

PAS-PNA

BENIN



Etude de Vulnérabilité Sectorielle face aux changements climatiques au Bénin
Secteur : Agriculture

Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation

Janvier 2019

Mis en œuvre par :

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Mandaté par :

 Ministère fédéral
de l'Environnement, de la Protection de la Nature
et de la Sécurité nucléaire

de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle de :

 MINISTÈRE DU CADRE DE VIE
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

En coopération avec :

CLIMATE ANALYTICS 
 CENTRE DE PARTENARIAT ET
D'EXPERTISE POUR LE
DÉVELOPPEMENT DURABLE

AUTEURS

P.B. Irénikatché AKPONIKPE (Coordonnateur de l'étude)

Pierre TOVIHOUDJI	Esaïe KPADONOU
Moudjahid Akorédé WABI	Alice FANDOHAN-BONOU
Nestor AHOYO	Boris LOKONON
Jaurès AMEGNAGLO	Rosaine YEGBEMEY
Alcade SEGNON	Edmond TOTIN
Eunice DOSSA	Mathieu HOUNSOU
Diane LAOUROU	

PERSONNE RESSOURCE

Nestor AHO

COMITE DE REVISION

Michel BOKO	Expédit Wilfrid VISSIN
Anne FLOQUET	Eustache B. BOKONON-GANTA
Edmond TOTIN	Alcade C. SEGNON
Sarah D'HAEN	

Cette publication a été développée avec le support technique des équipes scientifiques de Climate Analytics, dans le cadre de la Composante 2, Activité II.3 du projet Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne (PAS-PNA).

Cette publication peut être reproduite en tout ou partie, sous quelque forme que ce soit, à des fins pédagogiques et non lucratives, sur autorisation spéciale de Climate Analytics, à condition que sa source soit mentionnée et référencée.

Cette publication ne peut être revendue ou utilisée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable de Climate Analytics.

Nous regrettons toutes erreurs ou omissions qui auraient été commises involontairement.

Ce document peut être cité sous le titre :

AKPONIKPE P.B.I., TOVIHOUDJI P., LOKONON B., KPADONOU E., AMEGNAGLO J., SEGNON A. C., YEGBEMEY R., HOUNSOU M., WABI M., TOTIN E., FANDOHAN-BONOU A., DOSSA E., AHOYO N., LAOUROU D., AHO N., 2019. Etude de Vulnérabilité aux changements climatiques du Secteur Agriculture au Bénin. 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.

Une copie numérique de ce rapport est disponible en ligne sur :
www.climateanalytics.org/publications.

Cette étude est financée dans le cadre du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne, relevant de l'Initiative Internationale pour le Climat (IKI) soutenue par le Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sureté Nucléaire (BMU) en vertu d'une décision du Parlement de la République fédérale d'Allemagne, et mis en œuvre par Climate Analytics et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Résumé exécutif

Le Bénin, à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, subit les effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques (CC) dont les manifestations se traduisent par l'accentuation de la variabilité et la récurrence d'événements météorologiques extrêmes (inondations dévastatrices, longues sécheresses, vagues de chaleur, pluies torrentielles etc.). Certaines projections pessimistes annoncent une baisse continue de 10 à 20 % des précipitations d'ici à 2025 et une baisse de la production agricole de l'ordre de 23 % d'ici 2020 dans certaines régions du pays. La présente étude est faite dans le cadre du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA) mis en œuvre par la GIZ, en collaboration avec *Climate Analytics*, sous la tutelle du MCVDD et en collaboration avec le Centre de Partenariat et d'Expertise pour le Développement Durable (CePED) pour la période 2016-2019. L'objectif de l'étude est d'évaluer la vulnérabilité de l'agriculture face aux changements climatiques, notamment la vulnérabilité actuelle et future (horizon 2050). Le travail a été réalisé par une équipe interdisciplinaire de chercheurs Béninois avec le soutien technique et scientifique de *Climate Analytics*, dans le Pôle de Développement Agricole IV (PDA IV), qui englobe une grande partie de la zone Agroécologique N°5 et une partie des zones Agroécologiques N°3 et N°4. L'étude est basée sur l'approche de chaîne d'impacts selon laquelle la vulnérabilité est perçue comme étant fonction de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation. L'analyse de données a amené à estimer les différents paramètres de la chaîne d'impacts et à évaluer le degré de vulnérabilité actuelle et future des différents éléments du système de production agricole. A cet effet, plusieurs approches méthodologiques ont été combinées sous l'angle climatique, agronomique et socio-économique. Les résultats de l'étude montrent une importante variabilité interannuelle des précipitations avec une tendance légèrement à la baisse. Comme pour la pluviométrie, les résultats montrent aussi une variabilité interannuelle des températures moyennes (de 27 à 29 °C) avec une nette tendance à la hausse dans la zone d'étude. Les analyses soulignent que les communes de N'Dali, Pèrèrè et Nikki sont les plus exposées alors que les Communes de Savalou et Djidja sont les moins exposées aux aléas climatiques. Par contre, les Communes les plus sensibles aux aléas sont celles de Savalou et Dassa-Zoume et celles les moins sensibles sont celles Ouaké, Bantè et Copargo. Lorsqu'on agrège les indices d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation, il en résulte que les Communes de Savalou, Tchaourou, Dassa-Zoumè, Glazoué et Copargo sont les plus vulnérables aux changements climatiques.

Par rapport à l'évaluation de la vulnérabilité future aux changements climatiques dans le secteur de l'agriculture, les résultats des simulations montrent une importante variabilité interannuelle des précipitations simulées à l'horizon 2050. Le nombre d'années à précipitations déficitaires augmentera dans le futur, avec les communes de Copargo, Djougou et Ouaké qui seront les plus touchées quel que soit le modèle considéré. Les résultats de simulations indiquent une augmentation de la température moyenne à l'horizon 2050 sur l'ensemble de la zone d'étude quel que soit le modèle considéré. Les résultats démontrent que les changements climatiques à l'horizon 2050 n'auront pas d'impact majeur sur les superficies emblavées pour les cultures comme le maïs, le coton, et le soja. Sous l'effet des changements climatiques, les rendements du maïs et du coton pourraient diminuer significativement, allant jusqu'à 30% pour le maïs et 20% pour le coton. Plus particulièrement, ces effets pourraient être plus sévères (11 à 15%) à Glazoué et Savè. Face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et les modes d'existence des populations rurales, les communautés ont souvent initié des

stratégies locales à leur portée, dont les semis échelonnés, l'utilisation des variétés à cycle court, la valorisation des bas-fonds, l'utilisation des engrais, la diversification des sources de revenus, etc. Mais dans la pratique, ces stratégies d'adaptation restent encore fragmentées avec des impacts à petite échelle (en général, au niveau ménage) du fait des ressources limitées des communautés. Les pistes identifiées dans le présent rapport pourraient permettre un renforcement de la capacité de résilience à l'échelle, au niveau des communautés rurales.

Table des Matières

RÉSUMÉ EXÉCUTIF	1
TABLE DES MATIÈRES	3
LISTE DES ABRÉVIATIONS	5
LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX	7
1. CONTEXTE.....	8
1.1 JUSTIFICATION ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	8
1.2 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	8
2. APPROCHE METHODOLOGIQUE	10
2.1 CADRE CONCEPTUEL DE L'ÉTUDE DE VULNERABILITE	10
2.1.1 <i>Définition des concepts</i>	10
2.1.1.1 Changements climatiques	10
2.1.1.2 Aléas.....	11
2.1.1.3 Exposition aux aléas climatiques	11
2.1.1.4 Sensibilité aux aléas climatiques	11
2.1.1.5 Capacité d'adaptation	12
2.1.1.6 Vulnérabilité	12
2.1.2 <i>Chaine d'impacts</i>	13
2.1.2.1 Définition de la chaine d'impacts	13
2.1.2.2 Poids des indicateurs	14
2.2 ANALYSE DE LA VULNERABILITE ACTUELLE ET FUTURE.....	15
2.2.1 <i>Approche générale d'analyse des données</i>	15
2.2.1.1 Base de données.....	15
2.2.1.2 Indicateurs retenus.....	16
2.2.1.3 Poids des indicateurs retenus.....	17
2.2.2 <i>Exposition</i>	17
2.2.2.1 Approche climatique	17
2.2.2.2 Justificatif du choix du scenario 4.5.....	17
2.2.3 <i>Sensibilité</i>	19
2.2.3.1 Approche agronomique.....	19
2.2.3.2 Approche socio-économique.....	21

2.2.4	Vulnérabilité	23
2.2.5	Options d'adaptation (approche agronomique)	24
3.	RESULTATS.....	25
3.1	ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE ACTUELLE	25
3.1.1	Exposition	25
3.1.1.1	Aspects climatiques	25
3.1.1.2	Aspects socio-économiques	27
3.1.2	Sensibilité	29
3.1.2.1	Aspects agronomiques	29
3.1.2.2	Aspects socio-économiques	30
3.1.3	Capacité d'adaptation.....	31
3.1.4	Analyse de la vulnérabilité actuelle.....	32
3.2	ÉVALUATION DE LA VULNERABILITE FUTURE	33
3.2.1	Exposition	33
3.2.1.1	Projection des pluviométries moyennes annuelles et variation	33
3.2.1.2	Projection des températures moyennes et variation	35
3.2.2	Sensibilité	38
3.2.2.1	Impacts agronomiques	38
3.2.2.2	Aspects socio-économiques	43
4.	ANALYSE DES OPTIONS D'ADAPTATION ET DE LA VULNERABILITE ACTUELLE ET FUTURE	47
4.1	STRATEGIES ET OPTIONS D'ADAPTATION	47
4.2	ANALYSE DES OPTIONS D'ADAPTATION	48
5.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	50
6.	REFERENCES.....	51
ANNEXES	54

Liste des abréviations

ACP	Analyse en Composantes Principales
AGVSA	Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire
CePED	Centre de Partenariat et d'Expertise pour le Développement Durable
CILSS	Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GIZ GmbH	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
INRAB	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
MCVDD	Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable
PAS-PNA	Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation
PDA	Pôle de Développement Agricole
PNA	Plans Nationaux d'Adaptation
RCM	Modèles climatiques régionaux
ZAE	Zone Agroécologique

Liste des figures

Figure 1. Carte de la zone d'étude (PDA4) et les zones Agroécologiques	9
Figure 2. Les déterminants/composantes de la vulnérabilité.	13
Figure 3. Chaîne d'impacts détaillée pour le secteur agricole au Benin (adapté de adelphi/EURAC 2014).	14
Figure 4. Approche générale de l'étude de vulnérabilité du secteur agriculture.	15
Figure 5: Changement projeté de la température globale de surface selon différents scénarios d'émission (Source : Figure SPM.7(a). IPCC Working Group I Assessment Report, Summary for Policy Makers, 2013) Changement projeté de la température globale de surface selon différents scénarios d'émission (Source : Figure SPM.7(a). IPCC Working Group I Assessment Report, Summary for Policy Makers, 2013)	18
Figure 6. Tendances de l'indice pluviométrique standardisé sur quelques sites d'études sur la période historique 1950-2005.	26
Figure 7. Tendances des températures moyennes annuelles observées sur quelques sites d'études sur la période historique 1950-2005.	27
Figure 8. Exposition actuelle.....	28
Figure 9. Évolution des rendements historiques de maïs simulés au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	29
Figure 10. Évolution des rendements historiques de coton simulés sur quelques sites d'étude (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)	30
Figure 11. Sensibilité actuelle.....	31
Figure 12. Capacité adaptative actuelle	32
Figure 13. Vulnérabilité actuelle.....	33
Figure 14. Tendances de l'indice pluviométrique standardisé simulé sur quelques sites d'étude (sur la base de la moyenne pluviométrique de quatre couples GCM-RCMs: ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)	34
Figure 15. Aspects pluviométriques t des changements climatiques: Variation de la pluviométrie annuelle entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (%). (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	35
Figure 16. Evolution de la température moyenne simulée de quelques sites d'études (moyenne de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	36
Figure 17. Aspects thermométriques des changements climatiques : Variation de la température moyenne entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (°C). (GCM-RCMs: ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	37
Figure 18. Evolution des rendements du maïs simulées à l'horizon 2050 au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)	39
Figure 19. Effet des changements climatiques sur les rendements du maïs : Variation des rendements de maïs (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050. (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	40

Figure 20. Evolution des rendements du coton simulés à l'horizon 2050 sur quelques sites d'étude (minimum, moyenne et maximum de quatre couples. GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).....	42
Figure 21. Effet des changements climatiques sur les rendements du coton : Variation (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).....	43
Figure 22. Effet des changements climatiques sur la production des principales cultures céréalière à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).....	45
Figure 23. Effet des changements climatiques sur la production des principales cultures légumineuses à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).....	45
Figure 24. Effet des changements climatiques sur la production des principales racines et tubercules à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Indicateurs retenus pour l'analyse de la vulnérabilité.....	16
Tableau 2: Changement projeté de la température globale de surface selon différents scénarios d'émission, à l'horizon 2050 (2046-2065) et 2100 (2081-2100).	18
Tableau 3. Synthèse de quelques travaux ayant utilisé les modèles bioéconomiques	22

1. Contexte

1.1 Justification et objectifs de l'étude

Depuis la fin des années 1960, l'Afrique Sahélienne a subi une baisse générale de sa pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 20% au cours des années 1970 à 1989 par rapport à la normale 1961-1990. Ainsi l'Afrique de l'Ouest a connu une rupture nette des séries pluviométriques et hydrométriques, une baisse des précipitations et un processus historique d'aridification du climat. Les changements climatiques sont donc une réalité et il existe désormais un consensus mondial sur les effets du réchauffement climatique sur différents secteurs d'activités.

Selon le Cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat- GIEC, les changements climatiques devraient, pendant toute la durée du XXIème siècle, provoquer une accentuation des risques climatiques dans de nombreuses régions, et en particulier dans les pays en voie de développement, à faible revenu, comparativement à une situation de référence sans changement climatique.

Par rapport aux conclusions du GIEC sur le réchauffement climatique et les critiques développées aujourd'hui par les « climato-sceptiques », la confusion et l'incertitude ont fini par s'installer quant à l'ampleur des changements climatiques et des défis contemporains à relever. Pour faire la part des choses, les mécanismes de financement internationaux dédiés au climat exigent de plus en plus que la vulnérabilité aux changements climatiques soit clairement évaluée par une expertise scientifique. Il est donc nécessaire de « prouver » la vulnérabilité des secteurs prioritaires de développement du pays aux changements climatiques, en caractériser les manifestations et d'identifier des mesures d'adaptation pour répondre de manière efficace aux impacts des changements climatiques.

Le Bénin, à l'instar des autres pays d'Afrique de l'Ouest, subit les effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques dont les manifestations se traduisent par l'accentuation de la variabilité et la récurrence d'événements météorologiques extrêmes (inondations dévastatrices, longues sécheresses, vagues de chaleur, pluies torrentielles), la montée du niveau des mers, l'érosion côtière, les vents violents, les pluies tardives, etc. Certaines projections pessimistes annoncent une baisse continue de 10 à 20 % des précipitations d'ici à 2025 et une baisse de la production agricole de l'ordre de 23 % d'ici 2020 dans certaines régions du pays. Dans un tel contexte, cette étude faite dans le cadre du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA), vise à évaluer la vulnérabilité de l'agriculture face aux changements climatiques, notamment la vulnérabilité actuelle et future. Il s'agit spécifiquement de :

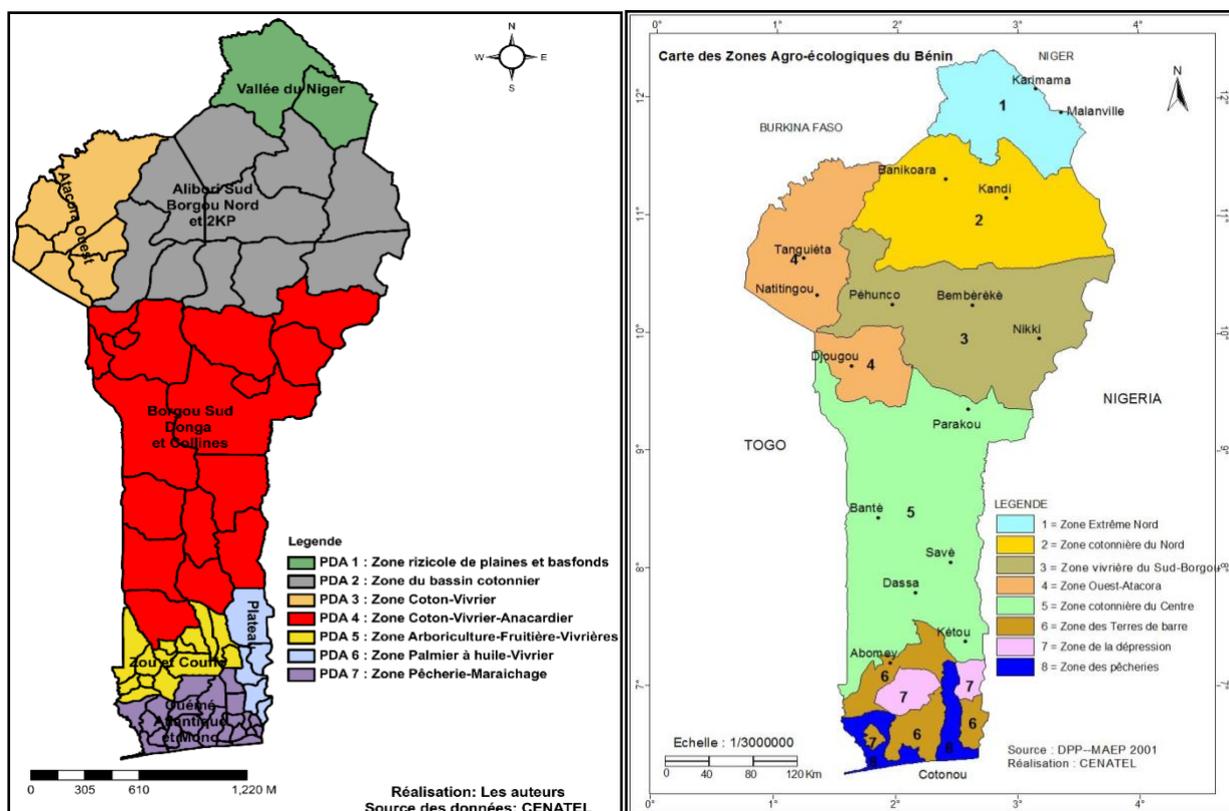
- Estimer l'impact des changements climatiques sur la productivité agricole ;
- Apprécier l'impact des changements sur la production agricole et les revenus des producteurs;
- Évaluer les options potentielles d'adaptation.

1.2 Description de la zone d'étude

La zone d'étude couvre le Pôle de Développement Agricole IV (PDA IV dénommé : Borgou Sud- Donga - Collines). Elle englobe une grande partie de la zone Agroécologique N°5 (sauf les communes de Kétou et Aplahoué) et une partie des zones Agroécologiques N°3 (N'Dali, Pèrèrè et Nikki) et N°4 (Djougou,

Copargo et Ouaké) (**Figure 1**). Les principales raisons qui ont motivé le choix de la zone d'étude sont les suivants :

- Elle fait partie des 4 zones les plus vulnérables aux changements climatiques au Bénin ;
- Elle est une zone de transition climatique (entre le subéquatorial ou béninien du sud et le soudanien du nord) ;
- Elle est une vaste zone qui présente une forte diversité agroécologique ;
- Elle est une zone de forte production des cultures de rente et vivrières ;
- Les aléas majeurs et impacts potentiels identifiés dans cette zone sont : les extrêmes pluviométriques, la modification des saisons agricoles, la cessation précoce/tardive des pluies, la réduction/augmentation des totaux pluviométriques, les poches de sécheresse, les inondations, températures et l'évapotranspiration en hausse.



2. Approche Méthodologique

De manière générale, l'étude s'est basée sur une approche interdisciplinaire, d'échanges avec les acteurs de terrain et le comité de suivi des travaux mis en place par Climate Analytics. Ladite approche se décline en quatre grandes étapes que sont :

- La recherche documentaire qui a consisté à exploiter la littérature existante pour documenter les différents aspects de l'étude y compris la méthodologie spécifique. Elle a permis de capitaliser les résultats de travaux de recherche précédents sur les changements climatiques en général et la vulnérabilité aux changements climatiques en particulier. Avec l'accent mis sur l'agriculture, les principales thématiques de la revue de littératures étaient : l'état des connaissances sur les changements climatiques et la vulnérabilité au Bénin, les modèles de croissance des cultures, la modélisation bioéconomique et sociale utilisables pour l'analyse de la vulnérabilité agricole.
- La conception du cadre méthodologique de l'étude, étape qui a permis d'affiner et d'opérationnaliser le cadre conceptuel en tenant compte de la littérature existante et de la disponibilité des données nécessaires pour l'analyse de vulnérabilité ;
- La collecte des données climatologiques historique et des données secondaires (quantitatives et qualitatives) et la préparation des bases de données pour l'analyse de vulnérabilité en utilisant des outils spécifiques ;
- L'analyse des données y compris la modélisation par les approches agronomiques et socio-économiques complétées par une approche quantitative de validation des options d'adaptation.

2.1 Cadre conceptuel de l'étude de vulnérabilité

2.1.1 Définition des concepts

L'étude repose sur un certain nombre de concepts clés qu'il convient de clarifier en nous fondant plus sur les orientations retenues par le GIEC. Cette clarification pourra permettre aux lecteurs de savoir comment ces concepts ont été opérationnalisés dans l'étude. Il s'agit spécifiquement de : (i) changements climatiques ; (ii) aléas ; (iii) exposition ; (iv) sensibilité ; (v) capacité d'adaptation et (vi) vulnérabilité.

2.1.1.1 Changements climatiques

Le changement climatique revêt une diversité de sens selon les auteurs. Selon Fellous et Gautier (2007) on parle de changement climatique seulement « *lorsque le climat global de la Terre ou l'ensemble des climats régionaux subissent une modification durable, au minimum sur une durée de dix ans* ». Cette conceptualisation renferme deux éléments majeurs, caractéristiques du changement climatique : (i) l'envergure et (ii) la fréquence des changements. Par ailleurs, la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), définit les changements climatiques comme des « *changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du*

climat observée au cours de périodes comparables». Cette définition inclut les causes anthropiques des changements climatiques à celles naturelles soulignées par celle de Fellous et Gautier (2007). En effet, les changements climatiques sont fondamentalement dus à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère résultant d'une forte activité humaine principalement l'industrialisation. Dans son cinquième rapport d'évaluation (AR5), le GIEC revient sur cette définition en soulignant aussi les mêmes éléments que ceux énumérés par la CCNUCC. Il utilise le terme "changement climatique" pour tout changement dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle (e.g. modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques) ou aux activités anthropiques. Ainsi, il apparaît clairement que les changements climatiques sont des résultats de longue période d'une intensification des activités humaines concourant à de fortes émissions des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En résumé, les changements climatiques sont dus au réchauffement global qui en est la cause fondamentale s'expliquant par l'accroissement de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre.

2.1.1.2 Aléas

L'aléa est encore appelé « menace » (Legoff, 2010) ou « danger » (Antoine et Carozza, 2011) dans la littérature sur le changement climatique. Il est défini par le GIEC comme étant « *la survenue potentielle d'un phénomène naturel (ou induit par l'homme) pouvant entraîner la perte de la vie, des blessures, ou d'autres impacts sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes aux biens, aux infrastructures, aux moyens de subsistance, à la prestation de services, aux écosystèmes et aux ressources environnementales* ». La probabilité d'occurrence et les conséquences possibles que pourrait causer le phénomène naturel ou produit par l'homme sont les caractéristiques clés de l'aléa climatique. Il pourrait s'agir soit d'extrêmes climatiques, soit d'évolutions à plus ou moins long terme. Les aléas se caractérisent aussi par leur intensité, leur probabilité d'occurrence, leur localisation spatiale, la durée de l'impact (foudre vs. inondation), leur degré de soudaineté¹.

2.1.1.3 Exposition aux aléas climatiques

L'exposition aux aléas climatiques correspond à « *l'ensemble des populations, milieux et activités qui peuvent être affectés par de potentiels phénomènes naturels (ou induits par l'homme)* » - aléas climatiques. Elle est caractérisée par la nature ou la typologie de ce qui est exposé (population humaine ou animale, infrastructures ...) et le niveau – volume- de ce qui est exposé (un unique bâtiment, un quartier ou une ville...). C'est la combinaison de ces deux paramètres, la nature et le niveau d'exposition d'un système à des variations climatiques significatives (aléas), qui définit l'enjeu des actions d'adaptation.

2.1.1.4 Sensibilité aux aléas climatiques

Dans les rapports du GIEC, la sensibilité représente le « *degré d'affection positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat* ». Ainsi, la sensibilité au changement climatique fait référence à la proportion dans laquelle un élément exposé (collectivité, organisation, ...) au changement climatique est susceptible d'être affecté, favorablement ou défavorablement, par la manifestation d'un aléa. L'effet peut être direct (modification d'un rendement agricole en réponse à une variation

¹ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/diagnostic-vulnerabilite-territoire-changement-climatique-7405.pdf>

de la moyenne, de la fourchette, ou de la variabilité de température, par exemple) ou indirect (dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer, par exemple).

2.1.1.5 Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation fait référence à la faculté à s'adapter aux dommages potentiels, à tirer profit des opportunités ou à faire face aux conséquences du changement climatique. La littérature fait aussi allusion à la capacité de résilience, qui est définie dans le rapport AR5 comme « *la capacité des systèmes sociaux, économiques ou écologiques à faire face aux événements dangereux, tendances ou perturbations, à y réagir et à se réorganiser de façon à conserver leurs fonctions essentielles, leur identité et leur structure, tout en maintenant leurs facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation* ». Partant de cette conception, la capacité d'adaptation des systèmes étudiés est mesurée par rapport à leur aptitude à s'accommoder avec les changements intervenus ou en cours, à transformer leur mode de vie et leur système de production pour continuer de satisfaire leurs besoins vitaux.

2.1.1.6 Vulnérabilité

Dans le cas du changement climatique, la vulnérabilité est le « *degré auquel les éléments d'un système [...] sont affectés par les effets du changement climatique* ». La vulnérabilité est donc fonction à la fois de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'exposition du système aux aléas.

Le niveau de vulnérabilité (ou niveau de risque dans la terminologie de la littérature relative aux risques naturels) s'évalue en combinant la probabilité d'occurrence, l'importance d'un aléa (l'exposition) et l'ampleur des conséquences sur le système. La vulnérabilité est donc en partie liée aux choix et stratégies politiques développés sur le système.

L'analyse de la vulnérabilité au changement climatique est d'une importance capitale pour l'identification et la caractérisation des actions pour atténuer la vulnérabilité et, si possible, renforcer la résilience au changement climatique (Adger, 1999; Kelly et Adger, 2000; Islam et al., 2014). La vulnérabilité de l'agriculture aux changements climatiques se définit comme la propension ou la prédisposition qu'a ce secteur à subir des dommages (GIEC, 2014). La vulnérabilité aux changements climatiques est constituée de trois composantes à savoir : l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation. Selon le GIEC (2014), l'exposition est relative à la présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonction, ressources ou services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu ou dans un contexte susceptible de subir des dommages. Quant à la sensibilité, elle se réfère au degré auquel le secteur agricole est affecté, positivement ou négativement par les changements climatiques (GIEC 2014). La capacité d'adaptation désigne la capacité d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et des autres organismes leur permettant de se prémunir contre les risques de dégâts, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences (GIEC 2014). Généralement, cinq types de capitaux sont pris en compte dans l'évaluation de la capacité d'adaptation à savoir : le capital physique, le capital financier, le capital humain, le capital naturel et le capital social (Scoones 1998).

En partie, c'est aussi le but de cette étude qui consiste à fournir des évidences scientifiques aux décideurs politiques sur les potentiels niveaux de vulnérabilité de différents systèmes afin de les aider,

notamment à travers le PNA, à mettre en place des options stratégiques qui réduisent la propension ou la prédisposition de ces systèmes à être affecté de manière négative par les changements climatiques.

2.1.2 Chaîne d'impacts

2.1.2.1 Définition de la chaîne d'impacts

En se basant sur le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) dans lequel la vulnérabilité a été conceptualisée comme étant fonction de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation, une chaîne d'impacts détaillée a été proposée pour le secteur de l'agriculture au Bénin (**Figure 2**).

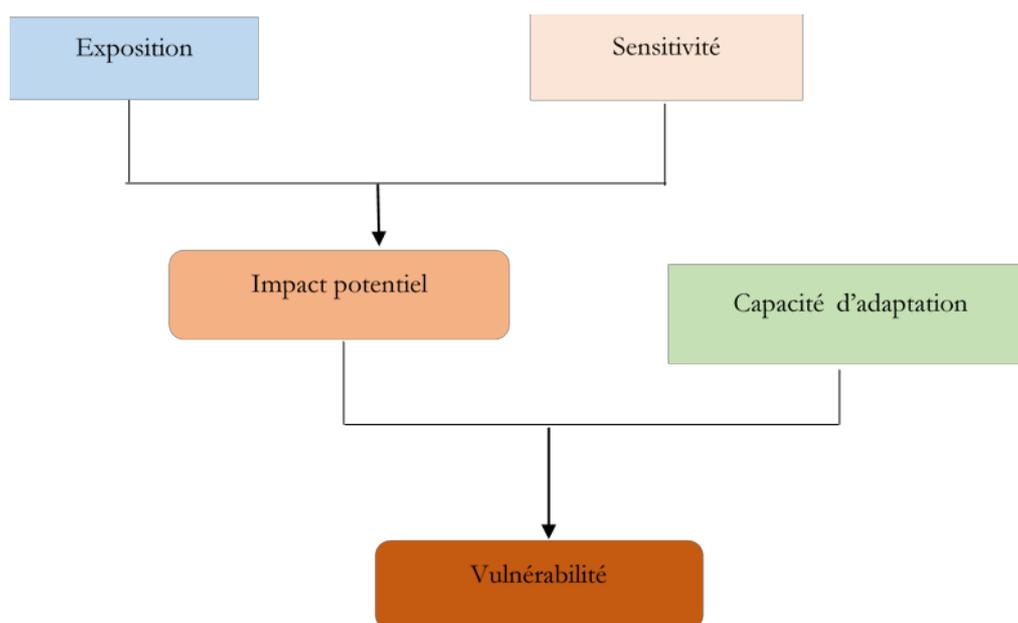


Figure 2. Les déterminants/composantes de la vulnérabilité.

Dans cette chaîne d'impacts, le changement et la variabilité de la température, de la pluviométrie et des événements climatiques extrêmes (ex : fortes inondations et fortes sécheresses) sont les trois éléments d'exposition souvent utilisés pour l'analyse de la vulnérabilité du secteur agricole, notamment celle du sous-secteur de la production végétale aux changements climatiques. Les impacts intermédiaires résultant de l'exposition à ces facteurs sont entre autres l'érosion des sols, l'inondation et la sécheresse qui constituent des perturbations du cycle phénologique. Ces aléas climatiques peuvent affecter la disponibilité de l'eau pour les cultures suite à des réductions des quantités d'eau pluviale, de l'eau utile pour les plantes et de l'eau disponible pour l'irrigation. Tout ceci peut entraîner un stress hydrique (manque ou excès d'eau selon le cas), une augmentation de la pression des ravageurs et maladies des plantes et la dégradation des sols ainsi que la baisse de la fertilité des sols. La nature et la magnitude des impacts seraient fortement corrélées à des facteurs de sensibilité du système, tels que le type de sol, le niveau de sécurité alimentaire du ménage, la diversité culturelle des exploitations agricoles, le couvert végétal, le potentiel d'irrigation, la densité de la population, etc.

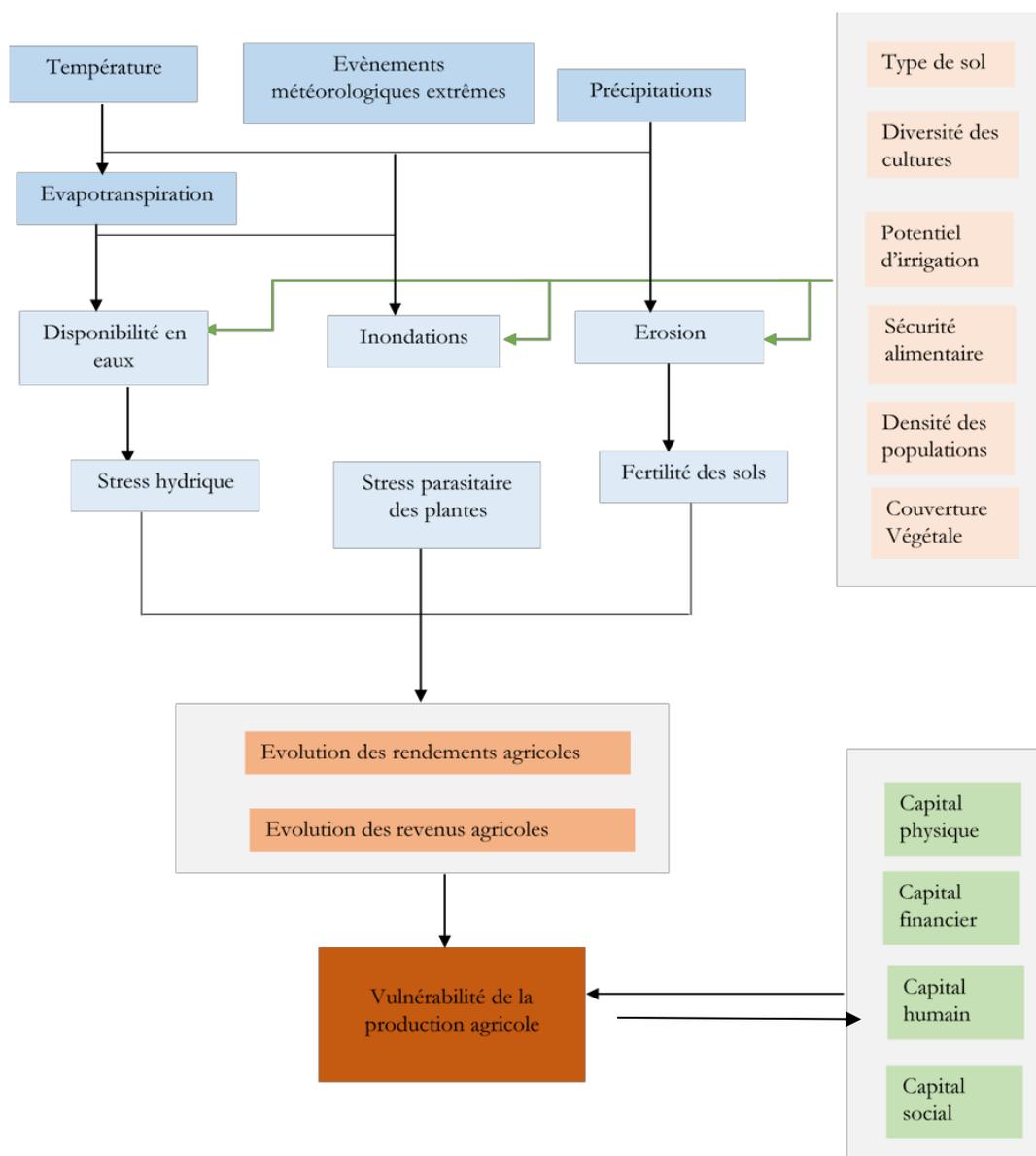


Figure 3. Chaîne d'impacts détaillée pour le secteur agricole au Bénin (adapté de adelphi/EURAC 2014).

La conséquence potentielle des effets conjugués des facteurs d'exposition et de sensibilité est la perturbation des processus de développement des cultures qui peut se quantifier à travers la mesure des variations des rendements culturaux et du revenu agricole des ménages. La capacité du ménage ou du système à s'ajuster pour réduire les impacts ou bien exploiter les opportunités qui s'offrent déterminera sa vulnérabilité. Les éléments de capacité d'adaptation incluent les capitaux humain, social, financier et physique.

2.1.2.2 Poids des indicateurs

La littérature suggère deux grandes approches pour la définition des poids des indicateurs composites de vulnérabilité. Il s'agit de l'approche poids égal pour chaque composante, où on considère au sein de chaque sous-composante un poids égal pour chaque indicateur, et de l'approche poids différents pour chaque composante, sous-composante et indicateur. Particulièrement pour l'approche de poids

différents, plusieurs méthodes peuvent être utilisées : la consultation des experts (jugement d'experts), l'Analyse en Composantes Principales (ACP), etc.

2.2 Analyse de la vulnérabilité actuelle et future

2.2.1 Approche générale d'analyse des données

En tenant compte des données disponibles, des différentes bases de données, un certain nombre d'indicateurs a été retenu pour chaque dimension de la vulnérabilité. L'analyse de données a fondamentalement consisté à calculer les indicateurs de vulnérabilité actuelle, mais aussi future à l'échelle des communes individuelles de la zone d'étude. A cet effet, plusieurs approches méthodologiques ont été combinées sous l'angle climatique, agronomique et socio-économique comme l'indique la **Figure 4**.

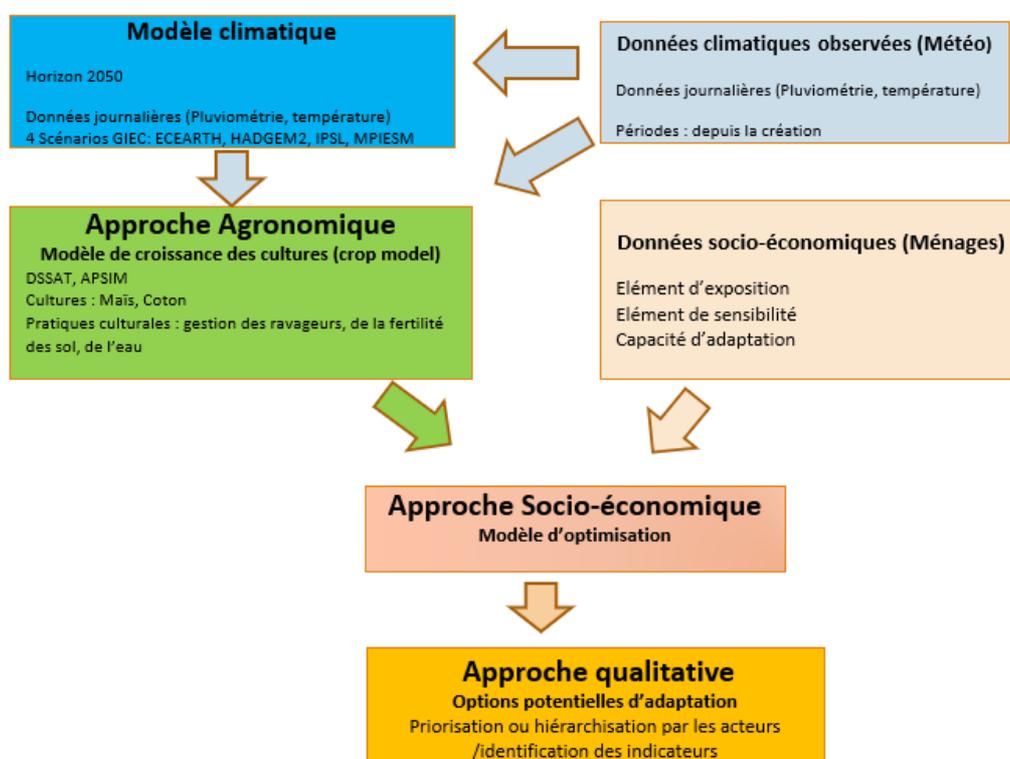


Figure 4. Approche générale de l'étude de vulnérabilité du secteur agricole.

2.2.1.1 Base de données

2.2.1.1.1 Base de données climatiques

Dans l'approche agronomique et socioéconomique, les variables climatiques d'intérêt incluent la température minimale et maximale, la radiation solaire et les précipitations au pas de temps journalier. Les données climatologiques historiques (1950-2005) ont été obtenues à l'Agence Nationale de la Météorologie (METEO BENIN). Les projections climatiques futures (2006-2050) ont été fournies par Climate Analytics. Ces projections climatiques basées sur quatre modèles climatiques régionaux (RCM) pour le scénario d'émission RCP4.5 sont utilisés pour les analyses. Les RCMs

nécessitent des projections de modèle de circulation générale (GCM) comme données d'entrée suivies de descente d'échelle et ainsi la modélisation climatique régionale est toujours une combinaison d'un GCM avec un RCM (RegioClim 2018). Les combinaisons GCM-RCM considérées dans cette étude comprennent MPIESM-REMO, HADGEM2-CCLM4, ECEARTH-RACMO et IPSL-RCA sous scénario RCP 4.5. Pour les communes ne disposant de données climatiques observées (station), celles-ci ont été estimées par interpolation sur la base des distances.

2.2.1.1.2 Base de données socioéconomiques

En tenant compte du planning de l'étude, la base de l'Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA) de 2012 a été retenue requises pour analyser la chaîne d'impacts présentée plus haut.

2.2.1.2 Indicateurs retenus

Les indicateurs retenus suivant les composantes de la vulnérabilité sont résumés et présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Indicateurs retenus pour l'analyse de la vulnérabilité

Dimension	Indicateurs
Exposition	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coefficient de variation mensuelle de la température et des précipitations (sur la saison pluvieuse) ▪ Température et précipitation moyennes ▪ Tendances de la température et des précipitations ▪ Évènements climatiques extrêmes (Fréquences des sécheresses et inondations)
Sensibilité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement et évolution temporelle ▪ Variation relative de rendement (diminution ou augmentation des rendements futurs par rapport aux rendements historiques ou de base) ▪ Proportion du coton et de maïs dans la superficie emblavée (produit coton ou pas)
Capacité d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Appartenance à une association de producteurs ▪ Superficie emblavée brute ▪ Accès au crédit (montant ou oui/non) ▪ Revenu non agricole ou nombre de travailleurs hors agriculture ▪ Utilisation d'intrants (insecticides, engrais chimiques, semences améliorées) ▪ Pratique d'irrigation ou pas ▪ Utilisation d'engrais organiques ou pas ▪ Accès au marché (distance maison -; le plus proche ou fréquenté) ▪ Accès aux voies bitumées (routes praticables) ▪ Présence d'école, de service de vulgarisation, hôpital ▪ Accès à l'électricité (oui ou non) ▪ Accès à la téléphonie (oui ou non) ▪ Sexe du chef de ménage ▪ Taille du ménage ▪ Education du chef de ménage ▪ Possession de radio (accès à l'information de vulgarisation)

2.2.1.3 Poids des indicateurs retenus

Pour l'analyse de la vulnérabilité, nous avons utilisé deux types de pondérations pour les indicateurs entrant dans chaque sous-composante : pondérations égales et pondérations différentes au moyen d'une ACP. Etant donné que la vulnérabilité est un concept multidimensionnel, toutes les dimensions extraites des ACP sont utilisées. Il est à noter que l'approche reposant sur des pondérations différentes est notre approche préférée. Cependant, nous rapportons les résultats des deux approches.

2.2.2 Exposition

2.2.2.1 Approche climatique

Pour la sensibilité actuelle et pour mettre en évidence les années déficitaires sur la base des pluviométries annuelles, l'indice pluviométrique standardisé a été utilisé. En statistique, elle est désignée par la valeur centrée réduite (IPS) (Ali et al., 2008). Elle représente la différence de la pluviométrie d'une année i par rapport à la moyenne de toutes les années divisée par l'écart-type. On considérera donc qu'un IPS inférieur à $-0,5$ (resp. supérieur à $0,5$) peut être considéré comme significatif des années sèches (resp. humides). Pour la sensibilité future, les variations relatives des pluviométries annuelles entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 ont été analysées.

En ce qui concerne la température, l'évolution temporelle des températures moyennes annuelles a été analysée par l'approche des tendances linéaires pour l'appréciation de la sensibilité actuelle. Pour la sensibilité future, les variations relatives des températures moyennes annuelles entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 ont été analysées.

2.2.2.2 Justificatif du choix du scénario 4.5

2.2.2.2.1 Les scénarios RCP

Il existe plusieurs scénarios dénommés Profils Représentatifs d'Evolution des Concentration en gaz à effet de serre (RCP ou PREC). Pour ce rapport, nous utiliseront la dénomination anglaise de RCP. Chaque RCP représente une trajectoire de concentration (non d'émission) de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone ou CO_2 , méthane ou CH_4 , protoxyde d'azote ou N_2O , etc.), d'aérosol et de gaz chimiquement actifs dans l'atmosphère, sur la période 2006-2100, avec une extrapolation jusqu'à 2300. Quatre RCPs (2.6, 4.5, 6.0 et 8.5) ont été sélectionnées pour la modélisation et la recherche climatique. Elles décrivent différents scénarios climatiques qui sont tous considérés comme possibles en fonction de la quantité de gaz à effet de serre qui sera émise dans les années à venir. Les quatre RCPs sont étiquetées d'après une plage possible de valeurs de forçage radiatif en 2100 (2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 W / m^2 , respectivement) et qui peut se traduire en une valeur de chaleur additionnelle stockée dans le système Terre en 2100. Les RCPs permettent également de calculer le changement global de température auquel nous pouvons nous attendre. Les projections des RCPs -2.6, 4.5, 6.0 et 8.5- estiment un réchauffement global de $1,61^\circ\text{C}$; $2,41^\circ\text{C}$; $2,83^\circ\text{C}$ et de $4,31^\circ\text{C}$ respectivement, à l'horizon 2100 (**Figure 5**).

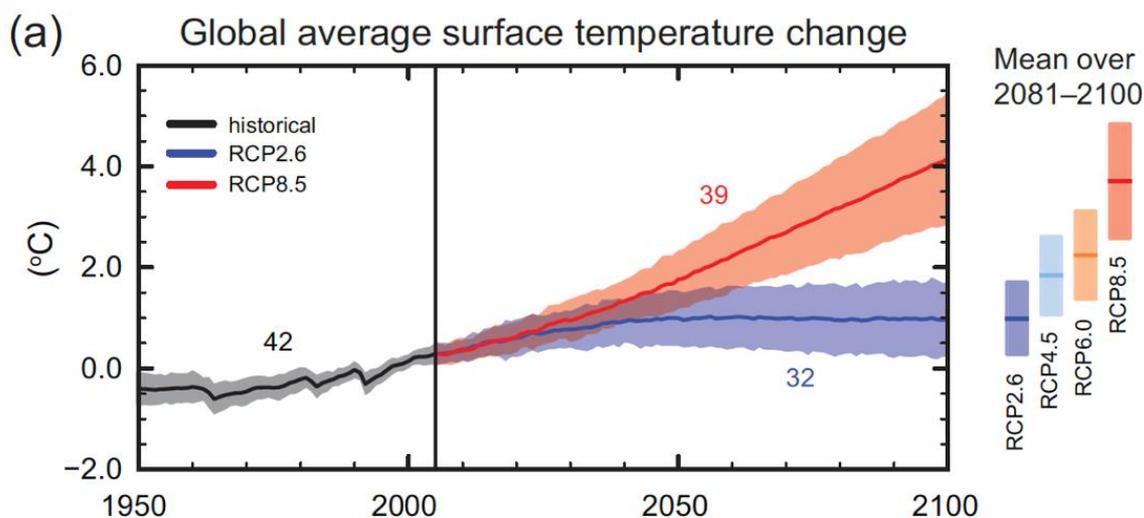


Figure 5: Changement projeté de la température globale de surface selon différents scénarios d'émission
(Source : Figure SPM.7(a). IPCC Working Group I Assessment Report, Summary for Policy Makers, 2013)

Pour l'horizon 2050, les RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 projettent un réchauffement de 1,6 °C ; 2,0°C ; 1,9°C et 2,6°C respectivement (**Tableau 2**)

Tableau 2: Changement projeté de la température globale de surface selon différents scénarios d'émission, à l'horizon 2050 (2046-2065) et 2100 (2081-2100).

	Scenario	2046-2065		2081-2100	
		Mean	Likely range	Mean	Likely range
Global Mean Surface Temperature Change (°C)	RCP2.6	1,0	0,4 to 1,6	1,0	0,3 to 1,7
	RCP4.5	1,4	0,9 to 2,0	1,8	1,1 to 2,6
	RCP6.0	1,3	0,8 to 1,8	2,2	1,4 to 3,1
	RCP8.5	2,0	1,4 to 2,6	3,7	2,6 to 4,8

Les températures sont relatives à la moyenne de la période 1986-2005. Pour arriver aux températures relatives à la période pré-industrielle, il faut ajouter 0,6°C. Le changement de température au milieu du siècle sous le scénario RCP4.5, et relative à la période pré-industrielle, est donc ~2,0°C, sous le scénario RCP6.0, il est d'environ 1,9°C. (Source AR5 SPM Table SPM.2)

2.2.2.2.2 Quel changement de température pourrait-on attendre pour 2050 ?

Climate Action Tracker (CAT) est une analyse scientifique indépendante réalisée par trois organisations de recherche qui suivent les progrès accomplis quant au maintien du réchauffement climatique bien en dessous de 2,0°C et à poursuivre les efforts visant à le limiter à 1,5°C, selon l'Accord de Paris. Le CAT regroupe ensuite l'action des pays au niveau mondial, en déterminant l'augmentation probable de la température d'ici la fin du siècle (<https://climateactiontracker.org/about/>). L'ensemble des engagements d'atténuation soumis à la CCNUCC par les pays du monde, présentement amènera à un réchauffement global de 3,3°C à l'horizon 2100 (<https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>).

2.2.2.2.3 Quels modèles et scénarios à utiliser pour des études à l'horizon 2050 ?

Le RCP 6.0, qui projette un réchauffement de 2,83°C vers 2100 (**Figure 5** et **Tableau 2**) semble pour l'instant être le scénario le plus proche des engagements gouvernementaux qui amène à un réchauffement de 3,3°C. Néanmoins, pour l'horizon 2050, les scénarios RCP 4.5 et 6.0 montrent une trajectoire et un réchauffement climatique très similaires (d'environ 2,0°C vers 2050). A cet horizon, des simulations avec des modèles forcés par le RCP 4.5 et RCP 6 produiront donc les mêmes valeurs pour les différentes variables climatiques. L'initiative CORDEX qui fait des simulations climatiques à l'échelle régionale pour l'Afrique et qui est la source des données/variables climatiques pour les études de vulnérabilité, a utilisé principalement le scénario RCP 4.5. Étant donné qu'il existe donc un grand nombre de simulations de modèles climatiques régionaux disponibles pour le RCP 4.5 (et non pour le RCP 6.0), la projection de variables climatiques pour les études de vulnérabilité a été faite en utilisant les modèles et simulations disponibles sous le RCP4.5. Toutes les projections ont également été corrigées de biais par *Climate Analytics*.

2.2.3 Sensibilité

2.2.3.1 Approche agronomique

Spécifiquement, elle a consisté à :

- Documenter les impacts des changements climatiques sur les secteurs de l'agriculture et la sécurité alimentaire, ainsi que les variables économiques qui décrivent les productions de ces secteurs, puis analyser les contraintes de couplage climat-agronomie qui en ressortent, notamment en termes d'analyse de production/productivité etc. En complément aux études du CILSS (études d'impacts des changements climatiques du changement climatique sur l'agriculture et les ressources en eau, bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation), une revue de littérature a été faite sur la base des publications scientifiques sur la thématique (ex. Akponikpè et al., 2011; Tachie-Obeng et al., 2013; Tidjani et Akponikpè, 2012; Agbossou et al., 2012).
- Argumenter les choix de modèles retenus conformément aux spécificités du Bénin, puis discuter et analyser les hypothèses nécessaires à l'adaptation des modèles existants, choisis en tenant compte des réalités de chacun des secteurs identifiés, et

- Évaluer les besoins en données (variables climatiques, variables économiques), proposer la méthodologie et les outils de collecte de données et d'analyse, collecter les données et mettre en œuvre les modèles adaptés pour le secteur de l'agriculture et sécurité alimentaire.

2.2.3.1.1 Méthodes agronomiques utilisées

Dans l'approche agronomique, les variables météorologiques d'intérêt impliquent selon un pas de temps journalier les températures minimales et maximales, la radiation solaire et les précipitations historiques obtenues à l'Agence Nationale de la Météorologie (METEO BENIN) ou simulées sur la base des modèles climatiques. Dans la pratique, les impacts présents et futurs ont été évalués sur la base des données climatologiques historiques et celles futures issues du forçage et désagrégation des Modèles Globaux de Circulation (MCG) du climat. Deux méthodes d'estimation de rendements des cultures ont été utilisées : les modèles dynamiques de croissance des cultures (APSIM et DSSAT) et les modèles statistiques ceci en raison de l'inexistence de certaines cultures importantes dans les modèles dynamiques de croissance des cultures.

2.2.3.1.1.1 Simulation biophysique des rendements

Cette méthode simule les rendements de cultures en se basant sur des paramètres biologiques et physico-chimiques de l'environnement de ceux intrinsèques à la culture elle-même. Ainsi, en plus des données climatologiques, des données pédologiques (propriétés physico-chimiques des sols) et génétiques des cultures (temps thermiques², etc.) ont aussi été utilisées sur la base de la littérature récente dans la zone d'étude (Tovihoudji, 2018 ; Amouzou et al., 2018). Ces données ont ensuite été incorporées dans les modèles biophysiques et dynamiques de croissance des cultures pour simuler les rendements des principales cultures suivant les pratiques agricoles du milieu. Les cultures concernées sont ici le maïs et le coton qui disposent des modèles de croissance validés pour le Bénin et dans la sous-région. Deux principaux modèles de culture sont utilisés pour cette activité : APSIM (Agricultural Production System sIMulator) et DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). Le modèle APSIM (Keating et al., 2003) a été validé pour plusieurs cultures au Bénin et utilisé pour l'aide à la décision en matière de gestion des éléments nutritifs et l'atténuation des risques agro-climatiques (Akponikpè, 2008 ; Akponikpè et al., 2010 ; 2011). Le modèle DSSAT (Jones et al., 2003) a également été validé et utilisé pour plusieurs études (sécurité alimentaire et de gestion des cultures) dans la région Ouest-Africaine (Naab et al., 2004; Thornton et al., 1997; Badini et al., 1997; Jones et Thornton, 2002; Lawin et al., 2013). Pour les simulations, un scénario agronomique de base a été utilisé (sans engrais, ni fumier, sans semences locales, labour léger, etc.). Quand bien même ces modèles ont été utilisés pour différentes cultures au Bénin, leur utilisation pour des sites spécifiques (par exemples les communes de la présente étude) nécessite une calibration et validation en vue de se rassurer de leur capacité à bien simuler les cultures quelques soient les itinéraires techniques adoptées. Pour ce fait, les rendements historiques utilisés sont issus des statistiques officielles la FAO. Dans l'ensemble les

²Le temps thermique (ou somme de températures) montre une forte corrélation avec la croissance et le développement des plantes et est donc très utilisé en modélisation. Il est calculé, au cours du cycle de la culture, par la somme des températures moyennes journalière de laquelle est soustraite la température de base, cette dernière dépendante de l'espèce et en dessous de laquelle le processus de développement considéré est arrêté.

indicateurs de performances des modèles ont été bonnes et acceptable ce qui a permis d'obtenir des modèles calibrés, validés et adaptés à chaque commune de la zone d'étude.

2.2.3.1.1.2 Simulation statistique des rendements

Pour les autres cultures ne disposant pas de module biophysique de croissance validé, une modélisation statistique (régression linéaire multiple) a été faite des rendements historiques en fonction des variables climatiques (pluviométrie). Ces modèles statistiques ont servi à estimer les rendements futurs sur la base des données climatologiques projetées. Les cultures concernées sont le sorgho, le mil, le riz, le niébé, l'arachide, le soja, le manioc, l'igname et la patate douce.

2.2.3.2 Approche socio-économique

2.2.3.2.1 État des lieux sur la modélisation bioéconomique de l'impact des changements climatiques

La modélisation bioéconomique est une modélisation microéconomique de gestion des ressources naturelles. Elle est basée sur les techniques et méthodes mathématiques et se fonde sur la transcription mathématique (en équations) de variables à la fois biologiques (stock, vitesse de reproduction et d'extinction de la ressource étudiée) et économiques (nombre d'agents exploitant la ressource, état de la demande et de l'offre, technologie de prélèvement disponible). Les modèles bioéconomiques ont suscité de fortes critiques dans les années 90 du fait de la difficulté d'évaluer le stock initial de ressources conditionnant le rythme d'exploitation, et de la représentation insuffisante des interactions de la ressource étudiée avec son écosystème et les autres espèces qui le peuplent (Cury et Pauly, 2013). En dépit de ces critiques, les modèles produisent généralement des résultats qui sont consistants. Ces modèles permettent aussi l'analyse des technologies, et sont moins consommateurs de données comparés à d'autres approches telles que les modèles économétriques et peuvent être statiques ou dynamiques.

En agriculture, les modèles bioéconomiques se réfèrent aux modèles qui intègrent des composantes biophysiques et économiques (Janssen et van Ittersum, 2007; van Wijk et al., 2012). Le niveau de développement de ses deux composantes varie selon les modèles (van Wijk et al., 2012). En effet, certains modèles bioéconomiques sont construits en ajoutant une composante économique à des processus biologiques tandis que d'autres sont des modèles d'optimisation économiques auxquels sont ajoutés des aspects biologiques liés aux ressources biologiques utilisées dans le processus de production (van Wijk et al., 2012).

En ce qui concerne spécifiquement les changements climatiques, plusieurs études ont utilisé les modélisations bioéconomiques pour analyser les impacts des changements climatiques, la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques. Ces études sont résumées dans le **Tableau 3**:

Tableau 3. Synthèse de quelques travaux ayant utilisé les modèles bioéconomiques

Auteurs	Étude	Couverture géographique	Approche méthodologique
Edea (2018)	Cartographie des systèmes agricoles par télédétection et prédiction des rendements dans les hydro-écorégions du bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin.	Bénin (Ouémé supérieur)	Modèle biophysique (NDVI)
Fischer et al. (2005)	Impacts socio-économiques du changement climatique sur l'agriculture : une évaluation intégrée, 1980-2080		Modèle Général Circulaire (GCM) combiné avec un modèle biophysique
Ignaciuk et Mason-D'Croz (2014)	Modélisation de l'adaptation au changement climatique dans l'agriculture		IMPACT (Modèle International pour l'Analyse des Politiques des Produits Agricoles et du Commerce)
Kaufmann et Snell (1997)	Un modèle biophysique du rendement du maïs intégrant les facteurs climatiques et sociaux		Modèle biophysique
Leclère et al. (2014)	Transformation induite par le changement climatique des systèmes agricoles : les perspectives d'un modèle global		GGCM
Lokonon et al. (2015)	Evaluation des impacts des chocs climatiques sur les performances des exploitations agricoles et les réponses d'adaptation dans le bassin du Niger au Bénin	Benin	Modèle de programmation mathématique dynamique récursive
Medellin-Azuara et al. (2011)	Impacts économiques du changement climatique lié à l'agriculture californienne	USA	SWAP (Modèle de Production Agricole à l'Echelle de l'Etat)
Mizina et al. (1999)	Une évaluation des options d'adaptations aux impacts du changement climatique sur l'agriculture au Kazakhstan	Kazakhstan	ADM (Matrice de décisions d'adaptation)
Parry et al. (2014)	Effets du changement climatique sur la production alimentaire mondiale dans le cadre des scénarios d'émissions et des scénarios socio-économiques		Modèle BLS (système lié de base)
Pinky et Rayhan (2013)	Impact du changement climatique sur la productivité des cultures		Modèle bioéconomique
Rosenzweig et al. (2014)	Evaluation du risque agricole du changement climatique au 21 ^è siècle.		GGCM (modèle de culture quadrillé mondial)
Tol (2002)	Estimation des coûts des dommages du changement climatique		GCM

2.2.3.2.2 Méthodes bioéconomiques utilisées

Sur la base des indicateurs à renseigner, les données économiques utilisées sont entre autres les données socio-économiques (superficies, accès à l'électricité, accès à la téléphonie, sexe, taille du ménage, éducation du chef de ménage, possession de radio, etc.) les rendements passés des cultures (ces données proviennent du modèle de croissance des cultures), les types de sols, les coordonnées géographiques, etc. Des données annuelles ont été collectées à l'échelle d'une commune.

2.2.4 Vulnérabilité

Un indicateur de vulnérabilité a été calculé pour chaque commune. Avant le calcul de l'indicateur de vulnérabilité, il faut calculer les indicateurs d'exposition, de sensibilité, et de capacité adaptative et c'est leur agrégation qui forme l'indicateur de vulnérabilité. Pour cela, nous avons utilisé des données climatiques et socioéconomiques pour chaque commune. L'indice de vulnérabilité est calculé selon les formules suivantes (en se référant à la **Figure 2**, Deressa et al., 2008 ; Sendhil et al., 2018 ; Simane et al., 2016):

$$\text{Impact potentiel} = \text{Exposition} + \text{Sensibilité}$$

$$\text{Vulnérabilité} = \text{Impact potentiel} - \text{Capacité d'adaptation}$$

Il est à noter que nous avons pris en compte dans le calcul de la vulnérabilité, l'alignement de l'impact potentiel et de la capacité d'adaptation afin d'éviter l'écueil consistant à agréger des composantes qui sont alignées dans un sens différent.

Tous les indicateurs utilisés ont été normalisés par le biais de la normalisation min-max:

$$X_N = \frac{X_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)}$$

Où:

X_i représente le point de données de la commune à transformer,

$\min(X)$ la valeur minimale de cet indicateur,

$\max(X)$ la valeur maximale de cet indicateur, et

X_N la valeur normalisée qui est comprise entre 0 et 1.

Dans le cadre de l'analyse de la sensibilité, un modèle d'optimisation (modèle bioéconomique) a été utilisé (avec le logiciel GAMS) pour la simulation de l'impact du changement climatique sur la production agricole (voir la présentation du modèle en annexe). Ledit modèle qui a permis de simuler le comportement du producteur agricole avait pour objectif de maximiser le revenu de ce dernier (incluant l'autoconsommation) sous contrainte des ressources disponibles (terres, main-d'œuvre, capital, etc.). Les entrées du modèle sont les données listées en annexe. Il est à noter que des fonctions de rendements ont été estimées économétriquement à partir des données de rendement observées au niveau des communes pour toutes les cultures incluses dans le modèle d'optimisation en suivant la littérature (Egbedewe et al., 2017). Ainsi, les rendements sont considérés comme fonction des variables climatiques (température et précipitations mensuelles) et des sols. Le modèle est calibré sur

la période 2011-2015. En termes de sorties, le modèle décrit les allocations de terres selon les cultures et associations de cultures, les niveaux de production et le revenu du producteur. Ainsi, la modélisation a permis de voir la variation du revenu face aux changements climatiques. Elle a aussi permis de traduire en termes monétaires la perte et/ou le gain de rendement due aux changements climatiques (ce que l'indice de vulnérabilité ne pourra pas traduire) et servira de base à la décision.

En plus de la modélisation, une analyse qualitative d'identification/validation des options et de la capacité d'adaptation a été faite. Pour cette analyse, les données utilisées sont des informations de contexte (projections climatiques, les implications sur les cultures et probablement sur les revenus des ménages, l'évolution démographique, etc.) des données sur les cultures majeures de la région considérée, les caractéristiques des communes, etc.

2.2.5 Options d'adaptation (approche agronomique)

L'objectif de cette approche est d'élaborer des scénarii et analyser les options et pratiques d'adaptation agronomiques aux changements climatiques sur la base de revue de littérature et des échanges participatifs avec les producteurs. Les options pertinentes (changement de variété, utilisation de fertilisation minérale ou organique, échelonnement des semis, paillage, etc.) sont implémentées avec le climat futur en vue d'apprécier leur capacité à réduire les impacts négatifs par le biais des modèles dynamiques (DSSAT/APSIM).

3. Résultats

3.1 Évaluation de la vulnérabilité actuelle

3.1.1 Exposition

3.1.1.1 Aspects climatiques

Pluies moyennes annuelles

Les résultats montrent une importante variabilité interannuelle des précipitations observées avec une tendance légèrement à la baisse (Annexes n° 3 et 4). Les précipitations varient pour la plupart entre 600 et 2000 mm (Figures en annexes n°3 et 4) avec des pics significatifs qui dénotent une ou plusieurs années exceptionnelles de précipitations dans la série (Annexes n° 3 et 4). Ces années de précipitations élevées ne sont pas les mêmes pour les différents sites d'étude. Pour mettre en évidence les années déficitaires sur la base des pluviométries annuelles, l'indice pluviométrique standardisé, (IPS), a été calculé (Ali *et al.*, 2008). Il représente la différence de la pluviométrie d'une année i par rapport à la moyenne de toutes les années divisé par l'écart-type. On considérera donc qu'un IPS inférieur à - 0,5 (resp. supérieur à 0,5) peut être considéré comme significatif des années sèches (resp. humides). L'observation des graphes montre qu'il y a autant d'années que d'années humides ; l'année 1978 étant la plus sèche sur l'ensemble des sites d'étude (**Figure 6**). Généralement, en agro-climatologie, on considère qu'il y a sécheresse si IPS est inférieur à - 0.2.

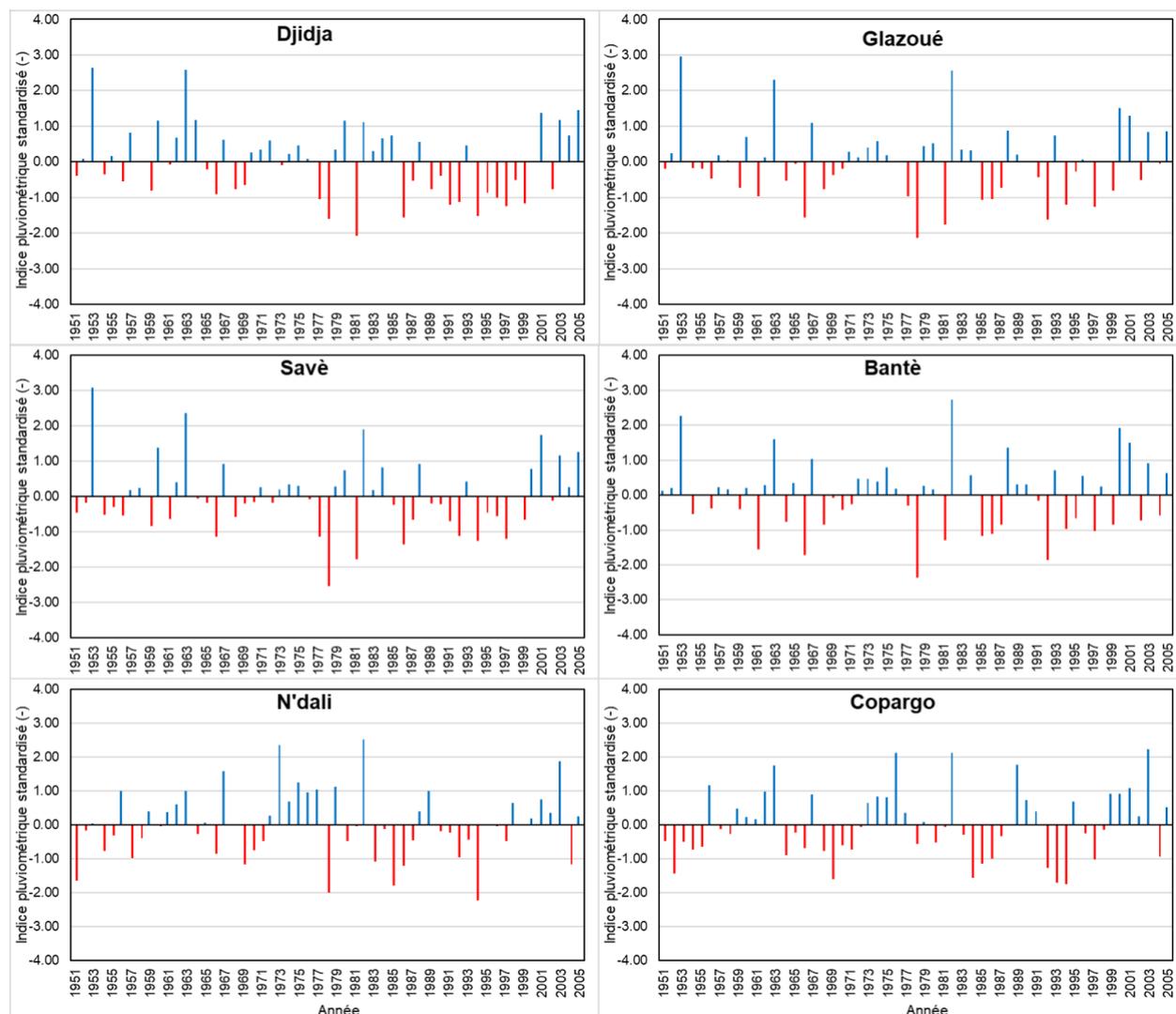


Figure 6. Tendances de l'indice pluviométrique standardisé sur quelques sites d'études sur la période historique 1950-2005.

Températures annuelles (mm) et variation

Comme pour la pluviométrie, nous observons une variabilité interannuelle des températures moyennes (de 27 à 29 °C) avec une forte tendance à la hausse au niveau de la zone d'étude (pente de 0,0124 à 0,0181 ; $R^2=0.51-0.60$; **Figure 7**, Annexes n° 5), soit une augmentation de $1.0\pm 0.1^\circ\text{C}$ en 55-80 ans.

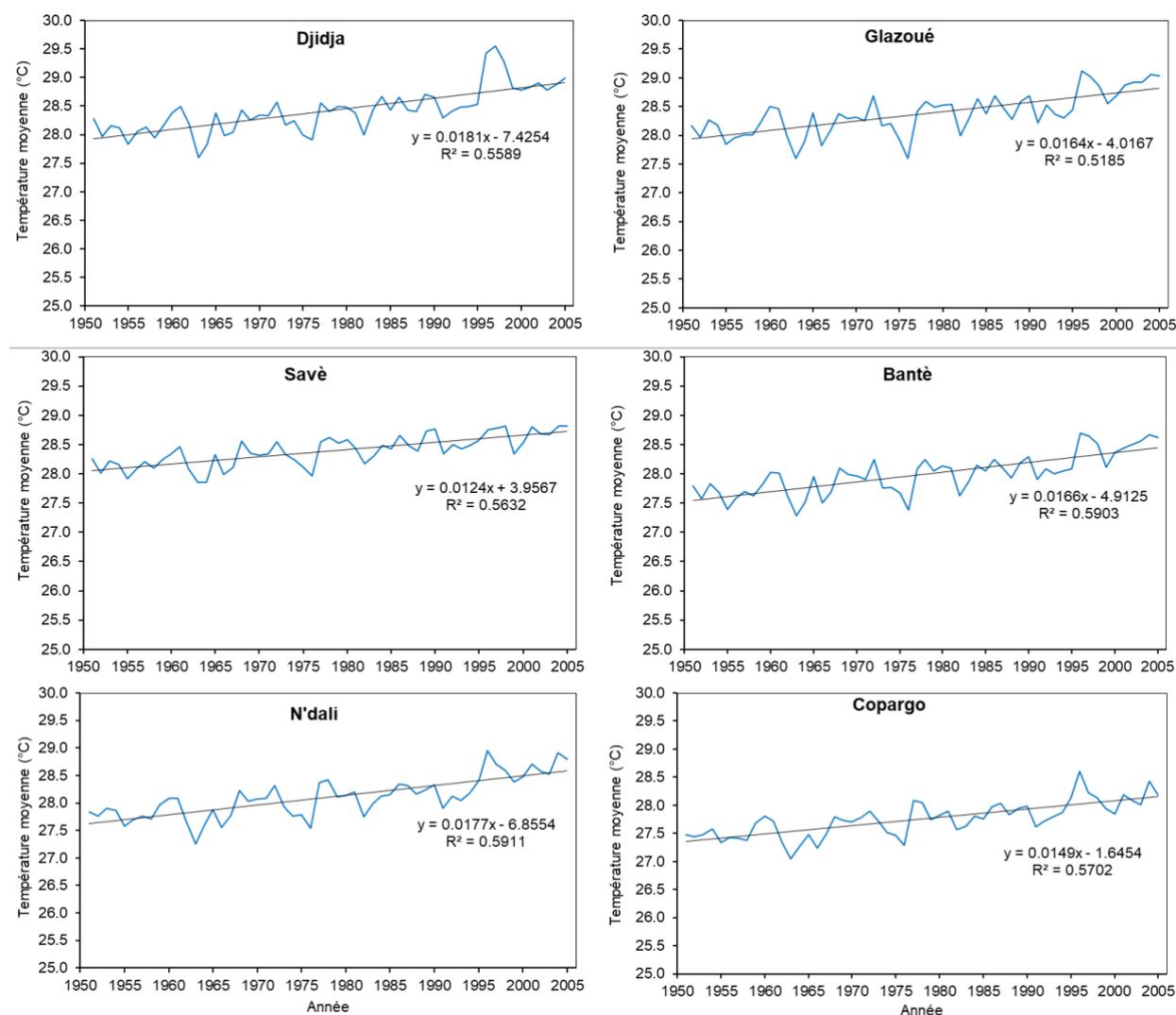


Figure 7. Tendances des températures moyennes annuelles observées sur quelques sites d'études sur la période historique 1950-2005.

3.1.1.2 Aspects socio-économiques

Il ressort de la **Figure 8** que les communes ont des degrés différents d'exposition actuelle aux changements climatiques. Les communes au Nord de la zone d'étude, notamment celles se retrouvant dans les départements du Borgou et de la Donga, sont les plus vulnérables en termes d'exposition car elles présentent les indices les plus élevés. A l'opposé, les communes situées dans la partie Sud de la zone d'étude sont actuellement moins exposées car présentant des indices faibles. Cette tendance s'observe quelle que soit la technique d'agrégation des indicateurs d'exposition.

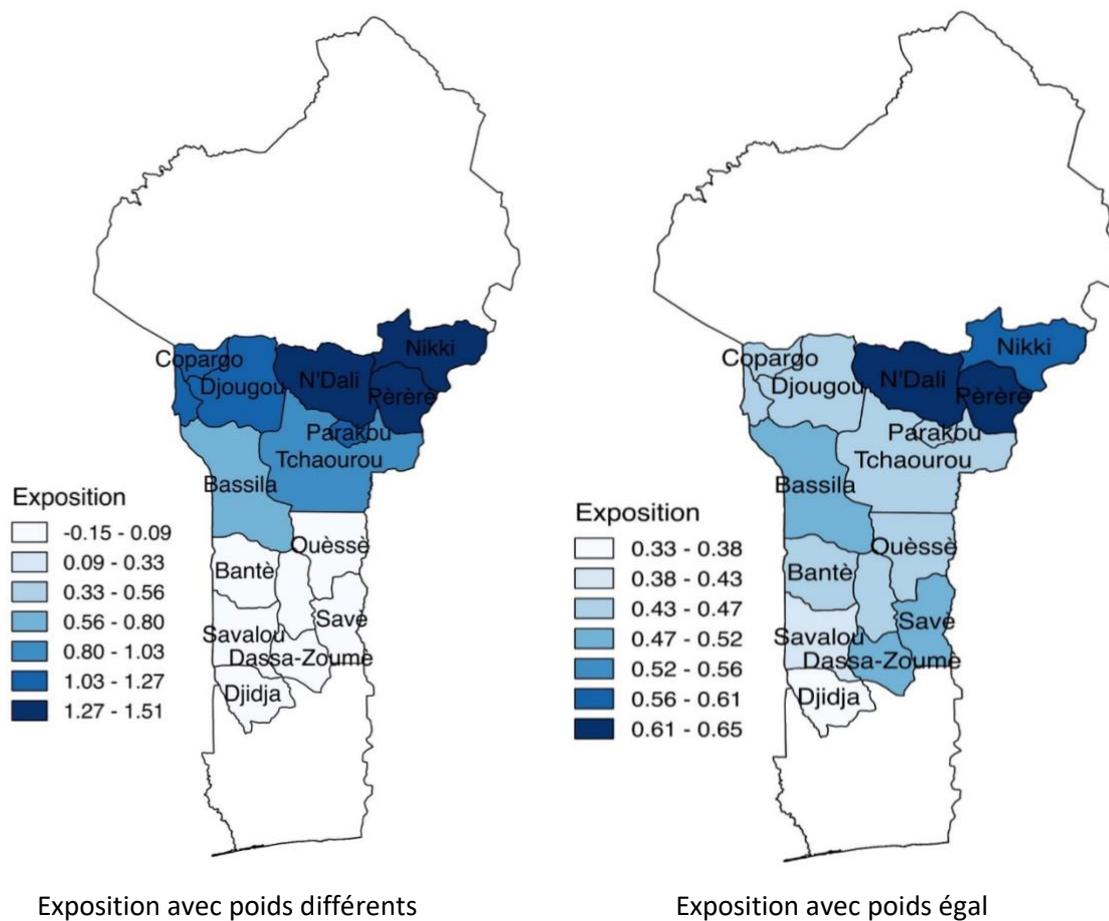


Figure 8. Exposition actuelle

3.1.2 Sensibilité

3.1.2.1 Aspects agronomiques

3.1.2.1.1 Évolution récente des rendements des cultures

Maïs

A l'instar des précipitations, nous avons observé une importante variabilité interannuelle des rendements historiques du maïs avec une tendance générale plus ou moins stable. Les rendements moyens de maïs varient généralement entre 500 et 800 kg/ha avec des minima de 300-700 kg/ha et des maxima de 650-840 kg/ha (**Figure 9**).

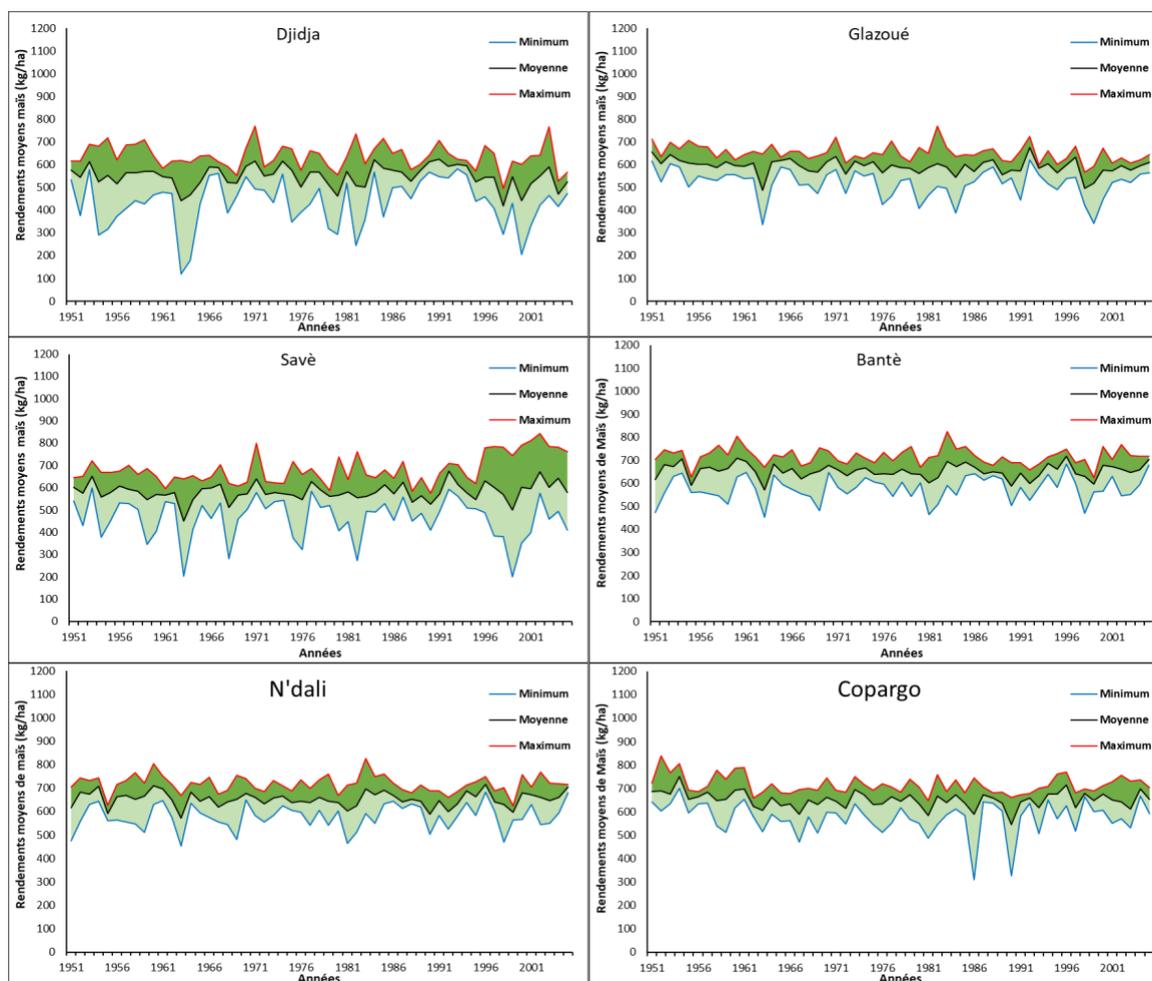


Figure 9. Évolution des rendements historiques de maïs simulés au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

Coton

Les rendements de coton connaissent également une importante variabilité interannuelle. Ils varient généralement entre 700 et 1150 kg/ha avec des minima de 480-1120 kg/ha et des maxima de 830-1200 kg/ha (**Figure 10**).

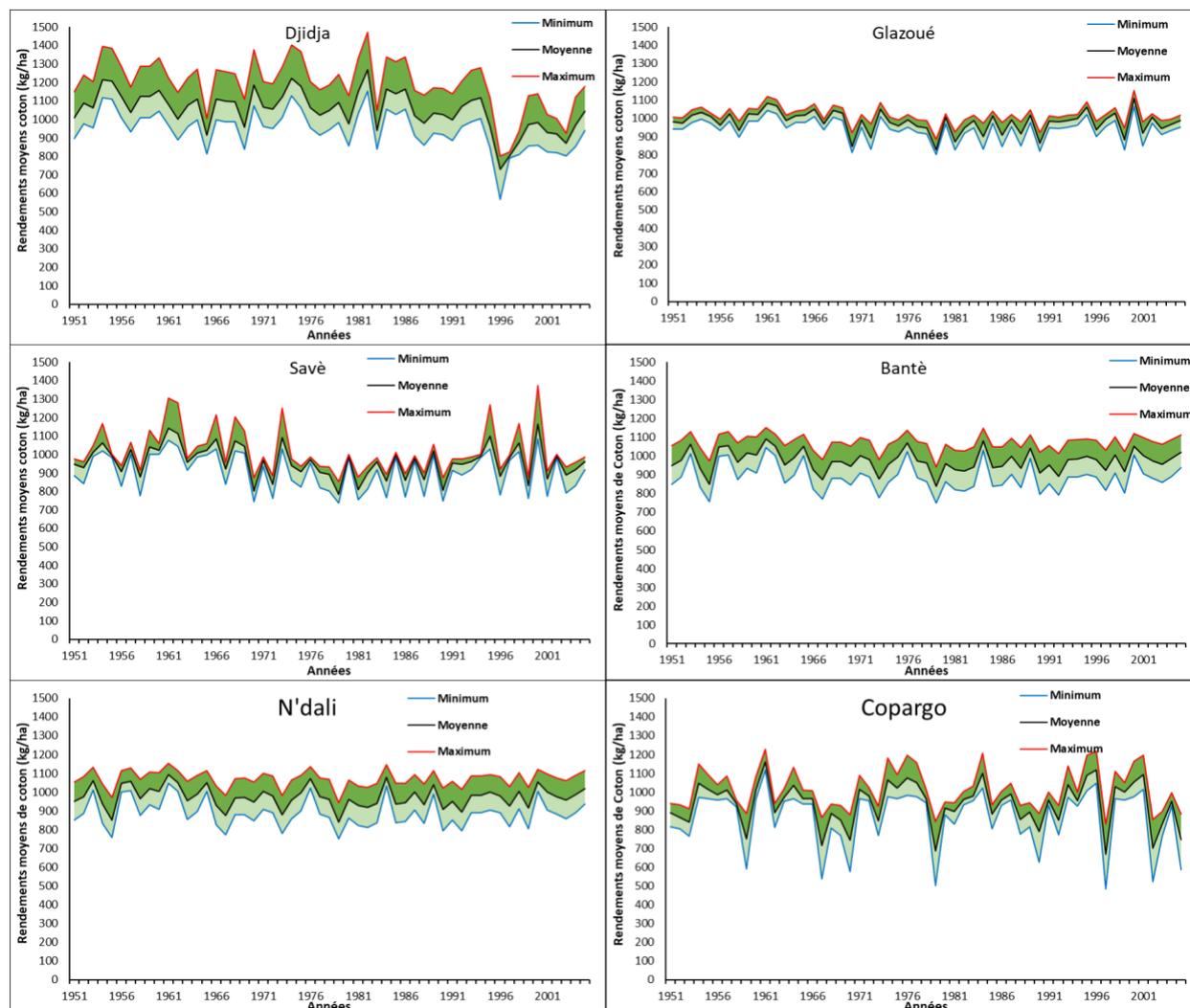


Figure 10. Évolution des rendements historiques de coton simulés sur quelques sites d'étude (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

3.1.2.2 Aspects socio-économiques

Il ressort de la **Figure 11** que les communes ont des degrés différents de sensibilité actuelle aux changements climatiques. Les communes situées dans la partie Sud de la zone d'étude sont actuellement plus sensibles et présentent des indices élevés. A l'opposé, les communes au Nord de la zone d'étude notamment celles se trouvant dans les départements du Borgou et de la Donga sont les moins vulnérables en termes de sensibilité, et elles présentent les indices les plus faibles. Cette tendance s'observe quelle que soit la technique d'agrégation des indicateurs de sensibilité. Lorsque

l'on agrège les indices d'exposition et de sensibilité en indice d'impact potentiel, il en résulte que Pèrère est la plus potentiellement affectée par le changement climatique suivie par N'Dali, Nikki, Djougou, Parakou, Savalou, Tchaourou, Dassa-Zoumè, Glazoué, Copargo, Ouèssè, Bassila, Ouaké, Save, Djidja et Bantè.

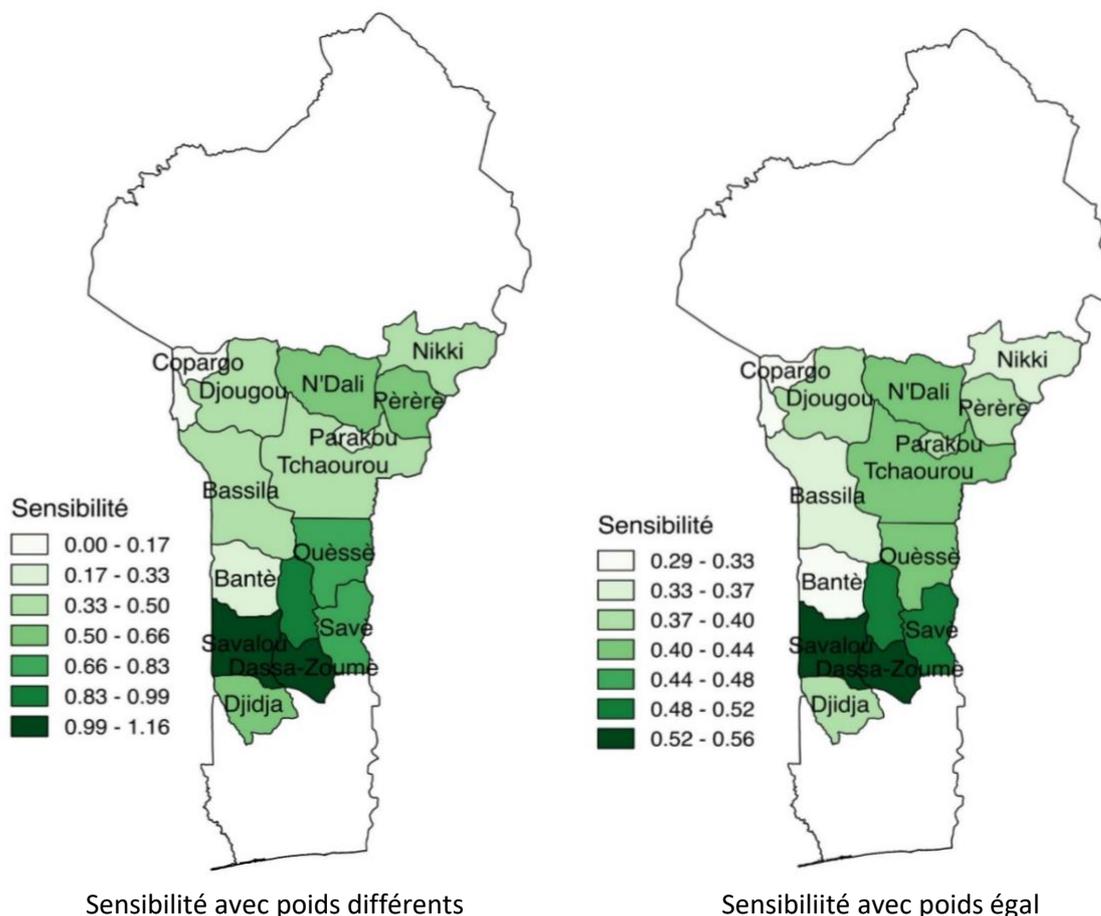


Figure 11. Sensibilité actuelle

3.1.3 Capacité d'adaptation

La **Figure 12** présente les résultats du calcul de la capacité d'adaptation actuelle. Il ressort de cette figure que les communes ont des degrés différents de capacité d'adaptation actuelle face aux changements climatiques. Les communes au Nord de la zone d'étude, notamment celles se trouvant dans les départements du Borgou et de la Donga, ont une plus forte capacité d'adaptation actuelle et elles présentent les indices les plus élevés. A l'opposé, les communes situées dans la partie Sud de la zone d'étude ont des capacités d'adaptation les plus limitées et présentent des indices faibles. Cette tendance s'observe quelle que soit la technique d'agrégation des indicateurs d'exposition.

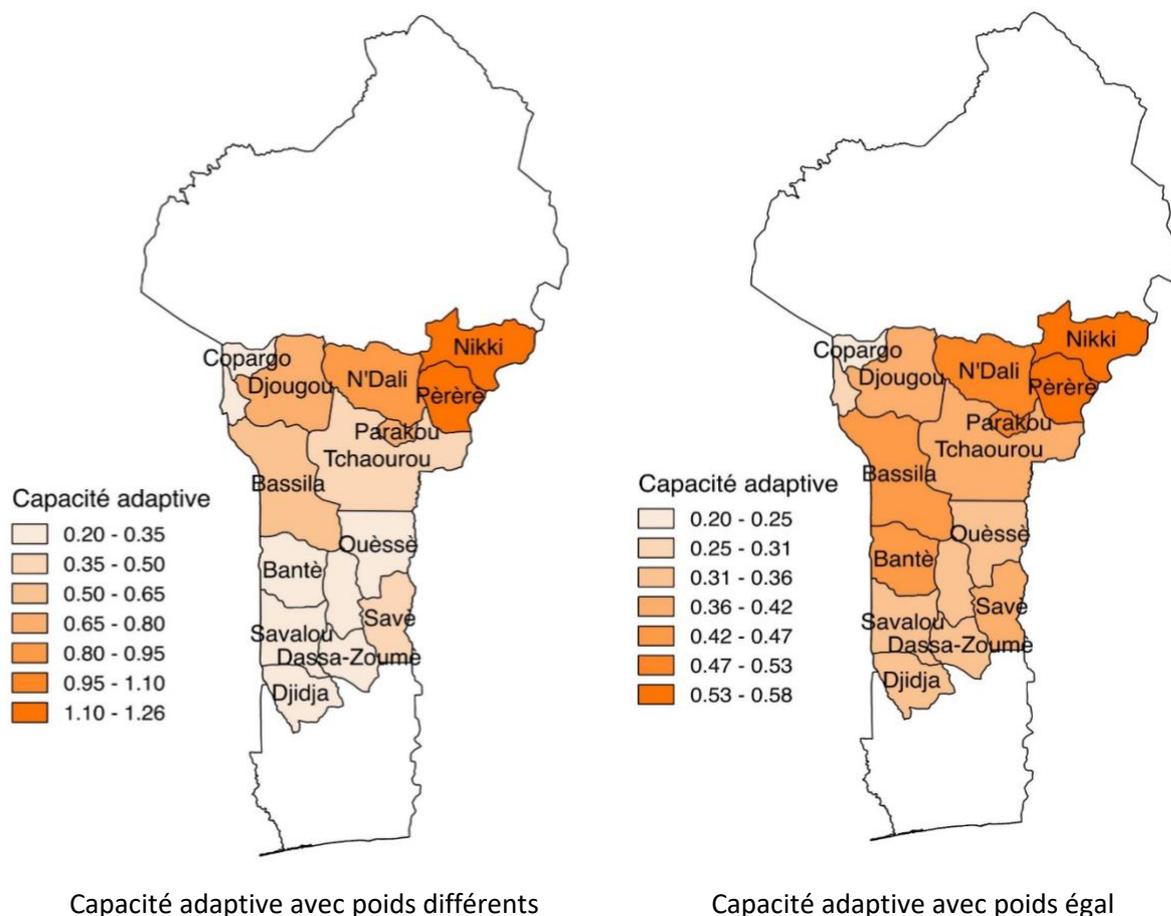


Figure 12. Capacité adaptative actuelle

3.1.4 Analyse de la vulnérabilité actuelle

Les communes de N'Dali et de Pèrère sont les plus exposées aux changements climatiques, tandis que les communes situées dans la partie Sud de la zone d'étude sont actuellement moins exposées; les deux approches s'accordent sur cela. En ce qui concerne la sensibilité, plus la valeur de l'indice est élevée plus la Commune est sensible aux changements climatiques. Savalou est la commune la plus sensible, tandis que Ouaké est la moins sensible aux changements climatiques. Il faut noter que les notions de commune moins exposée et de moins sensible sont relatives car les communes moins exposées et moins sensibles peuvent en réalité avoir un niveau d'exposition et de sensibilité élevé comparé à d'autres communes qui ne sont pas dans l'échantillon. La commune de Nikki dispose de la plus grande capacité d'adaptation, tandis que la commune de Copargo a la plus faible capacité d'adaptation. Plus l'indice de vulnérabilité est élevé, plus le niveau de vulnérabilité aux changements climatiques est élevé. Savalou qui est la commune la plus sensible se trouve être la plus vulnérable et Bantè est la commune la moins vulnérable aux changements climatiques.

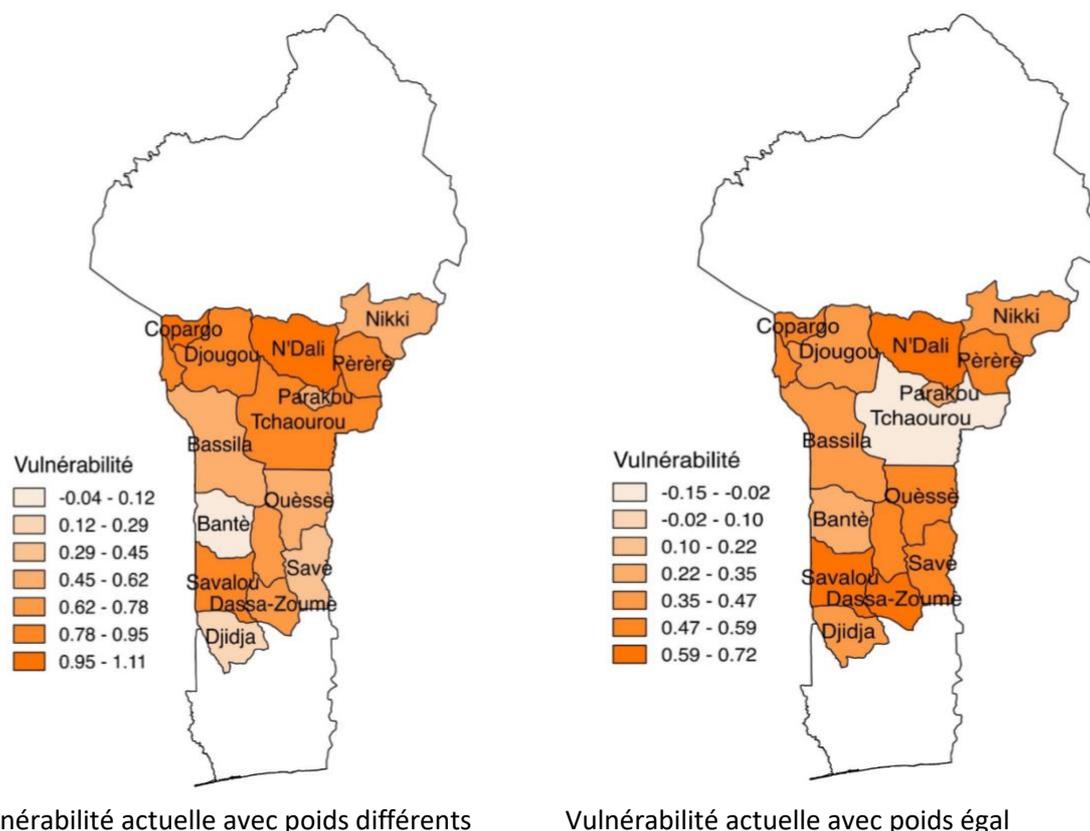


Figure 13. Vulnérabilité actuelle

3.2 Évaluation de la vulnérabilité future

3.2.1 Exposition

3.2.1.1 Projection des pluviométries moyennes annuelles et variation

Les résultats des simulations suggèrent que les précipitations seront affectées significativement par les changements climatiques. Comme les pluviométries historiques, les résultats montrent une importante variabilité interannuelle des précipitations simulées à l'horizon 2050 (Annexes n°6 et 7). Le nombre d'années à précipitations déficitaires augmentera dans le futur (**Figure 14**). Les changements climatiques affectent différemment les communes d'étude, les communes de Copargo, Djougou et Ouaké étant les plus touchées quel que soit le modèle considéré (Figure 14, Annexe N° 9). Ces communes appartiennent à la zone agroécologique N°4 et sont plus vulnérables que les autres communes étudiées et qui appartiennent aux ZAE 3 et 5. Par ailleurs, il y a d'énormes disparités entre les modèles climatiques. Le modèle ECEARTH présente des tendances générales d'augmentation des pluies annuelles de 6 à 10% dans toutes les communes de l'étude. Cette augmentation des pluies sera encore plus effective dans les communes de Ouaké, Bassila, Bantè, Parakou et Tchaourou. Par contre, le modèle HADGEM2 présente des tendances de pluies contractées. En effet, de façon générale, HADGEM2 prévoit une augmentation des pluies annuelles de 1 à 15% dans les communes situées à l'extrême Nord de la zone d'étude, tandis que les communes du centre et du Sud connaîtront une diminution des pluies annuelles de l'ordre de 1 à 20%. Il est important de remarquer que cette diminution des pluies sera plus prononcée (sévère) dans toutes les communes situées au Sud de la

zone d'étude (Ouèssè, Savè, Dassa et Djidja). Par ailleurs, les modèles GCM IPSL et MPSIEM présentent des tendances similaires de variation des pluies annuelles. En effet, les pluies connaîtront une augmentation de l'ordre de 6 à 10% dans les communes situées à l'extrême Nord-Est de la zone d'étude y compris Parakou et Tchaourou pour le modèle GCM IPSL et y compris Tchaourou seul selon MPSIEM. Dans le même temps, ces deux modèles s'accordent sur une diminution des pluies de l'ordre de 6 à 10% dans les communes situées à l'extrême Nord-Ouest et toutes les communes du Sud pour le GCM MPSIEM et quelques-unes du Sud (Ouèssè, Savè, Dassa et Djidja) pour le modèle IPSL (**Figure 15**).

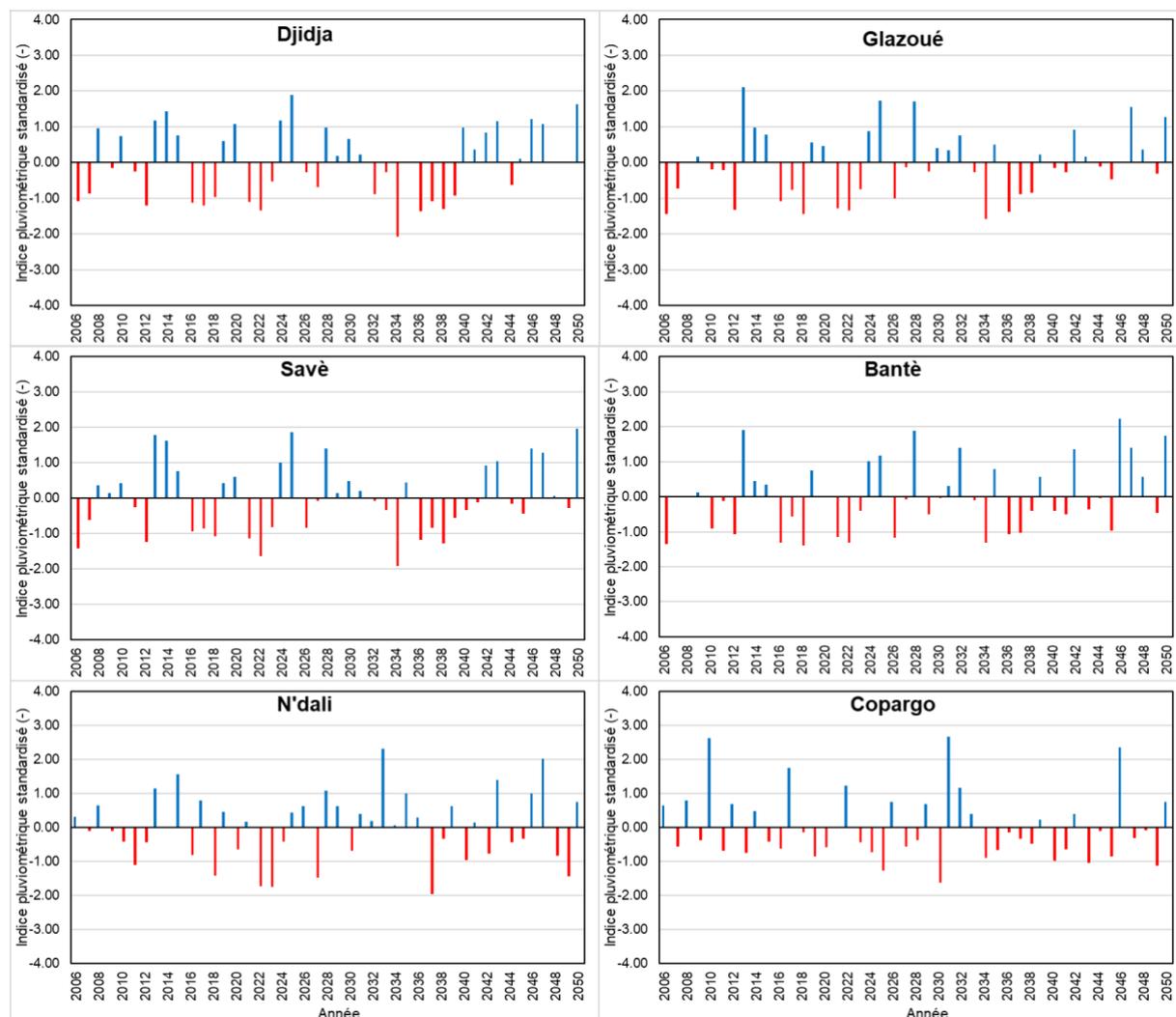


Figure 14. Tendances de l'indice pluviométrique standardisé simulé sur quelques sites d'étude (sur la base de la moyenne pluviométrique de quatre couples GCM-RCMs: ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

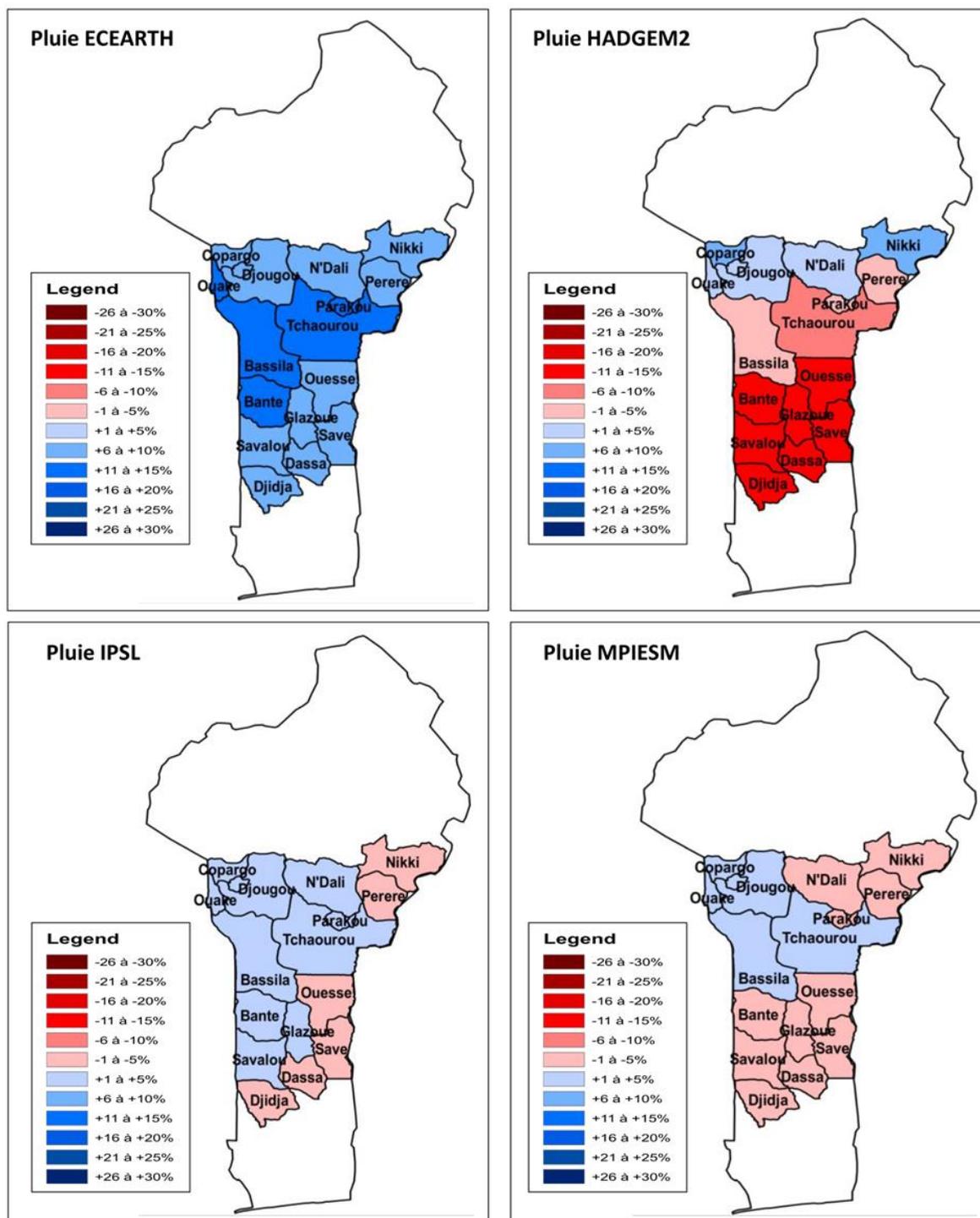


Figure 15. Aspects pluviométriques t des changements climatiques: Variation de la pluviométrie annuelle entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (%). (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

3.2.1.2 Projection des températures moyennes et variation

Les températures moyennes simulées varient de 28 à 30°C avec une très forte tendance à la hausse à l'horizon 2050 dans la zone d'étude ($R^2=0.80-0.86$; **Figure 16**, Annexes n° 8 et 10). Les résultats de simulations montrent que les modèles ECEARTH et HADGEM2 s'accordent sur la variation des

températures moyennes dans toutes les communes de la zone d'étude. Selon ces modèles, Parakou et Savè seront les communes les plus chaudes à l'horizon 2050, avec une augmentation entre +1.1 à +1.5°C, tandis que les autres communes de la zone d'étude connaîtront une augmentation modérée de température moyenne entre +0.6 et +1.0°C (**Figure 17**). Par contre, le modèle IPSL présente des tendances à l'augmentation entre +1.5 et +2.0°C pour la plupart des communes du Nord-Est et de +1.1 à +1.5°C pour les autres communes. Par ailleurs, le modèle MPIESM présente des tendances légèrement chaudes (+0.6 à 1.0°C) dans toutes les communes de l'étude comparées aux tendances du modèle IPSL (**Figure 17**).

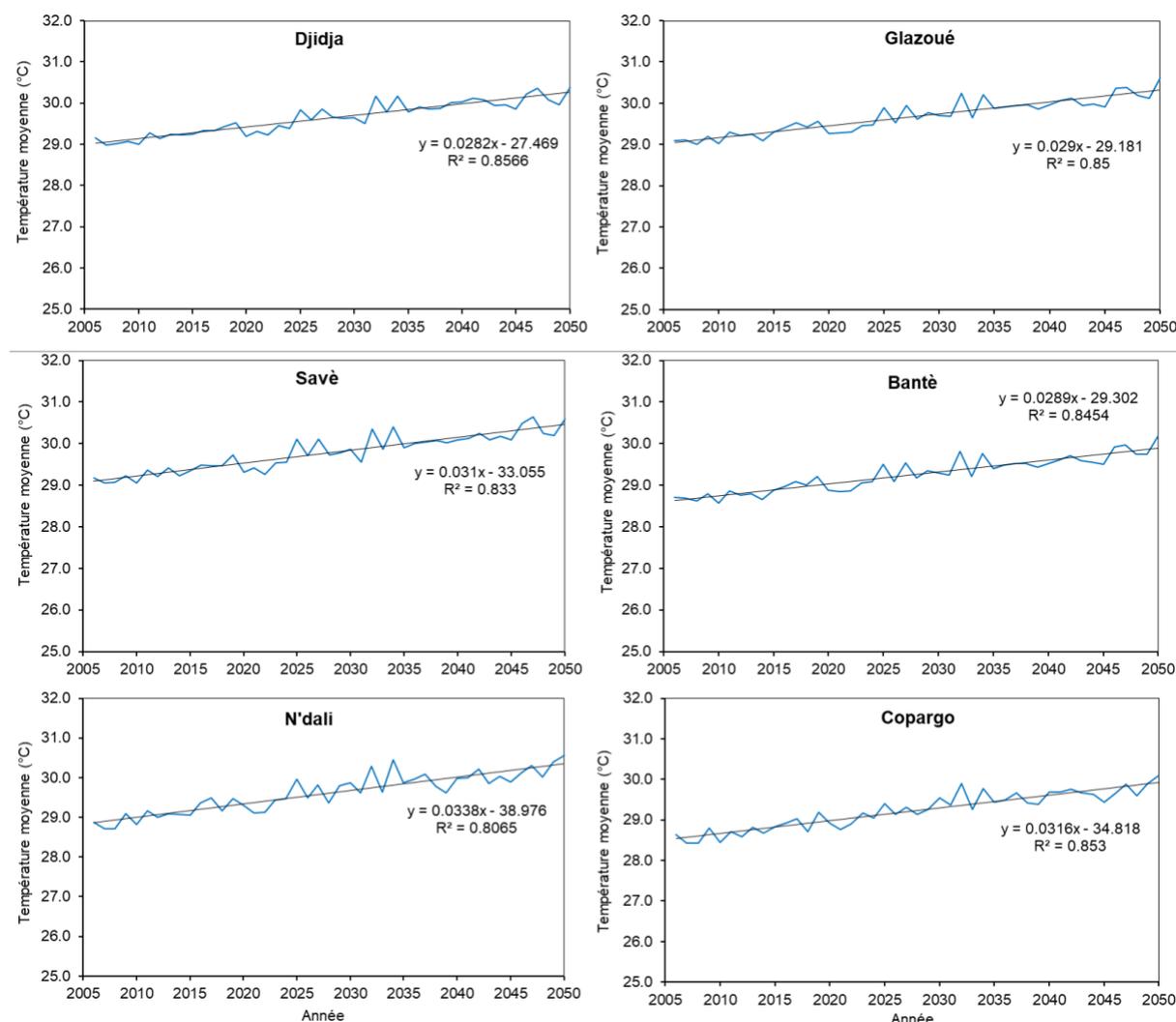


Figure 16. Evolution de la température moyenne simulée de quelques sites d'études (moyenne de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

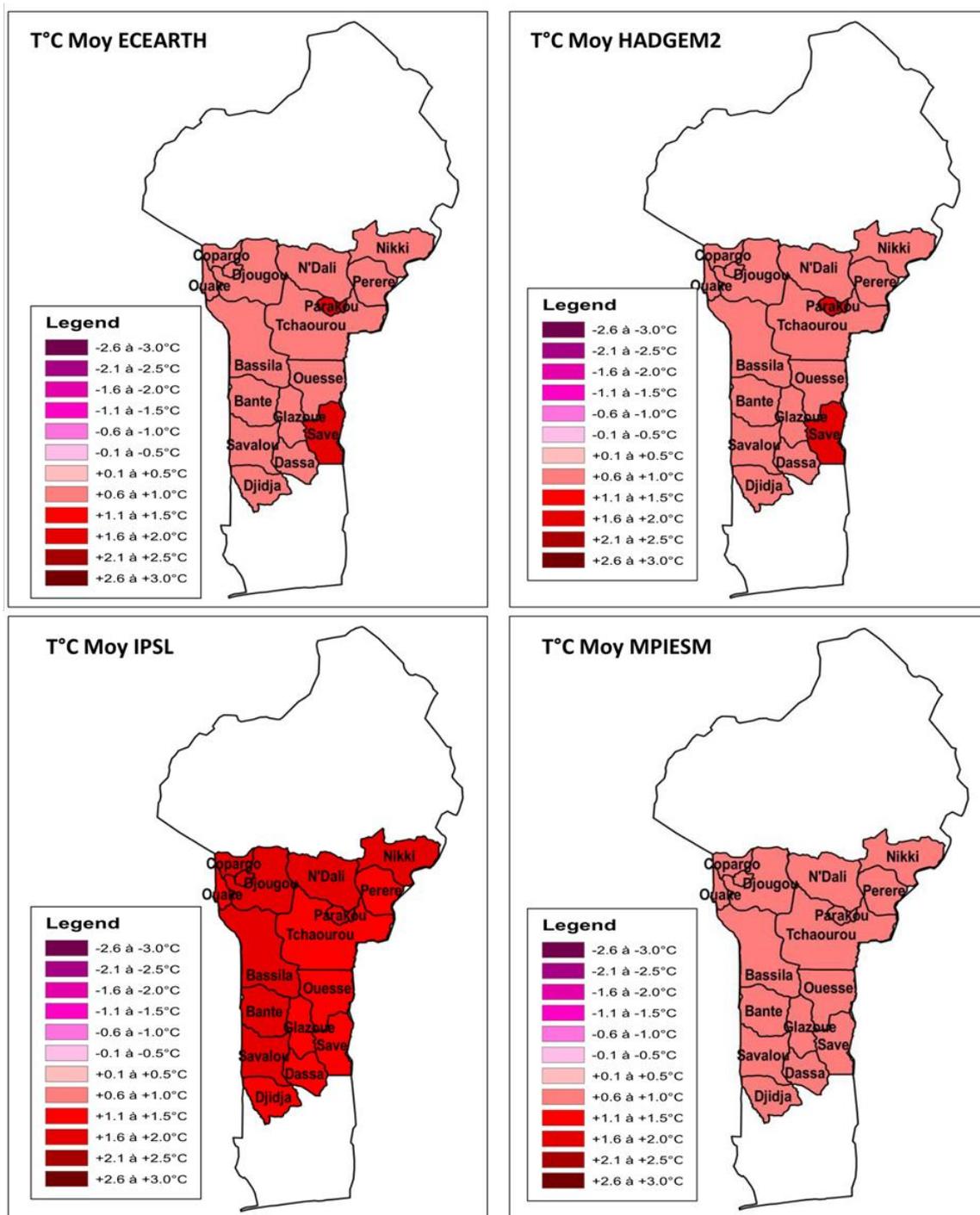


Figure 17. Aspects thermométriques des changements climatiques : Variation de la température moyenne entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (°C). (GCM-RCMs: ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

3.2.2 Sensibilité

3.2.2.1 Impacts agronomiques

3.2.2.1.1 Projection des rendements annuels et variation

Maïs

Les rendements de maïs connaîtront également dans le futur une importante variabilité interannuelle (**Figure 18**, Annexe n° 11). Les résultats des simulations révèlent que les changements climatiques auront un impact sur la production du maïs et du coton avec des diminutions de rendements pouvant aller jusqu'à 30% pour le maïs et 20% pour le coton, et des disparités entre modèles climatiques (**Figure 19**). En ce qui concerne le maïs, les modèles de simulation prévoient une diminution de rendements moyens de maïs de l'ordre de 1 à 10% dans toutes les communes de l'étude mais avec des effets plus sévères (11 à 15%) à Glazoué et Savè. Le modèle HADGEM2 prévoit des tendances plus sévères, comparé au modèle ECEARTH. En effet, sous les conditions climatiques de HADGEM2, les rendements moyens de maïs connaîtront de graves chutes de l'ordre de 21 à 25% dans toutes les communes avec des effets un peu moins sévères dans quelques communes du Sud. Cependant, sous les conditions climatiques du modèle IPSL, les effets sont amoindris par rapport à HADGEM2, mais les rendements de maïs restent toujours menacés par les changements climatiques. En effet, les modèles de croissance des cultures prévoient sous le climat IPSL une diminution des rendements du maïs de l'ordre de 6 à 10% dans toutes les communes de l'étude, sauf à Pèrèrè dont la diminution sera un peu plus prononcée. Si sous les trois GCM (ECEARTH, HADGEM2 et IPSL), les modèles s'accordent de façon générale sur une diminution des rendements moyens du maïs, la tendance est inversée sous les prédictions du modèle MPIESM. En effet, le climat sous ce modèle prévoit une augmentation des rendements du maïs de l'ordre de 1 à 5% dans toutes les communes sauf les trois situées à l'extrême Sud de la zone d'étude, dont l'augmentation de rendement sera plus prononcée que dans les autres communes (6 à 10%) (**Figure 19**).

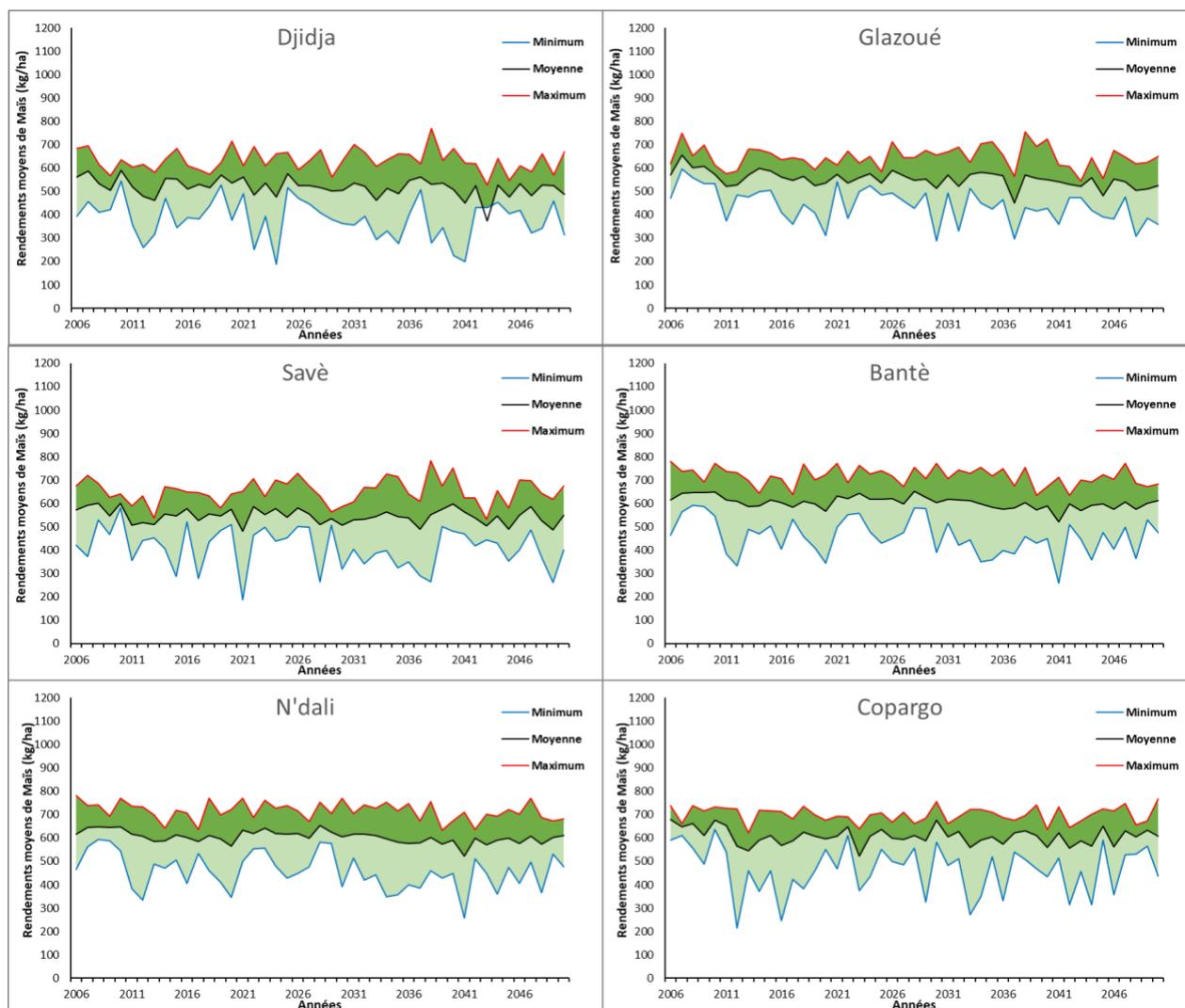


Figure 18. Evolution des rendements du maïs simulés à l'horizon 2050 au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

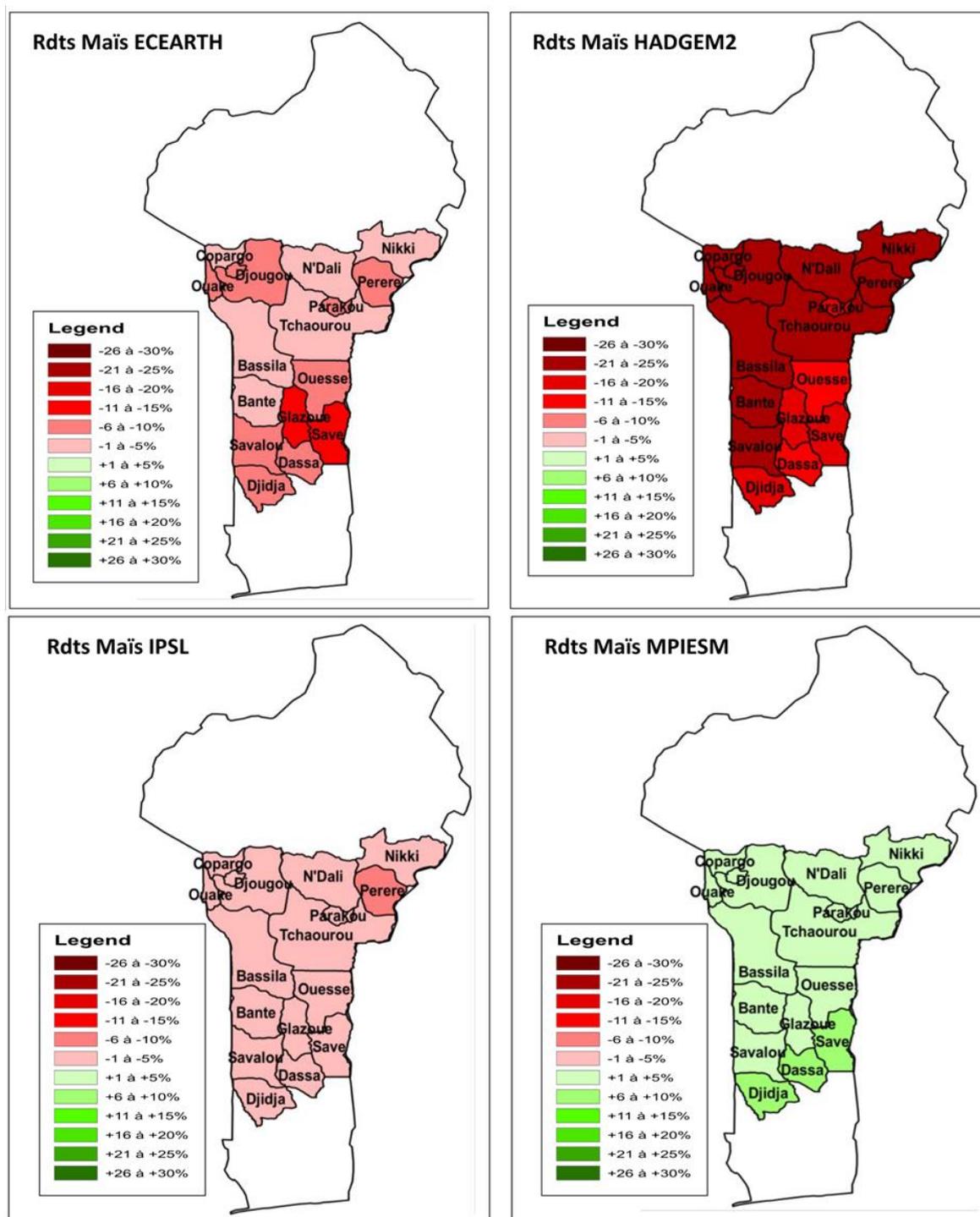


Figure 19. Effet des changements climatiques sur les rendements du maïs : Variation des rendements de maïs (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050. (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

Coton

Comme pour les rendements du maïs, les rendements de coton connaîtront également dans le futur une importante variabilité interannuelle (**Figure 20**, Annexe n° 12). Les simulations prévoient sous le climat du modèle ECEARTH une diminution sévère des rendements moyens annuels de coton de l'ordre de 11 à 15% dans toutes les communes de la zone d'étude, avec un effet plus ou moins modéré (diminution de 1 à 5%) dans les communes de Djougou, Parakou, Savalou et Djidja (Figure 20). Ces tendances des rendements sous le climat ECEARTH restent presque les mêmes pour le climat HADGEM2 mais avec des effets moindres. En effet, les diminutions de rendement moyen du coton vont passer de 11-15% à 6-10% sous le climat HADGEM2 mais toujours avec des effets plus sévères (-11 à -15%) dans les communes de Copargo, N'Dali, Pèrèrè, Glazoué et Dassa. Il en est aussi de même pour les rendements de coton estimés selon les projections du modèle IPSL. Selon ce modèle, les communes qui ressentiront le plus cette baisse de rendement sont Glazoué et Savalou. Par ailleurs, les projections de rendements du coton sous le climat MPSIEM montrent aussi des tendances à la baisse mais moins prononcée (-1 à 5%) dans les deux premiers cas (ECEARTH et HADGEM2). Ce modèle confirme Glazoué et Savalou présentées par IPSL comme étant les communes qui seront les plus touchées par de telles baisses (-6 à -10%) que dans le modèle IPSL. A ces deux communes confirmées, MPSIEM ajoute deux autres communes (Copargo et Ouesse) et prévoit plutôt une augmentation de rendement de coton à Bantè (**Figure 21**).

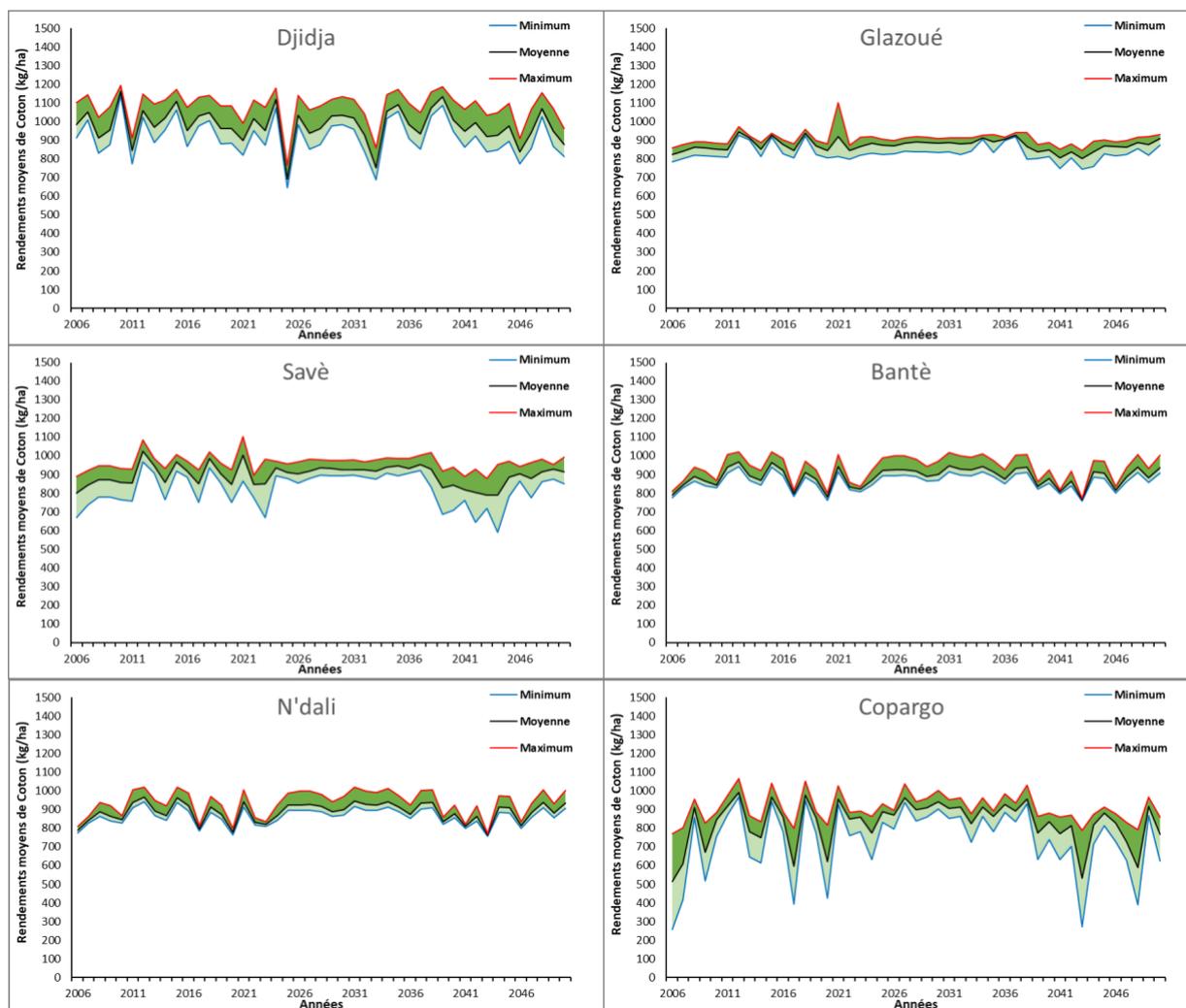


Figure 20. Evolution des rendements du coton simulés à l'horizon 2050 sur quelques sites d'étude (minimum, moyenne et maximum de quatre couples. GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5

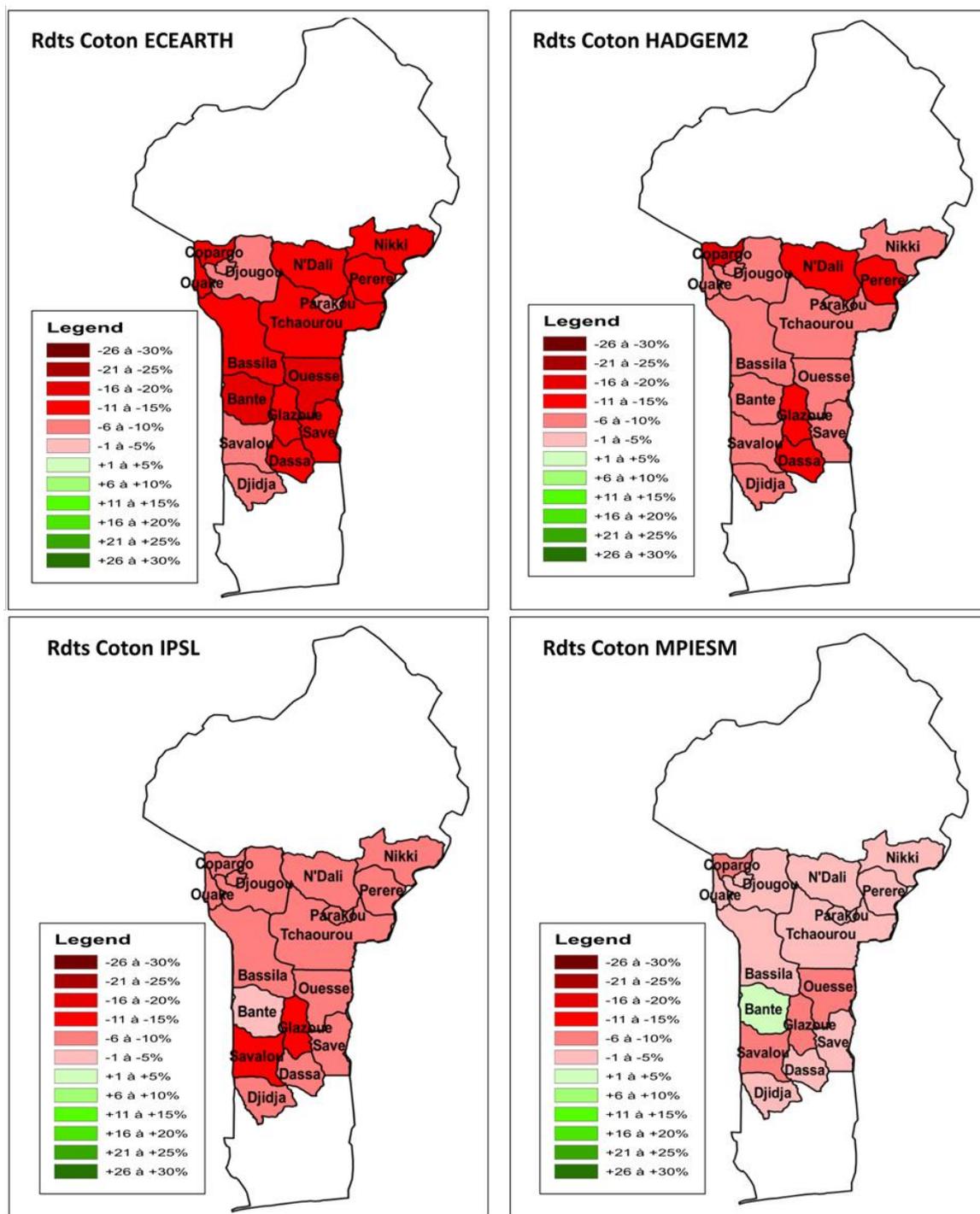


Figure 21. Effet des changements climatiques sur les rendements du coton : Variation (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

3.2.2.2 Aspects socio-économiques

Les impacts des changements climatiques sur les superficies emblavées et la production agricole ont été simulés en tenant compte des quatre modèles climatiques pour analyser comment les changements climatiques affecteront la production vivrière à l'horizon 2050. Avant de procéder à la simulation des impacts des changements climatiques, l'étude a simulé les superficies emblavées et la

production agricole dans le cas où le climat présent prévaudrait dans le futur (scénario de référence). Ainsi, les rendements des cultures ont été maintenus constants à leur niveau de la période de base, mais en prenant le soin d'y ajouter leur évolution due au progrès technologique : 1% d'évolution annuelle en suivant la littérature (Nin-Pratt et al., 2010). Ainsi, c'est par rapport à ce scénario de référence que l'analyse des impacts des changements climatiques est effectuée.

Les résultats des simulations suggèrent que les changements climatiques n'auront pas d'impact majeur sur les superficies emblavées des cultures prises en compte dans la modélisation (cf. les tableaux en annexes). Ainsi, les superficies emblavées des onze cultures prises en compte dans la modélisation maintiendront les mêmes sentiers (sans/avec changement climatique) quel que soit le modèle climatique. Les changements climatiques affectent différemment les cultures et selon les années. Par ailleurs, il y a des disparités selon les modèles climatiques. En ce qui concerne le maïs, les simulations suggèrent qu'avec le modèle ECEARTH-RACMO, il y aura baisse de la production dans la majorité des communes. Cependant, certaines communes comme Glazoué, Ouessè, Parakou, Pèrèrè et Tchaourou connaîtront une augmentation de leurs productions en maïs avec les changements climatiques, suivant le modèle ECEARTH-RACMO. Avec le modèle HADGEM2-CCLM4, seules les communes telles que Glazoué, Parakou, Pèrèrè et Tchaourou verront leur production de maïs croître sous les changements climatiques (**Figures 22, 23, 24**). Avec le modèle IPSL-RCA, les changements climatiques seront bénéfiques au maïs dans les communes telles que Bassila, Copargo, Djougou, Glazoué, Parakou, Pèrèrè et Tchaourou. Quant au modèle climatique MPIESM-REMO, les communes comme Bassila, Copargo, Glazoué et Parakou connaîtront une hausse de la production de maïs sous les changements climatiques. Il est à noter que l'effet des changements climatiques sur la production du maïs n'est pas uniforme dans le temps dans toutes les communes (**Figures 22, 23, 24**).

Les mêmes tendances s'observent pour la production du sorgho, de mil, de niébé et d'arachide. Cependant, ces cultures semblent bénéficier un peu plus des effets du changement climatique que le maïs (**Figures 22, 23, 24**). Les simulations suggèrent que les productions de riz et de soja baisseront avec les changements climatiques dans la plupart des cas quel que soit le modèle climatique. Les changements climatiques pourraient être bénéfiques à la production de manioc, d'igname, et de la patate douce quel que soit le modèle climatique, même si les simulations indiquent que les changements climatiques ont été néfastes à la production de ces trois cultures au cours de certaines années (**Figures 22, 23, 24**).

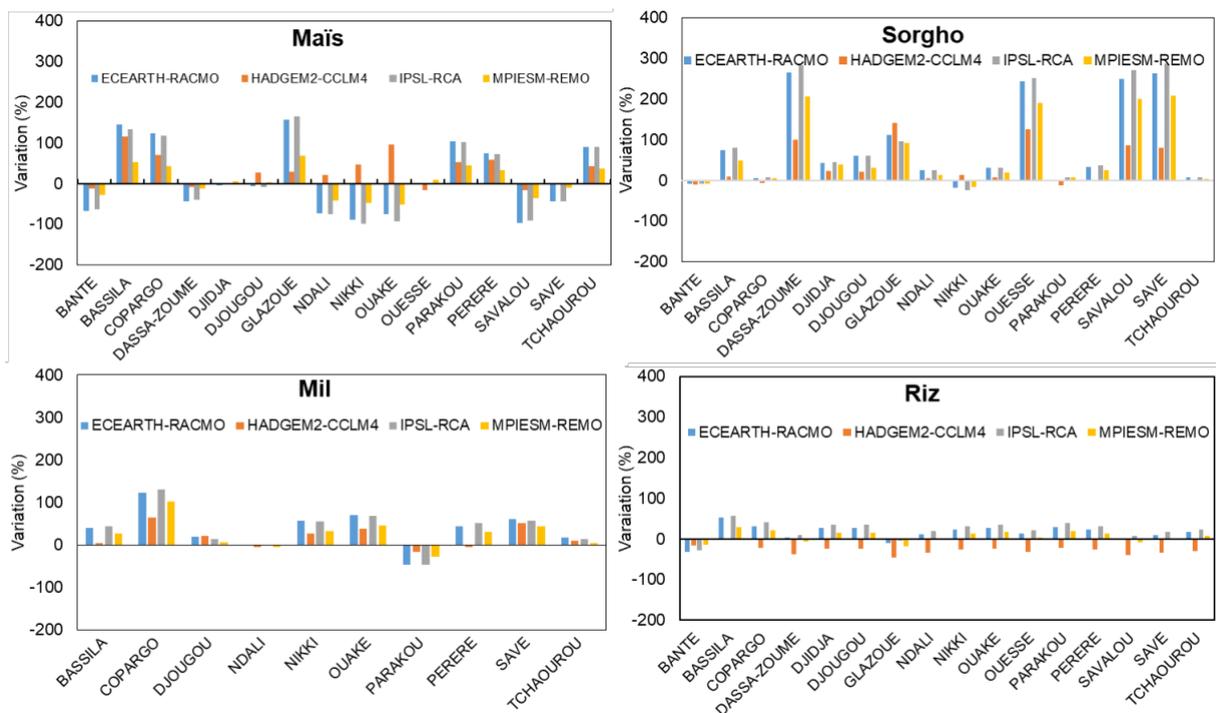


Figure 22. Effet des changements climatiques sur la production des principales cultures céréalière à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

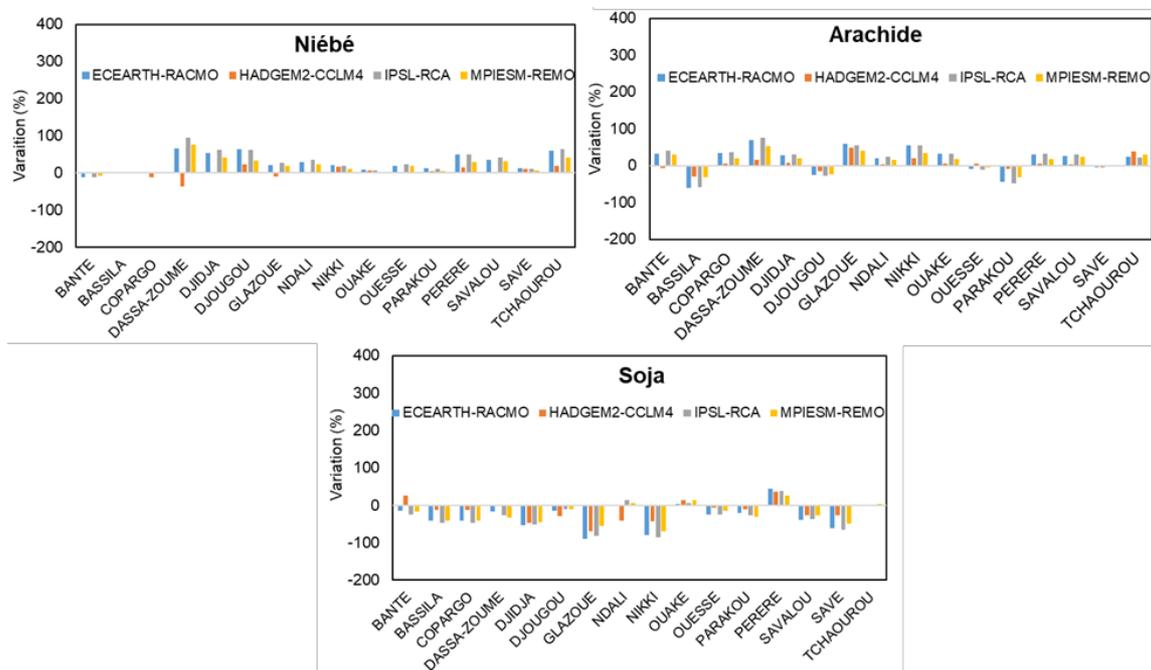


Figure 23. Effet des changements climatiques sur la production des principales cultures légumineuses à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

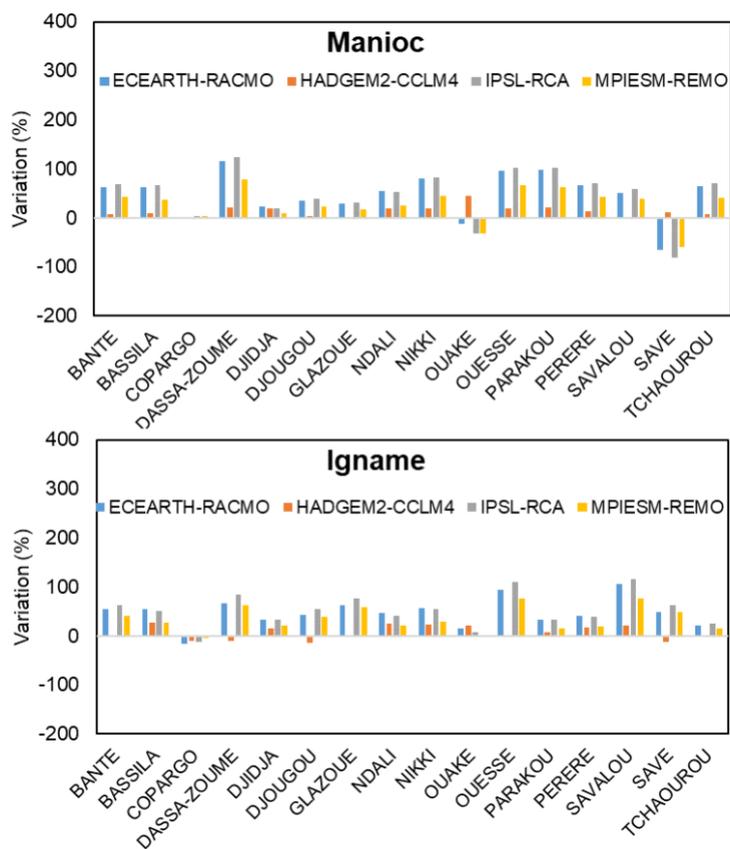


Figure 24. Effet des changements climatiques sur la production des principales racines et tubercules à l'horizon 2050 (GCM-RCMs : EARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5).

4. Analyse des options d'adaptation et de la vulnérabilité actuelle et future

4.1 Stratégies et options d'adaptation

Dans un contexte contraignant pour les populations du fait des modifications dans les caractéristiques des saisons pluvieuses (Aho et al., 2006), une plus grande menace pèse sur la disponibilité de l'eau pour l'agriculture. Un sentiment d'incertitude naît au niveau des producteurs en matière de calendriers culturels dont l'impact sur les rendements des cultures est élevé. Dans un contexte pareil, la manière dont les producteurs s'adaptent dans leurs vécus aux manifestations des changements climatiques. En effet, pour limiter les effets, les producteurs ont développé des stratégies d'adaptation variables selon leurs catégories.

Pour l'accompagnement des producteurs dans l'adaptation aux changements climatiques, il faut une bonne compréhension des perceptions et des stratégies d'adaptation et leur prise en compte en vue de la proposition de stratégies efficaces.

Face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et les modes d'existence des populations rurales, elles ont développé des stratégies pour continuer à tirer de leur milieu l'essentiel de leur subsistance. Il s'agit de :

- l'augmentation des emblavures (AE);
- les semis échelonnés (SE) et les semis répétés (SR);
- les aménagements antiérosifs (AAE);
- l'utilisation des variétés à cycle court (UVCC);
- la modification de l'ordre de semis (MOS);
- la valorisation des bas-fonds (VB),
- l'installation des mares d'eau artificielles (IMEA);
- la diversification des sources de revenus (DSR).

Les difficultés rencontrées par les producteurs à cause des changements climatiques les ont aussi incités à diversifier leurs sources de revenus. La production de charbon, le commerce et la conduite de taxi-moto sont les activités non agricoles les plus développées (Dossou-Yovo, 2009).

Des aménagements antiérosifs sommaires consistant en la réalisation de billons perpendiculaires à la pente, de haie de poacées (*Panicum C1*) et en l'adoption de plantes de couverture, sont des moyens utilisés par les producteurs. Enfin, les producteurs ont abandonné le calendrier agricole traditionnel et ont adopté un nouveau calendrier. Enfin, les producteurs ont abandonné le calendrier agricole traditionnel et adoptent de plus en plus un calendrier dynamique fruit de leur bon sens. Toujours dans le souci de bénéficier de l'humidité du sol, ils optent pour des technologies de lutte contre l'érosion des sols et la désertification. L'agroforesterie s'observe de plus en plus dans le paysage agricole. Ceci joue aussi un rôle dans la restauration de la fertilité des sols. Ces techniques utilisent parfois les méthodes des techniques CES/DRS et ou de mise en œuvre de la gestion durable des terres (GDT) avec des spéculations annuelles ou pérennes (plantation d'arbres).

4.2 Analyse des options d'adaptation

Sur la base des résultats obtenus, des propositions ont été faites pour un meilleur accompagnement des producteurs dans l'adaptation aux changements climatiques et pour une agriculture durable et intelligente face aux effets des changements climatiques. L'urgence des mesures d'adaptation pour plus de 60 % de la population du pays qui vivent en milieu rural (INSAE, 2013) et dépendant de l'agriculture et des ressources en eau pour leur subsistance se justifie à plus d'un titre. On remarque que les stratégies d'adaptation généralement réalisées par les grands producteurs nécessitent soit des moyens financiers, soit la disponibilité d'une grande superficie. En effet, les moyens financiers sont nécessaires pour une production durable et soutenue notamment pour accéder à la main d'œuvre et aussi pour acheter les engrais et les insecticides qui favorisent le développement des cultures, le bouclage de leurs cycles avant l'interruption des pluies et leur résistance aux attaques des ravageurs.

Une disponibilité élevée des terres permet l'augmentation des emblavures, les semis échelonnés, le déplacement des cultures et l'exploitation de plusieurs unités de paysage. L'extension des emblavures permet aux producteurs de maintenir à un niveau acceptable la production agricole annuelle en dépit de la baisse des rendements.

Les semis échelonnés consistent à semer à différentes dates, la même culture sur des parcelles différentes. On enregistre des semis précoces, à bonne date et des semis tardifs. Les semis tardifs sont effectués par les petits et les moyens producteurs n'ayant pas les moyens d'exploiter plusieurs parcelles. Le déplacement de cultures consiste à changer d'unité de paysage à une culture donnée. L'objectif de cette stratégie est de limiter les stress hydriques au niveau de la culture. Du fait que l'igname et le maïs souffrent de manque d'eau sur les parcelles situées en haut de pente, certains producteurs déplacent ces cultures vers les unités de bas de pente pour répondre à leurs besoins en eau. L'exploitation simultanée de plusieurs unités de paysage consiste à exploiter plusieurs unités de paysage (haut de pente, versant et bas de pente) pour que dans n'importe quel cas de figure (sécheresse ou inondation), le producteur puisse avoir une bonne récolte sur au moins une unité de paysage.

Par contre, les petits et les moyens producteurs ont abandonné les variétés traditionnelles qui ont souvent un cycle végétatif long de quatre mois et qui exigent une répartition régulière des pluies, au profit des variétés à cycle court. Pour garantir la sécurité alimentaire, l'ordre de semis doit être modifié. Cette stratégie répond au principe de « sécurité avant tout » (safety first), développé par Roumass et al. (1979) cité par Agbo (1991) qui fait préférer un rendement stable à un rendement élevé.

Ne disposant pas de beaucoup de terres, les petits et les moyens producteurs font des semis répétés de la même variété de culture sur la même parcelle au cours de la saison culturale. En fait, lorsque les précipitations connaissent un début tardif ou un arrêt en phase de croissance, les cultures flétrissent particulièrement dans le cas d'une poche de sécheresse ou d'une rupture des pluies prolongée. A la reprise normale des pluies, les producteurs procèdent au "re-semis" qui consiste à un remplacement des plants flétris par d'autres semences. Cette pratique est observée pour les cultures de maïs et du coton qui sont généralement installées dès les premières pluies.

L'augmentation des emblavures, entraîne d'une part l'éloignement des champs des villages pour avoir une bonne et vaste étendue de terres et, d'autre part, une plus grande pression sur les ressources

végétales. Dans ces conditions, les besoins en investissement pour le désherbage et le transport des récoltes sont accrus.

Les semis échelonnés et répétés augmentent la demande en semence, le temps alloué pour les semis et ne permet pas l'opération de récolte d'un seul trait.

La diversification des sources de revenu à travers la production de charbon et la conduite de taxi-moto contribue à une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et accentue par ricochet les conséquences des changements climatiques dans le bassin.

En somme, les stratégies d'adaptation développées par les producteurs sont actuellement efficaces et leur permettent de tirer profit de l'activité agricole malgré les changements climatiques. Mais elles présentent des contraintes aux conséquences incalculables qui pourraient à long terme démotiver les producteurs. C'est pour mieux les accompagner qu'il est indispensable aujourd'hui d'évaluer les effets futurs des changements du climat et de proposer des stratégies innovantes et efficaces.

5. Conclusions et recommandations

L'objectif général de l'étude est d'évaluer la vulnérabilité de l'agriculture face aux changements climatiques, notamment la vulnérabilité actuelle et future.

Pour la sensibilité actuelle, les résultats montrent une importante variabilité interannuelle des précipitations. Il y a autant d'années sèches que d'années humides ; l'année 1977 étant la plus sèche suivie de l'année 1983 sur l'ensemble des sites d'étude. Comme pour la pluviométrie, nous observons une variabilité interannuelle des températures moyennes (de 27 à 29 °C) avec une forte tendance à la hausse dans la zone d'étude.

En ce qui concerne le futur, les résultats des simulations suggèrent que les changements climatiques auront un aspect pluviométrique majeur avec une variation de l'impact selon les communes (Copargo, Djougou et Ouaké sont les plus touchées), cependant avec une énorme disparité entre les modèles climatiques.

En termes de sensibilité, les résultats des simulations révèlent que les changements climatiques auront un impact sur la production du maïs et du coton avec des diminutions de rendements pouvant aller jusqu'à 30% pour le maïs et 20% pour le coton et des disparités entre modèles climatiques.

Du point de vue socio-économique, la vulnérabilité ainsi que ses sous composantes varient d'une commune à l'autre. Savalou qui est la commune la plus sensible se trouve être la plus vulnérable et Bantè est la commune la moins vulnérable aux changements climatiques. Les résultats des simulations suggèrent que les changements climatiques n'auront pas d'impact majeur sur les superficies emblavées des cultures incluses dans la modélisation. Les changements climatiques affectent différemment les cultures et selon les années, avec des disparités selon les modèles climatiques. La production des cultures telles que le maïs, le mil, le sorgho, le riz, et le soja baissera avec les changements climatiques à l'horizon 2050. Il s'avère important de mettre en œuvre des politiques d'adaptation adéquates. Ces politiques peuvent être relatives au développement des variétés résistantes à l'augmentation de la température et à la diminution des précipitations. De plus, l'utilisation des engrais surtout organiques devra être pour toutes les cultures. Par ailleurs, ces politiques peuvent faciliter le développement des infrastructures d'irrigation pouvant permettre aux agriculteurs d'aller vers le contrôle partiel ou total de l'eau et de rendre la production végétale moins dépendante des conditions climatiques.

Le projet PAS-PNA a réalisé les études de vulnérabilité dans trois secteurs prioritaires de développement. A terme, ces études vont informer le processus PNA en cours au Bénin. Il est important de reconnaître que ces trois études dans les secteurs de l'agriculture, des ressources en eau et de la santé, ne couvrent pas à elles seules tous les aspects du PNA et des politiques de développement en général. Ces études sont donc une contribution au processus et pour une représentation complète des aspects prioritaires de développement, il est important de fonder également l'élaboration des documents d'orientation stratégiques du pays, dont le PNA, sur d'autres études complémentaires, comme par exemple le rapport de la troisième communication nationale et des études de vulnérabilités dans les secteurs de l'énergie, des infrastructures et du transport en cours d'élaboration au niveau du PNUD au Bénin. Cette synergie permettra de couvrir un champ plus large et d'intégrer différents aspects sectoriels des impacts des changements climatiques dans les politiques.

6. Références

- Adelphi et Eurac (2014): Guide de Référence sur la vulnérabilité. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
- Adger, N. W. (1999). Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2), 249-269.
- Adger N. W., Vincent K. (2005) Uncertainty in adaptive capacity. *Comptes Rendus Geoscience* 337:399–410.
- Agbo, V. (1991) : Civilisation et agriculture paysanne en pays Adja dans le Mono (Bénin) : Rites, production, réduction des risques et gestion de l'incertitude. Thèse de doctorat.
- Agbossou, E. K., Toukon, C., Akponikpè, P. B. I., & Afouda, A. (2012). Climate variability and implications for maize production in Benin: A stochastic rainfall analysis. *African Crop Science Journal*, 20(2), 493-503.
- Aho, N., Ahloussou, E. et G. Agbahungba, (2006) : Evaluation concertée de la vulnérabilité aux variations actuelles du climat et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Rapport de synthèse PANA –Benin / MEPN-PNUD Cotonou 52p.
- Akponikpe, P. B. I. (2008). Millet response to water and soil fertility management in the Sahelian Niger: experiments and modeling. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium (Ph. D. Dissertation, 168 pp).
- Akponikpe, P. B., Minet, J., Gérard, B., Defourny, P., & Biielders, C. L. (2011). Spatial fields' dispersion as a farmer strategy to reduce agro-climatic risk at the household level in pearl millet-based systems in the Sahel: a modeling perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2), 215-227.
- Akponikpè, P. I., Gérard, B., Michels, K., & Biielders, C. (2010). Use of the APSIM model in long term simulation to support decision making regarding nitrogen management for pearl millet in the Sahel. *European Journal of Agronomy*, 32(2), 144-154.
- Ali, A., Lebel, T., & Amani, A. (2008). Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 19(4), 227-235.
- Amouzou, K. A., Naab, J. B., Lamers, J. P., Borgemeister, C., Becker, M., & Vlek, P. L. (2018). CROPGRO-Cotton model for determining climate change impacts on yield, water-and N-use efficiencies of cotton in the Dry Savanna of West Africa. *Agricultural Systems*, 165, 85-96.
- Antoine, J.-M., Carozza, J.-M., 2011. Aléas, vulnérabilités et adaptations des sociétés du passé. Introduction. Presses universitaires du Mirail.
- Badini, O., Stöckle, C. O., & Franz, E. H. (1997). Application of crop simulation modeling and GIS to agroclimatic assessment in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 64(3), 233-244.
- Bahn, M. B., Riederer, A. M., & Foster, S. O. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change - A case study in Mozambique. *Global Environmental Change*, 19, 74-88.
- Chalmin, P., & Jégourel, Y. (2017). Arcadia - L'Afrique Et Les Marchés Mondiaux De Matières Premières, Ed. ECONOMICA & OCP Policy Center.
- Cury P., Pauly D., (2013). Mange tes méduses ! Réconcilier les cycles de la vie et la flèche du temps, Éditions Odile Jacob.
- Deressa, T., Hassan, R. M., & Ringler, C. (2008). Measuring Ethiopian farmers' vulnerability to climate change across regional states. *Intl Food Policy Res Inst.*
- Dossou-Yovo, E. (2009) : Modélisation du bilan hydrologique du bassin versant de l'Okpara à Kaboua : Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau. Thèse d'ingénieur agronome, FSA-UAC. 109p.
- Edea, E. O. (2018), Cartographie des systèmes agricoles par télédétection et prédiction des rendements dans les hydri-écorégions du bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. Thèse de doctorat, EDP/ECD. UAC ; 247 pages.

- Egbendewe, A. Y., Lokonon, B. O. K., Atewemba, C., & Coulibaly, N. (2017). Can intra-regional food trade increase food availability in the context of global climatic change in West Africa? *Climatic Change*, 145(1-2), 101-116.
- Fellous, J.-L., Gautier, C., 2007. Comprendre le changement climatique. Odile Jacob.
- Fischer G., Shah M., Tubiello F. N. and van Velhuizen H. (2005). Socio-Economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 360, No. 1463, Food Crops in a changing climate (Nov. 29, 2005). pp. 2067-2083
- 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. Genève, Suisse: GIEC.
- Ignaciuk, A. and D. Mason-D'Croz (2014). "Modelling Adaptation to Climate Change in Agriculture", OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 70, OECD Publishing, Paris.
- INSAE, (2013), Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 4) : Résultats Provisoires, Direction des Etudes Démographiques, Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique, Cotonou, Benin.
- Islam, M. M., Sallu, S., Hubacek, K., & Paavola, J. (2014). Vulnerability of fishery-based livelihoods to the impacts of climate variability and change: Insights from coastal Bangladesh. *Regional Environmental Change*, 14(1), 281-294.
- Janssen, S., van Ittersum, M. K. (2007). Assessing farmer behaviour as affected by policy and technological innovations: bio-economic farm models. Report No. 24, SEAMLESS integrated project, EU 6th Framework Programme, contact no. 010036-2, www.SEAMLESS-IP.org, 86 pp. ISBN no. 90-8585-112-2 and 978-90-8585-112-7.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., ... & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 235-265.
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global environmental change*, 13(1), 51-59.
- Kahane, A., 2013. Transformative Scenario Planning: A tool for systemic change. *Social Space*.
- Kaufmann, R. K., & Snell, S. E. (1997). A biophysical model of corn yield: integrating climatic and social determinants. *American Journal of Agricultural Economics*, 79(1), 178-190.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., ... & McLean, G. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 267-288.
- Kelly, M., & Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, 47(4), 325-352.
- Lawin, A. E., Akponikpe, P. B., Jalloh, A., Nelson, G. C., & Thomas, T. S. (2013). Benin. In Jalloh, A., Nelson, G. C., Thomas, T. S., Zougmore, R. B., & Roy-Macauley, H. (Eds.). *West African agriculture and climate change: a comprehensive analysis*. Intl Food Policy Res Inst. (IFPRI) *book chapters*, 53-78.
- Leclère, D., Havlík, P., Fuss, S., Schmid, E., Mosnier, A., Walsh, B., ... & Obersteiner, M. (2014). Climate change induced transformations of agricultural systems: insights from a global model. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124018.
- Legoff, N., 2010. Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques: la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte. [Vertigo] *La revue électronique en sciences de l'environnement* 10, 0-0.
- Lokonon Boris Odilon Kounagbè, Kimséyinga Savadogo et Ahmadou Aly Mbaye (2015). Assessing the impacts of climate shocks on farm performance and adaptation responses in the Niger basin of Benin. *AfJARE Vol 10 No 3*
- Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E., MacEwan, D. J., & Lund, J. R. (2011). Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109(1), 387-405.

- Mizina, S. V., Smith, J. B., Gossen, E., Spiecker, K. F., & Witkowski, S. L. (1999). An evaluation of adaptation options for climate change impacts on agriculture in Kazakhstan. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(1), 25-41.
- Naab, J. B., Singh, P., Boote, K. J., Jones, J. W., & Marfo, K. O. (2004). Using the CROPGRO-peanut model to quantify yield gaps of peanut in the Guinean Savanna Zone of Ghana. *Agronomy Journal*, 96(5), 1231-1242.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global environmental change*, 14(1), 53-67.
- Pinky S. B., Rayhan M. I., 2013. Climate change impact on crop productivity: a bioeconomic analysis. *Bulletin of Environmental and Scientific Research*, Vol. 2 (4): 11-15.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... & Neumann, K. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268-3273.
- Scouones, I. (1998). *Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis*. Brighton: Institute of Development Studies, Working Paper 72.
- Sendhil, R., Jha, A., Kumar, A., & Singh, S. (2018). Extent of vulnerability in wheat producing agro-ecologies of India: Tracking from indicators of cross-section and multi-dimension data. *Ecological Indicators*, 89, 771-780.
- Simane, B., Zaitchik, B. F., & Foltz, J. D. (2016). Agroecosystem specific climate vulnerability analysis: Application to the livelihood vulnerability index to a tropical highland region. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(1), 39-65.
- Tachie-Obeng, E., Akponikpe, P. B. I., & Adiku, S. (2013). Considering effective adaptation options to impacts of climate change for maize production in Ghana. *Environmental Development*, 5, 131-145.
- Thornton, P. E., Running, S. W., & White, M. A. (1997). Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. *Journal of Hydrology*, 190(3-4), 214-251.
- Tidjani, M. A., & Akponikpe, P. B. I. (2012). Évaluation des stratégies paysannes d'adaptation aux changements climatiques: cas de la production du maïs au Nord-Bénin. *African Crop Science Journal*, 20(2), 425-441.
- Tol, R. S. (2002). Estimates of the damage costs of climate change. Part 1: Benchmark estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21(1), 47-73.
- Tovihoudji, G. P. (2018). Improving maize productivity in northern Benin through localized placement of amendments and fertilizers (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).
- van Wijk, M. T., Rufino, M. C., Enahoro, D., Parsons, D., Silvestri, S., Valdivia, R. O., and Herrero, M. (2012). A review on farm household modeling with a focus on climate change adaptation. Working Paper No. XX, Copenhagen

Annexes

Annexe 1: Présentation du modèle d'optimisation

Le modèle d'optimisation utilisé dans ce travail se présente comme suit:

$$\text{Max } \sum_c \sum_i (P_i * X_{ic} * Rend_{ic} - Cout_{ic} * X_{ic}) \quad (1)$$

S/C

$$\sum_i X_{ic} \leq Terre_c, \forall c \quad (2)$$

$$\sum_i BeMO_{ip} * X_{ic} \leq MO_{cp}, \forall c \quad (3)$$

$$\sum_i Eng_i * X_{ic} \leq Teng_c, \forall c \quad (4)$$

$$\sum_i Pest_i * X_{ic} \leq Tpest_c, \forall c \quad (5)$$

$$X_{ic} \geq 0 \quad (6)$$

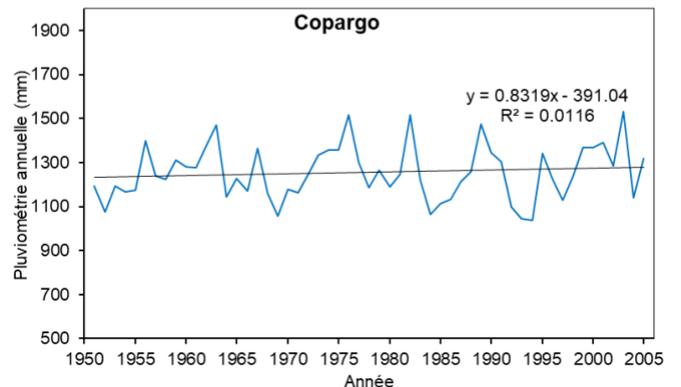
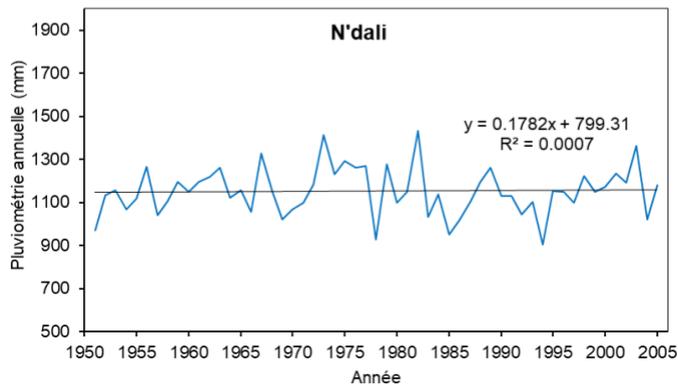
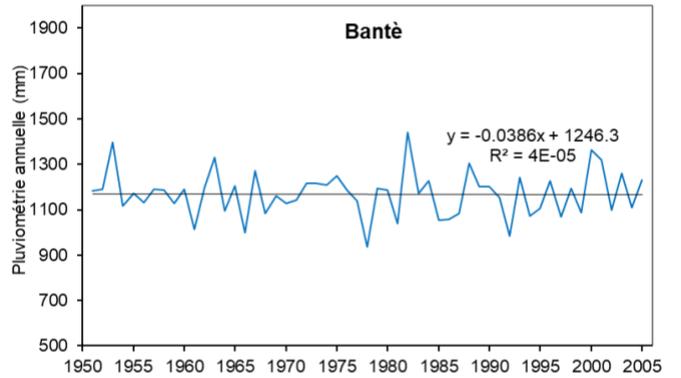
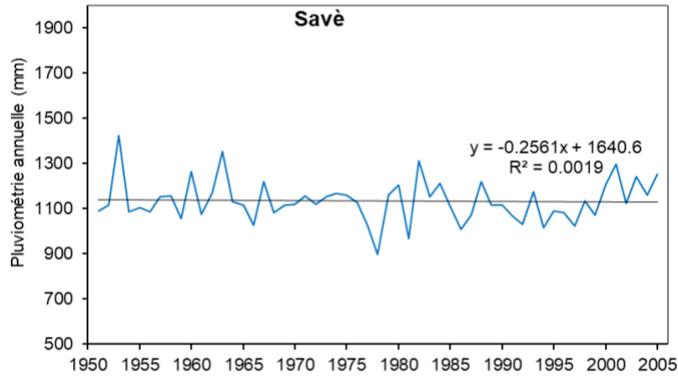
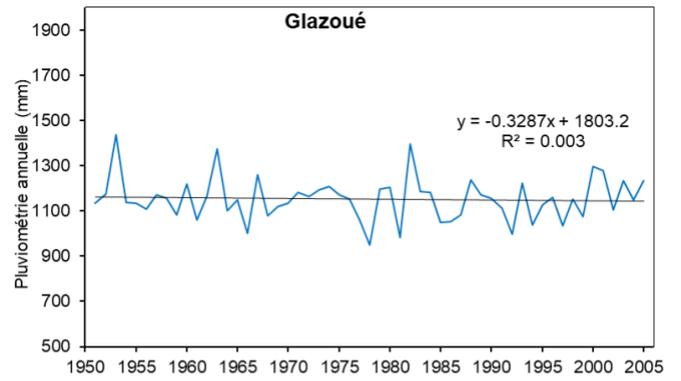
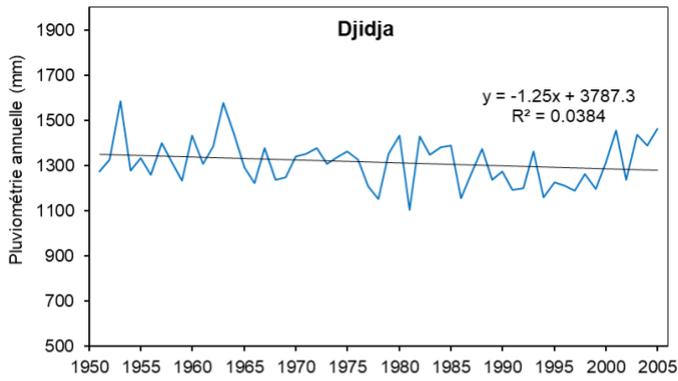
Il s'agit ici de maximiser le profit des producteurs (équation 1) c'est-à-dire la valeur monétaire de toute la production y compris l'autoconsommation sous contrainte des ressources (terres, main d'œuvre, engrais et pesticides). L'équation (2) capte la contrainte de terre. La contrainte de main d'œuvre est captée par l'équation (3). Les équations (4) et (5) représentent les contraintes d'engrais et de pesticides.

Paramètres du modèle d'optimisation

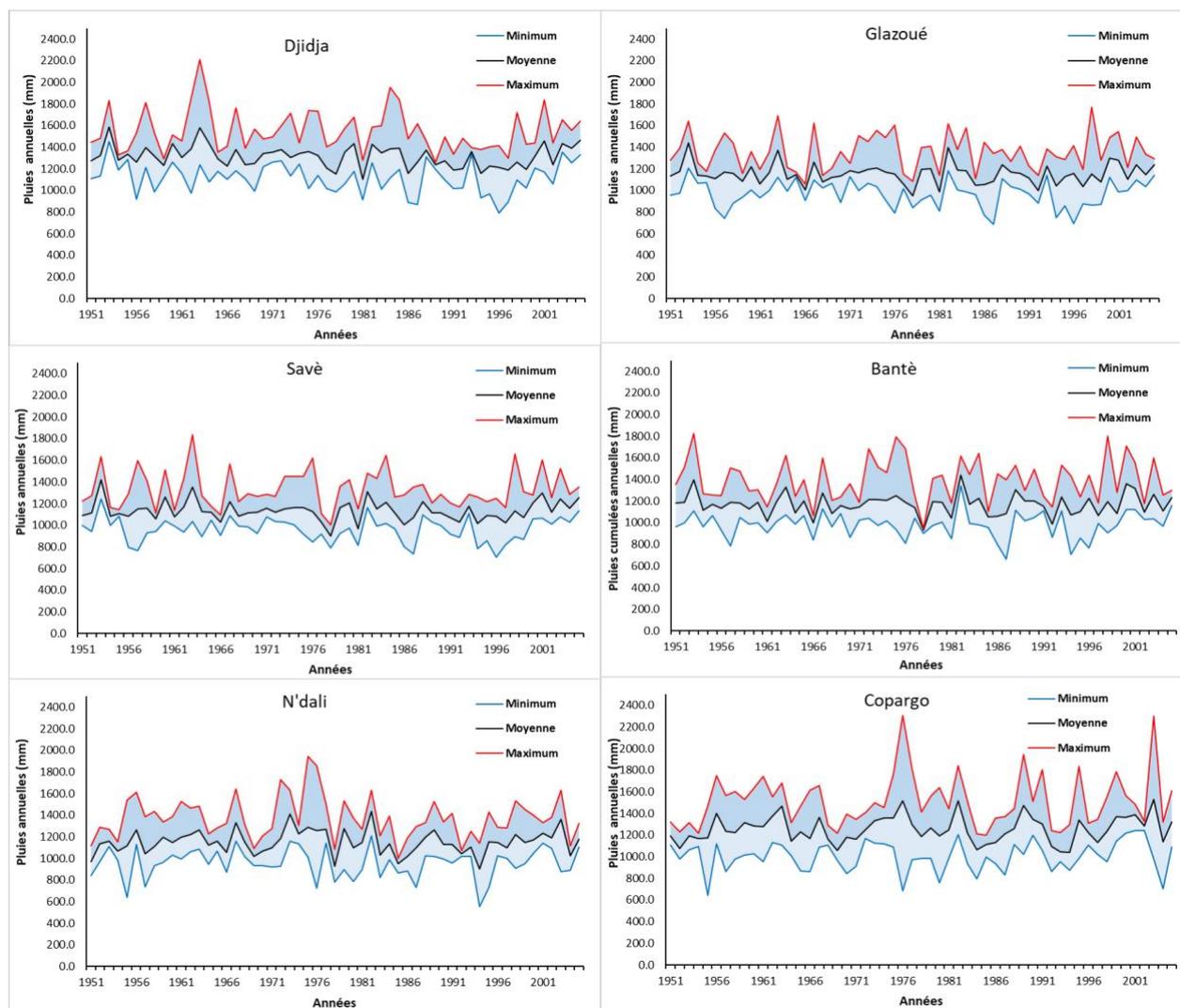
Le tableau (Annexe 2) présente les ensembles, les paramètres et les variables du modèle d'optimisation. Le choix de l'échelle de la commune est fait à cause du fait que les données relatives aux superficies emblavées des cultures n'est pas disponible au niveau ménage dans la base de données que nous utilisons.

Annexe 2: Ensembles, paramètres et variables

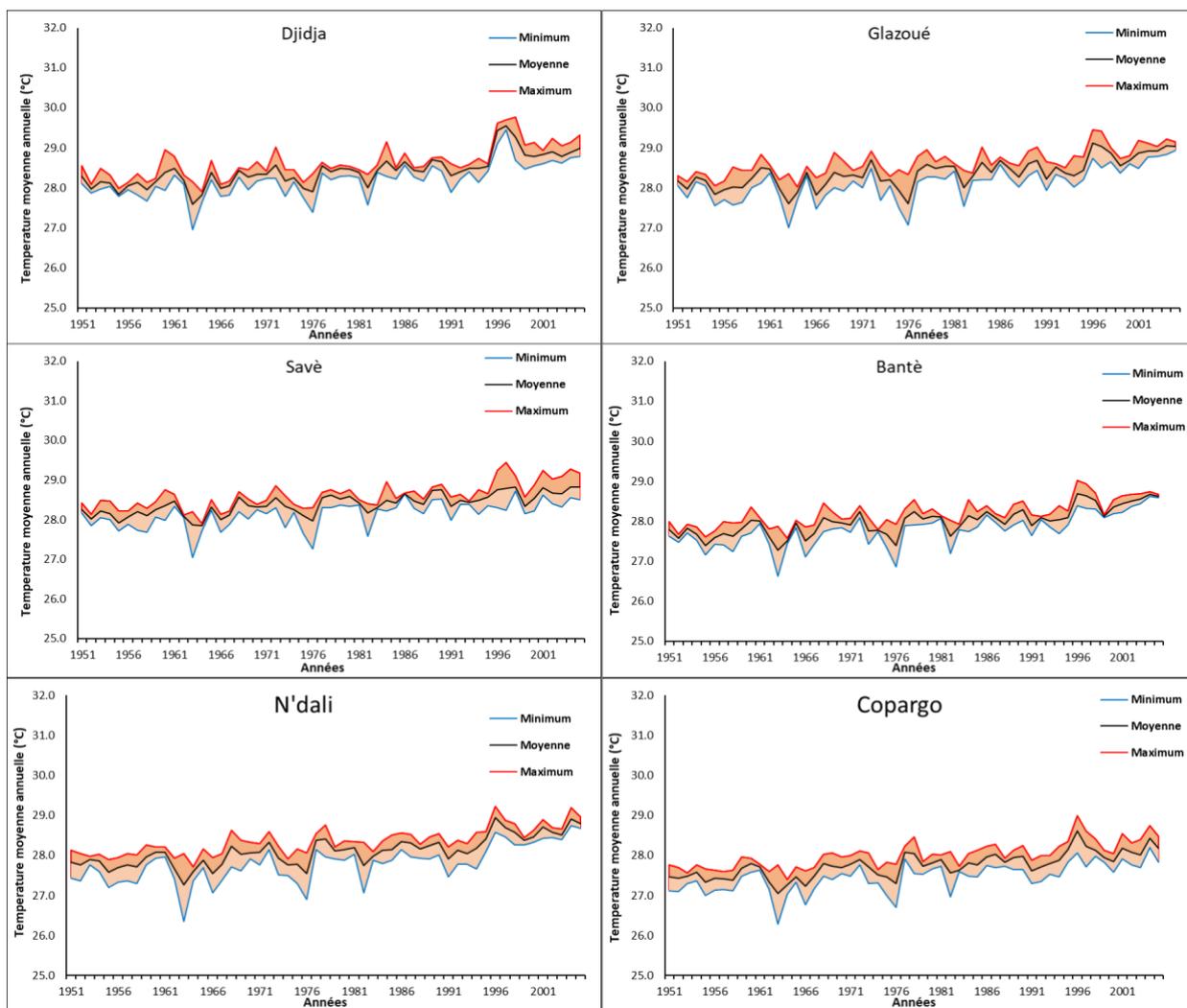
Ensembles	
c	communes du PDA 4
i	cultures
p	périodes
Paramètres	
P_i	Prix des cultures
$Cout_{ic}$	Coûts de production des cultures par commune
$Rend_{ic}$	Rendements des cultures
$Terre_c$	Terre arable par commune
$BeMO_{ip}$	Besoin en main d'œuvre de chaque culture par période
MO_{cm}	Main d'œuvre total disponible dans chaque commune par période
Eng_i	Besoin en engrais des cultures
$Teng_c$	Disponibilité en engrais
$Pest_i$	Besoin en pesticides des cultures
$Tpest_c$	Disponibilité en pesticides
$TerreO_{ci}$	Superficie emblavée de chaque culture dans chaque commune observée
Variables	
X_{ic}	Superficie emblavée de chaque culture par commune



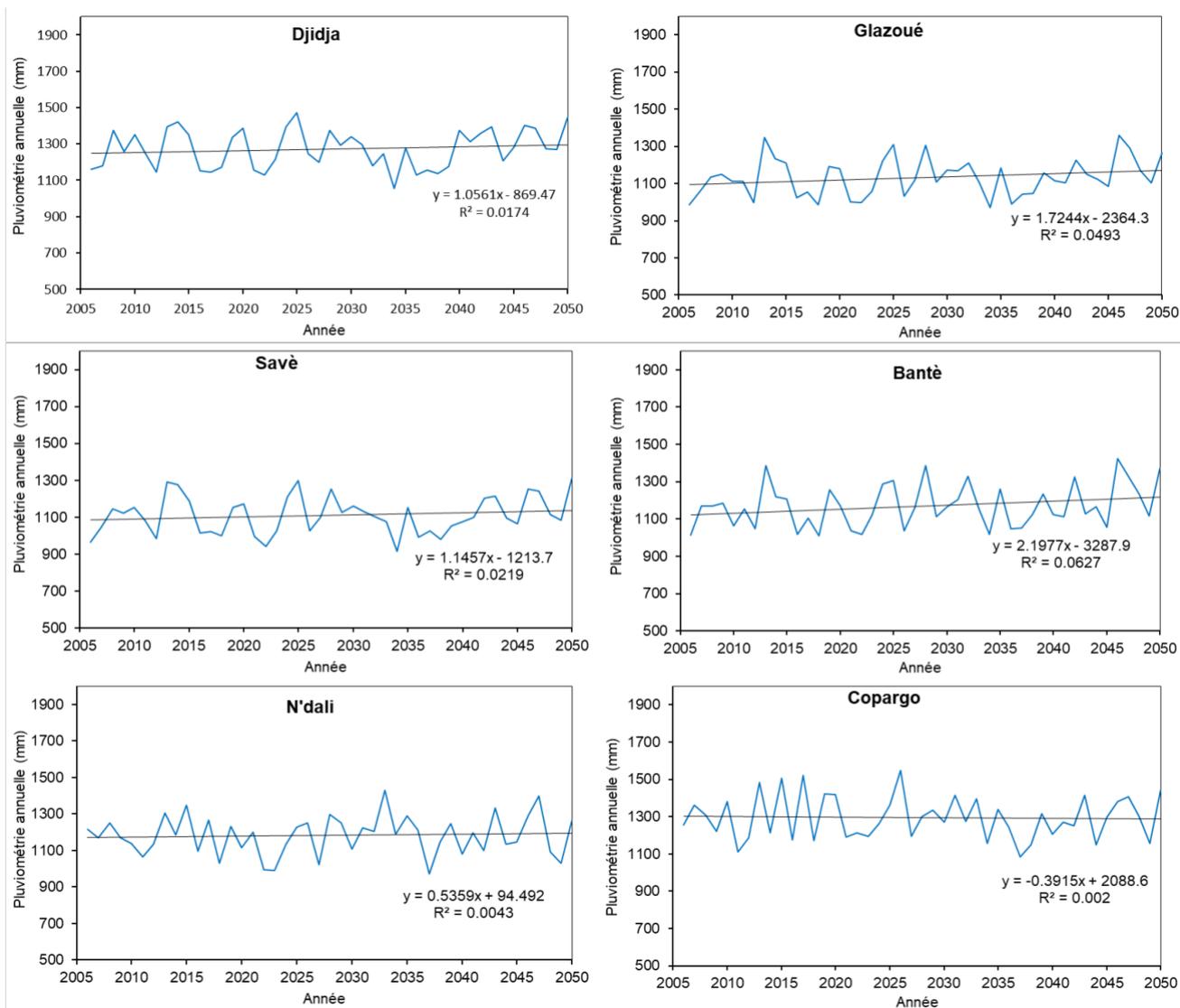
Annexe 3: Tendances des pluies historiques observées quelques sites d'études



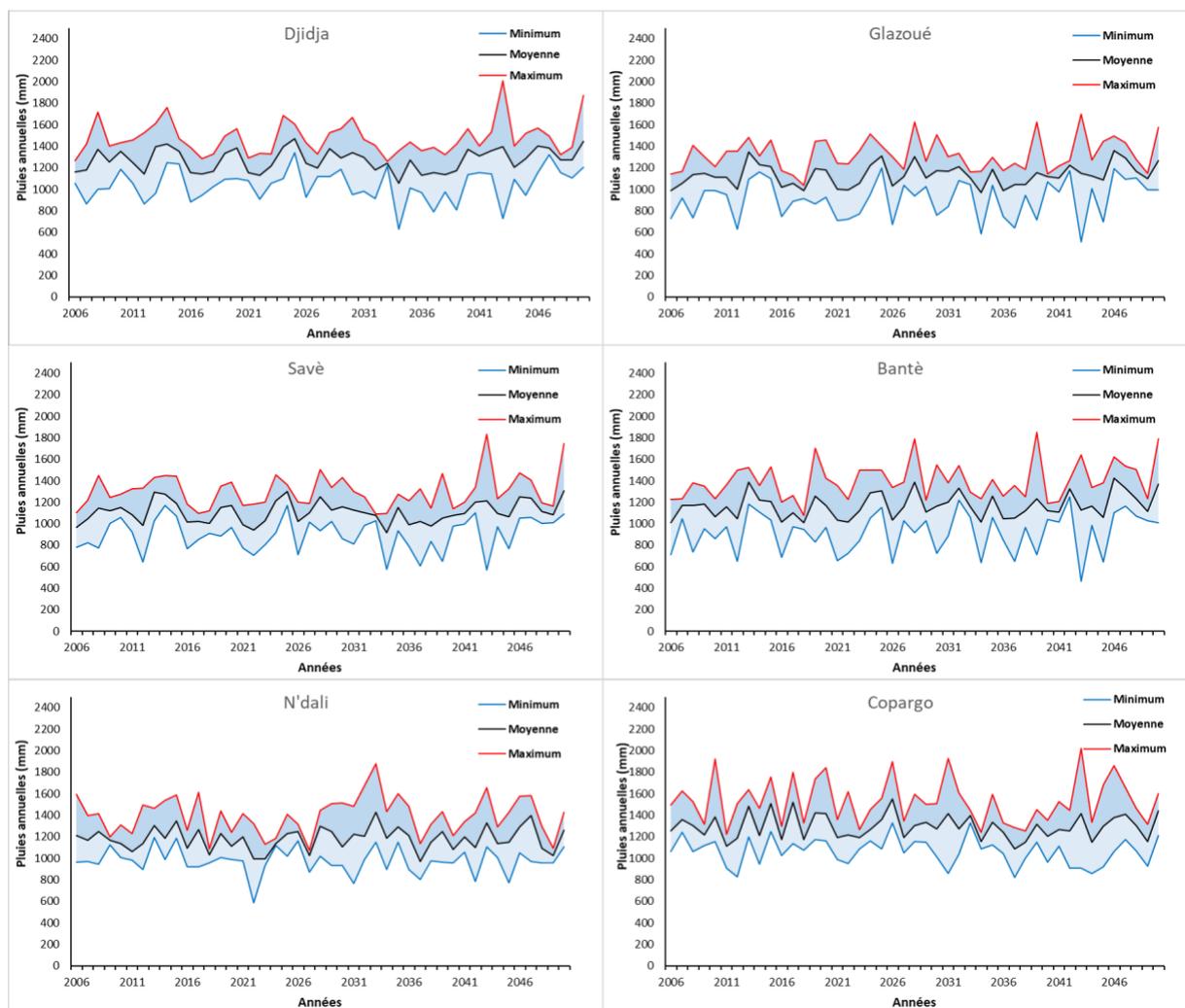
Annexe 4: Evolution de la pluviométrie moyenne au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



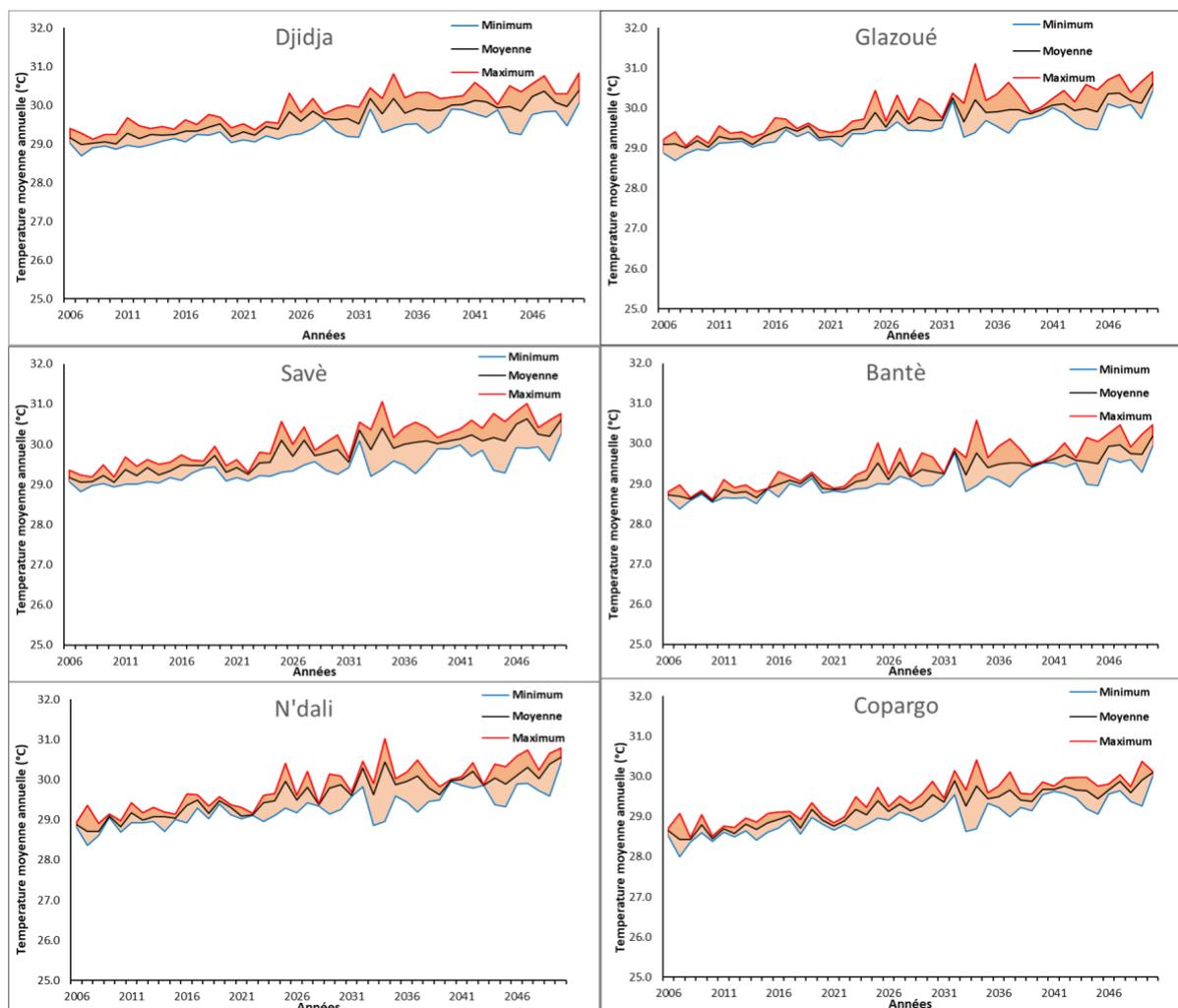
Annexe 5: Evolution de la température moyenne niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



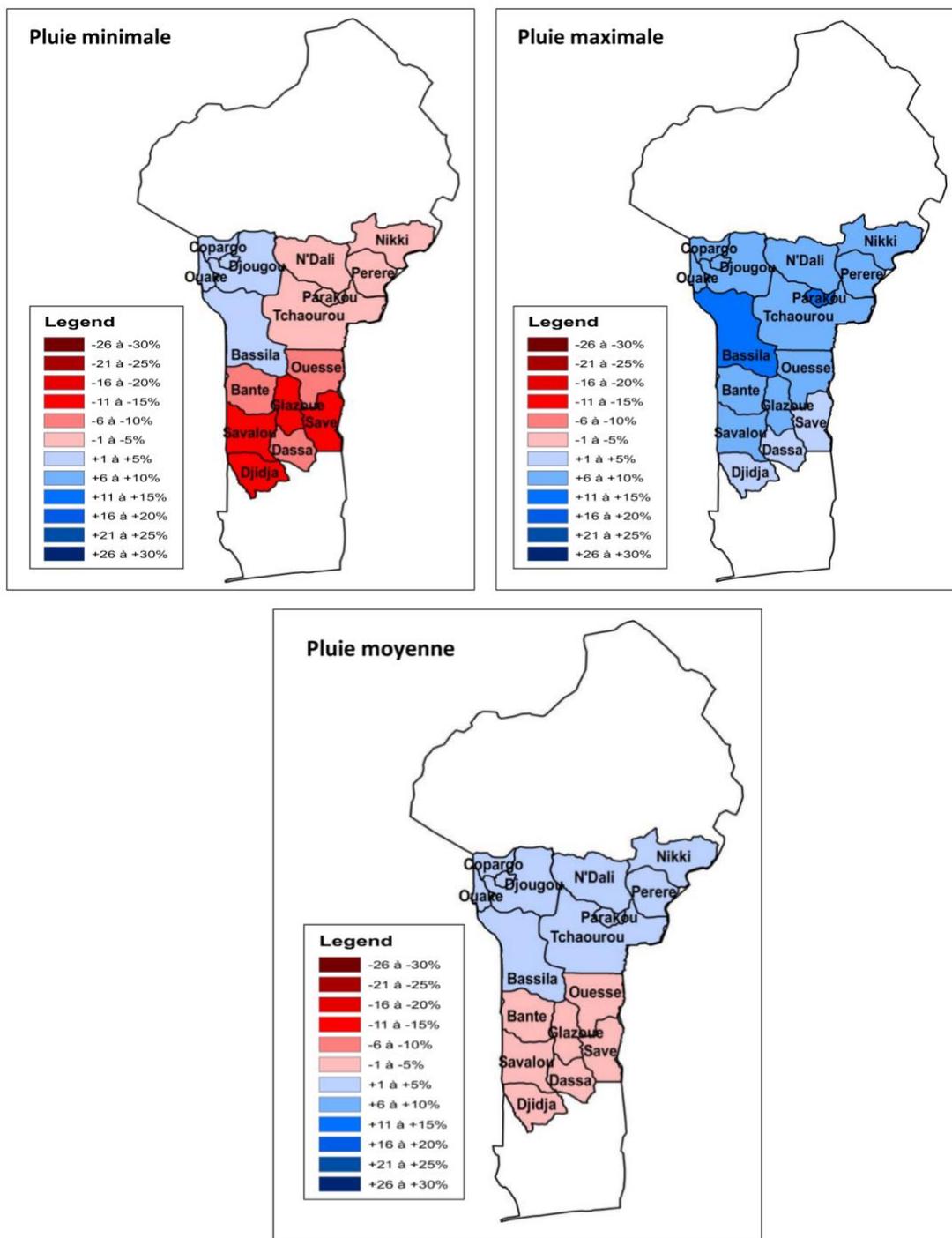
Annexe 6: Evolution de la pluviométrie moyenne simulée (horizon 2050) niveau de quelques sites d'études (moyenne de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



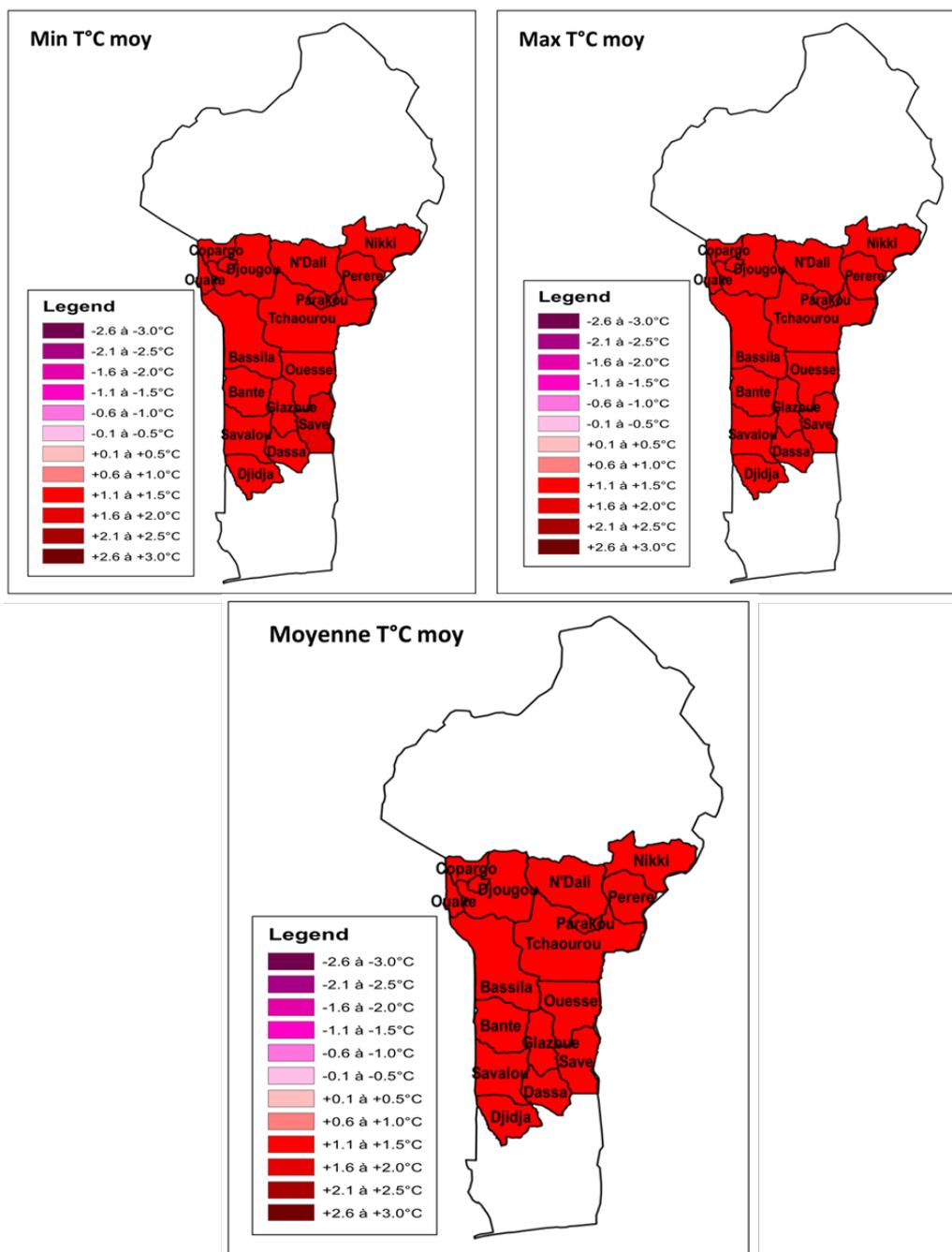
Annexe 7: Evolution de la pluviométrie moyenne simulée (horizon 2050) au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



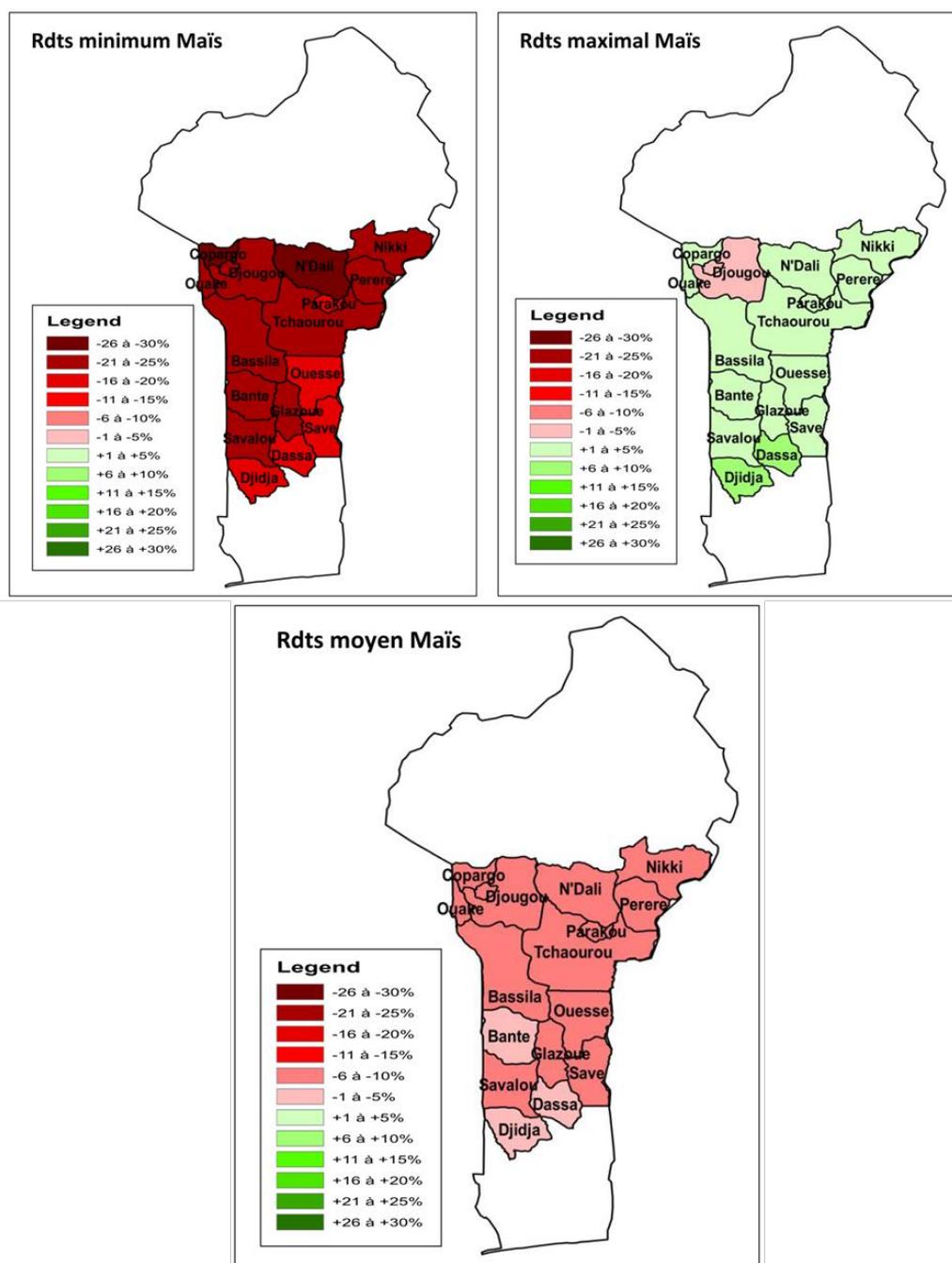
Annexe 8: Evolution de la température moyenne simulée (horizon 2050) au niveau de quelques sites d'études (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



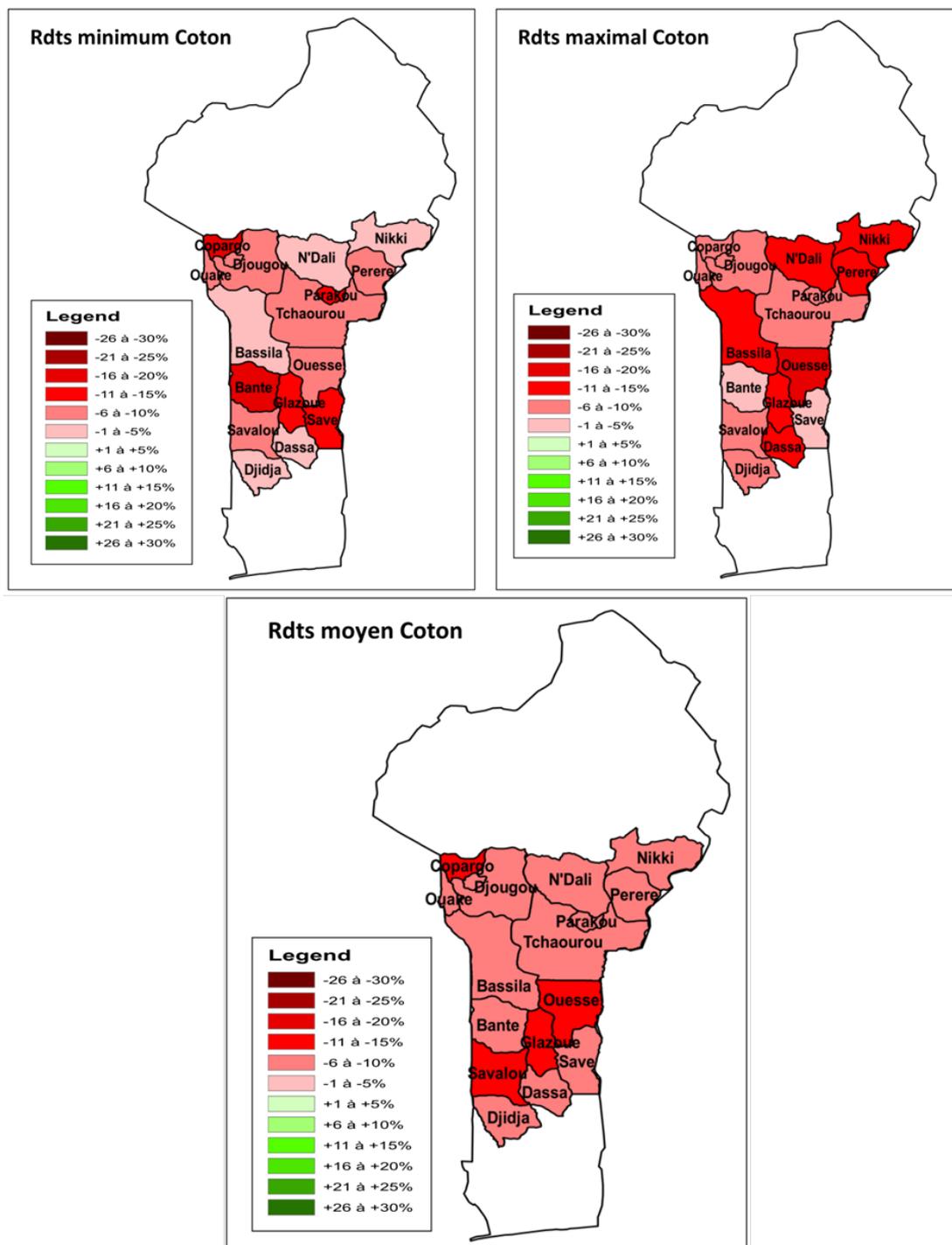
Annexe 9: Effet des changements climatiques sur la pluviométrie : Variation des pluies annuelles (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : EARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



Annexe 10: Effet des changements climatiques sur la température : Variation de la température moyenne (°C) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



Annexe 11: Effet des changements climatiques sur les rendements de maïs : Variation des rendements (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)



Annexe 12: Effet des changements climatiques sur les rendements de coton: Variation (%) entre les périodes 1950-2005 et 2006-2050 (minimum, moyenne et maximum de quatre couples GCM-RCMs : ECEARTH-RACMO, HADGEM2-CCLM4, IPSL-RCA, MPIESM-REMO sous scénario RCP 4.5)

Annexe 13: Effet du changement climatique sur la production du maïs [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-2.39	1.10	5.79	-14.50	-15.51	-11.13	-67.21	7.75	-11.56	-7.99	-24.23	-4.59	32.73	-13.21
BASSILA	-17.46	-8.95	3.27	13.36	77.59	7.78	145.75	-35.13	4.09	10.21	72.94	-12.50	183.62	115.29
COPARGO	-16.02	-7.37	2.64	8.62	65.25	0.31	122.76	-15.79	-0.60	7.43	46.59	-12.24	142.31	70.66
DASSA-ZOUME	-4.85	2.21	5.98	-4.14	-4.48	-5.14	-42.85	-18.41	-4.14	-0.28	-11.61	-2.70	22.20	-7.72
DJIDJA	-10.95	3.51	12.20	-0.67	23.80	-8.93	-3.70	-16.33	-5.83	5.20	-6.74	-6.70	77.49	-3.15
DJOUGOU	-10.31	0.40	7.51	2.01	17.05	-0.79	-5.91	-40.49	-0.74	4.48	12.04	-5.35	70.72	27.96
GLAZOUE	-11.66	8.71	22.09	21.58	99.52	-1.29	156.59	12.43	4.83	25.04	32.27	-4.95	167.17	29.31
NDALI	-19.38	-13.38	-2.33	-29.63	-14.12	-22.70	-73.83	-16.81	-26.37	-21.45	-17.57	-21.66	102.90	21.67
NIKKI	-11.26	-13.08	-6.04	-26.37	-30.63	-10.97	-89.60	-27.45	-18.32	-21.92	-2.13	-14.81	72.31	47.09
OUAKE	-13.54	-19.16	-8.43	-32.32	-24.68	-10.03	-76.15	-25.98	-22.11	-28.05	17.89	-19.89	134.39	96.08
OUESSE	1.88	5.58	3.98	8.69	2.62	4.37	-0.86	-13.34	6.86	7.99	-1.50	5.17	-26.69	-15.31

PARAKOU	-18.17	-2.57	8.46	12.40	66.68	-0.59	103.71	-33.20	1.25	12.92	37.83	-10.81	135.93	52.22
PERERE	-18.79	-3.54	8.10	8.42	56.15	-1.00	74.95	-43.16	-0.50	9.68	36.12	-11.68	138.61	58.51
SAVALOU	-6.75	3.54	12.35	-17.44	-14.56	-15.52	-97.39	-6.00	-15.05	-7.28	-32.16	-7.09	63.67	-16.27
SAVE	16.95	13.80	12.61	4.35	-12.67	10.28	-44.74	19.00	9.03	6.34	-3.46	14.37	-10.35	-0.09
TCHAUROU	-25.18	-9.48	1.18	5.27	56.92	-7.61	90.77	-42.91	-5.64	5.76	29.16	-17.59	122.46	42.39
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-7.29	-47.30	-42.53	-9.66	-19.69	-51.80	-63.95	-3.50	1.43	9.98	-13.07	-6.20	-17.89	-28.60
BASSILA	38.98	102.56	167.93	69.67	69.18	112.68	133.73	22.14	-3.53	4.66	8.62	59.67	21.11	52.94
COPARGO	18.26	80.16	120.82	57.82	58.54	89.83	117.61	17.70	-0.72	3.91	2.29	49.04	11.97	43.83
DASSA-ZOUME	-6.17	-26.27	-26.09	-0.61	-6.85	-29.84	-40.30	2.81	-21.07	7.81	-4.92	1.66	-6.80	-12.08
DJIDJA	-11.18	-4.47	-1.68	25.19	18.41	-4.27	2.24	13.55	-24.39	15.12	-6.53	24.32	-5.80	4.83
DJOUGOU	6.56	2.87	21.70	19.12	12.68	1.29	-7.46	10.50	-31.70	9.26	-0.06	18.97	1.92	4.02
GLAZOUE	-4.55	93.74	102.90	89.34	91.64	107.46	164.97	39.59	-0.44	23.92	5.79	78.12	15.85	69.17
NDALI	-0.43	-51.45	-13.03	-6.76	-23.49	-56.24	-76.19	-11.10	-8.70	4.71	-26.72	-4.07	-30.11	-41.54

NIKKI	19.93	-52.64	-2.75	-21.69	-37.64	-60.40	-99.60	-16.19	-3.87	-0.37	-17.65	-17.00	-21.53	-47.57
OUAKE	42.05	-41.34	43.97	-15.30	-35.55	-48.45	-93.96	-18.74	14.34	-0.48	-19.99	-11.71	-22.61	-51.18
OUESSE	-6.11	2.26	-13.64	2.32	4.79	1.62	1.97	6.08	-18.10	2.22	6.52	2.77	6.92	8.47
PARAKOU	8.04	69.37	96.88	60.63	60.20	77.27	102.77	23.75	-24.79	9.43	3.40	53.00	12.55	44.84
PERERE	12.18	53.53	87.97	52.68	48.97	58.69	72.05	20.66	-29.90	9.87	1.66	46.87	9.47	33.32
SAVALOU	-11.57	-65.91	-58.77	-5.70	-21.44	-72.89	-91.80	0.82	-14.69	18.45	-17.18	-0.79	-23.25	-36.42
SAVE	11.45	-24.50	-26.61	-8.31	-12.53	-29.02	-44.60	4.92	17.59	13.89	8.09	-4.59	3.85	-11.25
TCHAUROU	0.03	58.97	84.68	51.24	50.78	66.31	89.98	16.13	-34.71	2.00	-3.58	44.03	5.30	36.18

Annexe 14: Effet du changement climatique sur la production du sorgho [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-7.01	-6.53	-6.25	-7.39	-6.90	-7.69	-9.29	-5.61	-7.47	-6.94	-8.86	-7.04	-5.38	-9.36
BASSILA	-10.43	10.21	17.30	24.58	59.07	5.78	73.65	-44.74	12.24	25.34	22.47	1.08	69.87	8.79
COPARGO	-3.21	1.43	3.31	1.53	8.43	-2.33	4.55	-5.16	-0.71	2.82	-2.66	-1.42	14.16	-6.23
DASSA-ZOUME	57.49	111.87	130.89	145.86	235.66	96.79	265.22	-25.77	114.02	149.24	135.71	86.84	268.19	99.06
DJIDJA	24.25	31.28	33.96	33.25	44.20	27.20	42.49	17.95	29.56	34.55	29.07	27.43	50.95	23.96
DJOUGOU	-11.56	-2.48	-0.28	13.86	31.74	4.41	61.08	-45.10	6.72	10.62	24.83	-3.95	25.93	20.39
GLAZOUE	104.06	85.64	77.21	95.82	71.28	109.87	110.91	92.31	102.88	86.93	125.03	99.63	37.39	140.84
NDALI	-6.00	-1.06	0.36	5.31	14.35	0.46	24.55	-19.61	1.85	4.44	8.29	-2.50	13.85	5.47
NIKKI	6.03	-6.87	-12.04	-7.85	-27.24	2.96	-18.03	12.73	-1.51	-11.18	2.98	0.87	-42.44	12.79
OUAKE	-3.45	2.98	4.98	9.75	21.11	3.62	30.89	-18.35	5.51	9.17	11.81	0.72	22.07	7.90
OUESSE	79.51	114.59	126.08	144.97	205.19	112.31	243.61	10.23	122.98	144.13	148.47	100.59	217.25	126.15

PARAKOU	-0.20	7.32	10.62	4.66	15.08	-1.25	2.34	1.84	1.52	7.75	-5.48	1.99	27.33	-11.70
PERERE	-4.35	7.43	11.74	12.70	31.59	2.32	33.21	-18.54	6.17	14.18	8.02	1.48	40.84	-0.24
SAVALOU	56.86	112.73	132.78	142.01	232.73	92.26	250.20	-18.29	110.27	147.49	124.88	85.58	272.10	86.34
SAVE	48.27	111.16	133.79	143.44	245.38	87.52	263.48	-35.07	107.82	149.85	123.34	80.43	290.41	79.85
TCHAUROU	-1.29	0.30	0.80	1.91	4.70	0.40	6.97	-4.85	0.87	1.79	2.34	-0.27	5.00	1.37
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-8.28	-9.01	-10.00	-6.72	-7.10	-9.09	-8.68	-6.64	-6.90	-6.05	-7.61	-6.62	-7.85	-7.70
BASSILA	-7.25	53.10	44.66	54.44	56.90	57.89	79.80	31.79	-50.34	15.76	12.90	49.49	20.09	48.84
COPARGO	-6.01	1.93	-2.03	8.15	7.56	2.50	7.17	4.66	-9.44	3.58	-0.97	7.59	-0.41	4.67
DASSA-ZOUME	61.53	213.56	188.77	224.40	229.47	225.56	282.96	166.72	-44.27	127.60	115.24	212.05	132.87	206.90
DJIDJA	22.06	37.37	32.57	43.33	43.10	38.52	45.74	37.11	13.22	34.01	29.39	42.16	30.85	39.36
DJOUGOU	1.09	45.63	48.54	27.27	32.02	49.38	59.84	12.20	-37.89	-2.94	8.33	23.33	14.88	31.92
GLAZOUE	127.05	114.52	137.25	69.81	76.05	114.01	96.35	78.29	119.52	74.03	105.33	70.17	106.70	91.15
NDALI	-1.95	17.76	17.68	12.53	14.19	19.39	24.87	5.62	-18.12	-0.59	2.40	10.83	5.11	13.27

NIKKI	13.04	-10.31	0.26	-26.30	-24.90	-12.00	-25.04	-16.22	23.97	-12.66	-0.87	-24.62	-2.65	-17.11
OUAKE	0.11	23.02	21.90	19.11	20.72	24.89	31.90	10.89	-17.89	4.05	6.02	17.17	9.03	18.99
OUESSE	91.61	204.87	194.48	195.87	202.23	214.00	251.72	154.35	6.46	122.28	124.88	186.41	139.12	190.58
PARAKOU	-7.90	-0.10	-8.38	15.31	13.32	0.36	7.69	11.09	-7.82	11.62	0.72	14.90	0.67	7.67
PERERE	-5.82	23.36	16.61	29.66	29.99	25.62	37.88	18.23	-24.56	11.44	6.15	27.35	9.27	24.39
SAVALOU	54.68	200.73	171.54	222.54	225.68	212.14	270.65	166.16	-42.74	130.52	110.77	210.85	126.98	200.56
SAVE	45.04	208.24	174.93	234.07	237.35	220.96	286.77	170.95	-63.25	131.38	108.30	221.03	126.32	208.84
TCHAUROU	-0.48	5.06	4.75	4.22	4.59	5.51	7.24	2.22	-4.80	0.58	0.99	3.75	1.71	4.14

Annexe 15: Effet du changement climatique sur la production du mil [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BASSILA	-6.81	5.34	9.57	13.21	33.35	2.21	40.57	-25.91	6.05	13.87	11.26	-0.18	40.33	3.12
COPARGO	48.24	67.56	74.28	80.08	112.11	62.58	123.60	17.85	68.69	81.12	76.98	58.78	123.22	64.02
DJOUGOU	1.97	-2.68	-5.21	4.28	-0.72	7.31	19.34	-9.10	5.31	0.47	16.88	1.96	-13.92	21.56
NDALI	-11.40	-10.88	-10.89	-8.42	-6.98	-9.15	-1.83	-16.13	-9.10	-9.15	-6.00	-10.58	-8.91	-6.02
NIKKI	0.51	6.66	7.99	19.56	32.17	12.94	56.24	-25.58	14.41	16.71	29.17	6.13	26.30	26.45
OUAKE	9.57	16.28	17.72	30.34	44.08	23.12	70.32	-18.87	24.72	27.23	40.82	15.70	37.68	37.85
PARAKOU	4.15	-3.50	-5.61	-14.38	-28.65	-6.76	-46.78	27.10	-8.85	-12.67	-20.20	-1.53	-26.79	-16.01
PERERE	-10.17	6.89	13.14	14.41	41.74	-0.61	43.83	-30.51	4.96	16.59	7.50	-1.76	55.26	-4.49
SAVE	29.16	28.60	27.53	37.73	39.36	37.11	60.75	12.57	36.43	34.31	49.10	31.27	29.03	50.96
TCHAOUROU	-5.98	-6.39	-7.17	0.25	1.44	-0.19	17.01	-18.06	-0.69	-2.24	8.53	-4.45	-6.08	9.89

	IPSL							MPIESM						
BASSILA	-5.60	28.86	23.50	30.77	32.00	31.58	44.43	17.74	-29.78	8.78	6.36	27.96	10.39	27.05
COPARGO	50.16	104.97	96.44	108.00	109.96	109.30	129.74	87.28	11.69	73.03	69.18	103.54	75.59	102.09
DJOUGOU	12.71	17.44	26.09	-2.16	1.02	18.03	13.93	-2.26	2.02	-6.89	6.51	-2.85	8.34	6.34
NDALI	-8.98	-3.69	-2.52	-7.61	-6.78	-3.22	-2.49	-9.25	-14.25	-11.34	-8.80	-8.10	-7.91	-6.27
NIKKI	11.14	44.60	47.78	28.69	32.59	47.44	54.68	17.55	-18.93	5.82	15.74	25.70	20.80	33.15
OUAKE	21.16	57.63	61.10	40.29	44.54	60.73	68.62	28.15	-11.62	15.36	26.17	37.03	31.69	45.15
PARAKOU	-3.27	-35.61	-36.16	-25.59	-28.54	-38.30	-46.87	-14.37	23.80	-3.94	-9.83	-22.77	-14.38	-27.46
PERERE	-12.43	29.63	19.78	38.97	39.41	32.88	50.63	22.47	-39.35	12.73	4.93	35.65	9.40	31.25
SAVE	39.77	55.22	61.75	37.17	40.59	56.65	56.83	32.94	21.91	25.69	37.67	35.63	40.70	44.09
TCHAOUROU	1.74	12.99	17.74	-0.15	2.34	14.03	14.16	-3.23	-11.26	-8.51	0.21	-1.28	2.41	4.88

Annexe 16: Effet du changement climatique sur la production du riz [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	3.66	1.63	1.62	-7.22	-12.62	-4.49	-31.08	20.73	-4.73	-4.64	-15.85	0.64	-5.83	-15.68
BASSILA	-21.16	-5.12	0.19	8.20	35.59	-6.67	51.85	-51.79	-1.76	8.02	9.12	-11.67	41.71	-1.17
COPARGO	-23.67	-4.21	3.08	2.62	33.32	-14.31	31.69	-43.65	-7.86	5.73	-7.35	-14.52	50.58	-21.30
DASSA-ZOUME	-40.31	-25.09	-19.39	-19.75	4.26	-32.99	2.99	-55.94	-27.94	-17.31	-27.54	-33.16	17.76	-38.46
DJIDJA	-26.64	-7.93	-0.92	-1.36	28.14	-17.64	26.58	-45.84	-11.44	1.63	-10.95	-17.84	44.73	-24.36
DJOUGOU	-26.84	-8.19	-1.19	-1.64	27.79	-17.87	26.23	-45.99	-11.68	1.35	-11.19	-18.07	44.34	-24.57
GLAZOUE	-48.18	-34.96	-30.01	-30.32	-9.48	-41.82	-10.58	-61.74	-37.44	-28.21	-37.09	-41.96	2.24	-46.56
NDALI	-35.24	-18.72	-12.53	-12.92	13.12	-27.29	11.74	-52.19	-21.82	-10.28	-21.38	-27.47	27.77	-33.22
NIKKI	-28.54	-10.32	-3.49	-3.92	24.82	-19.78	23.30	-47.25	-13.74	-1.01	-13.26	-19.97	40.98	-26.32
OUAKE	-26.21	-7.39	-0.34	-0.79	28.89	-17.16	27.32	-45.52	-10.92	2.22	-10.42	-17.36	45.58	-23.91
OUESSE	-34.23	-17.47	-11.18	-11.58	14.87	-26.17	13.47	-51.45	-20.61	-8.90	-20.17	-26.35	29.75	-32.19

PARAKOU	-24.87	-5.72	1.46	1.01	31.22	-15.66	29.62	-44.54	-9.31	4.07	-8.80	-15.87	48.22	-22.54
PERERE	-28.69	-10.51	-3.70	-4.13	24.55	-19.95	23.03	-47.36	-13.92	-1.22	-13.44	-20.15	40.68	-26.48
SAVALOU	-41.43	-26.50	-20.90	-21.25	2.30	-34.25	1.06	-56.76	-29.30	-18.86	-28.90	-34.41	15.55	-39.61
SAVE	-36.17	-19.89	-13.79	-14.17	11.50	-28.34	10.14	-52.87	-22.94	-11.57	-22.51	-28.51	25.94	-34.18
TCHAUROU	-32.46	-15.24	-8.78	-9.19	17.97	-24.17	16.54	-50.14	-18.46	-6.44	-18.01	-24.36	33.25	-30.36
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-5.01	-24.30	-28.39	-10.35	-13.32	-25.99	-28.75	-4.34	14.09	3.24	-5.78	-8.56	-9.00	-15.09
BASSILA	-16.27	34.50	29.36	31.46	34.16	38.58	55.78	12.77	-54.07	-1.44	-0.96	27.24	5.36	28.64
COPARGO	-28.22	16.62	4.22	30.59	30.45	20.04	40.15	12.66	-55.42	2.96	-8.13	27.11	-3.62	20.54
DASSA-ZOUME	-43.87	-8.80	-18.50	2.12	2.01	-6.13	9.60	-11.90	-65.14	-19.48	-28.15	-0.60	-24.63	-5.74
DJIDJA	-31.01	12.09	0.17	25.51	25.38	15.37	34.70	8.28	-57.16	-1.04	-11.70	22.17	-7.37	15.85
DJOUGOU	-31.20	11.78	-0.10	25.17	25.03	15.06	34.33	7.99	-57.27	-1.31	-11.94	21.83	-7.62	15.53
GLAZOUE	-51.26	-20.82	-29.24	-11.33	-11.43	-18.50	-4.84	-23.51	-69.73	-30.09	-37.62	-13.70	-34.56	-18.16
NDALI	-39.09	-1.05	-11.57	10.80	10.68	1.85	18.92	-4.41	-62.18	-12.64	-22.04	7.85	-18.22	2.27

NIKKI	-32.80	9.18	-2.42	22.26	22.13	12.38	31.21	5.48	-58.27	-3.60	-13.98	19.00	-9.77	12.85
OUAKE	-30.60	12.75	0.76	26.25	26.11	16.05	35.49	8.92	-56.90	-0.46	-11.18	22.89	-6.82	16.53
OUESSE	-38.15	0.48	-10.20	12.52	12.40	3.43	20.76	-2.93	-61.59	-11.28	-20.84	9.52	-16.96	3.86
PARAKOU	-29.35	14.78	2.58	28.53	28.39	18.15	37.94	10.89	-56.12	1.34	-9.57	25.11	-5.14	18.64
PERERE	-32.94	8.95	-2.63	22.00	21.86	12.14	30.93	5.25	-58.36	-3.81	-14.17	18.75	-9.96	12.61
SAVALOU	-44.92	-10.51	-20.03	0.21	0.10	-7.89	7.54	-13.55	-65.79	-20.99	-29.50	-2.46	-26.04	-7.51
SAVE	-39.97	-2.47	-12.84	9.21	9.10	0.39	17.21	-5.78	-62.72	-13.89	-23.16	6.30	-19.39	0.81
TCHAUROU	-36.48	3.20	-7.77	15.56	15.43	6.22	24.02	-0.31	-60.55	-8.89	-18.70	12.48	-14.71	6.66

Annexe 17: Effet du changement climatique sur la production du niébé [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-0.26	-3.46	-4.62	-4.90	-10.03	-2.08	-10.50	3.61	-3.13	-5.30	-3.65	-1.85	-12.52	-1.41
BASSILA	0.20	-0.06	-0.15	-0.19	-0.59	0.04	-0.67	0.53	-0.04	-0.21	-0.11	0.07	-0.77	0.07
COPARGO	-4.24	1.52	4.00	-0.03	8.08	-4.62	-0.57	-3.57	-2.52	2.16	-7.22	-2.44	16.95	-11.91
DASSA-ZOUME	6.89	53.40	72.71	49.36	117.20	11.30	66.67	-3.32	27.80	64.08	1.32	23.58	179.96	-35.23
DJIDJA	-1.55	17.18	24.16	24.20	53.87	7.85	53.32	-21.60	14.04	27.04	15.13	7.37	70.02	1.77
DJOUGOU	-12.06	-3.54	-1.69	14.11	31.52	4.97	64.37	-47.81	7.01	10.24	27.17	-4.33	23.60	23.37
GLAZOUE	-6.18	6.38	11.31	8.46	27.65	-2.20	21.24	-14.78	2.09	11.30	-0.76	-0.87	41.26	-10.14
NDALI	-1.83	10.04	14.54	13.59	32.14	3.33	29.73	-12.88	7.30	15.71	6.77	3.59	43.33	-1.84
NIKKI	2.97	2.03	1.12	7.78	7.94	7.88	21.95	-7.27	7.25	5.46	15.50	4.07	0.68	17.13
OUAKE	-5.05	-5.76	-6.46	-1.27	-1.11	-1.21	9.81	-13.06	-1.70	-3.08	4.73	-4.18	-6.74	5.98
OUESSE	6.93	13.52	16.16	14.03	23.93	8.51	19.24	3.50	10.79	15.73	8.50	9.57	31.69	3.49

PARAKOU	-3.23	-1.73	-1.46	1.97	5.19	0.28	12.32	-10.61	0.61	1.07	4.96	-1.72	3.18	4.38
PERERE	-4.68	4.05	6.56	15.33	31.32	6.77	49.42	-28.79	9.22	13.79	20.64	1.51	30.39	15.67
SAVALOU	3.50	16.68	21.75	19.84	40.23	8.55	35.79	-7.34	13.00	22.47	11.35	9.32	53.47	1.68
SAVE	4.18	3.51	2.99	6.31	6.09	6.53	13.08	-0.73	6.15	5.12	10.26	4.64	2.30	11.21
TCHAUROU	0.85	13.29	17.32	24.50	45.97	12.87	60.61	-24.53	16.63	24.04	26.27	8.44	49.78	18.43
	IPSL							MPIESM						
BANTE	0.12	-7.82	-6.00	-9.50	-9.60	-8.43	-11.76	-6.39	5.23	-4.54	-3.12	-8.87	-3.97	-8.08
BASSILA	0.21	-0.45	-0.31	-0.55	-0.56	-0.50	-0.76	-0.30	0.64	-0.14	-0.05	-0.50	-0.12	-0.45
COPARGO	-9.59	-2.75	-8.77	8.14	6.79	-2.32	3.34	4.66	-10.50	4.67	-3.07	7.74	-2.95	2.63
DASSA-ZOUME	-26.86	43.69	0.59	115.63	107.82	48.52	94.91	83.18	-51.13	76.46	24.48	110.91	28.34	77.13
DJIDJA	-5.43	38.53	26.89	51.13	51.16	41.89	61.28	33.65	-32.50	23.96	13.84	47.70	18.32	41.77
DJOUGOU	2.42	48.39	52.66	26.75	32.06	52.29	62.29	11.43	-38.80	-4.66	8.83	22.64	15.77	32.77
GLAZOUE	-11.75	13.01	3.45	26.45	25.50	14.83	27.62	16.07	-24.64	11.70	1.61	24.62	3.73	18.30
NDALI	-5.30	20.93	12.96	30.63	30.31	22.92	35.13	20.01	-20.66	14.59	7.05	28.61	9.59	24.05

NIKKI	10.03	18.78	23.41	6.59	8.83	19.62	19.14	4.36	-0.82	-0.09	8.06	5.69	9.90	11.40
OUAKE	0.44	7.32	10.91	-2.16	-0.42	7.98	7.63	-3.92	-8.05	-7.40	-1.06	-2.87	0.38	1.58
OUESSE	3.36	15.29	9.90	23.45	22.74	16.16	22.82	18.30	-2.24	16.48	10.46	22.59	11.37	18.76
PARAKOU	-0.02	9.13	10.26	4.21	5.36	9.91	11.72	1.21	-8.46	-2.09	1.01	3.38	2.43	5.69
PERERE	2.52	37.39	37.27	28.10	31.05	40.28	49.97	15.87	-26.12	4.88	10.19	25.09	14.99	29.43
SAVALOU	-1.22	26.51	17.15	38.74	38.11	28.59	42.09	27.34	-16.72	21.96	12.62	36.64	15.18	30.89
SAVE	7.74	11.66	14.09	5.44	6.56	12.04	11.60	4.51	2.60	2.39	6.56	5.03	7.43	7.94
TCHAUROU	5.64	46.59	43.20	42.56	44.98	49.90	63.31	27.61	-25.43	15.89	17.36	39.13	22.56	41.00

Annexe 18: Effet du changement climatique sur la production d'arachide [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-0.84	15.51	21.99	17.38	42.12	3.61	31.91	-10.50	9.24	21.38	4.41	5.86	60.71	-7.92
BASSILA	4.01	-0.78	-1.25	-17.00	-28.50	-11.11	-61.37	35.71	-11.93	-12.58	-31.82	-1.93	-17.42	-30.66
COPARGO	-9.23	-0.55	2.21	7.88	23.03	-0.31	34.62	-28.05	2.28	7.34	9.83	-3.78	25.05	4.45
DASSA-ZOUME	7.31	25.60	32.20	34.83	64.44	18.59	69.33	-16.63	24.50	36.75	28.80	16.63	77.70	16.12
DJIDJA	-0.22	6.51	8.79	11.53	22.87	5.36	28.38	-12.01	7.45	11.66	11.23	3.62	26.04	6.82
DJOUGOU	-16.02	-19.73	-21.15	-20.77	-26.55	-17.57	-25.62	-12.70	-18.81	-21.45	-18.54	-17.70	-30.12	-15.84
GLAZOUE	24.31	23.46	22.18	33.74	35.26	33.22	59.52	5.72	32.38	29.82	46.73	26.60	23.35	49.00
NDALI	0.58	6.43	8.53	9.48	18.98	4.28	20.78	-7.26	6.16	10.06	7.67	3.59	23.12	3.63
NIKKI	-0.92	8.63	11.47	20.02	37.26	10.76	54.87	-25.53	13.50	18.68	24.69	5.61	37.24	19.10
OUAKE	-8.02	-1.27	0.74	6.74	18.91	0.21	31.27	-25.34	2.14	5.80	10.00	-3.41	18.94	6.05
OUESSE	6.61	1.60	-0.24	-0.65	-8.70	3.77	-9.40	12.66	2.13	-1.28	1.34	4.13	-12.64	4.86

PARAKOU	0.64	-10.45	-14.28	-18.02	-36.52	-7.94	-44.00	18.80	-11.42	-18.49	-16.71	-5.51	-42.49	-9.33
PERERE	-6.28	0.55	2.66	7.78	19.86	1.27	30.37	-22.21	3.28	7.15	10.03	-1.84	20.82	5.90
SAVALOU	6.93	16.15	19.79	17.46	31.49	9.66	26.30	1.01	12.82	19.63	10.44	10.77	41.71	3.53
SAVE	-2.81	-1.84	-1.36	-2.76	-1.56	-3.45	-4.51	-1.50	-3.06	-2.15	-4.74	-2.68	0.62	-5.63
TCHAUROU	-19.04	10.23	9.76	23.40	4.03	10.03	23.55	11.08	32.80	37.96	15.90	19.43	34.71	37.47
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-9.01	21.72	8.75	40.77	39.23	23.96	40.54	27.68	-24.13	22.66	8.51	38.53	10.98	29.58
BASSILA	-11.20	-48.35	-54.91	-24.29	-29.58	-51.58	-57.72	-12.46	24.57	1.67	-13.78	-20.87	-19.81	-32.14
COPARGO	-5.21	24.45	22.48	20.50	22.41	26.86	36.27	9.76	-28.11	1.09	2.87	18.00	6.70	19.84
DASSA-ZOUME	6.19	53.37	43.58	61.19	62.08	57.04	76.17	42.91	-24.98	31.53	24.62	57.42	29.80	53.74
DJIDJA	1.19	21.46	18.93	21.28	22.20	23.08	30.25	13.72	-13.52	8.23	7.71	19.60	10.16	19.68
DJOUGOU	-14.85	-22.92	-20.38	-26.09	-25.97	-23.53	-27.34	-22.81	-10.20	-21.18	-18.73	-25.48	-19.49	-23.98
GLAZOUE	36.38	53.41	60.94	32.80	36.68	54.99	54.98	28.20	16.44	20.08	33.78	31.09	37.17	40.75
NDALI	0.34	15.61	12.54	17.92	18.24	16.80	22.93	12.02	-9.84	8.30	6.21	16.70	7.91	15.61

NIKKI	5.88	42.32	41.56	33.96	36.84	45.32	55.84	21.07	-23.54	9.82	14.43	30.84	19.36	34.74
OUAKE	-3.25	22.43	21.87	16.59	18.61	24.54	31.98	7.50	-23.97	-0.42	2.79	14.39	6.27	17.12
OUESSE	7.24	-5.20	-2.32	-7.88	-8.02	-6.16	-11.38	-3.01	15.23	-0.11	2.14	-6.89	0.81	-5.63
PARAKOU	-0.90	-33.06	-28.42	-34.07	-35.33	-35.61	-47.37	-21.97	21.96	-13.48	-11.75	-31.44	-15.56	-30.95
PERERE	-2.44	21.98	20.83	17.73	19.45	23.98	31.43	8.97	-21.66	1.66	3.82	15.65	7.04	17.64
SAVALOU	2.60	20.39	13.24	30.66	29.89	21.70	31.07	23.15	-6.43	20.11	12.44	29.36	13.93	24.53
SAVE	-4.45	-4.46	-5.91	-1.39	-1.86	-4.50	-3.60	-1.65	-3.30	-1.12	-3.24	-1.35	-3.44	-2.79
TCHAUROU	9.23	-10.87	0.49	11.47	13.86	15.18	21.78	0.25	8.68	12.61	15.90	13.93	16.68	30.76

Annexe 19: Effet du changement climatique sur la production de soja [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	12.59	-5.01	-12.18	-5.00	-31.09	9.58	-15.45	19.26	3.42	-10.03	11.38	5.89	-53.25	24.97
BASSILA	-20.90	-33.27	-38.30	-33.26	-51.59	-23.01	-40.60	-16.22	-27.35	-36.79	-21.75	-25.61	-67.16	-12.20
COPARGO	-21.01	-33.36	-38.39	-33.35	-51.66	-23.12	-40.68	-16.33	-27.44	-36.88	-21.86	-25.71	-67.20	-12.32
DASSA-ZOUME	-30.94	-41.79	-47.02	-32.82	-46.47	-24.90	-16.34	-43.33	-29.17	-39.12	-12.09	-32.80	-69.57	-2.32
DJIDJA	-35.28	-35.31	-34.85	-40.54	-42.00	-39.89	-53.92	-25.65	-39.63	-38.68	-46.71	-36.62	-36.53	-47.50
DJOUGOU	-19.88	-13.11	-10.22	-14.58	-4.96	-20.02	-14.33	-19.73	-17.57	-12.13	-22.63	-17.67	5.11	-28.08
GLAZOUE	-24.70	-24.05	-22.09	-42.54	-46.59	-40.89	-89.48	9.11	-39.68	-35.75	-65.12	-29.15	-26.27	-68.52
NDALI	-21.55	-1.85	6.41	-4.54	23.93	-20.55	0.30	-24.08	-13.50	2.04	-26.05	-14.73	51.53	-41.68
NIKKI	-37.69	-50.93	-55.77	-56.93	-78.17	-45.25	-80.14	-21.63	-49.57	-58.56	-51.74	-44.26	-88.49	-42.46
OUAKE	25.20	24.14	24.22	18.51	15.40	20.06	3.46	35.98	19.98	20.21	12.81	23.37	20.00	12.75
OUESSE	1.64	-3.28	-4.80	-8.58	-17.31	-3.88	-25.07	13.27	-5.32	-8.09	-10.30	-1.58	-17.91	-7.33

PARAKOU	-27.82	-34.79	-38.12	-29.45	-38.34	-24.30	-19.91	-35.02	-27.03	-33.35	-16.61	-29.12	-52.75	-10.39
PERERE	11.29	9.16	7.38	19.12	18.66	19.71	43.36	-6.25	18.44	14.96	32.95	13.01	5.47	36.16
SAVALOU	-10.39	-12.11	-12.12	-19.63	-24.22	-17.32	-39.90	4.11	-17.52	-17.44	-26.97	-12.96	-18.45	-26.82
SAVE	-16.02	-27.52	-31.49	-35.37	-54.55	-24.91	-62.30	2.81	-28.52	-35.85	-34.00	-22.39	-60.75	-26.34
TCHAUROU	2.56	4.29	5.11	2.93	5.12	1.66	0.48	4.41	2.34	3.91	-0.29	2.88	8.72	-1.83
	IPSL							MPIESM						
BANTE	23.66	-5.77	9.54	-30.13	-27.73	-7.85	-25.54	-17.07	35.89	-13.30	4.48	-28.08	2.50	-16.64
BASSILA	-13.12	-33.80	-23.05	-50.92	-49.23	-35.26	-47.69	-41.74	-4.53	-39.09	-26.60	-49.47	-27.99	-41.44
COPARGO	-13.24	-33.89	-23.15	-50.98	-49.30	-35.35	-47.76	-41.82	-4.66	-39.17	-26.70	-49.54	-28.09	-41.51
DASSA-ZOUME	-14.06	-16.11	-0.76	-48.06	-43.30	-15.92	-26.09	-44.58	-24.44	-49.49	-27.34	-48.37	-25.53	-33.39
DJIDJA	-41.13	-50.56	-53.99	-40.73	-42.64	-51.42	-51.88	-38.04	-30.66	-33.82	-40.31	-39.80	-42.08	-44.41
DJOUGOU	-25.78	-17.11	-23.97	-4.97	-6.43	-16.55	-9.88	-9.24	-27.54	-9.50	-18.17	-5.50	-17.91	-11.20
GLAZOUE	-45.88	-78.00	-90.80	-42.12	-48.99	-80.96	-81.82	-33.18	-9.36	-18.38	-42.16	-38.94	-48.35	-55.75
NDALI	-36.94	-8.81	-27.71	23.50	19.84	-6.92	12.64	10.25	-45.27	8.19	-15.04	21.67	-13.73	6.50

NIKKI	-36.12	-69.03	-61.49	-75.98	-76.38	-71.58	-85.36	-63.10	-14.92	-55.42	-49.56	-73.38	-53.08	-70.10
OUAKE	19.55	7.65	4.85	16.83	14.91	6.60	5.07	20.49	31.55	25.27	19.30	17.95	17.28	13.65
OUESSE	-1.22	-18.97	-18.20	-15.75	-17.02	-20.42	-25.80	-9.40	12.80	-4.06	-5.72	-14.24	-8.07	-15.74
PARAKOU	-17.43	-19.50	-9.90	-39.26	-36.35	-19.45	-26.02	-36.81	-23.27	-39.63	-25.90	-39.39	-24.88	-30.12
PERERE	23.83	38.15	46.59	16.35	20.29	39.53	38.21	12.86	5.39	5.27	19.88	14.84	23.01	25.06
SAVALOU	-17.76	-34.14	-37.62	-22.30	-24.82	-35.58	-37.92	-17.18	-1.52	-10.74	-18.41	-20.77	-21.15	-26.32
SAVE	-17.60	-50.95	-46.14	-52.01	-53.32	-53.60	-65.80	-39.47	6.09	-30.66	-28.86	-49.28	-32.82	-48.77
TCHAOUROU	-0.04	0.40	-2.00	5.35	4.62	0.38	2.00	4.77	1.47	5.49	2.06	5.39	1.79	3.07

Annexe 20: Effet du changement climatique sur la production du manioc [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-7.80	10.74	17.22	22.42	53.07	5.68	63.35	-36.36	11.55	23.54	19.07	2.23	64.07	6.58
BASSILA	-13.95	1.89	7.00	16.52	43.96	1.66	63.38	-46.91	6.43	15.81	19.17	-4.20	48.45	9.24
COPARGO	1.02	2.11	2.56	1.99	3.57	1.10	2.33	0.82	1.49	2.34	0.83	1.40	5.07	-0.03
DASSA-ZOUME	-7.22	22.37	32.49	43.42	92.97	16.41	114.88	-57.22	25.65	44.34	40.91	9.40	107.99	21.37
DJIDJA	-0.57	-2.98	-4.66	4.75	3.27	5.83	23.10	-13.89	4.58	1.30	16.17	0.48	-7.91	19.24
DJOUGOU	-6.36	3.52	6.88	10.83	27.45	1.77	35.39	-23.56	4.85	11.04	10.31	-0.74	32.19	3.82
GLAZOUE	-10.75	-1.33	1.87	5.63	21.48	-3.00	29.05	-27.14	-0.07	5.83	5.14	-5.39	25.99	-1.04
NDALI	-15.81	-8.86	-7.57	7.97	22.84	0.22	55.19	-49.46	1.76	3.95	21.50	-8.89	13.84	18.77
NIKKI	-17.03	-0.75	4.03	19.50	49.12	3.61	81.01	-60.51	8.24	16.91	28.42	-5.69	48.24	19.02
OUAKE	0.08	-30.19	-43.46	-19.88	-61.96	3.98	-11.51	-7.41	-7.17	-32.21	20.51	-8.84	-89.09	45.50
OUESSE	-2.13	21.95	30.24	38.48	78.64	16.57	95.10	-41.71	24.12	39.44	35.73	11.24	91.49	19.73

PARAKOU	-9.71	13.29	20.83	33.11	72.55	11.71	97.53	-54.95	18.71	32.59	35.29	4.09	80.56	20.65
PERERE	-8.73	7.23	12.43	21.37	48.86	6.47	67.05	-40.83	11.31	20.87	23.33	0.94	54.02	13.22
SAVALOU	-7.12	12.23	19.41	19.85	50.59	2.92	50.85	-28.49	9.29	22.65	10.91	2.19	66.89	-2.83
SAVE	0.05	-30.64	-42.72	-35.14	-81.85	-9.18	-64.92	20.00	-19.69	-42.29	-11.96	-12.78	-84.30	11.03
TCHAUROU	-13.46	4.31	10.25	18.37	48.52	1.98	64.94	-46.11	7.46	18.42	18.56	-3.12	56.04	7.04
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-6.33	45.68	37.29	49.21	50.97	49.79	69.37	29.49	-42.58	16.08	11.98	44.98	18.02	43.30
BASSILA	-7.47	45.31	41.21	39.53	42.74	49.58	66.69	20.32	-47.74	5.10	7.41	35.10	14.15	37.79
COPARGO	0.20	1.81	0.78	3.54	3.35	1.92	3.00	2.79	-0.32	2.66	1.41	3.44	1.49	2.62
DASSA-ZOUME	-2.16	85.14	73.34	86.23	89.92	92.09	123.54	53.54	-64.83	30.19	26.65	79.06	37.11	78.51
DJIDJA	9.63	19.48	26.68	1.53	4.69	20.46	18.67	-0.63	-4.15	-6.35	5.74	0.44	8.09	8.86
DJOUGOU	-4.37	25.29	21.52	25.13	26.47	27.65	38.18	14.08	-25.84	6.06	5.21	22.69	8.80	22.75
GLAZOUE	-8.85	19.41	15.82	19.27	20.54	21.67	31.70	8.73	-29.32	1.09	0.28	16.94	3.70	17.00
NDALI	-1.28	40.59	45.67	18.36	23.58	44.17	52.54	4.62	-39.77	-10.47	3.56	14.58	10.04	24.99

NIKKI	-4.52	59.10	58.33	43.30	48.50	64.34	82.36	20.89	-56.33	1.04	9.93	37.82	18.62	45.21
OUAKE	30.67	-1.46	31.67	-62.81	-54.92	-3.35	-32.91	-45.60	31.12	-47.43	-4.00	-61.09	-3.91	-32.30
OUESSE	1.32	71.28	61.28	73.29	76.08	76.84	102.38	47.00	-48.48	28.49	24.86	67.57	33.17	66.59
PARAKOU	-1.88	72.19	65.32	66.47	70.60	78.16	102.88	39.30	-57.51	18.35	19.95	60.28	29.25	62.94
PERERE	-2.88	49.22	44.70	44.54	47.55	53.43	70.62	25.49	-42.25	10.64	12.21	40.18	18.80	42.36
SAVALOU	-10.71	35.34	23.56	47.68	47.84	38.88	58.94	29.43	-39.40	19.13	9.13	44.07	13.89	38.27
SAVE	14.27	-45.16	-21.46	-79.07	-76.54	-49.53	-80.73	-54.00	44.63	-43.77	-18.44	-74.69	-23.42	-58.76
TCHAUROU	-8.83	46.16	40.01	44.12	46.86	50.57	69.57	23.76	-49.31	8.59	8.24	39.57	15.01	40.50

Annexe 21: Effet du changement climatique sur la production d'igname [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-6.43	13.85	21.36	21.97	54.23	4.21	54.84	-29.10	10.88	24.86	12.78	3.36	71.16	-1.60
BASSILA	-5.23	-0.62	-0.10	14.13	24.95	8.57	54.64	-34.15	9.40	10.17	27.38	0.27	15.18	26.14
COPARGO	3.78	4.25	4.96	-1.35	-2.16	-1.08	-15.40	13.91	-0.61	0.79	-8.44	2.54	4.35	-9.69
DASSA-ZOUME	4.60	36.61	49.37	39.61	87.87	12.72	66.32	-13.08	23.78	47.67	13.40	17.55	124.98	-10.85
DJIDJA	2.90	7.00	8.05	13.79	21.71	9.59	33.61	-11.16	10.67	12.54	18.05	6.19	19.70	15.95
DJOUGOU	-3.77	19.21	28.31	21.90	56.68	2.55	42.47	-17.46	10.45	27.49	3.75	5.67	82.73	-13.57
GLAZOUE	10.16	36.45	46.88	39.54	79.35	17.38	63.08	-5.51	26.43	45.94	18.76	20.96	109.17	-1.06
NDALI	-7.24	-5.58	-6.21	8.69	15.02	5.63	46.21	-34.16	5.45	4.07	24.11	-2.98	2.06	25.06
NIKKI	-8.16	-1.20	0.24	13.93	28.34	6.37	56.79	-38.68	8.00	10.51	25.43	-1.67	21.13	22.43
OUAKE	-3.79	-10.72	-14.32	-2.29	-10.28	2.46	15.17	-16.69	-0.42	-7.28	14.17	-4.29	-27.90	20.85
OUESSE	-3.34	32.52	46.09	43.78	99.97	12.74	93.93	-37.69	24.70	49.99	23.83	13.18	133.19	-2.09

PARAKOU	-11.86	-5.86	-4.33	4.16	15.77	-2.01	33.35	-32.58	-0.43	2.29	10.47	-7.03	12.76	7.40
PERERE	-8.42	-4.15	-3.50	7.72	17.26	2.78	40.65	-31.90	3.65	4.70	17.86	-3.78	10.10	16.43
SAVALOU	1.42	29.24	39.01	46.18	91.99	21.12	106.07	-40.33	29.97	48.06	40.44	16.32	109.11	21.62
SAVE	3.14	28.58	38.80	29.98	68.06	8.74	48.71	-9.11	17.57	36.74	8.01	13.19	98.57	-11.41
TCHAUROU	-4.38	4.11	7.23	7.75	21.32	0.29	22.12	-14.31	3.07	8.87	4.19	-0.22	28.16	-1.80
	IPSL							MPIESM						
BANTE	-10.04	38.49	26.23	51.14	51.36	42.21	63.25	31.95	-40.39	21.03	10.73	47.33	15.77	41.38
BASSILA	8.45	42.66	48.41	21.11	25.89	45.62	51.45	10.17	-24.25	-2.74	11.07	17.97	16.58	28.06
COPARGO	-2.81	-12.07	-16.19	-0.82	-2.94	-12.93	-12.91	1.68	8.05	6.10	-1.38	0.11	-3.22	-5.16
DASSA-ZOUME	-12.15	46.80	20.95	85.39	82.13	51.07	83.48	60.10	-40.41	50.81	22.25	81.12	26.87	62.99
DJIDJA	7.96	27.01	27.94	19.83	21.76	28.61	33.28	13.33	-8.47	6.96	11.32	18.15	14.08	21.51
DJOUGOU	-15.17	28.11	9.93	54.77	52.63	31.27	54.57	36.34	-36.54	29.23	9.43	51.61	12.93	39.08
GLAZOUE	-2.89	46.65	25.83	77.16	74.71	50.26	76.93	56.07	-27.36	47.93	25.26	73.54	29.26	59.21
NDALI	7.75	36.16	44.16	11.46	16.46	38.70	41.54	2.95	-21.94	-8.94	7.23	8.75	12.25	20.32

NIKKI	4.46	43.28	47.24	24.27	28.87	46.58	54.81	11.40	-30.64	-2.32	9.58	20.79	15.49	29.69
OUAKE	10.04	13.58	25.18	-11.96	-7.92	14.15	7.87	-11.11	-2.00	-16.43	1.11	-12.63	3.18	-0.65
OUESSE	-13.21	67.01	43.28	95.27	94.52	73.09	110.03	62.92	-60.66	46.13	24.03	89.09	31.88	75.80
PARAKOU	-4.39	23.64	25.04	13.00	15.86	25.99	32.85	3.44	-28.59	-5.93	0.52	10.54	4.59	15.51
PERERE	2.24	30.70	34.84	14.14	17.91	33.15	38.41	4.92	-24.46	-5.58	4.95	11.55	9.46	19.30
SAVALOU	2.98	79.94	66.96	86.34	88.76	86.00	115.33	57.06	-50.23	37.42	30.53	80.10	39.40	77.06
SAVE	-11.26	33.83	12.65	66.33	63.38	37.06	62.73	46.73	-31.77	40.14	16.23	63.11	19.57	47.84
TCHAOUROU	-5.62	15.12	10.15	19.97	20.15	16.72	25.55	11.81	-18.81	7.05	3.04	18.33	5.23	16.05

Annexe 22: Effet du changement climatique sur la production de la patate douce [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	10231.74	10226.40	10225.34	10214.24	10203.04	10220.11	10179.96	10256.15	10218.88	10217.06	10204.77	10226.62	10209.14	10206.98
BASSILA	-8.07	6.21	11.21	15.20	38.80	2.30	46.70	-30.04	6.83	16.07	12.60	-0.34	47.28	2.99
COPARGO	-20.83	-42.33	-50.96	-43.56	-75.75	-25.60	-59.50	-10.40	-33.07	-49.25	-25.04	-29.33	-98.52	-8.64
DASSA-ZOUME	-7.85	-10.15	-11.09	-10.16	-13.57	-8.25	-11.54	-6.97	-9.06	-10.81	-8.02	-8.73	-16.45	-6.25
DJIDJA	33.24	3.54	-5.06	-34.65	-89.01	-5.52	-49.96	114.84	-13.89	-29.48	-52.40	12.23	-86.09	-35.46
DJOUGOU	0.05	-11.14	-15.37	-14.75	-32.31	-5.05	-30.64	10.94	-8.78	-16.66	-8.64	-5.13	-42.58	-0.57
NDALI	-27.22	-26.47	-29.00	4.44	13.91	0.17	84.00	-84.43	-1.22	-6.39	40.48	-19.08	-17.76	44.75
NIKKI	-21.29	-15.73	-16.61	18.58	36.11	9.91	109.70	-86.59	10.04	7.91	54.17	-10.46	6.91	55.26
OUAKE	-11.83	16.13	26.24	30.02	75.22	5.21	82.20	-48.03	14.26	33.03	20.53	2.35	95.73	1.12
OUESSE	36.95	22.72	19.50	-5.40	-34.09	9.72	-85.82	94.13	6.23	0.59	-25.57	24.39	-22.33	-19.00
PARAKOU	-13.92	18.41	27.75	60.09	119.29	28.38	186.01	-97.04	37.48	54.42	79.57	8.98	115.97	61.15

PERERE	-10.96	-7.00	-8.71	29.36	45.07	21.77	124.75	-79.41	21.23	17.50	68.86	-0.22	11.71	71.50
SAVALOU	37.84	6.86	-4.43	-7.63	-57.48	19.76	-63.15	76.30	9.68	-11.30	3.96	22.36	-81.17	25.61
SAVE	544.21	349.10	280.91	226.52	-95.83	402.69	3.27	844.05	340.88	214.64	262.26	438.75	11.92	393.67
TCHAUROU	-5.39	39.32	54.07	76.99	153.45	35.48	200.00	-91.75	49.14	76.29	80.18	21.20	169.95	51.57
	IPSL							MPIESM						
BANTE	10221.44	10190.68	10187.28	10206.29	10202.56	10188.05	10181.69	10216.45	10249.45	10227.41	10217.60	10209.06	10212.88	10201.75
BASSILA	-6.94	33.09	26.62	35.83	37.18	36.25	51.34	20.65	-34.85	10.33	7.16	32.58	11.81	31.28
COPARGO	-8.72	-46.89	-29.03	-74.27	-71.80	-49.64	-71.33	-57.69	8.70	-52.08	-31.94	-71.54	-34.78	-58.68
DASSA-ZOUME	-6.41	-10.27	-8.27	-13.44	-13.13	-10.54	-12.85	-11.73	-4.81	-11.23	-8.92	-13.17	-9.18	-11.68
DJIDJA	9.00	-90.73	-91.30	-78.08	-88.04	-80.96	-48.00	-36.58	106.01	0.63	-17.14	-67.88	-33.42	-82.46
DJOUGOU	3.02	-22.18	-14.84	-30.82	-30.62	-24.09	-35.63	-20.68	18.02	-15.36	-8.58	-28.88	-11.07	-24.81
NDALI	7.04	63.81	83.60	6.35	17.58	68.96	72.24	-9.96	-55.28	-35.08	2.81	0.81	13.37	27.74
NIKKI	13.76	84.68	102.53	27.45	39.27	90.96	99.35	5.84	-58.70	-23.06	14.23	20.76	26.47	47.57
OUAKE	-13.79	57.94	42.82	70.30	71.59	63.52	92.74	42.47	-61.01	25.26	14.41	64.59	22.26	58.75

OUESSE	14.30	-60.00	-66.22	-26.47	-34.84	-66.29	-82.88	-1.58	80.41	24.18	3.38	-19.85	-7.74	-35.54
PARAKOU	12.60	141.55	141.02	107.37	118.25	152.21	188.09	62.13	-93.23	21.53	41.03	96.24	58.79	112.22
PERERE	27.38	99.30	119.89	36.00	48.79	105.73	112.68	14.53	-48.05	-15.67	25.78	29.13	38.54	58.79
SAVALOU	41.03	-36.84	-19.49	-52.26	-53.35	-42.88	-75.19	-21.87	91.56	-3.52	9.62	-46.08	1.23	-38.81
SAVE	529.05	-17.53	71.01	-55.30	-73.69	-60.69	66.70	151.97	909.86	292.84	336.43	-10.89	272.95	7.07
TCHAOUROU	8.84	151.30	137.35	141.83	149.56	162.76	210.76	89.45	-97.58	49.43	51.42	129.96	69.21	134.34

Annexe 23: Effet du changement climatique sur la production du coton [variation (%) avec la référence 2011-2015]

	ECEARTH							HADGEM2						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BANTE	-19.48	-5.47	11.31	55.91	223.15	20.62	493.87	36.76	23.26	44.54	147.91	-11.40	315.62	165.18
BASSILA	-24.98	-10.33	12.43	-5.99	98.10	-15.44	149.56	23.39	-17.87	0.87	46.16	-25.56	294.58	100.20
COPARGO	-28.15	-14.12	7.68	-9.96	89.74	-19.01	139.02	18.18	-21.34	-3.39	39.99	-28.70	277.93	91.75
DASSA-ZOUME	-10.64	16.51	29.31	73.59	223.85	22.05	460.95	37.36	35.36	65.63	108.41	4.25	226.21	69.04
DJIDJA	0.19	2.69	5.05	0.06	19.16	-5.66	33.57	32.49	-3.38	2.51	-7.21	-1.23	28.75	-14.86
DJOUGOU	11.02	-3.61	-10.35	-13.46	-20.87	-10.03	8.04	84.54	-9.94	-13.34	-30.58	0.82	-65.22	-48.82
GLAZOUE	6.11	16.25	14.26	39.06	53.88	22.35	106.58	-25.84	28.43	33.42	35.85	16.03	-9.69	5.39
NDALI	-20.31	16.59	52.78	94.60	378.41	31.62	744.65	90.69	40.15	87.80	213.77	-6.84	588.25	239.41
NIKKI	-13.28	25.14	57.77	127.93	448.88	46.19	929.89	128.06	60.65	114.02	248.98	3.64	586.81	237.89
OUAKE	122.73	55.31	14.76	5.67	27.47	78.05	201.30	94.47	58.82	-1.93	-33.78	96.03	220.49	-24.28
OUESSE	-16.09	-21.64	-18.22	-43.12	-60.49	-27.31	-70.35	-7.86	-33.01	-37.12	-39.47	-22.86	10.02	-6.48

PARAKOU	-23.01	4.09	30.69	73.49	303.20	21.19	625.73	68.66	28.33	65.06	172.79	-11.96	447.24	186.81
PERERE	-15.77	6.82	36.31	73.77	299.93	33.00	604.40	59.15	34.01	65.19	199.34	-6.98	501.57	248.53
SAVALOU	10.69	3.12	-5.99	19.17	24.77	9.65	113.62	43.98	13.52	11.79	11.30	9.94	-75.41	-27.13
SAVE	-11.33	21.41	44.49	62.72	216.90	21.54	379.05	17.43	29.90	62.10	113.08	2.45	335.70	118.67
TCHAUROU	-19.78	9.93	36.80	78.69	305.43	25.13	616.86	63.14	33.18	70.89	173.14	-7.24	446.28	184.08
	IPSL							MPIESM						
BANTE	44.83	311.67	379.05	188.47	213.13	351.95	486.69	64.77	55.75	8.28	31.34	156.08	63.52	185.71
BASSILA	21.40	85.86	160.86	90.71	80.65	99.93	146.50	24.90	34.46	20.90	-15.20	78.39	-5.22	41.79
COPARGO	16.28	78.01	149.85	82.66	73.03	91.49	136.10	19.63	28.78	15.80	-18.78	70.86	-9.22	35.80
DASSA-ZOUME	2.51	286.69	282.75	189.79	219.35	324.84	472.34	81.93	18.25	23.24	39.96	160.02	68.95	197.81
DJIDJA	-10.70	12.58	4.85	16.40	17.35	16.88	39.35	5.92	18.85	6.30	-4.13	13.73	-3.63	10.85
DJOUGOU	-17.85	-13.39	-36.72	-23.76	-17.87	-9.44	13.50	-17.76	63.77	-10.10	-11.66	-24.42	-15.78	-13.62
GLAZOUE	2.25	77.97	53.51	45.69	58.28	84.47	110.26	31.26	-29.97	8.43	29.61	40.22	37.66	64.68
NDALI	61.94	465.22	561.17	328.49	355.74	526.67	745.88	129.64	96.57	53.64	50.11	279.10	96.58	294.26

NIKKI	57.44	578.50	648.51	383.55	430.55	655.48	936.72	154.31	119.82	52.95	71.95	323.14	128.53	373.18
OUAKE	89.41	18.31	48.68	-3.69	5.01	58.68	223.51	-44.84	122.57	11.63	54.73	-37.84	21.04	-59.11
OUESSE	-7.37	-89.97	-63.29	-50.59	-65.29	-98.70	-66.00	-34.30	0.38	-12.54	-34.02	-44.04	-41.73	-72.02
PARAKOU	43.20	388.50	461.83	259.86	287.00	440.66	625.78	96.52	74.37	29.50	36.93	218.23	76.39	241.61
PERERE	79.18	386.07	498.74	260.63	280.37	434.43	593.98	98.65	88.29	37.48	44.03	220.94	82.87	232.07
SAVALOU	-10.10	65.57	31.21	13.67	32.12	75.74	117.86	4.55	29.63	-11.82	13.91	7.41	18.78	44.35
SAVE	27.46	242.77	282.46	192.56	203.69	272.91	384.89	87.23	14.49	45.05	34.48	167.48	59.45	167.09
TCHAUROU	43.84	385.53	454.15	263.08	289.42	436.43	618.20	102.34	67.14	35.48	41.49	222.28	80.52	244.20

Climate Analytics gGmbH
Ritterstr. 3
10969 Berlin
Germany

T / +49 302 5922 9520
E / contact@climateanalytics.org

Climate Analytics Inc. New York
115 E 23rd St, 3rd Floor, Office #319
New York, NY, 10010
USA

T / + 1 718 618 5847
E / info.ny@climateanalytics.org

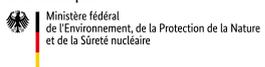
Climate Analytics Lomé
61, ru 195 Quartier Agbalépédogan
s/c BP 81 555 Lomé
Togo

T / +228 22 25 65 38 / 22 25 74 74
E / togooffice@climateanalytics.org

Mis en œuvre par :



Mandaté par :



de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle de :



En coopération avec :

