



Alliance



# ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ CLIMATIQUE DE CERTAINES CULTURES AU SÉNÉGAL

Rapport préparé par le International Center for Tropical Agriculture (CIAT)  
Mai 2022

© 2010 CIAT/Neil Palmer



Global Affairs  
Canada

Affaires mondiales  
Canada



L'Alliance de Bioversity International et du Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) propose des solutions fondées sur la recherche pour faire face aux crises mondiales que sont la malnutrition, le changement climatique, la perte de biodiversité et la dégradation de l'environnement.

L'Alliance se concentre sur les liens entre l'agriculture, la nutrition et l'environnement. Nous travaillons avec des partenaires locaux, nationaux et multinationaux en Afrique, en Asie, en Amérique latine et dans les Caraïbes, ainsi qu'avec les secteurs public et privé et la société civile. Grâce à des partenariats inédits, l'Alliance génère des preuves et diffuse des innovations pour transformer les systèmes alimentaires et les paysages.

L'Alliance fait partie du CGIAR, le plus grand partenariat de recherche et d'innovation agricole au monde pour un avenir sûr sur le plan alimentaire, qui se consacre à la réduction de la pauvreté, au renforcement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle et à l'amélioration des ressources naturelles.

**Citation:**

Nguru, W. and Mwangera, C. 2022. Evaluation de la vulnérabilité climatique de quelques cultures au Sénégal. Alliance of Bioversity International and CIAT. Rome, Italy.

**Contact:** Caroline Mwangera | Senior Chercheur, Action Climatique | [c.mwangera@cgiar.org](mailto:c.mwangera@cgiar.org)

Sauf indication contraire, toutes les photographies de cette publication sont créditées Alliance of Bioversity.

# Évaluation de la Vulnérabilité Climatique de certaines cultures au Sénégal

Wilson Nguru  
Caroline Mwongera

Alliance



Global Affairs  
Canada

Affaires mondiales  
Canada

# REMERCIEMENTS

Ce document de travail, qui présente une évaluation de la vulnérabilité climatique de certaines chaînes de valeur de cultures au Sénégal, a été élaboré dans le cadre du projet Adaptation et valorisation de l'entrepreneuriat en agriculture irriguée (AVENIR). Le projet est financé par Affaires mondiales Canada, mis en œuvre et cofinancé par Mennonite Economic Development Associates (MEDA) et l'Alliance internationale Bioversity et CIAT.

Ce travail a été mis en œuvre dans le cadre du programme de recherche du CGIAR sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CCAFS). Cette publication n'a pas été soumise aux procédures standard d'examen par les pairs de l'Alliance Bioversity et du CIAT. Les opinions exprimées ici sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions de ces organisations.

# CONTENTS

<b>Remerciements</b> .....	<b>iv</b>
<b>Figures</b> .....	<b>vi</b>
<b>Les Tables</b> .....	<b>vi</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité climatique</b> .....	<b>4</b>
<b>3.0 Résultats</b> .....	<b>6</b>
3.1 Aptitude à la culture .....	6
3.2 La sensibilité des chaînes de valeur au changement climatique .....	7
3.3 Exposition aux risques naturels.....	8
3.4 Capacité d'adaptation .....	10
3.5 La vulnérabilité du secteur agricole sénégalais au changement climatique .....	13
<b>Conclusion</b> .....	<b>16</b>
<b>Références</b> .....	<b>17</b>
<b>Annexe: Chiffres supplémentaires</b> .....	<b>20</b>
1. Adéquation des cultures .....	20
2. Sensibilité .....	22
3. Vulnérabilité .....	23

# FIGURES

<b>FIGURE 1 :</b> Zones agro-écologiques du Sénégal (à gauche), zones cultivées (au centre), et zones avec pâturages (à droite). Les données du panneau de gauche ont été adaptées à partir de la Direction de la Conservation des Eaux, Forêts et Chasse, et les panneaux du centre et de droite sont tirés de Ramankutty et al. 2008. -----	2
<b>FIGURE 2 :</b> Aptitude actuelle des cultures au Sénégal-----	6
<b>FIGURE 3 :</b> Changements dans l'adéquation de certaines chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 4.5. 1,0 indique une augmentation de l'adéquation et -1,0 une perte d'adéquation. -----	7
<b>FIGURE 4 :</b> Distribution spatiale des risques naturels au Sénégal -----	9
<b>FIGURE 5 :</b> Changements de température sous les RCP 4.5 et 8.5 pour les années 2050. -----	10
<b>FIGURE 6a :</b> Distribution spatiale des indicateurs de capacité d'adaptation pour le Sénégal. Une valeur de zéro indique une capacité d'adaptation nulle, et une valeur de 1 indique une capacité d'adaptation absolue. -----	12
<b>FIGURE 6b:</b> Spatial distribution of adaptive capacity indicators for Senegal. A value of zero indicates no adaptive capacity, and a value of 1 indicates absolute adaptive capacity. -----	12
<b>FIGURE 7:</b> Vulnérabilité globale de l'agriculture sénégalaise au changement climatique -----	13
<b>FIGURE 8 :</b> Différence de vulnérabilité entre RCP 4.5 et RCP 8.5 pour les années 2050 -----	14
<b>FIGURE 9:</b> Contribution des différentes chaînes de valeur agricoles à la vulnérabilité globale au changement climatique à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 4.5. La figure supplémentaire S4 de l'annexe présente les résultats pour le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2050. -----	15
<b>FIGURE S1 :</b> Adéquation des cultures des neuf chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le RCP 4.5 -----	20
<b>FIGURE S2 :</b> Adéquation des cultures des neuf chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 8.5 -----	21
<b>FIGURE S3 :</b> Sensibilité des neuf chaînes de valeur au changement climatique à l'horizon 2050 pour le RCP 8.5-----	22
<b>FIGURE S4 :</b> Contribution des neuf chaînes de valeur à la vulnérabilité globale au changement climatique à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 8.5 -----	23

# LES TABLES

<b>TABLEAU 1 :</b> Principaux risques naturels au Sénégal-----	9
<b>TABLE 2:</b> Variables de capacité d'adaptation utilisées dans l'évaluation de la vulnérabilité pour le Sénégal -----	10

# RÉSUMÉ

Le projet Adaptation et valorisation de l'entrepreneuriat en agriculture irriguée (AVENIR) vise à améliorer le bien-être socio-économique et la résilience des ménages agricoles dans les régions de Sédhiou et Tambacounda, au Sénégal. Le projet se concentre sur les petits systèmes irrigués par la promotion d'une irrigation et de pratiques agricoles adaptées au climat, en particulier pour les femmes et les jeunes. AVENIR cherche à promouvoir la diversification des cultures par l'intégration du riz, de l'agroforesterie et de l'horticulture. Dans la région de Tambacounda, dans les départements de Goudiry et Tambacounda, le projet se concentrera sur les activités le long des chaînes de valeur du riz et du baobab, entre autres cultures. Dans la région de Sédhiou, dans les départements de Bounkiling et Goudomp, AVENIR se concentrera sur les chaînes de valeur du riz, de la mangue et de l'anacarde. Les autres cultures prioritaires dans ces deux régions sont le ditakh, le madd, l'oignon, le gombo et le poivre.

L'évaluation de la vulnérabilité des cultures sélectionnées au Sénégal est basée sur leur sensibilité au changement, leur exposition et leurs capacités d'adaptation. Le but ultime de cette étude est d'évaluer si le climat futur a un impact neutre, négatif ou positif (pas de changement/diminution/augmentation) sur la productivité des cultures, et d'identifier les régions préoccupantes et les opportunités d'adaptation au changement climatique. Nous avons utilisé les modèles écologiques Maxent dans le cadre des scénarios climatiques à émissions intermédiaires et élevées - Voies de concentration représentatives (RCP) 4.5 et 8.5, respectivement, pour évaluer la sensibilité de neuf cultures au changement climatique. Pour produire un indice de vulnérabilité spécifique à chaque culture et un score cumulatif final, nous avons combiné les composantes de la vulnérabilité en utilisant une pondération égale. Nous avons également cartographié les points chauds de la vulnérabilité au changement climatique et identifié les indicateurs moteurs sous-jacents. Par exemple, au Sénégal, nous avons constaté que les régions du Sud, de l'est et du Sud-Est sont les plus vulnérables, notamment les régions de Tambacounda, Kaffrine, Sédhiou, Kolda et Kédougou. Il existe une vulnérabilité élevée pour les baobabs et les cajous au nord, ainsi que pour les cajous, les ditakhs, les gombos, les oignons et le riz au nord-est. Cette étude montre comment la capacité d'adaptation des populations rurales peut être renforcée en augmentant l'accès à l'éducation et aux soins de santé, en améliorant la nutrition et en développant les infrastructures de commercialisation, de transport et d'irrigation.



 **CIAT**  
2016



# 1. INTRODUCTION

Le Sénégal est situé en Afrique occidentale, sur la côte atlantique, entre les latitudes de 12°30' et 16°30'N et les longitudes de 11°30' et 17°30'W. La région Sud du Sénégal a un climat subtropical, tandis que la région Nord se trouve dans une ceinture subtropicale et semi-aride appelée le Sahel (Mcsweeney et al., 2008). Les précipitations sont principalement contrôlées par le mouvement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) (Lucio, 2012). Le mouvement de la ZCIT détermine le début et la durée de la saison des pluies (Salack et al., 2011). Par exemple, le Sud a plus de jours de pluie et une saison des pluies plus longue que le Nord, plus aride.

Les températures au Sénégal présentent un gradient d'Est en Ouest, de sorte que les températures à l'intérieur du pays sont normalement plus élevées que le long du littoral, les températures les plus élevées étant enregistrées dans les parties Nord-est du pays (Fall et al., 2006). Matam, par exemple, connaît une température maximale supérieure à 40°C pendant le mois de mai, le plus chaud. Les régions côtières plus fraîches, quant à elles, connaissent des températures comprises entre 25°C et 28°C (Mcsweeney et al., 2008). En période de fraîcheur, les températures moyennes peuvent descendre en dessous de 25°C sur la côte mais monter jusqu'à 30°C dans l'est (Fall et al., 2006).

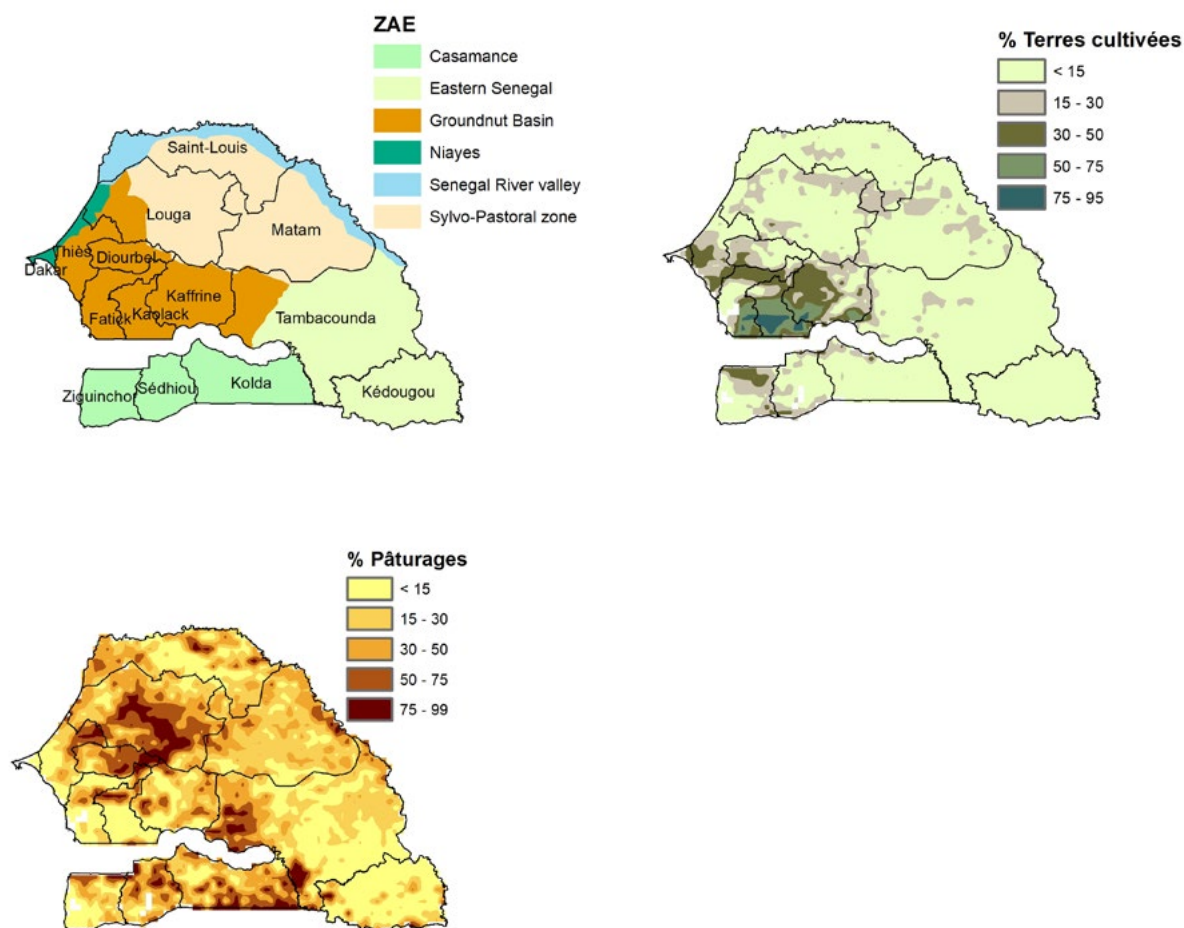
Les précipitations commencent dans le Sud-Est vers le mois de mai ou juin, et se propagent vers le Nord-Ouest pendant les mois d'été (Marteau et al., 2009). La plupart des précipitations annuelles du Sénégal sont reçues de juin à septembre. Le mois d'août accumule la plus grande quantité de précipitations (Camberlin et Diop, 2003). La saison sèche, quant à elle, dure environ six mois dans le Sud et huit mois dans le Nord. Les précipitations les plus saisonnières sont reçues dans les parties Sud du pays, mesurant environ 1000 mm pendant la saison des pluies, tandis que les parties Nord sont plus sèches, accumulant moins de 400 mm (USAID, 2017, 2015). La saison des pluies cesse avec la migration de la ZCIT vers le Sud aux alentours d'octobre (Nicholson, 2018).

Le secteur agricole du Sénégal contribue à environ 17% du produit intérieur brut (PIB) du pays, employant plus de 70% de la main-d'œuvre (Banque mondiale, 2018). Le Sénégal est l'un des pays les plus stables et les plus prometteurs d'Afrique de l'Ouest, avec un grand potentiel d'augmentation de sa croissance économique tirée par l'agriculture (USAID, 2015). Cependant, une grande partie de la couverture terrestre du Sénégal se trouve dans le Sahel, qui est aride et fortement assujettie aux sécheresses (Mcsweeney et al., 2008). Cette situation rend la production agricole pluviale très variable, et cela est accentué par les effets du changement climatique (D'Alessandro et al., 2015).

Le Sénégal est divisé en six zones agro-écologiques (Figure 1) basées sur des caractéristiques biophysiques et socio-économiques (Alessandro et al., 2015 ; CIRAD, 2015). En allant du Nord au Sud :

1. La vallée du fleuve Sénégal est caractérisée par des plaines alluviales et des hautes terres sableuses avec une production de riz irrigué ; elle couvre une superficie de 9 658 km<sup>2</sup>. L'agriculture pluviale dans cette zone est presque inexistante, et la plupart de la production agricole se fait avec l'irrigation (Alessandro et al., 2015). Bien que la salinité soit un problème dans certaines zones, la plupart des terres ont des niveaux de fertilité élevés en raison des inondations et de l'envasement réguliers.
2. Les Niayes, sur la côte atlantique, présentent un climat tempéré et produisent des fruits et légumes (CIRAD, 2015). Cette bande de 100 km à 280 km occupe 2 759 km<sup>2</sup>. Les Niayes sont une zone densément peuplée et font face à des défis, notamment la salinité des sols et des eaux et l'érosion côtière (Alessandro et al., 2015).
3. La zone sylvo-pastorale du centre-Nord du Sénégal soutient un élevage extensif et couvre 55 561 km<sup>2</sup> (CIRAD, 2015).
4. Le bassin arachidier du centre-Sud du Sénégal est une zone de savane dominée par la production d'arachide et de mil (CIRAD, 2015). Il couvre une superficie de 46 367 km<sup>2</sup> et est densément peuplé. La dégradation des écosystèmes et l'épuisement des ressources foncières, principalement la fertilité des sols et les ressources ligneuses, affectent la zone (Alessandro et al., 2015). À cause de l'acidification des sols des hautes terres et de la salinité des basses terres, la régénération des sols a diminué.
5. Le Sénégal oriental est caractérisé par une savane arborée. Sa production agricole concerne principalement le coton et l'élevage. Elle couvre une superficie de 56 529 km<sup>2</sup> (Tappan et al., 2004) et est sujette à une pauvreté rurale endémique en raison de l'extrême pression démographique sur les ressources naturelles, malgré un potentiel agro-pastoral robuste (Alessandro et al., 2015).

6. La Casamance est caractérisée par des forêts et des savanes arborées (CIRAD, 2015). Sa production agricole comprend principalement le riz pluvial ainsi que diverses autres cultures. Avec une superficie totale de 28 324 km<sup>2</sup>, elle est divisée en trois zones - basse, moyenne et haute. La région est confrontée à des défis tels que l'acidification des sols au niveau des zones basses, l'érosion de l'eau, la perte de la diversité forestière, la salinisation accrue des sols, la toxicité ferreuse et la dégradation aiguë des mangroves (Alessandro et al., 2015).



**FIGURE 1:** Zones agro-écologiques du Sénégal (à gauche), zones cultivées (au centre), et zones avec pâturages (à droite). Les données du panneau de gauche ont été adaptées à partir de la Direction de la Conservation des Eaux, Forêts et Chasse, et les panneaux du centre et de droite sont tirés de Ramankutty et al. 2008.

La topographie du Sénégal est généralement plate avec des plaines sablonneuses ondulées, mais s'élève en collines dans le Sud-Est. La plupart des régions ont une altitude inférieure à 100 m au-dessus du niveau de la mer. Le Sénégal comprend plus de 19 millions d'hectares de terres, dont seulement 20 % environ, soit 3,9 millions d'hectares, sont arables. Le reste est constitué de brousse non aménagée et de zones arides utilisées pour le pâturage du bétail (Alessandro et al., 2015). Environ 40% des terres arables sont constamment cultivées, bien que 10% reçoivent moins de 500 mm de pluie par an, ce qui limite la production végétale. Seulement 10% des terres cultivées sont irriguées, principalement le long du fleuve Sénégal et en Casamance (Peterson et al., 2006). Ce défi s'aligne sur l'objectif du projet AVENIR, qui vise à améliorer l'accès aux technologies d'irrigation et à améliorer la gouvernance et la gestion des ressources en eau, en travaillant avec le gouvernement, les groupes civiques et les acteurs du marché dans les régions de Sédhiou et de Tambacounda.

L'augmentation de la population a entraîné une pression sur les terres (Place et Otsuka, 2000), qui à son tour a entraîné une dégradation des sols et une baisse de leur fertilité en raison de nombreuses années de pratiques agricoles inadaptées telles que le travail du sol, la monoculture et l'utilisation irrationnelle d'intrants chimiques (Doso Jnr, 2014 ; Sow et al., 2015). Les sols de la plupart des régions ont de faibles pourcentages d'argile et de matière organique et donc de faibles capacités d'échange cationique, ce qui entraîne une vulnérabilité accrue à l'épuisement des nutriments (Mahé et al., 2002 ; Matlon, 1987).

Le mil, le riz, le maïs et le sorgho sont les principales cultures vivrières cultivées au Sénégal. D'autres cultures comme l'arachide, la canne à sucre et le coton sont d'importantes cultures de rente. Une grande variété de fruits et légumes sont cultivés pour les marchés locaux et d'exportation. Le niébé et le coton sont également cultivés. La production alimentaire ne suffisant pas à satisfaire la demande intérieure, le pays importe du riz et du blé (Diagne et al., 2013). Le Sénégal exporte du coton, des arachides et des produits horticoles, principalement des haricots verts, des tomates, des noix de cajou et des mangues (D'Alessandro et al., 2015).

La production végétale au Sénégal se divise en plusieurs catégories : les petits exploitants de subsistance, les petits exploitants commerciaux et les producteurs commerciaux purs (D'Alessandro et al., 2015). Les petits exploitants de subsistance produisent principalement des cultures pour la consommation avec un surplus occasionnel pour la vente, tandis que les petits exploitants commerciaux sont orientés vers les cultures de rente pour la vente et quelques cultures vivrières pour leur propre consommation. Environ 90% de la population rurale du Sénégal est impliquée dans la production animale, qui représente 30% du PIB du pays (Diagne et al., 2013). Le bétail qu'ils élèvent comprend les bovins, les chèvres, les moutons et l'aviculture. Les bovins fournissent la force de labourage qui est utilisée dans les terres cultivées (D'Alessandro et al., 2015).

Le Sénégal est très vulnérable aux risques liés au changement climatique (USAID, 2017). Des années de régimes pluviométriques erratiques et la hausse du niveau de la mer ont entraîné une augmentation de l'érosion des sols, la salinisation des terres arables et la destruction des infrastructures. Les sécheresses et les inondations associées au changement climatique ont accru la vulnérabilité du pays en matière de sécurité alimentaire (Fall, 2020). Dans la vallée du fleuve Sénégal, les Niayes et la Casamance, l'agriculture et la pêche font partie des principales activités économiques et sont très vulnérables à la réduction des précipitations, à l'érosion côtière, à l'intrusion d'eau salée et aux inondations (Fall, 2020).



© 2021 Alianza de Bioversity International y CIAT/Juan Pablo Marin García



© 2021 Alianza de Bioversity International y CIAT/Juan Pablo Marin García

## 2. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ CLIMATIQUE

La méthodologie utilisée pour préparer ce rapport s'appuie sur le cadre conceptuel des risques liés au climat du cinquième rapport d'évaluation (AR5) du groupe de travail II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour explorer les conséquences potentielles du changement climatique sur l'agriculture et la sécurité alimentaire (Adger, 2006 ; O'BRIEN et al., 2007 ; Sharma et Ravindranath, 2019). Le GIEC définit la vulnérabilité comme « la mesure dans laquelle un système naturel ou social est susceptible de subir des dommages dus aux impacts du changement climatique, et est fonction de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation ». L'impact du changement climatique sur l'agriculture et les moyens de subsistance peuvent donc être conceptualisé comme l'agrégation de ces composantes (Foden et al., 2013).

L'exposition fait référence à l'ampleur des variations climatiques auxquelles un système pourrait être soumis par des aléas. La sensibilité, quant à elle, est le degré auquel le système pourrait être affecté par cette exposition. Enfin, la capacité d'adaptation est l'aptitude à s'ajuster, à faire face ou à bénéficier des variations climatiques attendues. L'analyse a été mise en œuvre en obtenant des indicateurs pertinents pour le Sénégal pour chaque dimension de la vulnérabilité. Ces indicateurs ont ensuite été agrégés comme indiqué dans l'équation 1 ci-dessous pour calculer la vulnérabilité de chaque culture et unité administrative ou arrondissement.

Dans le cadre de vulnérabilité que nous utilisons ici, la vulnérabilité de chaque culture est calculée en utilisant les sensibilités spécifiques à la culture, l'exposition aux risques naturels et une série d'indicateurs de la capacité d'adaptation (équation 1), et les résultats sont ensuite additionnés pour obtenir la vulnérabilité globale (Parker et al. 2019).

$$Vulnérabilité\ globale = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} \left( \left( \frac{1}{2} \left( \frac{Zone\ de\ culture_i * S_i + E_i}{Superficie\ totale} \right) \right) - AC \right) \right]$$

[Équation 1]

Où  $i$  désigne chaque culture ; fait référence à l'étendue de la zone appropriée pour la culture  $i$  ; *Total area* pertains to all crops;  $S_i$  is the sensitivity of the value chain  $i$ ;  $E_i$  représente l'exposition de chaque culture ; et  $AC$  est la capacité d'adaptation.

Indice de sensibilité,  $S_i$ , a été déterminé en calculant la différence entre l'adéquation future et actuelle des cultures, puis en normalisant les valeurs sur une échelle allant de -1 à 1. Indices d'exposition,  $E_i$ , a été déterminé en obtenant les variables représentant l'exposition des chaînes de valeur telles que l'aridité, l'inondation, etc. et en extrayant les valeurs pour chaque arrondissement. Les valeurs obtenues ont ensuite été normalisées sur une échelle allant de 0 à 1. Capacité d'adaptation,  $AC$  d'autre part, a été déterminée en obtenant les variables qui améliorent la capacité d'adaptation du Sénégal, comme le taux d'alphabétisation, la santé, la pauvreté, etc. et en extrayant les valeurs pour chaque arrondissement. Les valeurs résultantes ont également été normalisées sur une échelle allant de 0 à 1. L'aptitude des cultures a été modélisée pour neuf cultures sélectionnées : le baobab, l'anacarde, le ditakh, le madd, la mangue, l'oignon, le gombo, le poivre et le riz, en utilisant le paquet de modèles d'aptitude Maxent dans le logiciel statistique R (Figure 2). Ces cultures ont été sélectionnées à partir d'une étude de la chaîne de valeur réalisée pour le projet AVENIR en février-mars 2020, qui les a identifiées comme étant les cultures les plus prometteuses pour le progrès socio-économique dans les régions de Tambacounda et Sédhiou. Pour obtenir un indice pour chaque variable de l'équation, par exemple un indice pour  $AC$  dans le calcul de la vulnérabilité totale pour une culture spécifique, tous les indices ont été additionnés et normalisés sur une échelle entre 0 et 1.

L'adéquation des cultures détermine l'efficacité d'une zone spécifique pour la production d'une culture particulière dans un système défini de production agricole, en fonction des conditions agro-climatiques liées à la température et à l'humidité, et des conditions agro-édaphiques liées aux sols et aux reliefs (Kassam et al., 2012 ; Nisar Ahamed et al., 2000).

Nous avons réalisé un modèle d'adéquation Maxent en utilisant les données disponibles sur la présence des cultures et les données climatiques maillées pour les scénarios actuels et futurs relatifs aux années 2050, et pour deux voies de concentration représentatives (RCP) : RCP 4.5 et RCP 8.5. Les RCP décrivent divers futurs climatiques dont la probabilité de survenue dépend du volume de gaz à effet de serre (GES) anthropiques émis au fil des ans. Le RCP 4.5 est un scénario intermédiaire fondé sur l'utilisation d'une série de technologies et de stratégies de réduction des émissions de GES. RCP 8.5 est un scénario haut de gamme caractérisée par une augmentation des émissions de GES au fil du temps. Nos données sur la présence des cultures proviennent de la base de données publique du Fonds mondial d'information sur la biodiversité (<http://www.gbif.org>). Les variables que nous avons utilisées comprennent des données climatiques avec des variables bio-climatiques relatives à la température en plus de la pente, de la texture du sol, du pH du sol et de l'engorgement. Nous avons obtenu les données climatiques actuelles de WorldClim 2.0 (Fick et Hijmans, 2017), tandis que nous avons téléchargé les données climatiques futures de CCAFS-Climate (Navarro-Racines et al., 2020). Nous avons calculé les données de pente à partir d'un modèle numérique d'élévation obtenu à partir de EarthExplorer de l'United States Geological Survey, et déterminé la texture et le pH du sol à partir de la base de données World Soil Information du Centre international de référence et d'information pédologique. Enfin, nous avons recueilli des informations sur l'engorgement des sols à partir de l'évaluation mondiale de la dégradation des sols de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (Fischer et al., 2008).

Nous présentons ces informations de deux manières : (1) l'ampleur actuelle (de référence) de l'adéquation ; (2) l'ampleur du changement selon les projections climatiques futures. L'ampleur du changement indique si l'adéquation des cultures augmente ou diminue par rapport à la période de référence. Dans la section suivante, nous présentons des cartes de concordance qui classent l'adéquation actuelle de zéro, c'est-à-dire les zones dont on prévoit qu'elles seront climatiquement inadaptées à la production de la culture, à un, où la zone présente les meilleures conditions climatiques adaptées à la production de la culture.

# 3.0 RÉSULTATS

## 3.1 Aptitude à la culture

L'aptitude actuelle des cultures sélectionnées dans les zones du projet montre que l'anacardier, le ditakh, le madd, le manguier et le riz ont une aptitude globale élevée sous le climat actuel à Sedhiou, tandis que le poivre aura une aptitude modérée à élevée. A Tambacounda, le poivre a une aptitude modérée. Le baobab, l'oignon et le riz présentent une forte adéquation dans les zones du nord-est bordant le Mali, et une faible adéquation dans les autres zones de la région. Le madd présente une forte adéquation dans la partie sud. Le riz à Tambacounda est adapté le long du fleuve Sénégal à l'est ainsi qu'au sud près de la région de Kolda. Le gombo est peu adapté dans les deux régions. Le baobab et l'oignon sont très peu adaptés à Sédhiou, tandis que le ditakh et l'anacarde sont peu adaptés à Tambacounda.

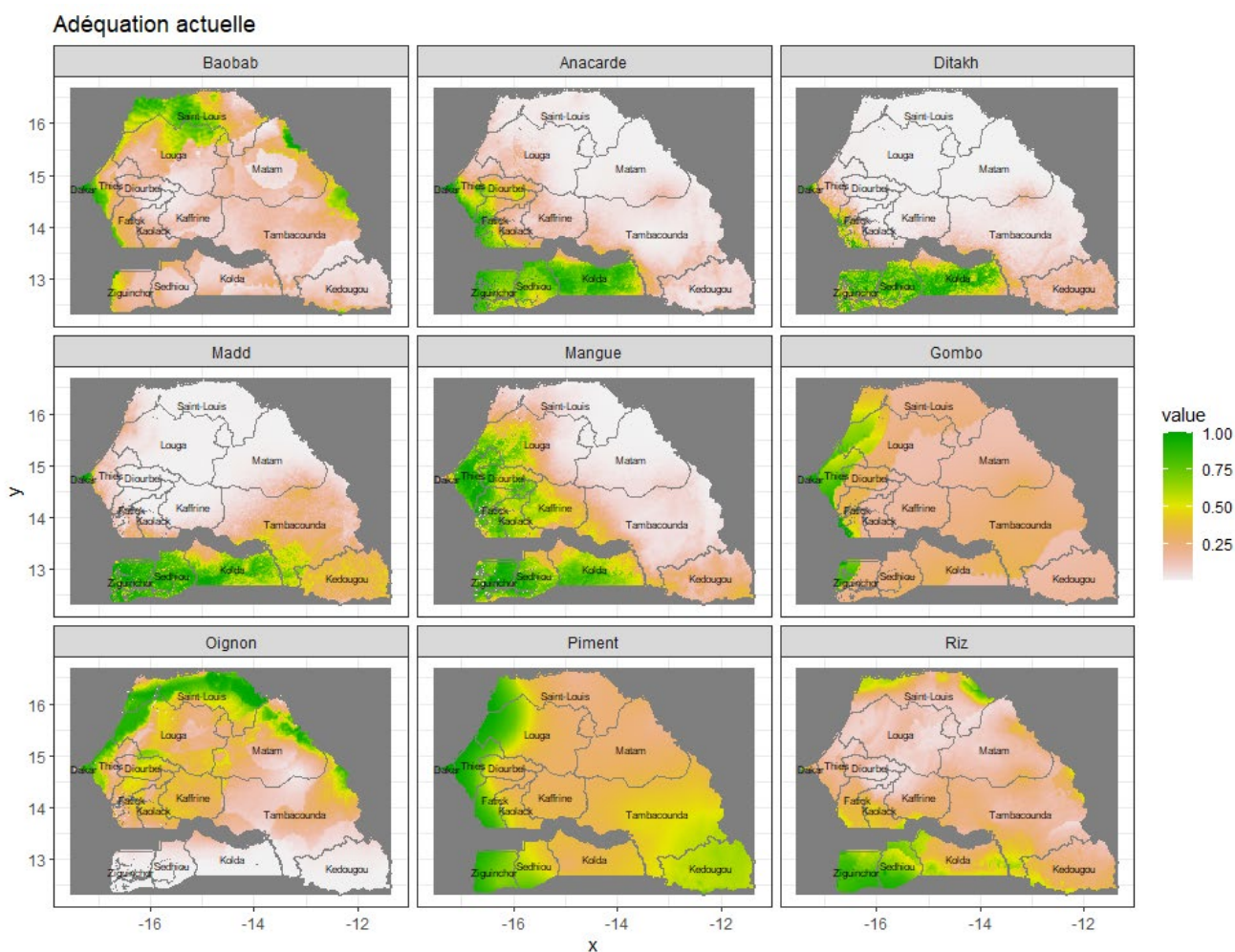
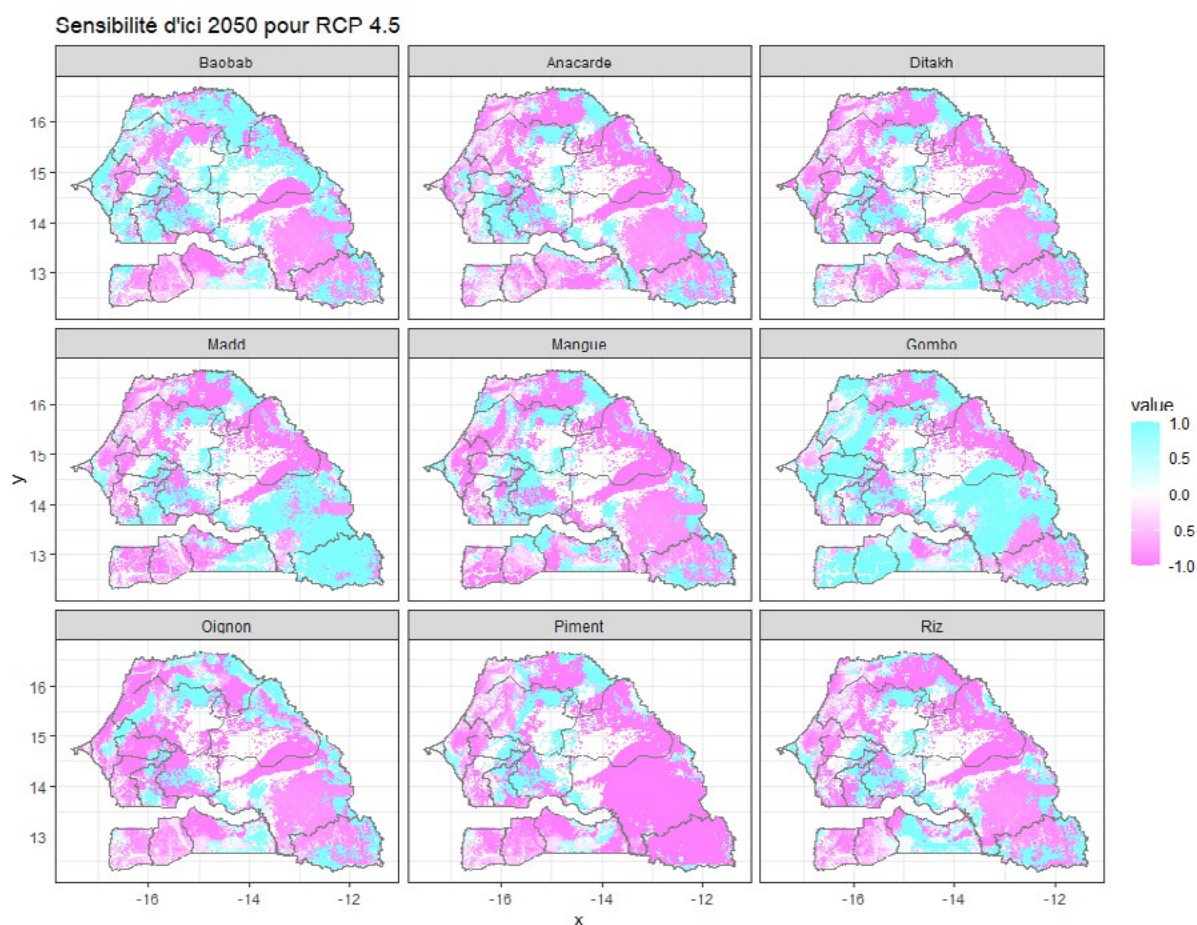


FIGURE 2 : Aptitude actuelle des cultures au Sénégal

## 3.2 La sensibilité des chaînes de valeur au changement climatique

La sensibilité exprime la relation entre les émissions d'origine humaine et les changements de température qui résulteront de ces émissions. Elle correspond à l'ampleur du réchauffement provoqué par l'augmentation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique (Hawkins et Forster, 2019). Fréquemment, la sensibilité est définie comme le changement de température résultant d'un doublement de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Dans ce cas, nous avons calculé la sensibilité en utilisant l'adéquation des cultures de sorte que nous comprenions la sensibilité comme le changement d'adéquation. Nous avons donc calculé la différence entre l'adéquation future et actuelle des cultures.

Nous avons analysé la sensibilité de toutes les cultures dans le cadre des projections climatiques futures pour les années 2050 sous RCP 4.5 (Figure 3). Toutes les cultures sélectionnées présentent un certain degré de sensibilité, soit une augmentation, soit une diminution. Une sensibilité accrue signifie que le changement climatique affectera les modèles de productivité de la culture. Les changements dans les cartes d'adéquation vont de -1, ce qui signifie des zones avec une perte de 100 % de l'adéquation des cultures, à +1, ce qui représente des zones où l'adéquation augmente de 100 %. Dans les années 2050, selon le scénario RCP 4.5, la noix de cajou, le poivre et le riz sont les cultures les plus sensibles, tandis que le baobab, la mangue, le gombo et l'oignon sont les moins sensibles. Dans ce scénario, le baobab et le gombo présentent une adéquation croissante dans la plupart des régions du Sénégal, l'anacarde et le ditakh vers le centre du Sénégal et le madd vers le sud-est et le centre du Sénégal. L'aptitude de l'oignon le long de la vallée du fleuve Sénégal et en Casamance, en particulier dans la région de Kolda, augmente, tandis que l'aptitude diminue dans l'ouest du pays. Une diminution de l'aptitude est probable pour le riz le long de la vallée du fleuve Sénégal ainsi qu'à Sédhiou avec une augmentation de l'aptitude dans les zones de la Casamance qui se déplace vers la région de Kolda à l'est de Sédhiou. Il y a une diminution de l'aptitude pour le poivre en Casamance, à Tambacounda, à Kedougou et dans la partie ouest du pays avec une augmentation de l'aptitude dans les zones centrales.



**FIGURE 3 :** Changements dans l'adéquation de certaines chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 4.5. 1,0 indique une augmentation de l'adéquation et -1,0 une perte d'adéquation.

Pour les zones du projet AVENIR, il y a une probabilité de diminution de l'aptitude pour le riz, le poivre, le madd, l'anacarde et le ditakh à Sédhiou avec une augmentation de l'aptitude pour la mangue au nord et le gombo. Des poches d'augmentation de l'aptitude à la culture de l'anacarde et du ditakh sont observées dans toute la région. Bien que le baobab ne soit pas actuellement adapté dans cette région, une réduction supplémentaire de l'aptitude est présentée dans ce scénario. A Tambacounda, il y a une probabilité d'augmentation de l'adéquation pour le gombo, le baobab à l'est, l'anacarde et le ditakh à l'ouest et à l'est et la mangue et l'oignon à l'est, ce qui pourrait conduire à une augmentation de la production d'ici 2050 pour RCP 4.5. L'anacarde et le ditakh montrent cependant une aptitude décroissante dans le centre de Tambacounda tandis que le madd, le poivre et le riz montrent une forte diminution de l'aptitude d'ici 2050 pour le RCP4.5.

Les résultats pour le RCP 8.5 pour les années 2050 sont présentés dans les figures supplémentaires de l'annexe. Les résultats montrent une augmentation de l'adéquation du baobab et du gombo avec une augmentation de l'adéquation de l'anacardier, du ditakh et du madd vers l'est. L'aptitude de la mangue, du gombo et de l'oignon se déplace vers le nord du Sénégal, tandis que l'aptitude du poivre augmente vers le centre, l'est et le sud-est du pays. L'aptitude du riz, par contre, diminue le long de la vallée du fleuve Sénégal mais augmente vers les parties centrales du pays et en Casamance et plus encore à Sédhiou. Ceci montre une forte probabilité que ces chaînes de valeur se déplacent des zones de production actuelles, ce qui pourrait conduire à une diminution de la production dans les zones actuellement en production et par conséquent à l'insécurité alimentaire. Il est donc nécessaire de prendre en compte la production de ces nouvelles zones.

### 3.3 Exposition aux risques naturels

Le Sénégal reste vulnérable aux chocs climatiques, notamment aux aléas naturels dont l'ampleur et l'étendue devraient augmenter en raison de la variabilité climatique (Simonet et Jobbins, 2016). Ces aléas comprennent les sécheresses et les inondations, qui reviennent de manière saisonnière et affectent les moyens de subsistance. L'augmentation des précipitations et l'élévation du niveau de la mer représentent un grand risque pour les personnes vivant dans les zones côtières et urbaines, qui représentent environ 67 % de la population du Sénégal (Croitoru et al., 2019 ; USAID, 2011). La variation du début de la saison de croissance, quant à elle, accroît la vulnérabilité des agriculteurs qui n'ont pas accès à l'irrigation, car ils ne sont pas en mesure de programmer le calendrier des activités culturales telles que le semis et la récolte. Pour évaluer la vulnérabilité, nous avons cartographié les risques naturels comme indiqué dans le tableau 1 ci-dessous.

Les sécheresses des années 1970 et 1980 ont contribué à l'insécurité alimentaire au Sénégal et dans le Sahel en général (USAID, 2017). Les récentes sécheresses survenues en 2000 ont entraîné une baisse de 74 % des revenus de l'arachide et diminué de 60 % les revenus du mil et du sorgho (Banque mondiale, 2011). D'autres sécheresses ont eu lieu en 2002, touchant 284 000 personnes, en 2006/2007 et en 2011, touchant 806 000 personnes (PAM, 2013). Les sécheresses de 2014, 2017 et 2018 ont touché 245 000 personnes (Bhaga et al., 2020).

Les inondations, quant à elles, sont devenues fréquentes en raison de l'augmentation des épisodes de fortes précipitations (USAID, 2017). Entre 2000 et 2012, des dommages résultant d'inondations ont eu lieu pendant au moins 8 années. En 2002, 179 000 personnes ont été touchées ; en 2008, 250 000 personnes ; et en 2009, 360 000 personnes (PAM, 2013). Les inondations de 2012 le long du fleuve Sénégal et dans les zones de basse altitude du Grand Dakar ont affecté plus de 265 000 personnes, exacerbant la crise de sécurité alimentaire induite par la sécheresse de 2011/2012 (PAM, 2012). Plus récemment, en 2020 des précipitations supérieures à la normale ont entraîné des inondations (ReliefWeb, 2020). En l'absence de pratiques d'atténuation, les inondations et les sécheresses consécutives peuvent provoquer une grave dégradation des terres, aggravant la crise d'insécurité alimentaire. La dégradation des terres au Sénégal est liée à la salinisation des terres agricoles, notamment des rizières, à l'érosion hydrique qui provoque le décapage et le ravinement, et à l'érosion éolienne qui enlève la couche superficielle des sols et détruit leur potentiel de production (Sow et al., 2016).



TABLEAU 1 : Principaux risques naturels au Sénégal

Risque	Référence (s) justifiant l'inclusion	Data link
Sécheresse	(Epule et al., 2014) (Sall et al., 2015) (USAID, 2017)	<a href="https://bit.ly/2pgeN0p">https://bit.ly/2pgeN0p</a>
Érosion des sols	(Sow et al., 2016)	<a href="https://bit.ly/2JBU0eC">https://bit.ly/2JBU0eC</a>
Inondations	(USAID, 2017) (WFP, 2013)	<a href="https://bit.ly/34kl9ux">https://bit.ly/34kl9ux</a>
Feux	(Sow et al., 2016)	<a href="https://go.nasa.gov/3200nPc">https://go.nasa.gov/3200nPc</a>
Salinisation	(Sow et al., 2016) (Thiam et al., 2019) (Diack et al., 2019) (Wopereis et al., 1998)	<a href="http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/soil-qualities-data/en/">http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/soil-qualities-data/en/</a>
Engorgement	(Komivi et al., 2018) (Diack et al., 2017)	<a href="http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/soil-qualities-data/en/">http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/soil-qualities-data/en/</a>

Nous avons extrait les données au format raster comme une moyenne pour chaque arrondissement du Sénégal et ensuite normalisé à une échelle de 0 à 1. Pour chaque arrondissement, ces données ont ensuite été utilisées pour calculer la vulnérabilité en appliquant l'équation 1. La figure 4 montre la distribution spatiale des six risques naturels considérés : l'aridité, l'érosion, les incendies, les inondations, la salinisation et l'engorgement. L'aridité touche les régions du Nord du Sénégal, le feu, les régions du Sud-Est et l'érosion les régions du centre ; les inondations et la salinisation ont un impact particulier dans les régions du Sud-Ouest de Ziguinchor et de Sédhiou et dans les régions proches de la côte. L'engorgement est surtout observé dans les régions du sud du Sénégal, comme la Casamance, qui reçoit également des niveaux élevés de précipitations. L'exposition aux conditions arides est particulièrement importante dans le Nord et moins dans le Sud.

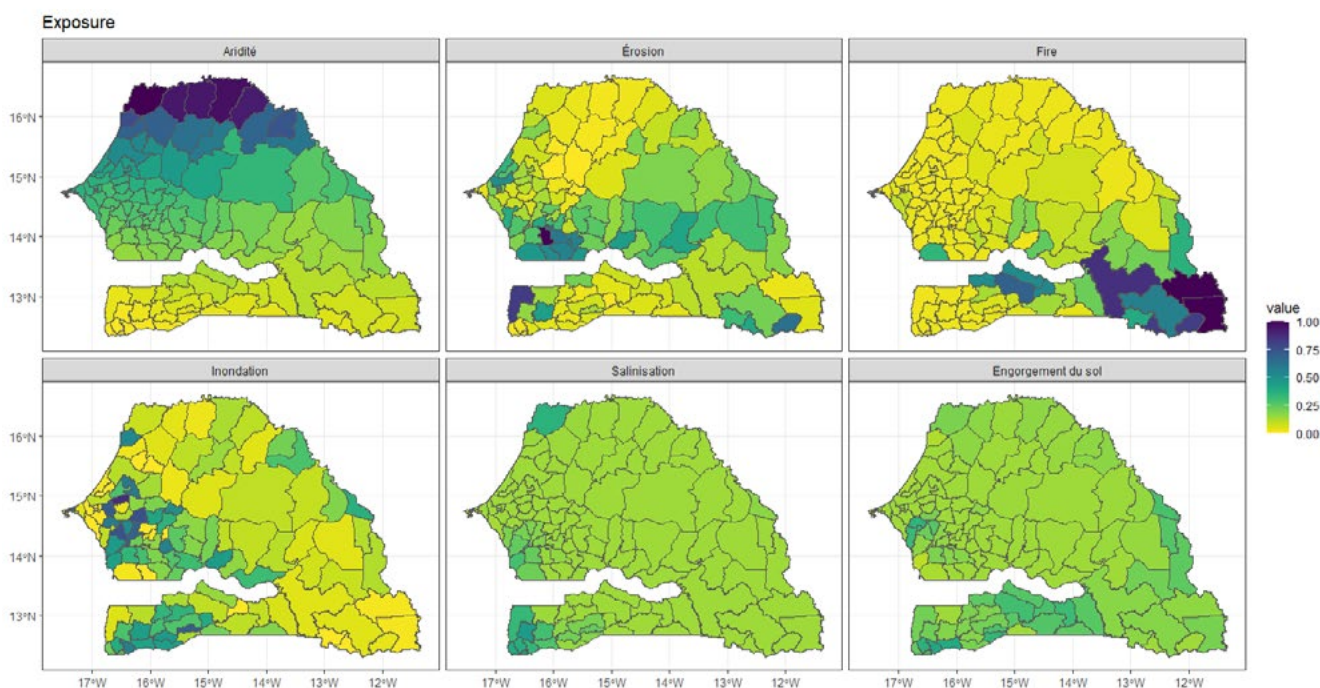


FIGURE 4 : Distribution spatiale des risques naturels au Sénégal

Nous avons calculé les changements de température pour les quatre scénarios afin de montrer le rythme auquel les températures au Sénégal devraient augmenter (Figure 5). D'ici les années 2050, pour le scénario RCP 4.5, les températures devraient augmenter légèrement dans l'Est et le Sud-Est du Sénégal, avec la plus forte augmentation dans la région de Tambacounda. Dans certaines parties des régions de Thiès et de Louga, les températures resteront similaires à celles d'aujourd'hui. Des changements de température encore plus importants sont prévus selon le RCP 8.5 pour les années 2050, en particulier pour les régions de l'Est, du Sud et du Sud-Est du Sénégal. Certains arrondissements de la région de Tambacounda connaîtront les plus fortes augmentations de température. Les changements de température signifient un stress thermique, qui a un impact négatif sur l'agriculture.

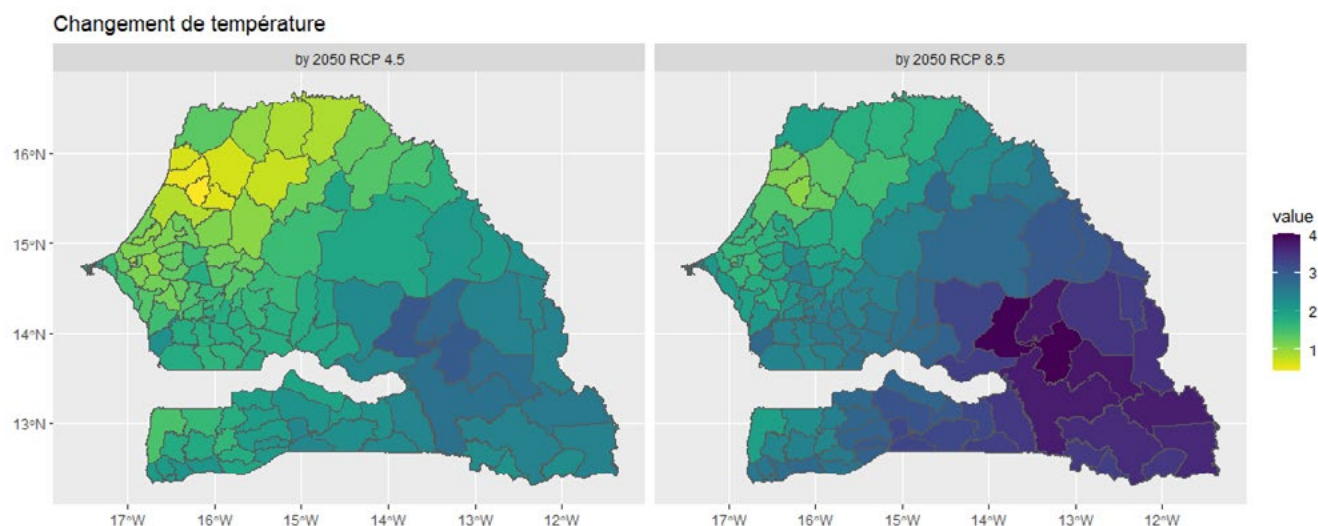


FIGURE 5 : Changements de température sous les RCP 4.5 et 8.5 pour les années 2050.

### 3.4 Capacité d'adaptation

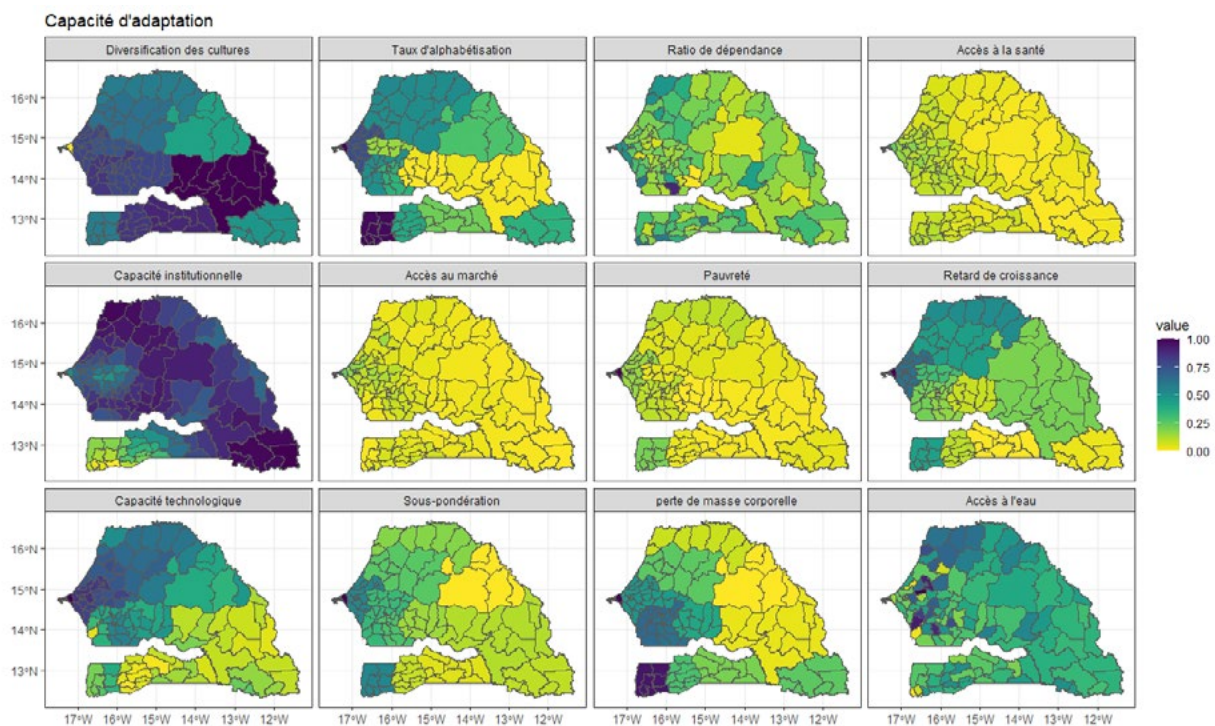
La capacité d'adaptation désigne l'aptitude d'un système à se préparer à l'avance aux contraintes et aux changements climatiques (Smit et al., 2003) ou la capacité à s'adapter et à répondre aux effets causés par le changement climatique (GIEC, 2014). Une capacité d'adaptation accrue signifie de meilleures possibilités pour les systèmes de gérer les impacts climatiques de diverses magnitudes (GIEC, 2012). Pour cette analyse de vulnérabilité, nous avons rassemblé des données géospatiales sur les variables qui renforcent la capacité d'adaptation au Sénégal (tableau 2). Nous avons ensuite normalisé ces variables de sorte que 0 indique une absence de capacité d'adaptation et 1 correspond à une capacité d'adaptation absolue. Par exemple, la pauvreté a été inversée de sorte qu'une valeur plus élevée indique un faible capacité d'adaptation.

TABLE 2: Variables de capacité d'adaptation utilisées dans l'évaluation de la vulnérabilité pour le Sénégal

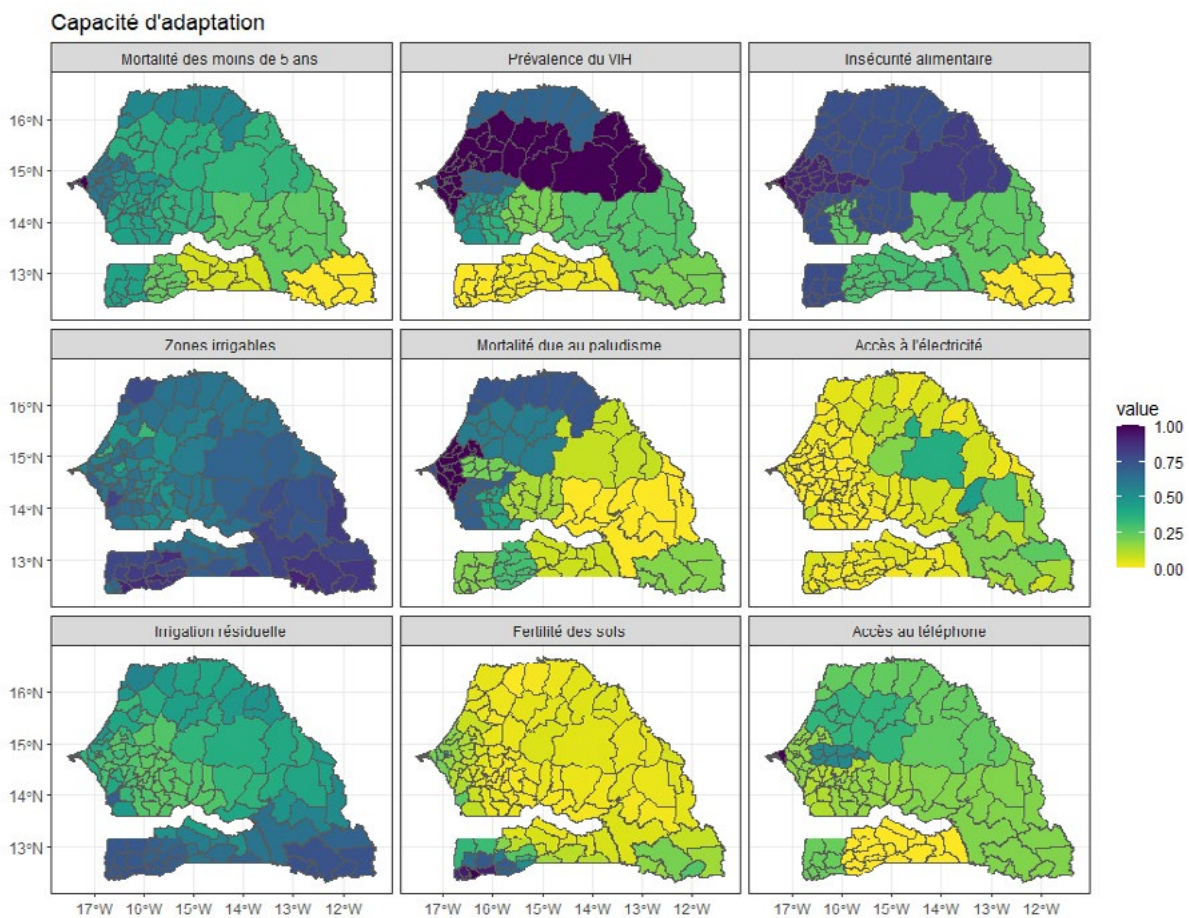
Variable	Description
Diversification des cultures	Obtenu en comptant le nombre total de cultures qui poussent dans chaque arrondissement. Les zones de distribution des cultures ont été tirées de MapSPAM, le site Web du modèle d'allocation spatiale de la production (You et al., 2017).
Taux d'alphabétisation	Le pourcentage de la population d'un groupe d'âge donné qui sait lire et écrire. Le taux d'alphabétisation des adultes a été obtenu à partir de la proportion d'adultes ayant accédé à l'enseignement primaire.
Ratio de dépendance	Le rapport entre, d'une part, le nombre d'enfants âgés de 0 à 14 ans et de personnes âgées de 65 ans ou plus et, d'autre part, la population en âge de travailler entre 15 et 64 ans (ONU, 2006).
Accès aux soins de santé	Distance des établissements de soins de santé (Maina et al., 2019).
Capacité Institutionnelle	L'indice de capital institutionnel concerne l'"indice de gouvernance", l'"indice de conflictualité" et l'"indice de gestion environnementale" d'une institution (ClimAfrica, 2014).
Accès aux marchés	Le temps de trajet vers les grandes villes est utilisé comme mesure de l'accessibilité des marchés.
Indice de pauvreté	La proportion de la population vivant dans des ménages en dessous du seuil de pauvreté international, où la consommation ou le revenu quotidien moyen par personne est inférieur à 1,25 \$ par jour, mesuré aux prix internationaux de 2005 ajustés à la parité de pouvoir d'achat.

Variable	Description
Retard de croissance	Le pourcentage d'enfants de moins de 5 ans dont le score standard (z-score) est inférieur à -2 écarts-types de la taille médiane pour l'âge selon les normes de croissance de l'enfant de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).
Emaciation	Pourcentage d'enfants de moins de 5 ans dont le score standard (z-score) est inférieur à -2 écarts types par rapport au poids médian par rapport à la taille, selon les normes de croissance de l'enfant de l'OMS.
Insuffisance pondérale des enfants	Pourcentage d'enfants de moins de 5 ans dont le score standard (score z) est supérieur à +2 écarts types par rapport au poids médian pour l'âge, selon les normes de croissance de l'enfant de l'OMS.
Capacité technologique	Une combinaison de deux indices sous-jacents : « l'indice des technologies domestiques » et « l'indice des infrastructures ». La capacité technologique est liée à la diffusion des technologies et des infrastructures vitales de base, comme les réseaux de transport.
Accès à l'eau	Distance au plan d'eau la plus proche. Cette variable représente l'accès à l'irrigation et à l'eau pour la consommation des ménages.
Mortalité des moins de 5 ans	Fait référence à la probabilité de mourir entre la naissance et l'âge de cinq ans exactement, exprimée pour 1 000 naissances vivantes.
Prévalence du VIH	Pourcentage de la population vivant avec le VIH pour 1 000 personnes.
Insécurité alimentaire	Les personnes dont la consommation alimentaire est insuffisante. Cette variable est exprimée en consommation alimentaire faible ou limite, selon le score de consommation alimentaire.
Superficies irrigable	Les zones considérées comme ayant un fort potentiel d'irrigation en raison de leur proximité des sources d'eau, et les zones dont les sols contiennent plus d'argile sont également plus adaptées à l'irrigation car l'argile améliore la capacité de rétention d'eau du sol.
Mortalité due au paludisme	Mortalité des moins de 5 ans due aux infections paludéennes.
Accès à l'électricité	Accès à l'énergie électrique (Falchetta et al., 2019).
Potentiel d'irrigation d'eau résiduelle	Zones où l'on prévoit que l'eau restera plus longtemps sur le sol après une pluie. Cette variable est estimée à partir de données telles que la pente et la capacité de rétention d'eau du sol, son argile et sa teneur en carbone organique.
Fertilité du sol	Indice de fertilité du sol (Lu et al., 2002).
Possession de téléphone	Nombre de ménages possédant un téléphone mobile.

Les indicateurs de la capacité d'adaptation représentés ici varient considérablement entre les différentes régions et arrondissements du Sénégal. Par exemple, certains arrondissements avaient une capacité d'adaptation très faible associée à la pauvreté, mais une capacité d'adaptation élevée associée à la diversification des cultures et à l'accès aux hôpitaux, aux marchés et aux zones irrigables. Les taux de retard de croissance, d'insuffisance pondérale des enfants, d'émaciation, de paludisme et de pauvreté sont généralement élevés dans les régions Ouest du pays. En outre, l'accès aux soins de santé, à l'eau, aux marchés et à la fertilité des sols est faible dans les régions de l'Ouest. Ces variables s'améliorent à l'Est et vers Dakar. Les régions autour de Dakar et de Ziguinchor présentent des taux plus faibles de retard de croissance, d'insuffisance pondérale chez les enfants et d'émaciation, ainsi qu'un meilleur accès aux soins de santé, à l'eau et aux marchés ; ces régions sont également caractérisées par de faibles taux de pauvreté et des niveaux plus élevés de fertilité des sols. Par rapport à l'Ouest du Sénégal, les régions orientales sont confrontées à des taux élevés de prévalence du VIH et à un faible accès à l'électricité (figures 6a et 6b).



**FIGURE 6a:** Distribution spatiale des indicateurs de capacité d'adaptation pour le Sénégal. Une valeur de zéro indique une capacité d'adaptation nulle, et une valeur de 1 indique une capacité d'adaptation absolue.



**FIGURE 6b:** Spatial distribution of adaptive capacity indicators for Senegal. A value of zero indicates no adaptive capacity, and a value of 1 indicates absolute adaptive capacity.

Parmi les variables qui pourraient contribuer à accroître la capacité d'adaptation, citons l'augmentation des taux d'alphabétisation par la création d'un plus grand nombre d'établissements d'enseignement et le renforcement de leurs capacités, l'amélioration de l'accès aux soins de santé, l'amélioration des résultats nutritionnels par la réduction des taux d'enfants souffrant de retards de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale, l'amélioration de la commercialisation et des transports, la diversification des cultures et le développement des infrastructures d'irrigation, en particulier dans les régions disposant de zones irrigables.

### 3.5 La vulnérabilité du secteur agricole sénégalais au changement climatique

En appliquant l'équation 1 à tous les indicateurs de sensibilité, d'exposition et de capacité d'adaptation, nous avons calculé la vulnérabilité du secteur agricole sénégalais au changement climatique. Notre analyse s'est concentrée sur le climat futur pour le RCP 4.5, un scénario intermédiaire qui suppose une mise en œuvre partielle de l'Accord de Paris, et le RCP 8.5, le scénario du statu quo, pour les années 2050.

La vulnérabilité globale des cultures dans les années 2050 selon le scénario RCP 4.5 est plus importante dans les régions de Kaffrine, Tambacounda, Sedhiou, Kolda et Kedougou, qui se trouvent principalement dans les parties centrale, méridionale et sud-est du Sénégal. Il existe également d'autres arrondissements spécifiques à forte vulnérabilité ailleurs dans le pays (Figure 7a). En revanche, la vulnérabilité est la plus faible dans les zones proches de Dakar et de Thiès. Certaines zones du nord, notamment dans les régions de Thiès et de Louga, ont une vulnérabilité moindre au changement climatique, probablement en raison de la facilité d'accès aux marchés, de la forte capacité technologique et institutionnelle.

Pour le RCP 8.5 dans les années 2050, la vulnérabilité au changement climatique augmente par rapport au RCP 4.5 (Figure 7b) mais reste plus élevée dans les régions de Kaffrine, Tambacounda, Sedhiou, Kolda et Kedougou. Dans le cadre du RCP 8.5 pour les années 2050, le changement climatique entraînera une augmentation de la vulnérabilité, en particulier dans les zones du nord-est du Sénégal, en plus des zones qui sont déjà très vulnérables (figure 7d).

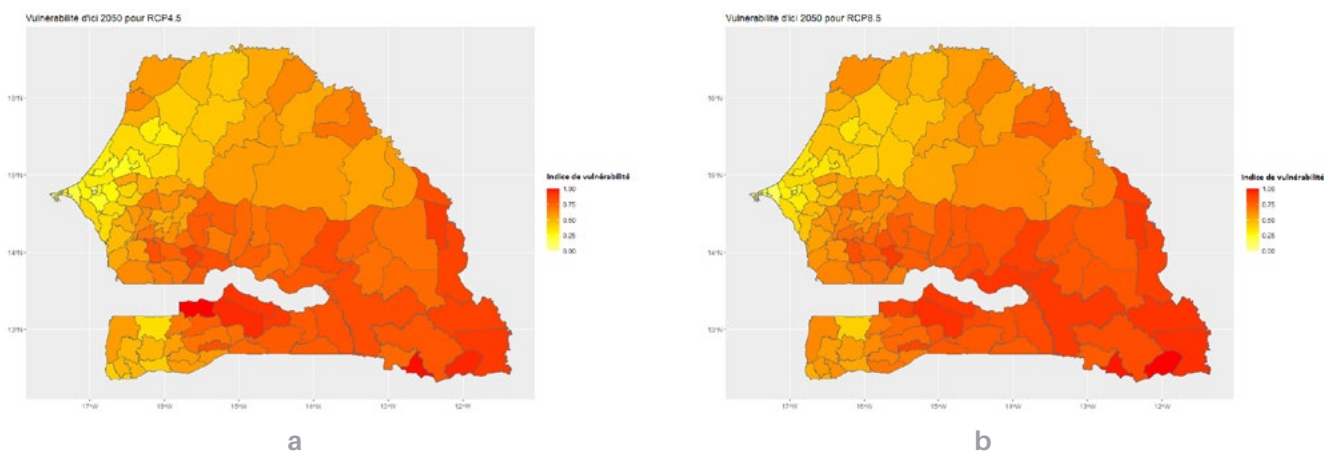


FIGURE 7: Vulnérabilité globale de l'agriculture sénégalaise au changement climatique

La comparaison de la vulnérabilité entre le RCP 4.5 et le RCP 8.5 montre une augmentation de la vulnérabilité pour toutes les régions du Sénégal pour le RCP8.5 par rapport au RCP4.5 (Figure 8). Cela montre que dans le RCP 8.5, qui est un avenir improbable à haut risque, les régions du Sénégal seront plus vulnérables aux effets du changement climatique par rapport au RCP 4.5, qui donne un avenir plus optimiste. L'augmentation la plus importante de la vulnérabilité est observée dans les arrondissements de Sédhiou, à l'exception d'un arrondissement au nord, tandis que la plus faible est observée dans la plupart des arrondissements de Kedougou et de Tambacounda. Les autres régions où l'augmentation de la vulnérabilité est plus faible sont Ziguinchor, Kaolack, Fatick et Thiés.

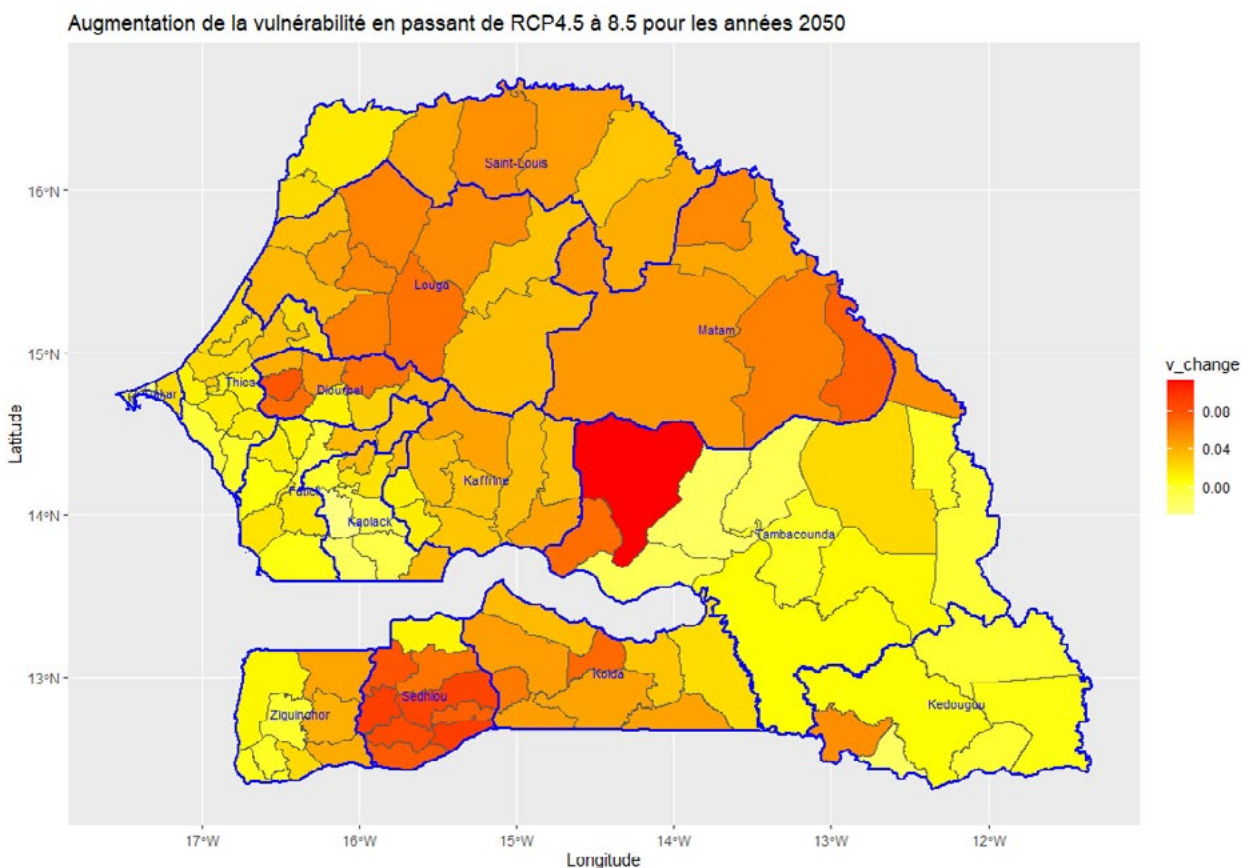
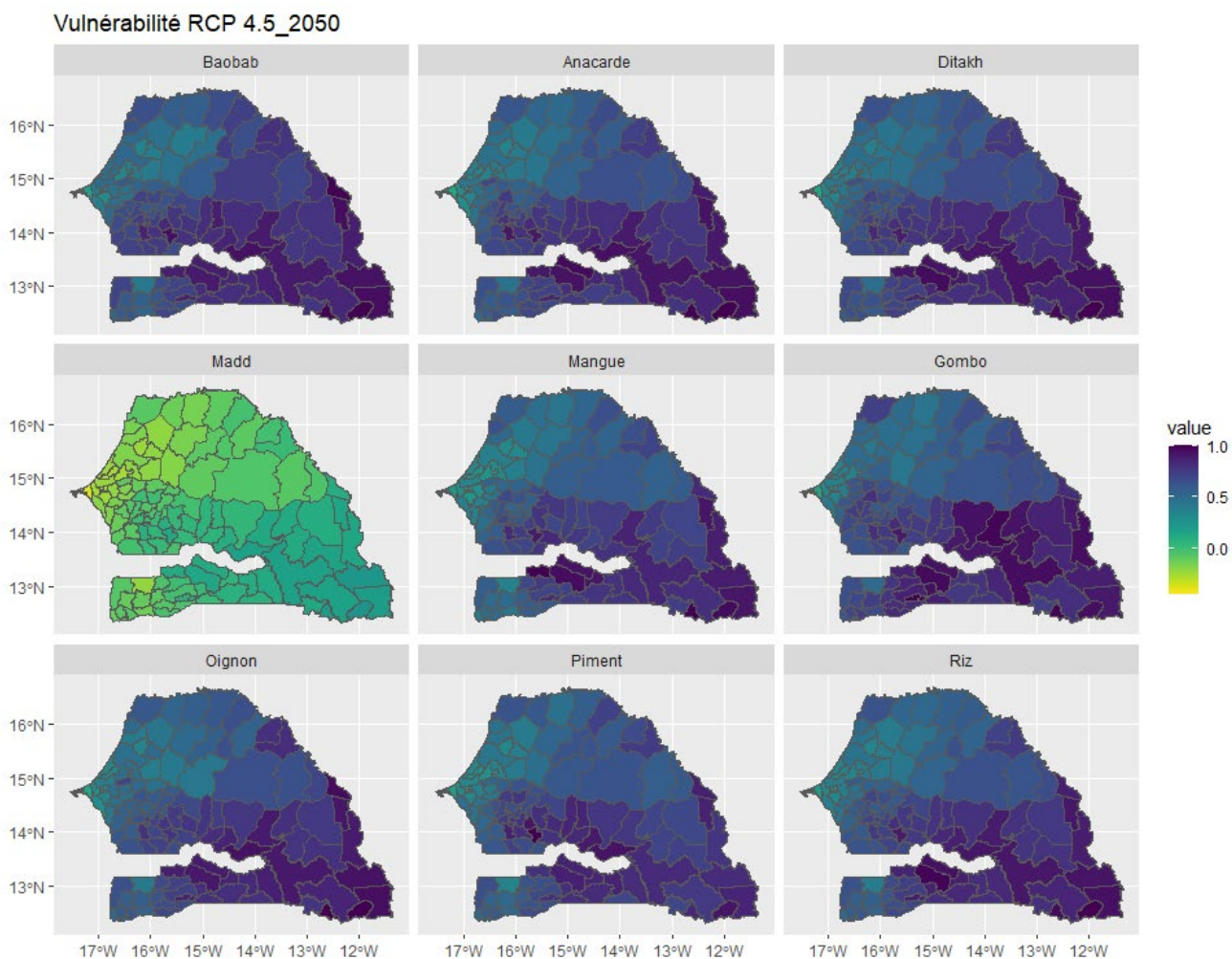


FIGURE 8 : Différence de vulnérabilité entre RCP 4.5 et RCP 8.5 pour les années 2050

Dans les zones les plus vulnérables, c'est-à-dire le centre, le sud et le sud-est du Sénégal, la plupart des cultures analysées ont été confrontées à une réduction significative de leur adéquation. Ces zones connaissent également des taux de pauvreté élevés, un accès limité aux établissements de santé, des taux élevés d'enfants souffrant de retard de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale, ainsi qu'une mortalité élevée due au paludisme. En outre, ces zones ont un accès limité aux marchés, des taux d'alphabétisation faibles, une insécurité alimentaire importante et une faible capacité technologique. Cependant, ces zones offrent également les meilleures opportunités pour l'agriculture utilisant l'irrigation et l'humidité résiduelle du sol.

Les neuf cultures analysées sont toutes plus vulnérables vers le sud-est du Sénégal, dans les régions de Tambacounda, Kaffrine, Sédhiou, Kolda et Kedougou, mais le madd présente une valeur de vulnérabilité plus faible par rapport aux autres chaînes de valeur. Au nord, les baobabs sont légèrement vulnérables. Le gombo est légèrement vulnérable au nord-ouest ; l'oignon au nord-est et le riz au nord-est le long de la vallée du fleuve Sénégal. Les mangues, le madd et le poivre sont les cultures les moins vulnérables au Sénégal (figure 9). Cette situation est attribuée à des variations climatiques accrues dans l'est et le sud du Sénégal, qui entraînent un déclin général de l'aptitude des cultures.



**FIGURE 9:** Contribution des différentes chaînes de valeur agricoles à la vulnérabilité globale au changement climatique à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 4.5. La figure supplémentaire S4 de l'annexe présente les résultats pour le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2050.

## CONCLUSION

Plus de 70% de la population sénégalaise dépend de l'agriculture, en particulier dans les zones rurales. Avec l'augmentation de la population jeune, il est essentiel de donner aux jeunes les compétences techniques nécessaires pour créer des entreprises rentables et des opportunités d'emploi dans les chaînes de valeur agricoles. Le manque d'opportunités économiques est un facteur clé de l'émigration au Sénégal. Bien qu'il dispose d'environ 1,5 million d'hectares de terres cultivées et d'un potentiel d'irrigation de 240 000 hectares, le pays n'irrigue actuellement que 10 pour cent de la superficie cultivée.

L'évaluation de la vulnérabilité des cultures sélectionnées au Sénégal est basée sur leur sensibilité au changement climatique, leur exposition et leurs capacités d'adaptation. Nous avons identifié la sécheresse, l'érosion des sols, les inondations, les incendies, la salinisation et l'engorgement comme les principaux risques naturels représentant l'exposition au changement climatique au Sénégal. La capacité d'adaptation de la population agricole peut être renforcée en augmentant les taux d'alphabétisation, en améliorant l'accès aux établissements d'enseignement et aux services de santé, en améliorant les résultats nutritionnels pour réduire les taux d'enfants souffrant de retard de croissance, d'émaciation et d'insuffisance pondérale, et en développant les infrastructures de commercialisation, de transport et d'irrigation. Les zones prioritaires pour l'amélioration de la vulnérabilité des cultures comprennent les régions de l'est, du sud et du sud-est du Sénégal, qui englobent les régions de Kaffrine, Tambacounda, Sedhiou, Ziguinchor, Diourbel, Fatick, Kolda et Kedougou.

Dans le cadre du changement climatique, il y aura un déclin de l'adéquation des cultures pour les neuf chaînes de valeur, en particulier dans les régions du sud et du sud-est du Sénégal. Il y a également un changement notable dans l'adéquation des noix de cajou, du ditakh et du madd vers l'est et du gombo et des oignons vers le nord. Diverses interventions intelligentes sur le plan climatique seront donc de la plus haute importance pour réduire les effets du changement climatique sur les chaînes de valeur sélectionnées. L'adoption de pratiques telles que le reboisement ainsi que les technologies qui augmentent la couverture des cultures et réduisent l'érosion pourraient améliorer la rétention d'eau dans le sol. D'autres possibilités incluent l'irrigation et la récolte des eaux de crue pour la culture.

Les interventions agricoles visant à améliorer la nutrition, notamment la diversification des cultures pour des régimes alimentaires plus sains, l'augmentation de la production pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle et les stratégies de communication pour promouvoir des changements positifs dans les connaissances, les attitudes, les normes, les croyances et les comportements, renforceront la capacité à s'adapter, à faire face ou à bénéficier des variations climatiques attendues dans le pays.



# RÉFÉRENCES

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://bit.ly/3wAj6SD>
- Alessandro, S.D., Fall, A.A., Grey, G., Simpkin, S., Wane, A., 2015. SENEGAL AGRICULTURAL SECTOR RISK ASSESSMENT.
- Bhaga, T.D., Dube, T., Shekede, M.D., Shoko, C., 2020. Impacts of climate variability and drought on surface water resources in sub-saharan africa using remote sensing: A review. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs12244184>
- Camberlin, P., Diop, M., 2003. Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. *Clim. Res.* 23, 159–169. <https://bit.ly/3wCgOT0>
- CIRAD, 2015. Sénégal / Terrains - PPZS [WWW Document]. URL <https://bit.ly/3FVfsXK>.
- ClimAfrica, 2014. INSTITUTIONAL CAPITAL INDEX.
- Croitoru, L., Miranda, J.J., Sarraf, M., 2019. The Cost of Coastal Zone Degradation in West Africa, The Cost of Coastal Zone Degradation in West Africa. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/31428>
- D'Alessandro, S., Fall, A.A., Grey, G., Simpkin, S., Wane, A., 2015. Senegal. Agricultural sector risk assessment.
- Diack, M., Diop, T., Ndiaye, R., Lal, R., Ram Singh, B., Mwaseba, D.L., Kraybill, D., Hansen, D.O., Olav, L., 2019. Restoration of Degraded Lands Affected by Salinization Process under Climate Change Conditions: Impacts on Food Security in the Senegal River Valley 978. <https://bit.ly/3FT08hv>
- Diack, M., Loum, M., Guisse, A., Sane, M.B., 2017. Dynamics of agricultural land and the risk to food insecurity in the Niayes region of Diamniadio, West Senegal. *Jamba J. Disaster Risk Stud.* 9. <https://doi.org/10.4102/jamba.v9i1.355>
- Diagne, M., Demont, M., Seck, P.A., Diaw, A., 2013. Self-sufficiency policy and irrigated rice productivity in the Senegal River Valley. *Food Secur.* 5, 55–68. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0229-5>
- Doso Jnr, S., 2014. Land degradation and agriculture in the Sahel of Africa: causes, impacts and recommendations. *J. Agric. Sci. Appl. (J. Agric. Sci. Appl.)* J. Agric. Sci. Appl 3, 67–73. <https://doi.org/10.14511/jasa.2014.030303>
- Epule, E.T., Peng, C., Lepage, L., Chen, Z., 2014. The causes, effects and challenges of Sahelian droughts: A critical review. *Reg. Environ. Chang.* 14, 145–156. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0473-z>
- Falchetta, G., Pachauri, S., Parkinson, S., Byers, E., 2019. A high-resolution gridded dataset to assess electrification in sub-Saharan Africa. *Sci. Data* 6, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0122-6>
- Fall, S., 2020. Assessing the impacts of Climate Change in Senegal: A Case Study of Casamance Region. PAUWES.
- Fall, S., Niyogi, D., Semazzi, F.H.M., 2006. Analysis of mean climate conditions in Senegal (1971-98). *Earth Interact.* 10, 1. <https://doi.org/10.1175/EI158.1>
- Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., Van Velthuisen, H.T., Verelst, L., Wiberg, D., 2008. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria FAO, Rome, Italy 10.
- Foden, W.B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Vié, J.C., Akçakaya, H.R., Angulo, A., DeVantier, L.M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S.D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R.A., Hughes, A.F., O'Hanlon, S.E., Garnett, S.T., Şekercioğlu, Ç.H., Mace, G.M., 2013. Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLoS One* 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427>

- Frederiksen, P., Langaas, S., Mbaye, M., 1990. NOAA-AVHRR and GIS-Based Monitoring of Fire Activity in Senegal — a Provisional Methodology and Potential Applications. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 400–417. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_17)
- GBIF.org (25 October 2020) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.wpnuyc>
- Hawkins, E., Forster, P., 2019. Climate sensitivity: how much warming results from increases in atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)? *Weather* 74, 134–134. <https://doi.org/10.1002/wea.3400>
- IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. <https://bit.ly/3a9M8B5>.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.
- Kassam, Amir, Lutaladio, NeBambi, Friedrich, Theodor, Kueneman, Eric, Salvatore, Mirella, Bloise, Mario, Tschirley, Jeff, 2012. Natural Resource Assessment for Crop and Land Suitability: An application for selected bioenergy crops in Southern Africa region.
- Komivi, D., Marie, A.M., Rong, Z., Qi, Z., Mei, Y., Ndiaga, C., Diaga, D., Linhai, W., Xiurong, Z., 2018. The contrasting response to drought and waterlogging is underpinned by divergent DNA methylation programs associated with transcript accumulation in sesame. *Plant Sci.* 277, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.09.012>
- Lu, D., Moran, E., Mausel, P., 2002. Linking Amazonian secondary succession forest growth to soil properties. *L. Degrad. Dev.* 13, 331–343. <https://doi.org/10.1002/ldr.516>
- Lucio, P.S., 2012. A study on the west Sahel rainfall variability: The role of the intertropical convergence zone (ITCZ). *AFRICAN J. Agric. RESEARCH* 7, 2096–2113. <https://doi.org/10.5897/ajar11.627>
- Mahé, G., Somé, B., Pierre Triboulet, J., 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrol. Sci. J.* 47, 553. <https://doi.org/10.1080/02626660209492960>
- Maina, J., Ouma, P.O., Macharia, P.M., Alegana, V.A., Mitto, B., Fall, I.S., Noor, A.M., Snow, R.W., Okiro, E.A., 2019. A spatial database of health facilities managed by the public health sector in sub-Saharan Africa. *Sci. Data* 6, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0142-2>
- Marteau, R., Moron, V., Philippon, N., 2009. Spatial coherence of Monsoon onset over Western and Central Sahel (1950-2000). *J. Clim.* 22, 1313–1324. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2383.1>
- Matlon, P.J., 1987. The West African Semi-arid Tropics.
- Mbow, C., Nielsen, T.T., Rasmussen, K., 2000. Savanna fires in East Central Senegal: Distribution patterns, resource management and perceptions. *Hum. Ecol.* 28, 561–583. <https://doi.org/10.1023/A:1026487730947>
- Mcsweeney, C., New, M., Lizcano, G., 2008. UNDP Climate Change Country Profiles Senegal General Climate.
- Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J., 2020. High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Sci. Data* 7, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0343-8>
- Nicholson, S.E., 2018. The ITCZ and the seasonal cycle over equatorial Africa. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 99, 337–348. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0287.1>
- Nielsen, T.T., Rasmussen, K., Mbow, C., Touré, A., 2003. The fire regime of Senegal and its determinants. *Geogr. Tidsskr.* 103, 43–53. <https://doi.org/10.1080/00167223.2003.10649478>
- Nisar Ahamed, T.R., Gopal Rao, K., Murthy, J.S.R., 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agric. Syst.* 63, 75–95. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00036-0)
- O'BRIEN, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., & Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, 7(1), 73–88. <https://bit.ly/38tYrrz>
- Parker, L., Bourgoin, C., Martinez-Valle, A., Läderach, P., 2019. Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. *PLoS One* 14, e0213641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213641>

- Peterson, J., Kalende, M., Sanni, D., N'Gom, M., 2006. The potential for integrated irrigation-aquaculture (IIA) in Senegal. FAO.
- Place, F., Otsuka, K., 2000. Population pressure, land tenure, and tree resource management in Uganda. *Land Econ.* 76, 233–251. <https://doi.org/10.2307/3147226>
- Ramankutty, N., Evan, A.T., Monfreda, C., Foley, J.A., 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochem. Cycles* 22, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2007GB002952>
- ReliefWeb, 2020. Senegal - Floods (ANACIM, Media) (ECHO Daily Flash of 07 September 2020) - Senegal [WWW Document]. URL <https://bit.ly/3yHtrPt>.
- Salack, S., Muller, B., Gaye, A.T., 2011. Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I: integration of local to sub-regional trends and variability. <https://bit.ly/3Nl1aSH>
- Sall, M., Bâ, B., Kane, L., 2015. Drought conditions and management strategies in Senegal.
- Simonet, C., Jobbins, G., 2016. Understanding patterns of climate-resilient development-the case of Senegal.
- Sharma, J., & Ravindranath, N. H. (2019). Applying IPCC 2014 framework for hazard-specific vulnerability assessment under climate change. *Environmental Research Communications*, 1(5), 051004. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab24ed>
- Smit, B., Pilifosova, O., Burton, I., Challenger, B., Huq, S., Klein, R.J.T., Yohe, G., Adger, N., Downing, T., Harvey, E., Kane, S., Parry, M., Skinner, M., Smith, J., Wandel, J., 2003. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. *Sustain. Dev.* 8, 9.
- Sow, S., Nkonya, E., Meyer, S., Kato, E., 2015. Cost, drivers and action against land degradation in Senegal, in: *Economics of Land Degradation and Improvement - A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer International Publishing, pp. 577–608. <https://bit.ly/3NpA5Oy>
- Tappan, G.G., Sall, M., Wood, E.C., Cushing, M., 2004. Ecoregions and land cover trends in Senegal. *J. Arid Environ.* 59, 427–462. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.03.018>
- Thiam, S., Villamor, G.B., Kyei-Baffour, N., Matty, F., 2019. Soil salinity assessment and coping strategies in the coastal agricultural landscape in Djilor district, Senegal. *Land use policy* 88, 104191. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104191>
- UN, 2006. DEPENDENCY RATIO Demographics Population Core indicator.
- USAID, 2017. CLIMATE CHANGE RISK PROFILE; SENEGAL.
- USAID, 2015. CLIMATE CHANGE AND HEALTH RISKS IN SENEGAL.
- USAID, 2011. Climate Change Adaptation in SENEGAL.
- WFP, 2013. Climate risk and food security in Senegal: Analysis of climate impacts on food security and livelihoods Senegalese National Agency for Civil Aviation and Meteorology.
- WFP, 2012. Assessment to evaluate the level of food insecurity in the Zones at Risk. Dakar.
- Wopereis, M.C.S., Ceuppens, J., Boivin, P., Ndiaye, A.M., Kane, A., 1998. Preserving soil quality under irrigation in the Senegal River Valley. *Netherlands J. Agric. Sci.* 46, 97–107. <https://bit.ly/3PqPdwF>
- World Bank, 2018. SYSTEMATIC COUNTRY DIAGNOSTIC OF SENEGAL WORLD BANK GROUP.
- World Bank, 2011. Climate Risk and Adaptation Country Profile: Vulnerability, Risk Reduction, and Adaptation to Climate Change, Senegal. World Bank.
- You, L., Wood-Sichra, U., Fritz, S., Guo, Z., See, L., Koo, J., 2017. Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005 v3. 2 <http://MapSPAM.info>.

# ANNEXE: CHIFFRES SUPPLÉMENTAIRES

## 1. Adéquation des cultures

Adéquation à RCP4.5 d'ici 2050

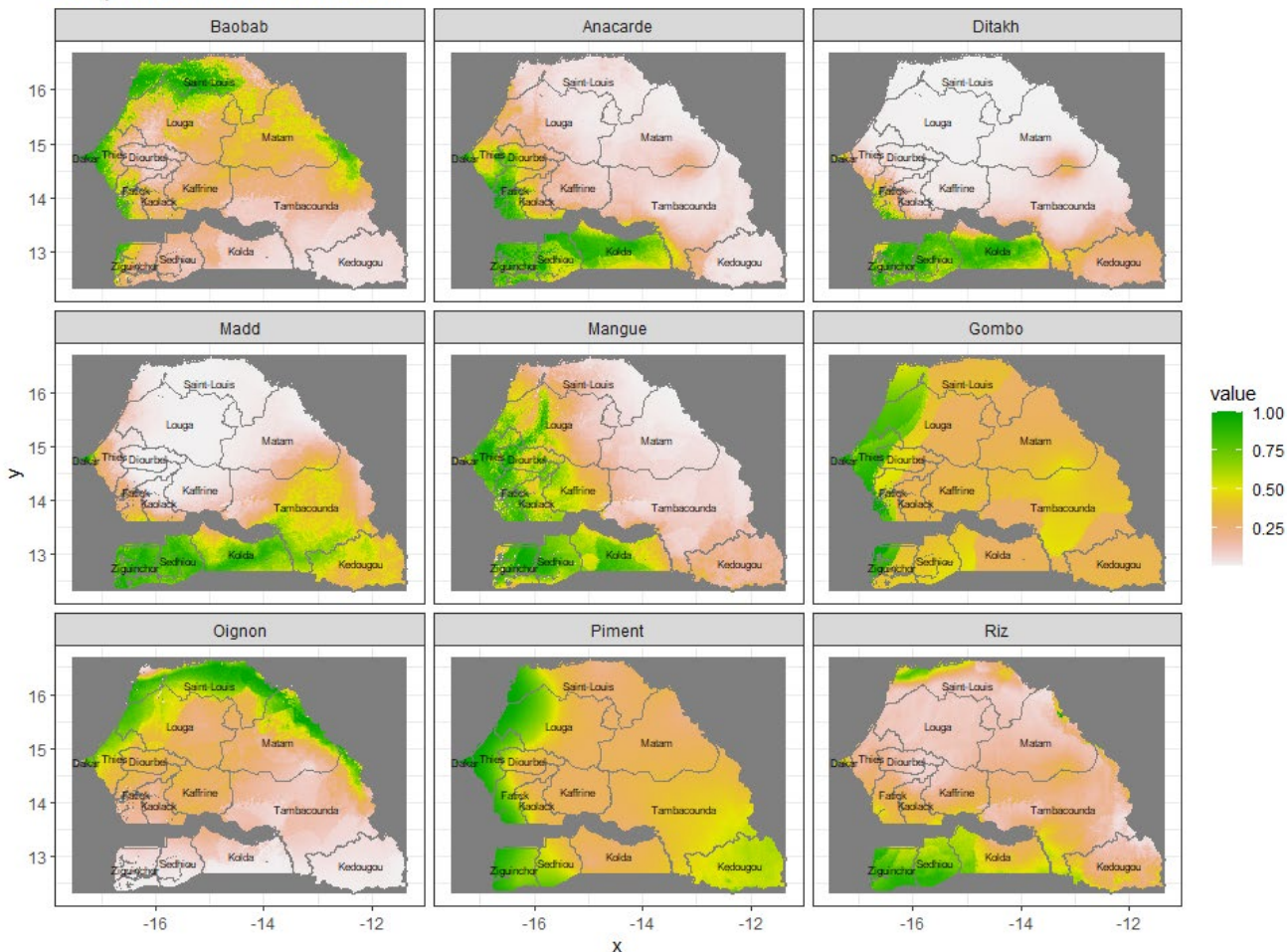


FIGURE S1 : Adéquation des cultures des neuf chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le RCP 4.5

Adéquation à RCP8.5 d'ici 2050

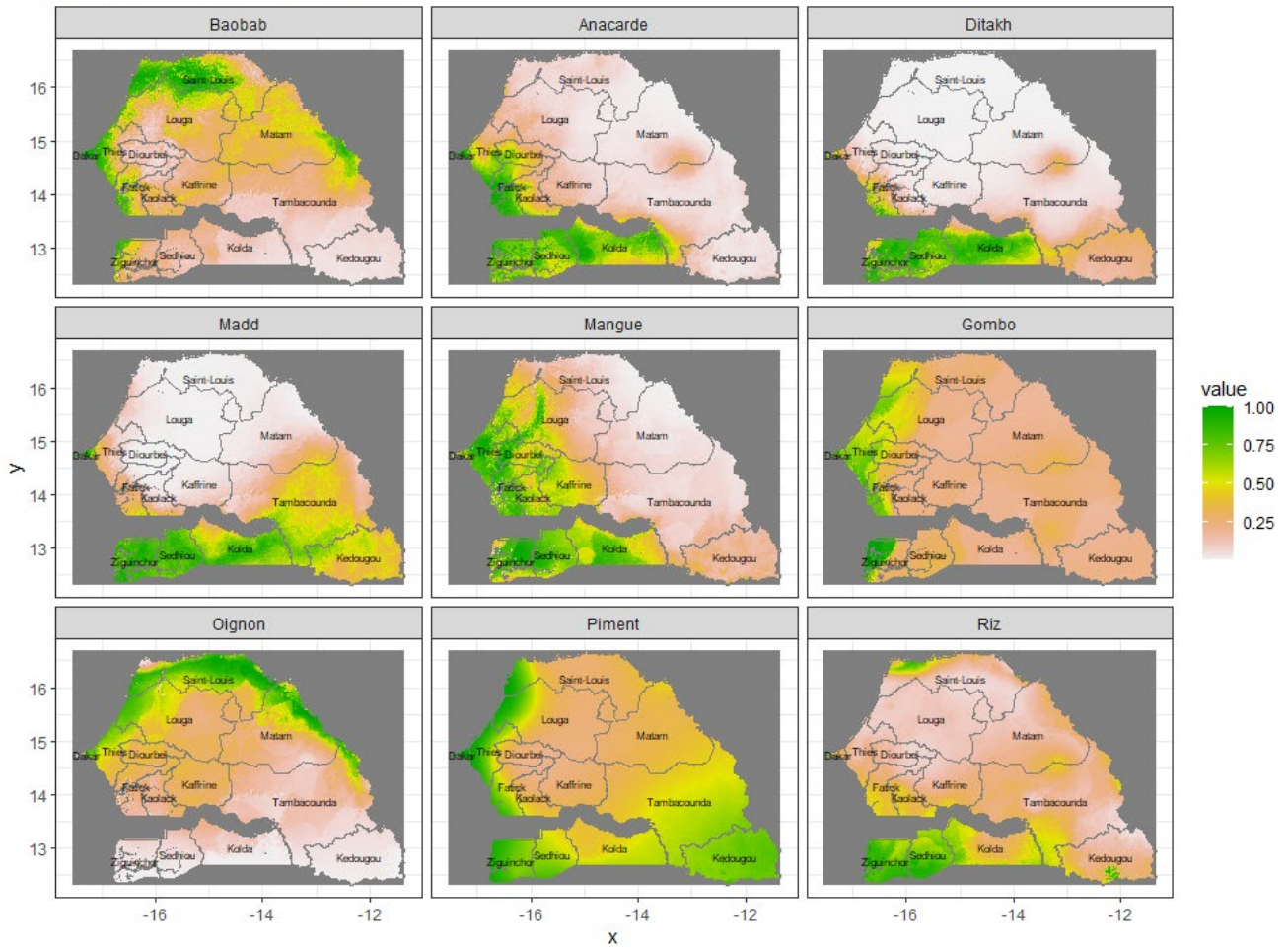


FIGURE S2 : Adéquation des cultures des neuf chaînes de valeur à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 8.5

## 2. Sensibilité

Sensibilité d'ici 2050 pour RCP 8.5



FIGURE S3 : Sensibilité des neuf chaînes de valeur au changement climatique à l'horizon 2050 pour le RCP 8.5

### 3. Vulnérabilité

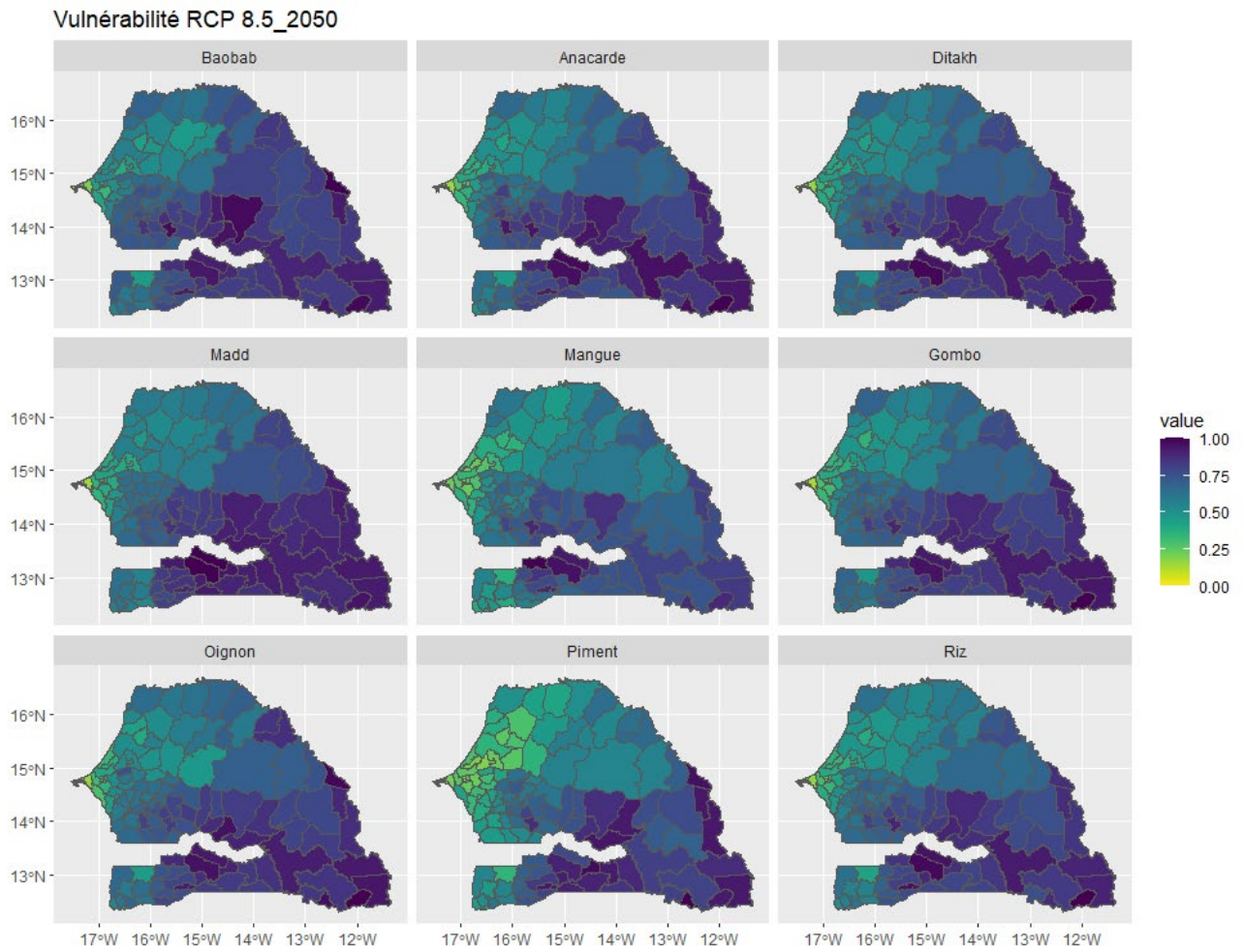


FIGURE S4 : Contribution des neuf chaînes de valeur à la vulnérabilité globale au changement climatique à l'horizon 2050 pour le scénario RCP 8.5

## Alliance

---



Global Affairs  
Canada

Affaires mondiales  
Canada



Bioversity International and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT) are part of CGIAR, a global research partnership for a food-secure future.

Bioversity International is the operating name of the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI)

### Africa Hub

c/o icipe (International Centre of Insect Physiology and Ecology)  
Duduville Campus Off Kasarani Road  
P.O. Box 823-00621  
Nairobi, Kenya

<https://alliancebioversityciat.org>  
[www.cgiar.org](http://www.cgiar.org)