L., Niel, H., Paturel, J. E., Mahé, G., 2006, Application de scénarii climatiques en modélisation hydrologique: utilisation des sorties GCM, *UMR HydroSciences Montpellier, IRD, BP 64501, F-34394 Montpellier cedex 5, France* . ardoin@msem.univ-montp2.fr, 6p
- Babacar Faye, Heidi Webber, Mbaye Diop, Mamadou L.Mbaye, Joshua D.Owusu-Sekyere, Jesse B.Naab, Thomas Gaiser (2018): Potential impact of climate change on peanut yield in Senegal, West Africa, *Field Crops Research*, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.034>
- Basak JK, Titumir RAM Biswas JK, Mohinuzzaman M, (2013). Impacts of Temperature and Carbon dioxide on Rice yield in Bangladesh. *Bangladesh Rice J.* 17(1&2): 15-25, 2013.
- Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., van Vuuren, D. P., (2017). Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector – Quantifying the Narratives. *Global Environmental Change*, 42, 316-330. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.006>
- Bazzaz, F. A., & Sombroek, W. G. (1996), « Global climate change and agricultural production: direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes”. *FAO, Rome*, 66-80pp.
- Berg, A. (2011), « Représentation des cultures tropicales dans le modèle de surface continentale ORCHIDEE : apport à l'étude des interactions climat/agriculture ». Thèse de Doctorat, Université Paris VI- Pierre et Marie Curie, 187p.
- Berg, A., De Noblet-Ducoudré, N., Sultan, B., Lengaigne, M., & Guimberteau, M. (2013), « Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions”. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 89–102pp

Birame Diouf, Pr Henry Mathieu Lo, Bounama Diéye, Oumar Sané, Ousmane Fall Sarr (Editeurs au compte de la Plateforme Nationale C-CASA-Sénégal). 2014. Pour une agriculture intelligente face au changement climatique au Sénégal : recueil de bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation. Document de travail No 85, Programme de Recherche du CGIAR sur le Changement Climatique, l'Agriculture et la Sécurité Alimentaire. Disponible en ligne sur: www.ccafs.cgiar.org.

Birame DIOUF. Henry Mathieu LO, Bounama DIEYE, Oumar SANE, Ousmane Fall. SARR, 2014 :
Recueil de bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation. Dakar. 199 pages

Budget genre 2022

C. McSweeney, M. New, G. Lizcano, and X. Lu, (2010): Improving the Accessibility of Observed and Projected Climate Information for Studies of Climate Change in Developing Countries. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2826.1>

Caesar et al. (2006);

Caesar J, Alexander LV, Vose R (2006). Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded dataset. J. Geophys. Res., 111, D05101. Doi: 10.1029/2005JD006280.

CAMARA I., NOBLET M., LEJEUNE Q., SANÉ Y., 2019. Évaluation de la variabilité climatique et des tendances climatiques futures dans la région de Fatick - Sénégal. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin

CARE, Rosember, A. (ITUC – International Trade Union Confederation), Wessendorf, K. & Petersen, L M L(IWGIA – International Working Group for Indigenous Affairs), Camacho, M. (Rainforest Foundation Norway) and Vélez, J.V. Uribe (WEDO) (2017) Delivering on the Paris Promises: Combating Climate Change while Protecting Rights Recommendations for the Negotiations of the Paris Rule Book <https://unfccc.int/sites/default/files/903.pdf>

Centre de Suivi Écologique, (2015), « Rapport sur l'État de l'environnement au Sénégal. » Dakar.

Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ferro, C. A. T., & Stephenson, D. B. (2007), "Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures", Agriculture, Ecosystems and Environment, 119(1–2), 190–204pp.

Contribution Déterminée au niveau national (CDN), 2016, Dr Mb DIOP, B DIEYE, DEEC/MEDD, volet agriculture

Dajuma Alima, Siélé Silué, Kehinde O. Ogunjobi, Heike Vogel, Evelyne Touré N'Datchoh, Véronique Yoboué, Arona Diedhiou, and Bernhard Vogel, (2020): Biomass Burning Effects on the Climate over Southern West

Africa During the Summer Monsoon, W. Leal Filho et al. (eds.), African Handbook of Climate Change Adaptation, https://doi.org/10.1007/978-3-030-42091-8_86-2

Dazé, J and Dekens, J (2017) A framework for gender-responsive National Adaptation Plan (NAP) processes, NAP Global Network

DEEC, CIAT, 2022, Etude de l'Analyse situationnelle du secteur de l'Agriculture dans un contexte de changement climatique, Sénégal

Delphine Deryng, Declan Conway, Navin Ramankutty, Jeff Price and Rachel Warren, (2014): Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. Environmental Research Letters, [Volume 9, Number 3](#)

Diarra Dieng, Gerhard Smiatek, Jan Bliedernicht, Dominikus Heinzeller, A. Sarr, A. T. Gaye, Harald Kunstmann, (2017): Evaluation of the COSMO-CLM high-resolution climate simulations over West Africa, <https://doi.org/10.1002/2016JD025457>

Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques (DAPSA). (2015). Rapport de performance 2014. DAPSA, section Accueil-Publications. <http://www.dapsa.gouv.sn/content/rapport-de-performance-2014maerversion-finalepdf>

Duyck, S and Lennon, E (CIEL – Center for International Environmental Law / coordinating authors), Sherpa, L.N. (AIPP - Asia Indigenous Peoples Pact), Rawe, T. 19

Easterling DR, (1997). Maximum and minimum temperature trends for the Globe. Science 277, 364-367, <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5324.364>.

F.A.O., 2003.—Programme national d'appui à la sécurité alimentaire (programme de relance des productions vivrières), rapport F.A.O.

FALL(A. A.), 2006.—Impact du credit sur le revenu des riziculteurs de la vallee du fleuve Sénégal, th. doct. économie et gestion du développement agricole, agro-alimentaire et rurale, univers. Montpellier-I

Faye, A., & Akinsanola, A.A. (2021). Evaluation of extreme precipitation indices over West Africa in CMIP6 models. *Climate Dynamics*, 1 - 15.

Garland RM, Matoane FA, Engelbrecht MJM, Bopape WA, Landman M, Naidoo J, van der Merwe, Caradee YW (2015). Regional projection of extreme apparent temperature days in Africa and the related potential risk to human health. International journal of environmental research and public health, 12, 12577-12604. Doi: 10.3390/ijerph121012577.

Gaye, A. T., Lo, H. M., Sakho-Djimbira, S., Fall, M. S., & Ndiaye, I. (2015), « Sénégal : revue du contexte socioéconomique, politique et environnemental », IED-Afrique, 85p.

- GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, Suisse, 103 p.
- GIEC. 2014. Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, p.161
- GIEC/IPCC (2014). Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A : Global and Sectoral Aspect, 1150 p
- Hass AL, Ellis KN, Mason LR, Hathaway JM, Howe DA (2016). Heat and humidity in the city: Neighborhood heat index variability in a mid-sized city in the southeastern United States. *International journal of environmental research and public health*, 13, 117, doi: 103390/ijerph13010117.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. W., Thornton, P. K., Jones, J. W., Hunt, L. A., & Imamura, D. T. (1999), "Decision Support System for Agrotechnology Transfer v.3.5." In DSSAT version 3 4,2–36pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4>
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Hochman, Z. (2003), "An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation". *European Journal of Agronomy*, 18 (3–4), 267–288pp.
- Klutse, N.A.B., Quagraine, K.A., Nkrumah, F. et al. The Climatic Analysis of Summer Monsoon Extreme Precipitation Events over West Africa in CMIP6 Simulations. *Earth Syst Environ* 5, 25–41 (2021). <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00203-y>
- Lamine DIA, Bounama DIEYE, Edmond TOTIN, Pierre Sibiry TRAORE, Robert ZOUGMORE, CGIAR: Analyse du contexte institutionnel de gestion du changement climatique au Sénégal, Working paper 165 in Research Program on Climate Change Agriculture And Food Security (CCAFS)
- Ly, M., S. B. Traore, A. Alhassane, and B. Sarr, (2013). Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel. *Wea. Climate Extremes*, 1, 19–25, doi:10.1016/j.wace.2013.07.005.
- Mbaw .M,(2017), Les déficits de l'agriculture sénégalaise dans une perspective de Changement Climatique, 90p
- Mbaye, M. L., Haensler, A., Hagemann, S., Gaye, A. T., Moseley, C. and Afouda, A. (2015): Impact of statistical bias correction on the projected climate change signals of the regional climate model REMO over the Senegal River Basin. *Int. J. Climatol.*doi: 10.1002/joc.4478

McOmber, C., Rigg, S., Crowley, F., Audia, C., Langston, L., Ferdinand, T., Pelling, M (2016) Integrating gender in BRACED: Understanding the processes that define the opportunities and constraints for effectively building the resilience of women and girls in the Christian Aid led BRACED projects, KCL Learning Paper
Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, (2016), « Contributions Déterminées au niveau National (CDN)- volet adaptation secteur de l'agriculture », République du Sénégal.

Müller, C., Cramer, W., Hare, W. L., & Lotze-Campen, H. (2011), "Climate change risks for African agriculture". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108(11), 4313–4315pp.

N'Datchoh ET, Diallo I, Konaré A, Silué S, Ogunjobi KO, Diedhiou A, Doumbia M (2018) Dust induced changes on the West African summer monsoon features. Int J Climatol 38:452–466.
<https://doi.org/10.1002/joc.5187>

Ndione, J. A., M. Diop, J.P. Lacaux, A. T. Gaye (2008). Variabilité intrasaisonnière de la pluviométrie et émergence de la fièvre de la Vallée du Rift dans la vallée du fleuve Sénégal: nouvelles considérations. La Climatologie, 5, pages 83-97.

Niang, Coumba and Mohino Harris, Elsa and Gaye, Amadou T. and Omotosho, J. Bayo (2017) *Impact of the Madden Julian Oscillation on the summer West African monsoon in AMIP simulations*. Climate dynamics, 48 . pp. 2297-2314. ISSN 0930-7575

Noblet M., Seck A., Faye A., Sadio M., Camara I., Bah A., 2018. Etat des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne". *Climate Analytics GmbH, Berlin*. 76 p.

O'Neill Brian C. & Elmar Kriegler & Keywan Riahi & Kristie L. Ebi & Stephane Hallegatte & Timothy R. Carter & Ritu Mathur & Detlef P. van Vuuren, (2014). A new scénario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. Climatic Change (2014) 122:387–400 DOI 10.1007/s10584-013-0905-2

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., Solecki, W., (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

Ousmane NDIAYE , Aly DIALLO , François MATTY , Amath THIAW ,

Plan Sénégal Emergent (PSE), Gouvernement du Sénégal 2021

Programme de Renforcement et d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise, PRACAS, 2014, Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement rural,

Programme des Nations Unies pour 2030

Rameshwaran, P.; Bell, V.A.; Brown, M.J.; Davies, H.N. (2022). Historical (1950-2014) and projected (2015-2100) hydrological model (HMF-WA) estimates of monthly mean and annual maximum river flows across West Africa driven by CMIP6 projected climate data. NERC EDS Environmental Information Data Centre. (Dataset). <https://doi.org/10.5285/346124fd-a0c6-490f-b5af-eaccbb26ab6b>

Rapport analyse genre et agriculture 1153-fiche-thématique-genre-alimenterre

Rapport d'activités finalisé du Ministère

Rapport de la Revue thématique genre / édition 2021

République du Sénégal (2020). Contribution Déterminée au niveau National du Sénégal. Document approuvé, Décembre 2020, 47 p.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Tavoni, M., (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Rokhaya Daba FALL 2 et Aliou GUISSÉ: Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(1): 519-528, February 2012

Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011), « The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? » *Global Environmental Change*, vol 21, issue 3, 1073–1083pp. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>

RPMA 2015 : chap. 2. RPMA 2015 : chap. 5 ; EDIC Éthiopie

Salack S, Sarr B, Sangare SK, Ly M, Sanda IS, Kunstmann H, (2015). Crop-climate ensemble scénarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Clim. Res.* 65:107-121.

Salack, S., Muller, B., Gaye, A. T., Hourdin, F., & Cisse, N. (2012), „Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal. » *Science et Changements Planétaires, revue Sécheresse*, vol 23 N°1, 3–13pp. <https://doi.org/10.1684/sec.2012.0335>

Samaké M.L, 2015, Politiques et mesures d'accompagnement de l'agriculture familiale dans un contexte de changement climatique : Analyse des perceptions des exploitations agricoles au Sénégal, 93p

Sarr A B., Camara M., 2017. Evolution des indices pluviométriques extrêmes par l'analyse de modèles climatiques régionaux du programme CORDEX: les projections climatiques sur le Sénégal, *European Scientific Journal*, vol.13, N°17, 206-222pp.

SECK M., MOUSSA Na Abou M., WADE S. et THOMAS J.-P., février 2005. Adaptation aux Changements climatiques : l'étude de cas des systèmes de production agricoles de Sébikotane (Sénégal), Enda T.M., 33 p.

Sultan, B., Guan, K., Kouressy, M., Biasutti, M., Piani, C., Hammer, G. L., Lobell, D. B. (2014), "Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa". *Environmental Research Letters*, vol.9, N°10.

Sultan, B., Lalou, R., Sanni M.A., Oumarou, A., Soumaré M.A, (2015), "Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. », IRD Éditions, Collection Synthèses, 464p

Sylla, A., Mignot, J., Capet, X. et al. Weakening of the Senegalo–Mauritanian upwelling system under climate change. *Clim Dyn* 53, 4447–4473 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04797-y>.

TCN, DEEC/MEDD, Troisième communication nationale (TCN) du Sénégal sur les Changements Climatiques

United Nations Development Programme (UNDP), 2009 : Human Development Report

Visman, E., Bologo/Traoré, M., Jankowski, F., Affholder, F., Gérard, F., Barnaud, A., Audia, C., and Ngom Basal, Y. , 2019, Considering how Gender and Inclusion have been addressed within AMMA-2050, 19p

Women's Environment and Development. Organization (*WEDO*), 2008: Gender, Climate Change and Human Security. Lessons from Bangladesh, Ghana and Senegal.

Zamudio, A. N., and Terton, A. 2016. Review of current and planned adaptation action in Senegal. *CARIAA Working Paper no. 18*. International Development Research Centre, Ottawa, Canada and UK Aid, London, United Kingdom. Available online at: www.idrc.ca/cariaa.

Annexe

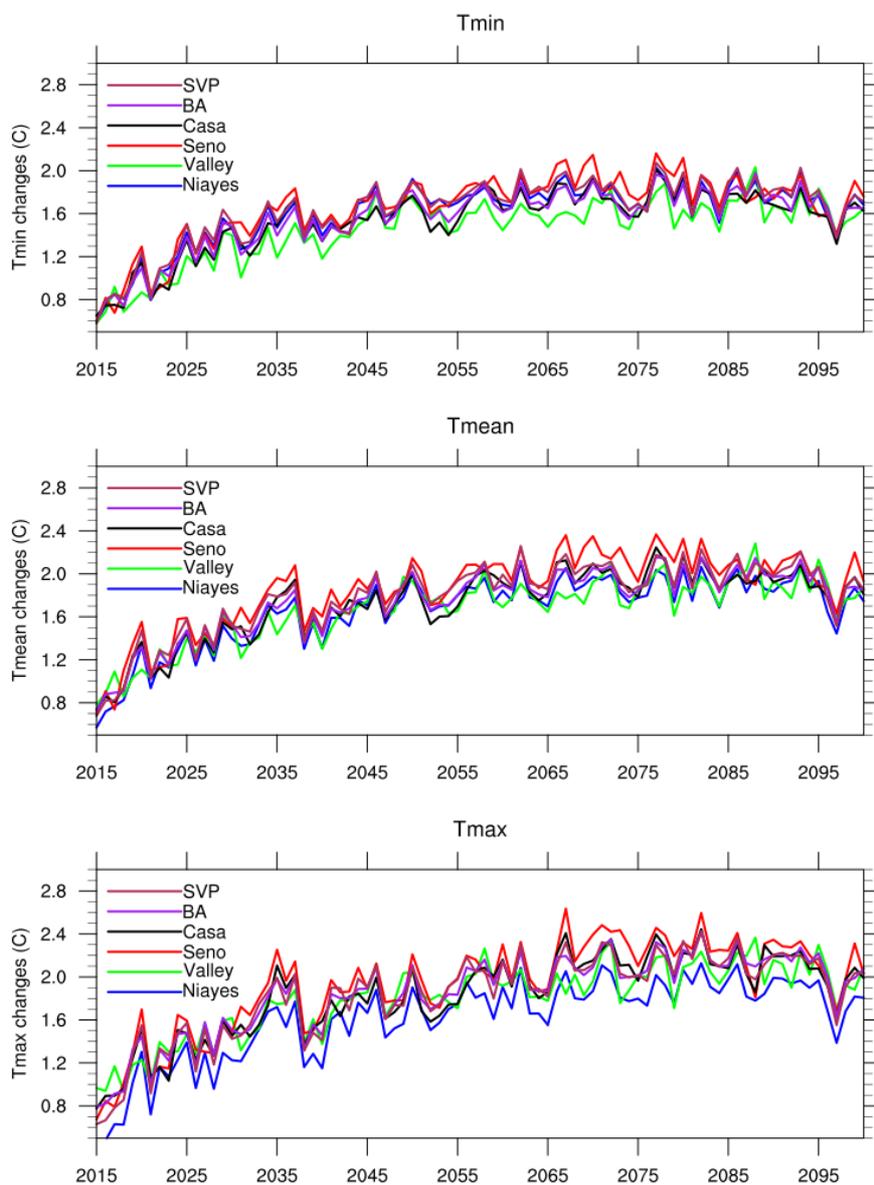


Figure A1: Taux de changement des températures sous le scénario ssp 126

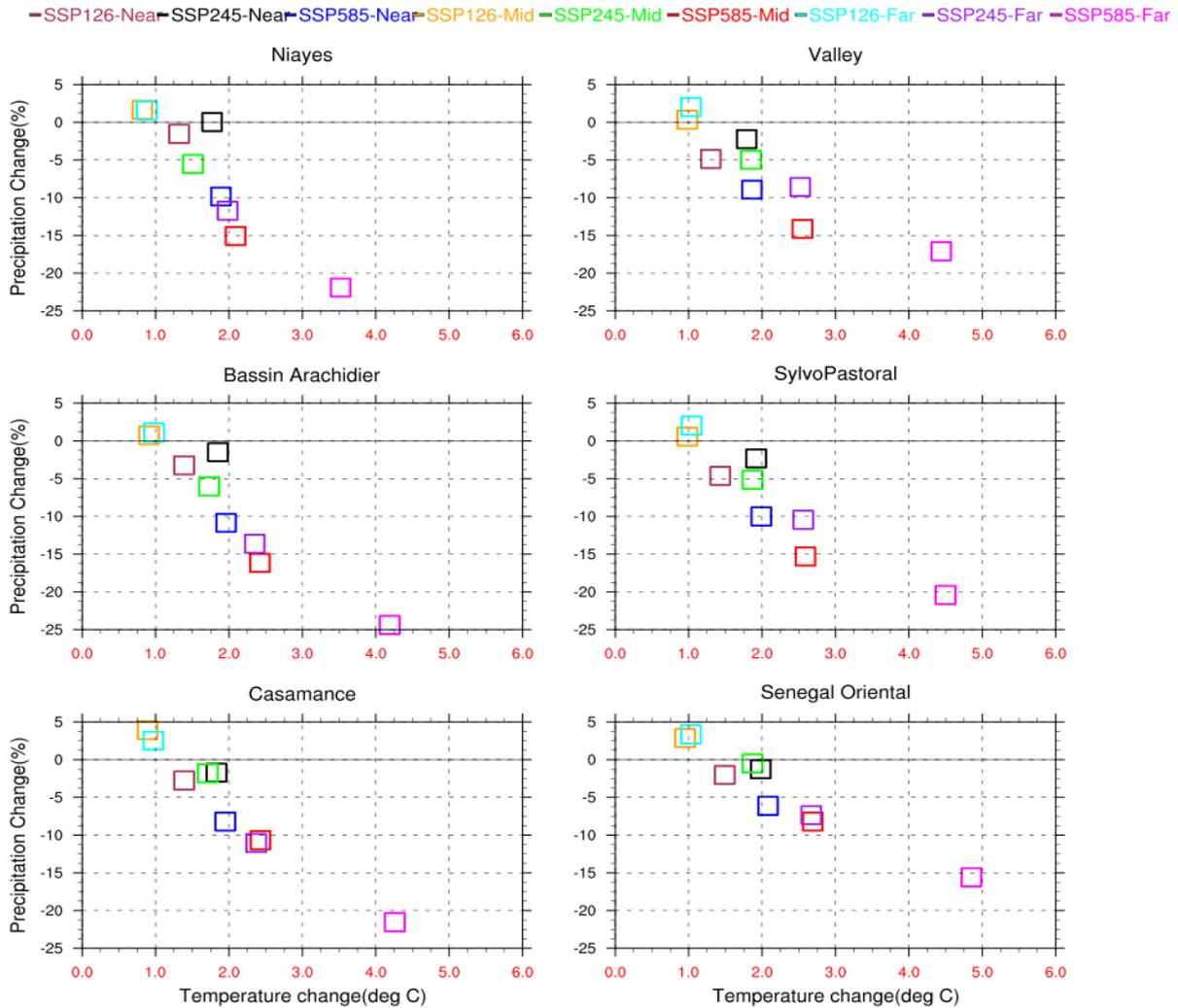


Figure A2: Taux de changement de la température moyenne et des précipitations sous les trois scénarios et sur toutes les périodes.

Tableau A1: Changement des températures

scenario \ zone	SSP1-2.6			SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	Near	Mid	Far	Near	Mid	Far	Near	Mid	Far
<u>Niayes</u>	1.32	1.77	1.89	0.82	1.51	2.09	0.88	1.98	3.52
<u>Valley</u>	1.30	1.79	1.86	0.98	1.85	2.55	1.03	2.52	4.44
<u>SVP</u>	1.43	1.92	1.99	0.98	1.87	2.59	1.04	2.56	4.53
<u>BA</u>	1.39	1.85	1.96	0.91	1.73	2.42	0.98	2.35	4.19
<u>Casa</u>	1.39	1.83	1.95	0.89	1.71	2.43	0.97	2.37	4.26
<u>Seno</u>	1.49	1.98	2.08	0.95	1.87	2.69	1.03	2.67	4.85

Tableau A2: Changement des précipitations

scenario zone	SSP1-2.6			SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	Near	Mid	Far	Near	Mid	Far	Near	Mid	Far
<u>Niaves</u>	-1.54	0.04	-9.84	1.65	-5.54	-15.07	1.57	-11.72	-21.91
Valley	-4.85	-2.23	-8.93	0.35	-4.96	-14.13	2.02	-8.59	-17.09
<u>SVP</u>	-4.62	-2.31	-10.00	0.58	-5.15	-15.30	2.03	-10.44	-20.43
BA	-3.23	-1.49	-10.85	0.75	-6.00	-16.17	1.12	-13.62	-24.40
<u>Casa</u>	-2.77	-1.73	-8.20	3.90	-1.8	-10.67	2.52	-11.05	-21.54
<u>Seno</u>	-2.04	-1.28	-6.14	2.86	-0.50	-8.20	3.34	-7.37	-15.61



AICCRA

Accelerating the Impact of CGIAR
Climate Research for Africa



The CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) brings together some of the world's best researchers in agricultural science, development research, climate science and Earth system science, to identify and address the most important interactions, synergies and tradeoffs between climate change, agriculture and food security. For more information, visit us at <https://ccafs.cgiar.org/>.

AICCRA is led by:

Alliance



AICCRA is supported by the International Development Association of the World Bank:

