



Analyse des risques climatiques pour la planification d'adaptation dans le secteur agricole au Cameroun

Mandaté par



POTS DAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Ministère fédéral de la
Coopération économique
et du Développement

Analyse des risques climatiques pour la planification d'adaptation dans le secteur agricole au Cameroun

Nele Gloy¹, Priscilla Kephe¹, Lennart Jansen², Sebastian Ostberg¹, Juliane Kaufmann³, Lina Staubach³, Mesmin Tchindjang⁴, Paula Romanovska¹, Regina Vetter⁵, Julia Tomalka¹, Timothée Kagonbé⁶, Muriel Anaba⁷, Isabella Zouh⁷, Joseph A. Amougou⁷, Carla Cronauer¹ and Christoph Gornott^{1,2}

1: Institut de Potsdam sur la recherche de l'impact du climat (PIK), 2: University of Kassel, 3: Humboldt Forum for Food and Agriculture (HFFA) Research GmbH, 4: University de Yaoundé I, 5: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 6: Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement durable (MINEPDED), 7: Observatoire National sur les Changements Climatiques (ONACC)

Un rapport préparé dans le cadre du projet AGRICA par l'Institut de Potsdam pour la recherche sur l'impact du climat (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), en coopération avec le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement durable (MINEPDED), l'Observatoire national sur le changement climatique (ONACC), un consultant local de l'Université de Yaoundé I, HFFA Research GmbH et des parties prenantes des institutions gouvernementales locales et nationales, de la société civile, du monde universitaire, du secteur privé, des praticiens et des partenaires du développement au Cameroun et au-delà.

Remerciements

Ce travail a été commandité et financé par le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) auquel notre gratitude est adressée. Des remerciements particuliers sont transmis au ministère de l'environnement, de la protection de la nature et du développement durable (MINEPDED) représenté par Timothée Kagonbé pour leur appui considérable et leurs contributions précieuses. Les auteur-e-s tiennent également à remercier chaleureusement l'ONACC, à savoir Joseph A. Amougou, Patrick Forghab et leurs collègues pour leur soutien lors des ateliers et leur contribution à l'étude. Aussi, les auteur-e-s aimeraient beaucoup remercier Mesmin Tchindjang pour son aide concernant l'engagement des parties prenantes, la direction des ateliers, la collecte des données et sa contribution à l'étude, ainsi que toutes les parties prenantes du monde universitaire, du gouvernement et de la société civile pour leurs contributions précieuses et leur disposition à participer à la collecte des données et aux réunions riches en échanges. Les auteur-e-s souhaitent adresser leurs remerciements à Steffen Noleppa de la Humboldt Forum for Food and Agriculture (HFFA) Research GmbH pour sa participation aux analyses coûts-bénéfices. Ils tiennent également à remercier tous les réviseurs issus des institutions nationales, du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) et de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH ayant contribué à cette étude. Un remerciement particulier est adressé à Regina Vetter du Climate Policy Support Programme de la GIZ, qui a coordonné l'étude globale et apporté un feedback précieux. Les auteur-e-s aimeraient aussi remercier Valentin Katzer de l'ambassade d'Allemagne / du BMZ à Yaoundé ainsi que Solveig Schindler, Katharina Müller, Corinna Schüller, Christine Schuster, Annika Witte, Marthe Epassy et Armelle Nitchou de la GIZ Cameroun pour avoir fourni leur soutien tout au long de l'étude et renforcé l'engagement des parties prenantes camerounaises. Les auteur-e-s remercient aussi Sylvie Pellequier pour la traduction du rapport en français. Ils expriment aussi leur gratitude envers leurs collègues du PIK, à savoir Lisa Murken pour sa contribution à la conception de l'étude, Abel Chemura pour sa participation sur la modélisation culturelle et Johanna Keller pour son soutien dans le processus de révision. L'étude a beaucoup bénéficié des ateliers tenus à Yaoundé avec des parties prenantes des autorités nationales et locales, à savoir le MINEPDED, le MINEPAT, le MINEE, le MINADER, le MINT, le MINRESI, l'INC, des membres de la société civile, des universités, du secteur privé, ainsi que des professionnels et des partenaires au développement. Les discussions animées sur l'approche et le contenu de l'étude ont apporté de nouveaux enseignements qui ont été intégrés à cette analyse.

Contributions des auteur-e-s :

Nele Gloy et Christoph Gornott ont coordonné et révisé l'étude dans son ensemble, veillant à harmoniser les différentes étapes de l'analyse et à en extraire les résultats essentiels et les conclusions. Christoph Gornott, Lisa Murken et Nele Gloy ont élaboré l'approche de l'étude, orientée par les contributions précieuses des parties prenantes. Nele Gloy, Timothée Kagonbé et Mesmin Tchindjang ont coordonné l'engagement des parties prenantes. Paula Romanovska a réalisé l'analyse climatique du chapitre 1. Isabella Zouh et Muriel Anaba ont, sous la supervision de Joseph A. Amougou et avec Priscilla Kephe, dirigé l'évaluation des modifications de la couverture végétale au chapitre 2. Sebastian Ostberg a analysé les impacts climatiques sur la productivité des pâturages au chapitre 3. Regina Vetter a contribué au chapitre 4. Avec la participation d'Abel Chemura, Lennart Jansen a analysé les impacts climatiques sur les rendements de maïs ainsi que le potentiel d'atténuation des risques des semences améliorées à l'aide des modèles culturels au chapitre 5 et a contribué aux chapitres 5 et 6. Priscilla Kephe a analysé les impacts climatiques sur les rendements de manioc et le potentiel d'atténuation des risques de la GIFS à l'aide de modèles culturels au chapitre 6. Avec la participation d'Abel Chemura, Nele Gloy a effectué l'analyse de l'aptitude culturelle et de l'agroforesterie aux chapitres 5, 6 et 7. Juliane Kaufmann et Lina Staubach ainsi que Steffen Noleppa ont conduit les analyses coûts-bénéfices à l'échelle de l'exploitation aux chapitres 5-7. Julia Tomalka a participé au chapitre 3, élaboré la question du genre au chapitre 4 et contribué aux parties évoquant ce thème aux chapitres 5-7. Mesmin Tchindjang et Carla Cronauer ont contribué au chapitre 1. L'ensemble des auteur-e-s a pris part à l'annexe sur les méthodes et au chapitre sur les incertitudes

Référence recommandée :

Gloy, N., Kephe, P., Jansen, L., Ostberg, S., Kaufmann, J., Staubach, L., Tchindjang, M., Romanovska, P., Vetter, R., Tomalka, J., Kagonbé, T., Anaba, M., Zouh, I., Amougou, J.A., Cronauer, C. and Gornott, C. (2023). *Analyse des risques climatiques pour la planification d'adaptation dans le secteur agricole au Cameroun*. Un rapport préparé par l'Institut de Potsdam pour la recherche sur l'impact du climat (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), DOI: 10.48485/pik.2023.023.

Conception et mise en page : Miguel Faber

Photo credits: P. 13, 20, 29, 55, 57: Nele Gloy, PIK; P. 10, 30, 50: Thomas Imo, GIZ, photothek.net; P. 24: Daniel Tiveau, CIFOR, Flickr; P. 32: UN Women, Ryan Brown, Flickr; P. 34: Mesmin Tchindjang; P. 42: Carsten ten Brink, Flickr

© Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK); Telegraphenberg A 31, 14473 Potsdam, Germany; 2023

Résumé

MOTS-CLÉS

*adaptation au
changement climatique*

impacts climatiques

risques climatiques

agriculture

maïs

cacao

manioc

bétail

Cameroun

*modélisation
biophysique*

analyse coûts-bénéfices

genre

Au point de vue socio-économique, le Cameroun est largement dépendant de l'agriculture, un secteur fortement influencé par les facteurs météorologiques et de plus en plus confronté aux impacts du changement climatique. Actuellement, les informations disponibles sur les risques climatiques et leurs impacts concernant le secteur agricole du pays sont limitées. Cette étude a donc pour objectif de fournir une analyse approfondie des risques climatiques et s'accompagne d'une vaste évaluation de trois stratégies d'adaptation potentielles pouvant guider les décideurs locaux à planifier et à mettre en œuvre l'adaptation au Cameroun. L'évaluation des impacts consiste en différentes étapes et repose sur des projections climatiques basées sur deux scénarios d'émissions (SSP3-RCP7.0 et SSP1-RCP2.6). Elle examine les modifications de la couverture des sols, la modélisation et la comparaison de l'aptitude et des rendements à venir de trois produits agricoles très répandus (le maïs, le manioc et le cacao), et une évaluation de la production animale dans les conditions climatiques futures. En outre, cette étude souligne les enjeux et les opportunités sexospécifiques de la planification de l'adaptation au niveau national. À partir des impacts climatiques projetés sur la production agricole, trois stratégies d'adaptation différentes ((1) Semences améliorées, (2) Gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), (3) Agroforesterie) suggérées et sélectionnées par différentes parties prenantes nationales ont été analysées du point de vue de leur potentiel d'atténuation des risques, de leur rapport coût-efficacité et de leur aptitude aux conditions locales. Ces analyses ont été complétées par des évaluations d'experts ou basées sur la littérature scientifique, par des entretiens semi-structurés menés avec des personnes clés et deux ateliers avec des parties prenantes.

D'ici à 2050, les résultats montrent que la température annuelle moyenne devrait augmenter de 1,1 °C en vertu du scénario de réduction des émissions et de 1,5 °C en vertu du scénario d'émissions élevées par rapport à 2004. Les projections concernant les précipitations annuelles restent incertaines. L'ensemble des modèles projette une augmentation des précipitations, plus forte en vertu du scénario d'émissions élevées, et une hausse de leur intensité. Les projections des impacts du changement climatique sur les rendements agricoles varient entre régions et fournissent des tendances partiellement opposées. Les rendements de maïs diminueront dans la zone soudano-sahélienne de jusqu'à -84 % d'ici 2090 en vertu de SSP3-RCP7.0 et plus de 30 % de pertes au niveau des rendements du manioc sont projetés pour les ZAE I et II d'ici à la fin du siècle en vertu du même scénario. Des effets positifs sur les rendements du manioc sont projetés dans les zones des hautes savanes, des hauts plateaux, ainsi que dans les zones forestières monomodale et bimodale en vertu du scénario SSP1-RCP2.6. Les modèles cultureux montrent que les zones propices au maïs et au cacao diminueront au Cameroun, surtout en vertu de SSP3-RCP7.0, tandis que l'aptitude au manioc restera stable. Pour ce qui est du secteur de l'élevage, il semble fort probable que le potentiel de pâturage baissera en vertu des deux scénarios du changement climatique, mais les baisses seront plus marquées en vertu de SSP1-RCP2.6 que de SSP3-RCP7.0. Les résultats ont montré que les trois stratégies d'adaptation sont rentables, ont un fort potentiel d'atténuation des risques et présentent divers avantages conjoints. En particulier, la GIFS peut être vivement recommandée aux petit-e-s exploitant-e-s pour ses effets très positifs, également pour l'environnement. L'utilisation de semences améliorées présente un fort potentiel d'amélioration des moyens de subsistance, mais c'est une stratégie d'adaptation complexe qui exige un soutien intensif. Enfin, l'agroforesterie a le potentiel de réduire les impacts des risques climatiques sur la production de cacao, mais l'aptitude aux conditions climatiques futures doit être examinée. Les résultats de cette étude peuvent contribuer à l'élaboration de l'adaptation au niveau national et local ainsi qu'aux décisions concernant les investissements et la planification du développement agricole afin de renforcer la résilience de ce secteur et surtout des petit-e-s exploitant-e-s face au changement climatique au Cameroun.



Un rapport préparé par le Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du Ministère fédéral allemand de la coopération économique et du développement (BMZ), en coopération avec le Ministère de l'environnement, de la protection de la nature et du développement durable (MINEPDED), l'Observatoire national du changement climatique (ONACC), HFFA Research GmbH et les parties prenantes des institutions gouvernementales locales et nationales, de la société civile, du monde universitaire tel que l'Université de Yaoundé I, du secteur privé, des praticiens et des partenaires du développement au Cameroun et au-delà. Les analyses ont été réalisées dans le cadre du projet AGRICA - Analyses des risques climatiques pour la planification de l'adaptation en Afrique subsaharienne.



Préface

Depuis la ratification de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 1994, le Cameroun fait des efforts pour remplir ses engagements envers la communauté internationale. La Communication nationale initiale de 2001 a permis au pays de se lancer dans un vaste programme en faveur de l'environnement et de meilleures conditions de vie pour la population afin de s'adapter au changement climatique. Avec l'Accord de Paris en 2015 et la promulgation du Livre blanc sur l'adaptation de l'agriculture africaine à Marrakech au Maroc en 2016, chaque pays du continent africain souhaite promouvoir des politiques d'adaptation au changement climatique et une atténuation efficace de ses impacts à partir des CDN et des PNA.

Au Cameroun, une évaluation de la vulnérabilité menée en 2013 a servi de base à la Deuxième communication nationale et au Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) élaborés en 2015. Une autre évaluation de la vulnérabilité a suivi en 2020 afin de préparer la Troisième communication et le Rapport Bisannuel actualisé. Ces études ont permis à la fois d'identifier les principaux risques climatiques auxquels sont exposés les populations et les écosystèmes et d'évaluer la fragilité de la population et des secteurs économiques camerounais. Ainsi, l'agriculture a été identifiée comme le secteur le plus vulnérable qui requiert l'instauration de stratégies adéquates.

Le Ministère de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement Durable (MINEPDED) veille constamment à un changement de paradigme et à encourager des projets d'adaptation et d'atténuation. Ainsi, le secteur agricole camerounais a bénéficié de plusieurs documents stratégiques comme la Stratégie de développement du secteur rural (2006), le plan national d'investissement agricole 2014-2020 (2014), l'Évaluation des risques agricoles (2017) du PARM et le Plan national de développement agricole intelligent face au climat ou PNIAIC (2020). En 2018, l'ONACC a effectué l'Évaluation économique de l'impact des changements climatiques sur les rendements des cultures vivrières dans les régions du Centre, de l'Est, de l'Extrême-Nord et du Sud-Ouest du Cameroun.

Tous ces documents montrent l'importance du secteur agricole au Cameroun, qui contribue à 17 % du PIB et emploie près de 60 % de la population active. Ce secteur, très exposé aux risques climatiques, peut à son tour représenter un frein au développement économique et social. Les agriculteur-trice-s et les éleveur-se-s sont confronté-e-s à de multiples risques provoqués par les aléas climatiques tels que la sécheresse, les poches de chaleur et les crues qui mettent en péril les plantes, détruisent les récoltes et tuent les animaux, entraînent des famines et l'insécurité alimentaire, sans oublier la volatilité des prix des récoltes, des intrants et des extrants.

Même si des initiatives sont prises et si des stratégies et des mesures de gestion sont mises en place depuis une dizaine d'années, leur efficacité peine à produire les effets escomptés malgré la volonté du gouvernement et des partenaires bilatéraux.

Cette étude complète les précédentes et leur apporte un nouvel éclairage en projetant l'influence du changement climatique sur les petites exploitations et sur l'agriculture en général d'ici 2100 par l'étude du maïs, du manioc, du cacao et, dans une moindre mesure, du coton et des pâturages. Le principal objectif de l'étude est : l'analyse des risques climatiques pour le secteur agricole et le potentiel d'une adaptation organisée de manière adéquate pour soutenir la planification résiliente d'une utilisation des terres et accompagner la mise en œuvre des CDN, PNACC et SND30. Deux questions majeures ressortent de cet objectif : Quels seront les impacts du changement climatique sur la production et l'aptitude des produits agricoles sélectionnés, de même que sur le pâturage ? Quelles sont les stratégies d'adaptation appropriées pour atténuer ces impacts et contribuer à une planification résiliente de l'utilisation des terres ?

Cette étude a été menée de 2022 à 2023 dans le cadre du projet AGRICA mis en œuvre par l'Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique (PIK) et la GIZ, qui réalise depuis 2018 déjà des études similaires en publiant des profils de risques climatiques et des analyses de risques climatiques dans 15 pays d'Afrique. Elle a bénéficié de l'expertise volontaire de l'équipe du PIK avec le soutien de l'ONACC et d'un consultant national sous la supervision du MINEPDED, ainsi que de l'appui technique et financier du Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) et de la GIZ. La méthodologie de l'étude prend en compte : (1) des données climatiques : (EWEMBI, CHIRPS, CRU), données météorologiques locales et données de projection climatiques (ISIMIP), (2) des données de télédétection par satellite, (3) différents types de modèles (EcoCrop, APSIM, LPJmL) et (4) des analyses coûts-bénéfices et des analyses sociales (évaluation des avantages conjoints, entretiens avec des informateurs clés). Cette méthodologie avait d'abord été discutée puis validée lors du lancement du projet en mai 2022. Une version préliminaire des résultats avait été présentée et validée au cours de l'atelier du 29 mars 2023 à Yaoundé. Cet atelier, qui a réuni des représentants des principales parties prenantes du secteur de l'environnement au Cameroun (administrations publiques, organisations professionnelles, sociétés privées, institutions financières, académiques et de recherche, ONG, société civile, etc.) a permis de commenter et d'enrichir le document.

Au point de vue scientifique, il s'agit de la première étude à avoir été menée au Cameroun dans ce domaine. Elle représente ainsi un document essentiel pour l'adaptation et l'atténuation, car elle propose des stratégies et des actions dans le but de mieux gérer les risques climatiques pour l'agriculture et notre agriculture pluviale dans l'avenir lointain. Elle endosse donc un rôle essentiel pour la prise de décision dans le secteur agricole au Cameroun.



HELE Pierre
Ministre de l'Environnement, de la Protection de la Nature et du Développement durable



Sommaire

Introduction	10
Domaine de l'étude	11
Approche de l'étude	12
1. Changement des conditions climatiques	13
1.1 Climat du Cameroun	13
1.2 Conditions climatiques actuelles	15
1.3 Changement climatique et variabilité dans le passé et à l'avenir	15
1.4 Résumé	19
2. Changement de l'occupation du sol	20
2.1 Résumé	23
3. Impacts climatiques sur la productivité de pâturage	24
3.1 Potentiel de pâturage dans le contexte du changement climatique	26
3.2 Résumé	29
4. Changement climatique et genre	30
4.1 Question du genre dans les politiques et les plans	30
4.2 Facteurs de vulnérabilité au changement climatique et capacité d'adaptation sexospécifiques	31
4.3 Résumé	33
5. Évaluation des effets climatiques et des options d'adaptation pour le maïs	34
5.1 Évaluation de l'aptitude culturale et changement des conditions climatiques	35
5.2 Évaluation des pertes de rendements du maïs dans les conditions climatiques à venir	36
5.3 Option d'adaptation : les variétés résistantes à la chaleur	37
5.3.1 Potentiel d'atténuation des risques.....	38
5.3.2 Rapport coût-efficacité.....	39
5.3.3 Avantages conjoints et enjeux.....	40
5.3.4 Opportunités pour les femmes et d'autres groupes sociaux concernant la stratégie d'adaptation constituée par l'adoption de semences améliorées.....	41
5.4 Résumé	41
6. Évaluation des impacts climatiques et des options d'adaptation pour le manioc	42
6.1 Évaluation de l'aptitude culturale et changement des conditions climatiques	43
6.2 Évaluation des pertes de rendements du manioc dans les conditions climatiques à venir	44
6.3 Option d'adaptation : Gestion intégrée de la fertilité des sols	46
6.3.1 Potentiel d'atténuation des risques.....	46
6.3.2 Rapport coût-efficacité.....	48
6.3.3 Avantages conjoints et enjeux.....	48
6.3.4 Opportunités de la stratégie d'adaptation constituée par la GIFS pour les femmes et d'autres groupes sociaux.....	49
6.4 Résumé	49
7. Évaluation des effets climatiques et des options d'adaptation pour le cacao	50
7.1 Évaluation de l'aptitude culturale et changement des conditions climatiques	50
7.2 Option d'adaptation pour le cacao : Agroforesterie avec des arbres fruitiers	51
7.2.1 Évaluation de l'aptitude et indications pour la planification de l'utilisation des sols.....	52
7.2.2 Rapport coût-efficacité.....	54
7.2.3 Avantages conjoints et enjeux.....	55
7.2.4 Opportunités de la stratégie d'adaptation constituée par l'agroforesterie pour les femmes et d'autres groupes sociaux.....	56
7.3 Résumé	56
8. Conclusion et recommandations politiques	57
Références bibliographiques	60

Liste des figures

Figure 1 : Carte du Cameroun avec ses frontières administratives	11
Figure 2 : Chaîne d'impacts et d'actions de l'analyse des risques climatiques comprenant l'évaluation des changements climatiques, des modifications de la couverture végétale, des impacts sur la production agricole et animale, ainsi que des stratégies d'adaptation adaptées et viables.23.....	12
Figure 3 : Carte topographique du Cameroun avec ses ZAE et des exemples localisés géographiquement de régimes de températures et de précipitations annuelles : zone soudano-sahélienne (I), zone des hautes savanes (II), zone des hauts plateaux (III), zone forestière monomodale (IV), zone forestière bimodale (V).	14
Figure 4 : En haut : Deux diagrammes climatiques présentant la distribution annuelle des précipitations et des températures au sud [2.75 °N ; 14.25 °E] (à gauche) et au nord [11.25 °N ; 14.75 °E] (à droite). En bas : Températures annuelles moyennes en °C (à gauche) et précipitations annuelles moyennes en mm (à droite) au Cameroun de 1995 à 2014.....	15
Figure 5 : Évolution des températures moyennes en °C au Cameroun à partir de la comparaison des périodes 2000–2019 et 1979–1998....	15
Figure 6 : Moyenne mobile sur dix ans des températures moyennes historiques et projetées en °C. La ligne noire indique les observations historiques, les lignes rouges et bleues montrent les projections en vertu des scénarios d'émissions élevées et réduites. Les lignes continues indiquent la médiane de l'ensemble multi-modèles.	16
Figure 7 : Cartes présentant a) les changements observés (1995–2014) et b) les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le nombre de journées chaudes par an sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.....	16
Figure 8 : Cartes présentant a) les changements observés (1995–2014) et b) les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le nombre de nuits chaudes par an sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.....	16
Figure 9 : Évolution des précipitations annuelles moyennes en mm au Cameroun à partir de la comparaison des périodes 2000–2019 et 1979–1998.....	17
Figure 10 : Moyenne mobile sur dix ans des précipitations moyennes historiques et projetées en mm. La ligne noire indique les observations historiques, les lignes rouges et bleues montrent les projections en vertu des scénarios d'émissions élevées et réduites. Les lignes continues indiquent la médiane de l'ensemble multi-modèles et les zones ombrées décrivent l'étendue exprimée par l'ensemble des dix modèles. Les valeurs sont des moyennes sur tout le Cameroun.....	17
Figure 11 : a) 95e centile de précipitations journalières durant la période 2000–2019; b) variations du 95e centile sur la base de la comparaison des périodes 2000–2019 à 1979–1998.	17
Figure 12 : Cartes présentant les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le 95e centile de précipitations journalières sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.....	18
Figure 13 : Variations de la date de commencement de la première saison des pluies d'après la comparaison des périodes 2000–2019 à 1979–1998. La couleur marron indique un commencement ultérieur et la couleur bleue un commencement antérieur ces dernières années.	18
Figure 14 : Modifications de l'utilisation des sols au Mbam-et-Kim entre 2019 et 2022.....	22
Figure 15 : Modifications de l'utilisation des sols au Mbam-et-Kim entre 2000 et 2017.....	22
Figure 16 : À gauche : Médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel simulé pour la période historique au Cameroun. La moyenne pondérée du potentiel de pâturage pour l'ensemble du Cameroun est marquée par une ligne rouge dans l'échelle de couleurs. Le potentiel de pâturage en t/ha/an est converti en densité du cheptel potentielle supposant une demande fourragère de 6,25 kg par unité de bétail tropical (UBT). À droite : Médiane de l'ensemble multi-modèles pour les modifications du potentiel de pâturage annuel comparées à la période historique pour trois périodes (colonnes) et deux scénarios d'émissions (lignes).	26
Figure 17 : Modifications du potentiel de pâturage annuel au niveau national pour les deux scénarios d'émissions et trois périodes. Les boîtes à moustaches montrent l'ampleur indiquée par 10 MCM.	27
Figure 18 : Modifications du potentiel de pâturage annuel au niveau régional dans chacune des ZAE du Cameroun pour les deux scénarios d'émissions et trois périodes. Les boîtes à moustaches montrent l'ampleur indiquée par 10 MCM. Les nombres entre parenthèses suivant le nom de la ZAE indiquent la surface des zones de pâturages de chaque ZAE d'après l'ensemble de données sur l'utilisation des sols HYDE.....	27
Figure 19 : Sensibilité des potentiels de pâturage à l'historique de l'utilisation des sols. En comparaison à la figure 18, les terres de pâturages de cette figure reposent sur des sols dégradés ayant été cultivés.....	28
Figure 20: Aptitude culturale actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du maïs au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).....	35
Figure 21 : Modifications nettes [%] des zones propices à la culture du maïs au Cameroun.	35
Figure 22 : Rendements de référence simulés (grande carte, à gauche) et modifications relatives des rendements à venir du cultivar référentiel inadapté (série de petites cartes, à droite) pour les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 et les trois intervalles temporels de référence (2030, 2060, 2090). Les zones grises indiquent les valeurs manquantes pour la zone. La ligne rouge indique la moyenne des rendements de référence (2,23 t/ha) pour toutes les cellules de la grille des rendements de référence.....	36

Figure 23 : Diagramme à barres des modifications des rendements moyens sur 20 ans du cultivar de référence par ZAE et scénario de changement climatique pour les trois périodes référentielles 2030, 2050 et 2090. Les lignes horizontales rouges indiquent le changement moyen du cultivar pour chaque période. 37

Figure 24 : Rendements de référence (grande carte, à gauche) et changements relatifs des rendements à venir (série de petites cartes, à droite) du cultivar résistant à la chaleur pour les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 et les trois intervalles temporels de référence (2030, 2050, 2090)..... 38

Figure 25 : Diagramme à barres des modifications des rendements moyens sur 20 ans du cultivar résistant à la chaleur par ZAE et scénario de changement climatique pour les trois périodes de référence 2030, 2050 et 2090. Les lignes horizontales rouges indiquent le changement moyen du cultivar pour chaque période..... 39

Figure 26: Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans des semences améliorées en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0 au niveau national. 40

Figure 27: Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans des semences améliorées en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0 dans la région de l'Adamaoua. 40

Figure 28 : Aptitude culturale actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du manioc au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure). 43

Figure 29 : Modifications nettes [%] de l'aptitude au manioc. 43

Figure 30 : Modifications des rendements (%) de manioc actuelles (a) et projetées à l'avenir (b) au Cameroun avec un intervalle de quadrillage de 0,5° en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et de RCP7.0 (rangée inférieure) pour 2030, 2050 et 2090..... 44

Figure 31 : Impacts climatiques simulés sur les rendements de manioc au niveau régional au Cameroun pour les périodes 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0..... 45

Figure 32 : Carte de la distribution spatiale quadrillée des projections de rendements du manioc avec GIFS au Cameroun en vertu de différents scénarios et périodes. 47

Figure 33 : Impacts potentiels de la GIFS sur les rendements de manioc de chaque ZAE au Cameroun pour les périodes 2030, 2050 et 2090 en vertu du SSP1-RCP2.6 et du SSP3-RCP7.0. 47

Figure 34 : Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans la GIFS en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0. 48

Figure 35 : Aptitude culturale actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du cacao au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure). 51

Figure 36 : Modifications nettes de l'aptitude au cacao. 51

Figure 37 : Aptitude actuelle des systèmes agroforestiers pour le cacao associés au safoutier (*Dacryodes edulis*) et au manguier (*Mangifera indica*). 52

Figure 38 : Projection de l'aptitude culturale (a) des systèmes agroforestiers pour le cacao avec le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le manguier (*Mangifera indica*) (b) au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure). 53

Figure 39 : Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans l'insertion d'arbres fruitiers dans une plantation de cacaoyers. 54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des impacts climatiques au Cameroun..... 19

Tableau 2 : Modifications de la couverture des sols au Mbam-et-Kim entre 2019 et 2022 21

Tableau 3 : Résumé des modifications de la couverture des sols au Cameroun..... 23

Tableau 4 : Résumé des impacts du changement climatique sur la productivité herbagère. 29

Tableau 5 : Évolution de l'aptitude [%] dans le contexte du changement climatique..... 35

Tableau 6 : Résumé des indicateurs clés de l'ACA pour un passage aux semences améliorées de maïs résistantes à la chaleur au niveau national au Cameroun..... 40

Tableau 7 : Résumé des indicateurs clés de l'ACA pour un passage aux semences améliorées de maïs résistantes à la chaleur dans la région de l'Adamaoua au Cameroun..... 40

Tableau 8 : Résumé des impacts du changement climatique sur les rendements du maïs conventionnel et du maïs résistant à la chaleur.... 41

Tableau 9 : Évolution de l'aptitude du manioc [%] dans le contexte du changement climatique..... 43

Tableau 10 : Résumé des indicateurs clés de l'ACA pour l'investissement dans la GIFS..... 48

Tableau 11 : Impacts du changement climatique sur la culture du manioc..... 49

Tableau 12 : Évolution de l'aptitude du cacao [%] dans le contexte du changement climatique 51

Tableau 13 : Projections de l'aptitude des systèmes agroforestiers pour le cacao. 53

Tableau 14: Résumé des indicateurs clés de l'ACA concernant l'investissement dans l'agroforesterie avec les arbres fruitiers pour la production de cacao. 54

Tableau 15 : Résumé des impacts du changement climatique sur la culture du cacao. 56

Liste des abréviations

ACB	Analyse coûts-bénéfices	IAS	Intervalle anthèse-apparition des soies
A/C	Rapport avantages-coûts	ICV	Improved Crop Varieties (Variétés de cultures améliorées)
AgMIP	Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (Projet d'intercomparaison et d'amélioration des modèles agricoles)	IFATI	Institute in Agriculture and Innovative Technologies (Institut de formation professionnelle en agriculture et technologies innovantes)
AGRA	Alliance for the Green Revolution in Africa (Alliance pour la révolution verte en Afrique)	IITA	International Institute of Tropical Agriculture (Institut international d'agriculture tropicale)
APSIM	Agricultural Production System Simulator (Simulateur de systèmes de production agricole)	IRAD	Institut de recherche agricole pour le développement
ARC	Analyse de risques climatiques	ISIMIP	Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project
AS	Afrique subsaharienne	ISRIC	International Soil Reference and Information Centre (Centre mondial d'information sur les sols)
asl	au-dessus du niveau de la mer	LPJmL	Lund-Potsdam-Jena with managed Land
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement)	MCM	Modèle climatique mondial
C3S	Service Copernicus concernant le changement climatique	MCR	Modèle climatique régional
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques	MEI	Modèles d'évaluation intégrée
CDN	Contributions déterminées au niveau national	MINADER	Ministère de l'agriculture et du développement rural
CFA	Communauté Financière Africaine	MINEFOP	Ministère de l'emploi et de la formation professionnelle
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research (Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale)	MINEPAT	Ministère de l'économie, de la planification et de l'aménagement du territoire
CHC	Cameroon Highland Composite	MINEPDED	Ministère de l'environnement, de la protection de la nature et du développement durable
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (Ensemble de données des précipitations relevées par le Climate Hazards Group de l'Université de Californie à Santa Barbara)	MINEPIA	Ministère de l'élevage des pêches et des industries animales
CILSS	Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel	MMEM	Multi-Model Median (Médiane de l'ensemble multi-modèles)
CIMMYT	Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (Centre international d'amélioration du maïs et du blé)	MOS	Matière organique du sol
CMD	Cassava Mosaic Disease (Mosaïque du manioc)	ODD	Objectifs de développement durable
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project	OMM	Organisation météorologique mondiale
CMS	Cameroon Maize Selection (Sélection de maïs camerounais)	ONACC	Observatoire national sur les changements climatiques
CSM	Crop System Model (Modèle de système cultural)	ONG	Organisation non gouvernementale
CV	Coefficient de variation	OOS	Out-Of-Sample (hors échantillon)
CWR	Crop Water Requirement (Besoin en eau des cultures)	PNA	Plan national d'adaptation
Dj	Degrés-jours	pBias	percent Bias (biais en pourcentage)
DTMA	Drought-Tolerant Maize for Africa (Maïs tolérant à la sécheresse en Afrique)	PIB	Produit intérieur brut
EAM	Erreur absolue moyenne	PIK	Potsdam Institute for Climate Impact Research (Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique)
ECS	Equilibrium Climate Sensitivity (Sensibilité climatique à l'équilibre)	PNDRT	Programme national de développement des racines et tubercules
ERA5	Projet de réanalyse atmosphérique du climat mondial cinquième génération du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET)	PNSA	Programme national de développement des services agricoles
E-T	Écart-type	PNIA	Plan national d'investissement agricole
FAO ou ONUAA	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture	RCP	Representative Concentration Pathways (Profils représentatifs d'évolution de concentration)
FEWS NET	Famine Early Warning Systems Network (Réseau de systèmes d'alerte précoce contre la famine)	SIC	Services d'informations climatiques
GDHY	Global Dataset of Historical Yield (Ensemble de données historiques sur les rendements dans le monde entier)	SSP	Shared Socioeconomic Pathways (Trajectoires socio-économiques communes)
GES	Gaz à effet de serre	SWIM	Soil and Water Integrated Model
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	TRI	Taux de rendement interne
GIFS	Gestion intégrée de la fertilité des sols	UBT	Unité de bétail tropical
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	UNDRR	Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes
GLC	Global Land Cover (Couverture végétale mondiale)	USAID	United States Agency for International Development (Agence des États-Unis pour le développement international)
GtCO2	Émissions globales de CO2	USD	Dollar US
GRDC	Global Runoff Data Centre (Centre mondial de données sur les eaux de ruissellements)	VAM	Variété améliorée de maïs
GS	Growing season (Saison végétative)	VAN	Valeur actuelle nette
HWSD	Harmonised World Soil Database (Base de données harmonisée mondiale des sols)	VPL	Variété à pollinisation libre
		WEMA	Water-Efficient Maize for Africa (maïs économe en eau pour l'Afrique)
		ZAE	Zones agroécologiques
		ZCIT	Zone de convergence intertropicale



Introduction

De nombreux pays prennent de plus en plus conscience de l'importance de recourir à des stratégies d'adaptation face au changement climatique, or un accompagnement sur la manière de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour y parvenir fait défaut. Dans le cadre de leurs engagements internationaux tels que l'Accord de Paris, les pays cherchent à élaborer et à mettre en œuvre des politiques d'adaptation et des plans d'investissement, par exemple dans leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) et leurs plans nationaux d'adaptation (PNA). Fortement dépendant des facteurs climatiques, le secteur agricole est particulièrement vulnérable au changement climatique. Les événements météorologiques extrêmes et les phénomènes à évolution lente tels que les inondations, les sécheresses ou les températures extrêmes représentent une menace grandissante pour la production et les moyens de subsistance dans le secteur agricole, ce qui aura des impacts en cascade sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Les décisions concernant les stratégies d'adaptation sont souvent prises au niveau infra-national alors que les décideurs sont confrontés à un manque de données locales et spécifiques sur les risques climatiques actuels et projetés, sur leurs impacts, de même que sur les coûts et avantages des stratégies d'adaptation adéquates. Pour y remédier, des analyses et des évaluations détaillées des risques climatiques constitueraient une base cruciale à la prise de décisions rentables et conscientes des risques au niveau local. Une meilleure compréhension des impacts climatiques projetés sur la production agricole, des risques climatiques associés et des avantages potentiels offerts par les mesures d'adaptation à la fois à l'échelle nationale et régionale est essentielle pour guider, promouvoir et accélérer les investissements publics et privés visant à établir un développement agricole résistant face au climat.

La présente étude fournit une analyse détaillée des risques climatiques pour des cultures spécifiques (maïs, manioc et cacao) et les systèmes d'élevage au Cameroun, ainsi que des recommandations et une évaluation de la faisabilité, des coûts et des avantages de trois stratégies d'adaptation sélectionnées. Le Cameroun fait l'objet de cette étude en raison de sa forte dépendance socio-économique à l'égard du secteur agricole, particulièrement exposé et vulnérable au changement climatique. Dans le cadre de son PNA, le Cameroun met en lumière la nécessité de la planification de son adaptation pour faire face aux risques liés au changement climatique. Cette étude a pour objectif de fournir une base propice à la prise de décisions rentables et pertinentes vis-à-vis des risques pour le secteur agricole au Cameroun en examinant les questions suivantes :

- Comment les conditions climatiques vont-elles évoluer au cours des prochaines décennies ?
- Comment la couverture végétale évolue-t-elle et en quoi ces changements sont-ils liés à la production agricole ?
- Quelles influences les changements climatiques auront-ils sur la production agricole des petit-e-s exploitant-e-s au Cameroun ?
- Quelles seraient les options d'adaptation adéquates pour lutter contre ces risques ?
- Quels sont les enjeux sexo-spécifiques dans la planification de l'adaptation au Cameroun ?

Les réponses à ces interrogations permettront d'aider les responsables politiques locaux et nationaux, les acteurs du développement, le secteur privé et les agriculteur-trice-s à définir un plan d'utilisation des sols résilient et à long terme, la planification de l'adaptation et les investissements de manière pertinente. Ce rapport scientifique approfondi est accompagné d'un résumé pour les responsables politiques qui offre un aperçu condensé de ces résultats en insistant sur sa pertinence pour l'élaboration de politiques.

Domaine de l'étude

Située en Afrique centrale, la République du Cameroun s'étend du Golfe de Guinée au Lac Tchad, entre 2° – 13° Nord et 8° 30' – 16° 10' Est (République du Cameroun, 2015). D'une superficie d'environ 475 000 km², le Cameroun est bordé au nord-ouest par le Nigeria, au nord par le Tchad, à l'est par la République Centrafricaine, et au sud par le Congo, le Gabon et la Guinée équatoriale (Figure 1). À l'ouest, il est ouvert sur l'océan Atlantique avec ses 400 km de côtes (MINEPDED, 2021). Les pays d'Afrique subsaharienne sont fortement exposés au changement climatique en raison de leur situation géographique en zone intertropicale. À cet égard, le Cameroun ne fait pas exception, notamment pour les parties du pays localisées dans la région du Sahel et ainsi, particulièrement touchées par la désertification, ou pour ce qui est des zones côtières, menacées par la montée du niveau de la mer. De ce fait, le changement climatique représente un défi majeur pour les Camerounais, car leur bien-être économique et social dépend considérablement de la durabilité des secteurs clés (République du Cameroun, 2015).

Le Cameroun est régulièrement confronté à des événements climatiques à risque tels que les inondations, les sécheresses et l'érosion des sols. Les événements climatiques à risque ont un plus fort impact sur la zone agroécologique (ZAE) soudano-sahélienne (voir Figure 1) en ce qui concerne les sécheresses extrêmes et les inondations, et la ZAE côtière (AEZ IV) en ce qui concerne les inondations. Les impacts du changement climatique sont multidimensionnels et varient non seulement d'une ZAE à l'autre, mais aussi d'un secteur économique à l'autre. La variabilité des phénomènes météorologiques, notamment les sécheresses et les inondations, ne devrait cependant pas être sous-estimée. Les risques biophysiques et les pertes post-récoltes de la production agricole sont les deux risques principaux auxquels le secteur agricole du Cameroun est confronté. La fréquence de ces risques est très élevée (chaque année, même plusieurs fois par an) et la sévérité des pertes en cas d'événements météorologiques extrêmes (accumulation de maladies et attaques parasitaires notamment) l'est également. La volatilité des prix représente un deuxième facteur de risque crucial qui touche les productrices et les producteurs chaque année.



Figure 1 : Carte du Cameroun avec ses frontières administratives.

En 2021, la population totale du Cameroun était estimée à 26,5 millions de personnes (Banque mondiale, 2020), la densité de la population dans les dix régions administratives variant de 7 à 200 habitants au km² (pour une densité moyenne de 56 hab./km²). D'après les prévisions, la population du Cameroun devrait compter 50 millions de personnes en 2050 et 90 millions en 2100 (Données de l'ONU, 2022). L'économie camerounaise est dominée par le secteur primaire : l'agriculture, l'élevage et la pêche emploient plus de 70 % de la population active et représentent 16,9 % du PIB en 2021 (Banque mondiale, 2023, 2021). Les cultures alimentaires les plus importantes sont le millet, le sorgho, le manioc et le maïs. Majoritairement pluviales, elles sont surtout cultivées par des petits paysans (Epule, 2021 ; FAO, 2021). Outre le cacao, dont il est le sixième plus grand producteur au monde, le Cameroun produit également du café, du bois et du coton (FAO, 2004).

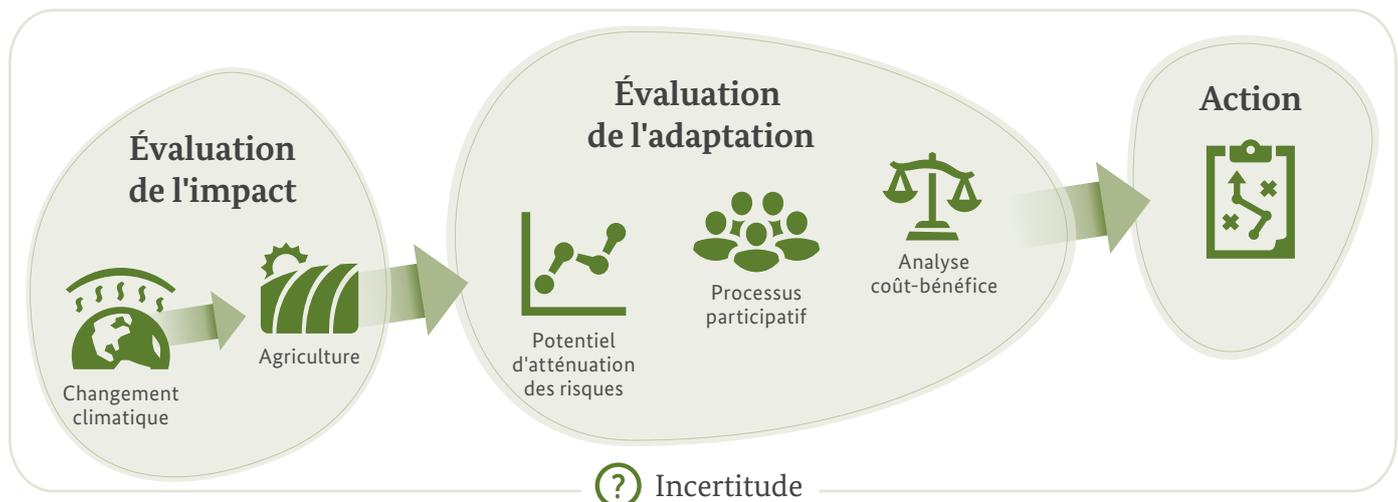


Figure 2 : Chaîne d'impacts et d'actions de l'analyse des risques climatiques comprenant l'évaluation des changements climatiques, des modifications de la couverture végétale, des impacts sur la production agricole et animale, ainsi que des stratégies d'adaptation adaptées et viables.

Les activités agricoles du pays sont particulièrement sensibles aux hausses de températures, aux vagues de chaleurs et aux sécheresses, ce qui rend ce secteur le plus vulnérable aux effets du changement climatique (République du Cameroun, 2015). D'après l'analyse du Cadre harmonisé (2021) réalisée d'octobre à décembre 2021, près de 2,4 millions de personnes (soit 9 % de la population totale) seraient touchées par l'insécurité alimentaire. Divers facteurs sont à l'origine de ce problème : les répercussions des incursions de Boko Haram dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, les hausses des prix des produits de base, les chocs économiques liés au Covid-19 qui ont interrompu les flux commerciaux et les pratiques agricoles, et les événements climatiques dangereux (FAO, 2021 ; IPC, 2021). Le développement d'une agriculture résiliente au climat et l'amélioration des capacités d'adaptation des agriculteur-trice-s sont donc particulièrement cruciaux.

Approche de l'étude

Cette étude associe des évaluations des impacts climatiques basées sur la modélisation à des analyses économiques et multicritères afin de considérer des stratégies d'adaptation en vertu de deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) examinés dans les rapports du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Suivant le scénario SSP1-RCP2.6 (émissions faibles), le réchauffement climatique mondial ne dépasse pas de plus de 2 °C les températures de l'ère préindustrielle et est donc conforme à l'objectif supérieur de l'Accord de Paris. SSP3-RCP7.0 (émissions élevées) correspond au scénario « sans politique climatique ». Cette étude modélise ainsi l'intégralité de la chaîne, de l'ampleur des impacts du changement climatique sur les secteurs de l'agriculture et de l'élevage aux actions concrètes possibles grâce à l'évaluation de stratégies d'adaptation spécifiques, et inclut une discussion sur l'incertitude des résultats (Figure 2).

En outre, en raison de l'importance de la protection des zones forestières du Cameroun en lien avec la production agricole, l'étude apporte une évaluation des modifications de la couverture végétale dans le département du Mbam-et-Kim dans la région du Centre. L'analyse approfondie des enjeux sexospécifiques et des opportunités de la planification de l'adaptation constitue un autre aspect particulier de l'étude.

Les cultures analysées dans cette étude ont été sélectionnées à partir de la liste fournie par le gouvernement camerounais des cultures prioritaires suivant leur importance économique. La sélection des stratégies d'adaptation a été réalisée avec soin en accord avec les priorités locales et les intérêts de différentes parties prenantes issues du gouvernement, du monde universitaire, du secteur privé et de la société civile ainsi que les initiatives du gouvernement camerounais comme le Plan national d'investissement agricole (PNIA) ou le Programme national de développement des services agricoles (PNDSA) qui ont pour objectif d'améliorer la compétitivité, l'efficacité de l'utilisation des ressources et l'attractivité du secteur agricole camerounais (Mafouasson, 2020).

Afin d'assurer la conformité de l'étude avec les objectifs et les priorités du pays, un large éventail d'experts locaux et de parties prenantes ont été impliqués dans le processus grâce à des ateliers, à des études réalisées auprès des agriculteur-trice-s et à des discussions entre spécialistes. Notre étroite collaboration avec des ministères tels que le ministère de l'environnement, de la protection de la nature et du développement durable (MINEPDED) et d'autres, avec des instituts de recherche locaux comme l'Observatoire national sur les changements climatiques (ONACC) et l'Université de Yaoundé I, l'Université de Dschang et d'autres, ainsi que des institutions comme l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) nous ont permis d'obtenir une validation continue de l'objectif et des résultats de notre étude. La méthodologie (I) et l'incertitude (II) sont décrites dans l'annexe. L'étude est structurée de la manière suivante :



- Le **chapitre 1** offre un aperçu des changements climatiques passés et projetés à l'avenir au Cameroun et se concentre sur les fluctuations des températures et des régimes de précipitations dans le pays. Toutes les projections des impacts climatiques reposent sur les résultats de dix modèles climatiques mondiaux en vertu de deux scénarios d'émissions pour l'avenir : un scénario de réduction des émissions (SSP1-RCP2.6) et un scénario d'émissions élevées (SSP3-RCP7.0).
- Le **chapitre 2** propose une analyse des modifications de la couverture végétale dans le département du Mbam-et-Kim dans la région du Centre grâce aux données recueillies par la télédétection.
- Le **chapitre 3** évalue les impacts climatiques sur la production animale en analysant la capacité de pâturage et les disponibilités fourragères associées dans le contexte du changement climatique.
- Le **chapitre 4** examine le rôle des sexes et de la diversité agricole dans la planification de l'adaptation.
- Les **chapitres 5–7** présentent un aperçu complet des impacts climatiques sur la production agricole en examinant les modifications de l'aptitude culturale dans le contexte du changement climatique et les impacts projetés du changement climatique sur la production agricole. Ils proposent une évaluation des stratégies d'adaptation choisies. Le chapitre 5 s'intéresse aux semences améliorées de maïs, le chapitre 6 à la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) pour le manioc et le chapitre 7 à l'agroforesterie pour le cacao.
- Le **chapitre 8** établit la conclusion des résultats de l'étude et fournit les recommandations politiques qui en découlent.

1. Changement des conditions climatiques

Afin d'identifier les changements des conditions climatiques à venir au Cameroun, ce chapitre analyse plusieurs indicateurs relatifs aux températures et aux précipitations en vertu de deux scénarios d'émissions globaux, les scénarios RCP 2.6 et RCP 7.0. Les données des projections climatiques ont été analysées afin de présenter l'ampleur possible des conditions climatiques à l'avenir, c'est-à-dire d'ici à 2030, à 2050 et à 2090. Tout d'abord, une description des conditions climatiques actuelles est exposée puis suivie de la présentation des tendances climatiques passées et à venir des températures et des précipitations annuelles moyennes ainsi que des événements météorologiques extrêmes.

Notre analyse repose sur deux scénarios d'émissions qui recouvrent les scénarios d'émissions de CO₂ possibles : un scénario qui prévoit une hausse des températures globales moyennes inférieure à 2 °C (SSP1-RCP2.6), et un scénario représentant un monde sans politique climatique (SSP3-RCP7.0).

1.1 Climat du Cameroun

La situation géographique du Cameroun explique la variété de ses paysages, de ses climats et de ses populations, et c'est la raison pour laquelle le pays est aussi appelé « petite Afrique ». Depuis 2000, le pays est traditionnellement divisé en cinq ZAE qui correspondent à peu près à ses régions naturelles (IRAD, 2000, MINEPDED, 2021) (Figure 3) :

1. La **zone soudano-sahélienne (I)** présente un climat semi-aride et une forte variabilité des précipitations qui s'étend de 400 à 1000 mm par an. Il s'agit de la région la plus peuplée du Cameroun et, outre l'importance de sa production animale, ses cultures principales dans cette zone sont le coton, le millet-sorgho, le niébé, l'oignon et le sésame (IRAD, 2000 ; République du Cameroun, 2015 ; Vondou et al., 2021). En raison de différents facteurs de risques corrélés, la zone soudano-sahélienne est particulièrement sujette aux crises

notamment dues à la saisonnalité de l'approvisionnement alimentaire, à la volatilité des prix sur les marchés locaux, aux conflits ethniques et à la violence, facteurs qui se répercutent sur le bien-être et les revenus des ménages (PARM, 2017; MINEPDED, 2021). Cette zone est également menacée par la désertification à cause de la persistance des précipitations faibles, de la distribution inégale des pluies au niveau spatial et temporel et de la dégradation des sols provoquée par des pratiques agricoles non durables (Molua & Lambi, 2006).

2. La **zone des hautes savanes (II)** ou plateau de l'Adamaoua détient le plus vaste bassin hydrographique du pays où les principaux fleuves et rivières du pays prennent leur source. Les quantités de précipitations atteignent 1500 mm par an en 150 jours (République du Cameroun, 2015 ; IRAD 2000). Cette zone est adaptée aux activités agro-pastorales et forestières mais est caractérisée par une détérioration continue des ressources agro-sylvo-pastorales (Molua & Lambi, 2006). Les produits agricoles cultivés dans cette zone sont le millet-sorgho, le maïs, l'igname, la pomme de terre et le taro (République du Cameroun, 2015).
3. La **zone des hauts plateaux (III)** présente un climat montagneux tropical et abrite le deuxième plus grand bassin hydrographique du pays après le plateau de l'Adamaoua. Les quantités de précipitations annuelles atteignent 1500–2000 mm en 180 jours. Les principaux produits agricoles cultivés ici sont le café, le maïs, la pomme de terre, l'igname, le taro et les haricots secs (République du Cameroun, 2015;

IRAD, 2000). Dans cette zone, l'agriculture de subsistance pour le maïs, outre les tubercules, la banane plantain, les fruits et légumes, et des plantations familiales de café arabica ainsi que des élevages de volailles ou de porcins prédominent (MINEPDED, 2021).

4. La **zone forestière monomodale (IV)** ou zone côtière connaît un climat équatorial humide. Il s'agit de la zone la plus pluvieuse du pays avec 2500 à 4000 mm de précipitations annuelles. Les produits agricoles majoritairement cultivés ici sont le cacao, la banane, la banane plantain, l'huile de palme, le gingembre et le poivre (République du Cameroun, 2015 ; IRAD, 2000).
5. La **zone forestière bimodale (V)** correspond au plateau sud du Cameroun. C'est une zone de forêts tropicales humides au réseau hydrographique particulièrement dense. Les précipitations y atteignent les 1500 à 2000 mm par an. Les principaux produits agricoles qui y sont cultivés sont le cacao, le manioc, le maïs, l'huile de palme et l'ananas (République du Cameroun, 2015). L'agriculture industrielle et d'exportation (huile de palme, caoutchouc, bananes) et l'agriculture familiale basée sur le manioc et le plantain, associée au cacao/café et à l'élevage du petit bétail, y prédominent (IRAD, 2000; MINEPDED, 2021).

La vaste étendue latitudinale du Cameroun permet une forte variation climatique, d'un régime de précipitations abondant bimodal (centre et sud) et monomodal (sud-ouest, ouest et côtier) de 1600–3000 mm à un régime de précipitations sahélien

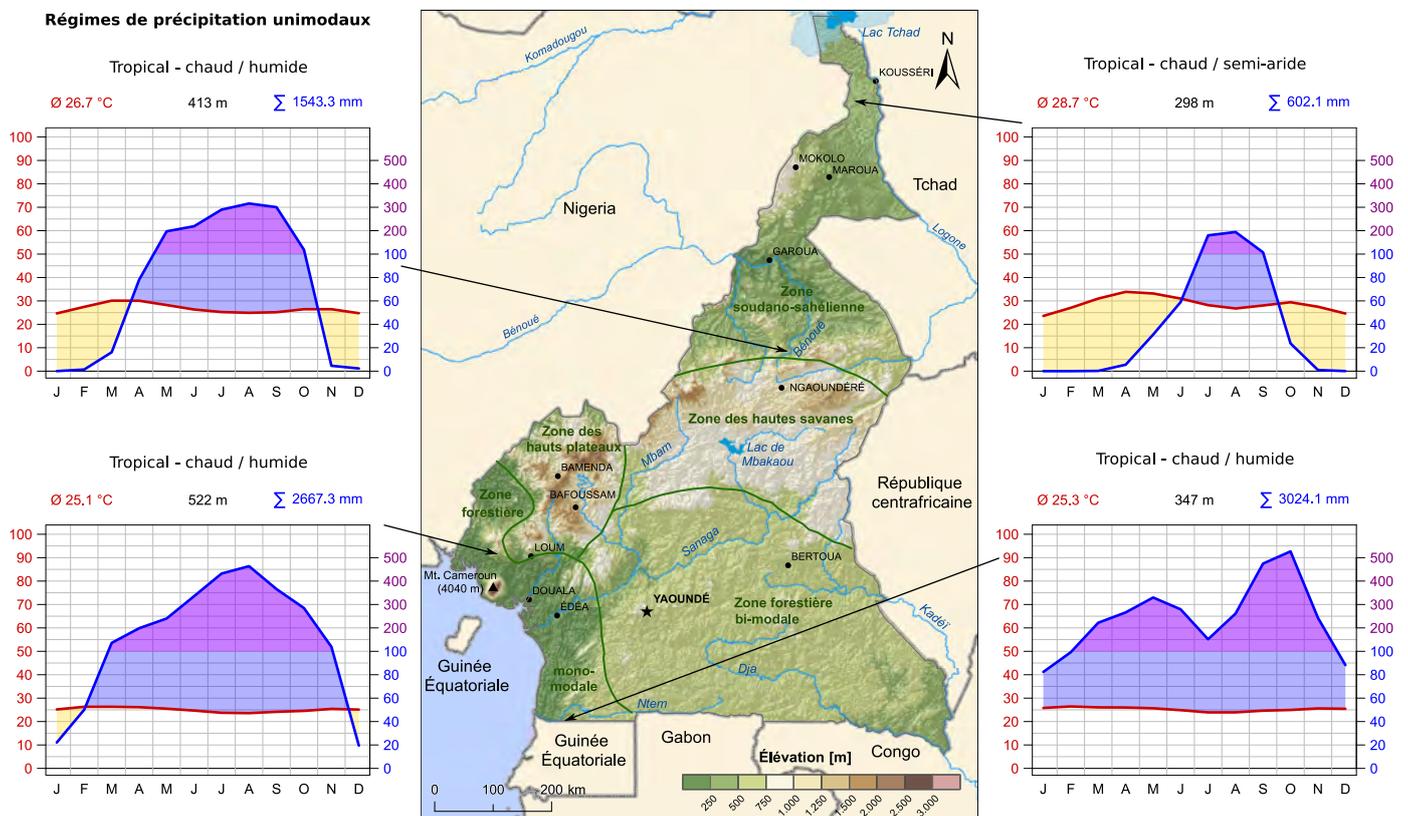


Figure 3 : Carte topographique du Cameroun avec ses ZAE et des exemples localisés géographiquement de régimes de températures et de précipitations annuelles : zone soudano-sahélienne (I), zone des hautes savanes (II), zone des hauts plateaux (III), zone forestière monomodale (IV), zone forestière bimodale (V).

saisonnal monomodal de 500–800 mm. La température varie d'un environnement à l'autre, se situant entre 20 et 35 °C avec une amplitude thermique allant de 3 à plus de 12 °C dans les régions nord du pays (MINEPDED, 2021 ; Suchel, 1989). Suite à plusieurs événements climatiques de grande ampleur, les études sur la variabilité climatique et le changement climatique ont suscité l'intérêt de la communauté mondiale. Entre autres, les sécheresses de 1972–1973 et 1983–1984 ont été très intenses et frappé la plupart des pays d'Afrique tropicale, dont notamment le Cameroun (Tchindjang et al., 2012).

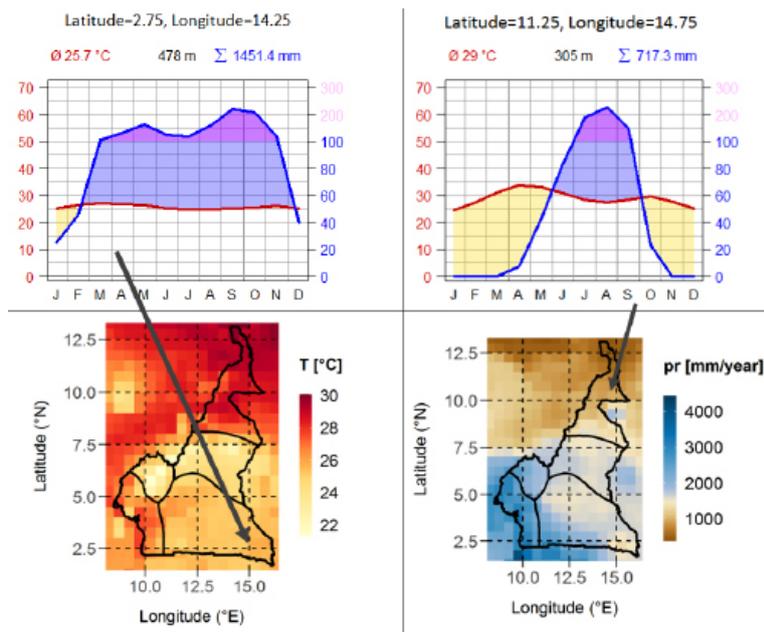
1.2 Conditions climatiques actuelles

Le Cameroun connaît actuellement des températures annuelles moyennes entre 22 et 29 °C, à l'exception des régions montagneuses qui sont caractérisées par des températures plus fraîches. Les températures du nord sont plus élevées que celles au sud. Si les différences de températures intersaisonniers sont généralement faibles, le nord connaît quelques fluctuations intersaisonniers, le mois le plus chaud étant le mois d'avril (Figure 4). Les quantités annuelles moyennes des précipitations vont de 400 à 5000 mm/an avec un gradient élevé du nord sec au sud humide. Le régime de précipitations est unimodal pour la plupart des régions du pays. La saison des pluies dans la partie la plus au nord est brève, les précipitations se concentrant entre juin et septembre. La durée de la saison des pluies augmente constamment en direction du sud. Dans la partie la plus au sud du pays, la saison sèche est dominante en décembre et en janvier, et juillet présente un saison sèche plus courte.

1.3 Changement climatique et variabilité dans le passé et à l'avenir

Températures

Au cours des quatre dernières décennies, les températures moyennes ont connu une augmentation moyenne de 0,18 °C par décennie. Des hausses plus élevées ont été observées au nord (Figure 5). Les températures minimales journalières ont augmenté plus fortement que les températures journalières maximales. Les projections des températures pour l'avenir indiquent une continuation globale de la récente tendance à la hausse (Figure 6). En réaction à l'augmentation des concentrations de GES, la température annuelle moyenne devrait augmenter de 1,1 °C en vertu du scénario de réduction des émissions et de 1,5 °C en vertu du scénario d'émissions élevées d'ici à 2050 par rapport à 2004. Les températures se stabiliseront en vertu du scénario de réduction des émissions après 2050 et continueront d'augmenter jusqu'à la fin du siècle en cas d'émissions élevées à l'avenir. Les projections de ces augmentations concernent l'ensemble du Cameroun. Les projections concernant les températures sont solides, tous les modèles s'accordant clairement sur cette tendance.



Deux diagrammes climatiques montrant la distribution annuelle des précipitations et des températures dans le sud [2,75 °N ; 14,25 °E] (gauche), des précipitations et des températures dans le sud [2,75 °N ; 14,25 °E] (à gauche) et dans le nord [11,25 °N ; 14,75 °E] (à droite), et au nord [11,25 °N ; 14,75 °E] (droite). En bas : Température annuelle moyenne en °C (gauche) et précipitations moyennes annuelles en mm (droite) sur le Cameroun 1995–2014

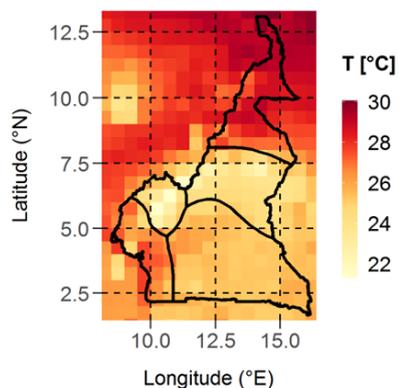


Figure 4 : En haut : Deux diagrammes climatiques présentant la distribution annuelle des précipitations et des températures au sud [2,75 °N ; 14,25 °E] (à gauche) et au nord [11,25 °N ; 14,75 °E] (à droite). En bas : Températures annuelles moyennes en °C (à gauche) et précipitations annuelles moyennes en mm (à droite) au Cameroun de 1995 à 2014.

D'ici à 2050, la température annuelle moyenne devrait augmenter de 1,1 °C en vertu du scénario de réduction des émissions et de 1,5 °C en vertu du scénario d'émissions élevées par rapport à 2004.

Extrêmes de températures

Les extrêmes de températures peuvent non seulement avoir des effets graves sur la santé de la population, mais ils peuvent aussi limiter la croissance des cultures ou entraîner des pertes de récoltes en fonction du type de culture, du cultivar et du stade de développement phénologique. En accord avec les hausses récentes des températures moyennes, la fréquence des extrêmes de températures a également augmenté au Cameroun ces dernières décennies.

Le nord du Cameroun connaît actuellement jusqu'à 270 journées très chaudes par an (journées durant lesquelles les températures maximales dépassent 35 °C). Aucune journée très chaude ne survient au sud (Figure 7a). Pour l'avenir, les projections indiquent une augmentation continue du nombre de journées très chaudes dans tout le pays, sauf dans les hauts plateaux (Figure

7b). En vertu du scénario de réduction des émissions, les chiffres se stabilisent en 2050. En vertu du scénario d'émissions élevées, les projections indiquent que la plupart des jours de l'année seront des journées très chaudes au nord du Cameroun, et de grandes parties du sud devraient connaître plus de 100 journées très chaudes par an d'ici à la fin du siècle.

Les nuits chaudes (températures minimales dépassant 25 °C) ne surviennent actuellement que dans le nord du pays (Figure 8a). D'après les projections, les nuits chaudes augmenteront au nord du pays d'ici à 2050. D'ici à la fin du siècle, en vertu du scénario d'émissions élevées, les projections indiquent que le sud connaîtra aussi des nuits chaudes (Figure 8b).

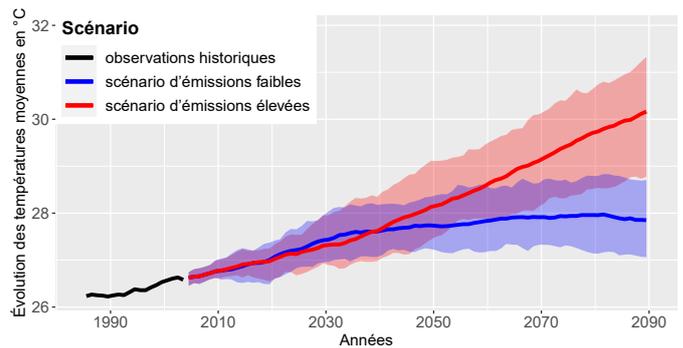


Figure 6 : Moyenne mobile sur dix ans des températures moyennes historiques et projetées en °C. La ligne noire indique les observations historiques, les lignes rouges et bleues montrent les projections en vertu des scénarios d'émissions élevées et réduites. Les lignes continues indiquent la médiane de l'ensemble multi-modèles.

D'après les projections, le nombre de journées très chaudes par an (>35 °C) devrait augmenter constamment sur l'ensemble du Cameroun, sauf dans les hauts plateaux. Ces hausses sont particulièrement élevées en vertu du scénario d'émissions élevées.

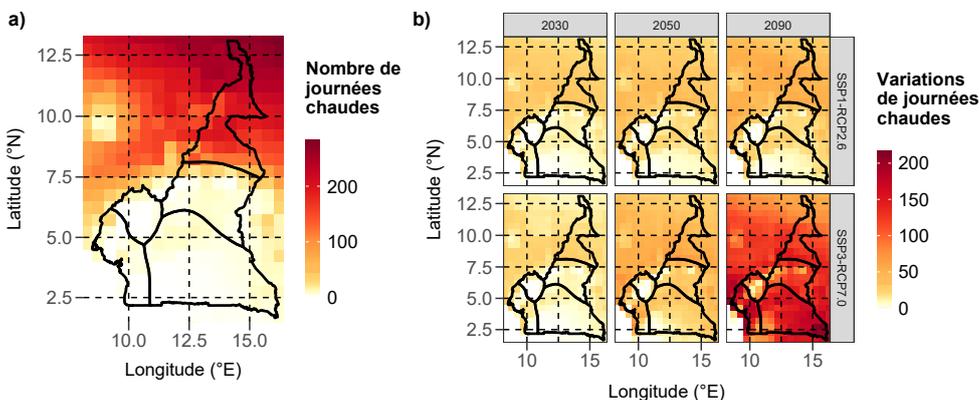


Figure 7 : Cartes présentant a) les données observées (1995–2014) et b) les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le nombre de journées chaudes par an sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

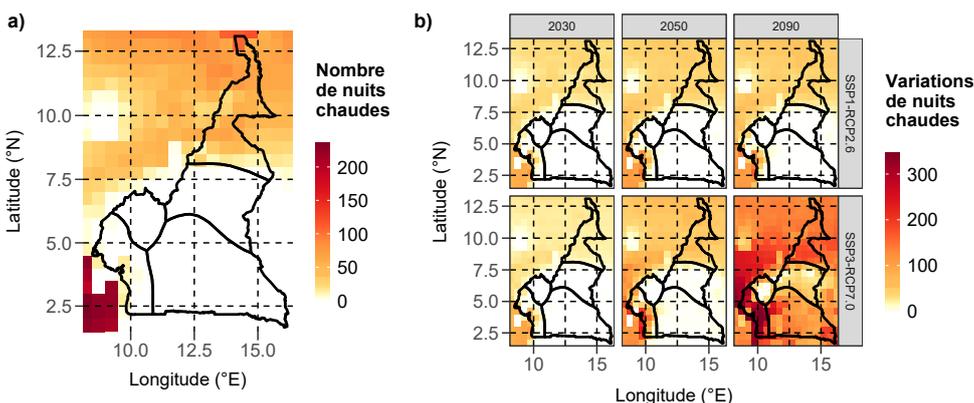


Figure 8 : Cartes présentant a) les données observées (1995–2014) et b) les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le nombre de nuits chaudes par an sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

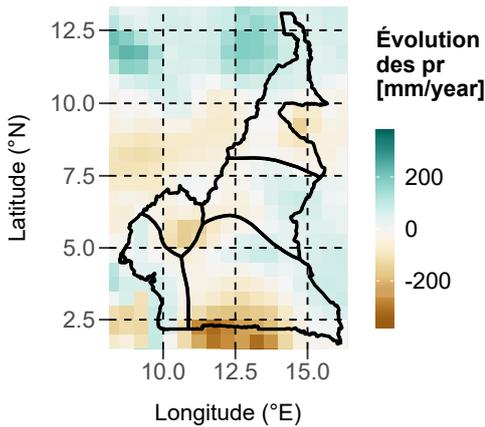


Figure 9 : Évolution des précipitations annuelles moyennes en mm au Cameroun à partir de la comparaison des périodes 2000–2019 et 1979–1998.

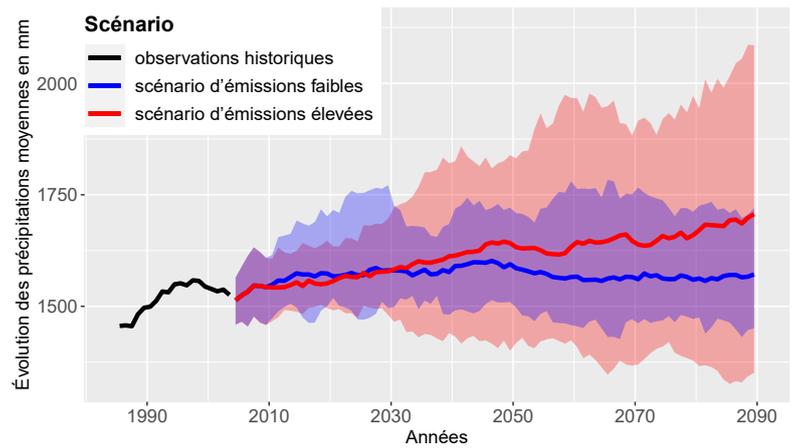


Figure 10 : Moyenne mobile sur dix ans des précipitations moyennes historiques et projetées en mm. La ligne noire indique les observations historiques, les lignes rouges et bleues montrent les projections en vertu des scénarios d'émissions élevées et réduites. Les lignes continues indiquent la médiane de l'ensemble multi-modèles et les zones ombrées décrivent l'étendue exprimée par l'ensemble des dix modèles. Les valeurs sont des moyennes sur tout le Cameroun.

Précipitations

Les quantités de précipitations annuelles ont légèrement changé au cours des quatre dernières décennies, avec des différences régionales. Les précipitations ont diminué dans les parties les plus au sud du pays et dans certaines parties de l'ouest. Les précipitations ont augmenté dans la majeure partie nord du Cameroun, mais sont restées stables dans le reste du pays (Figure 9).

Les projections sur les changements des précipitations sont plus incertaines que celles des températures, car les modèles ne s'accordent pas tous sur la tendance des variations des précipitations. La médiane de l'ensemble multi-modèles et la majorité des modèles projettent des hausses des précipitations annuelles moyennes sur l'ensemble du Cameroun d'ici le milieu du siècle. Les changements projetés en vertu du scénario de réduction des émissions sont faibles, alors que les projections des émissions de GES plus élevées prévoient des changements plus importants au niveau des précipitations (Figure 10). Même si la majorité des modèles climatiques indiquent des changements limités au niveau des précipitations ou un climat plus humide à l'avenir au Cameroun, il ne peut être exclu que le pays, ou certaines de ses parties, pourraient connaître un climat plus sec à l'avenir, comme le suggèrent certains modèles et tendances du passé.

Les projections concernant les précipitations sont bien plus incertaines que celles concernant les températures. La médiane des modèles projette une augmentation des précipitations et des précipitations fortes, encore plus vive en vertu du scénario d'émissions élevées.

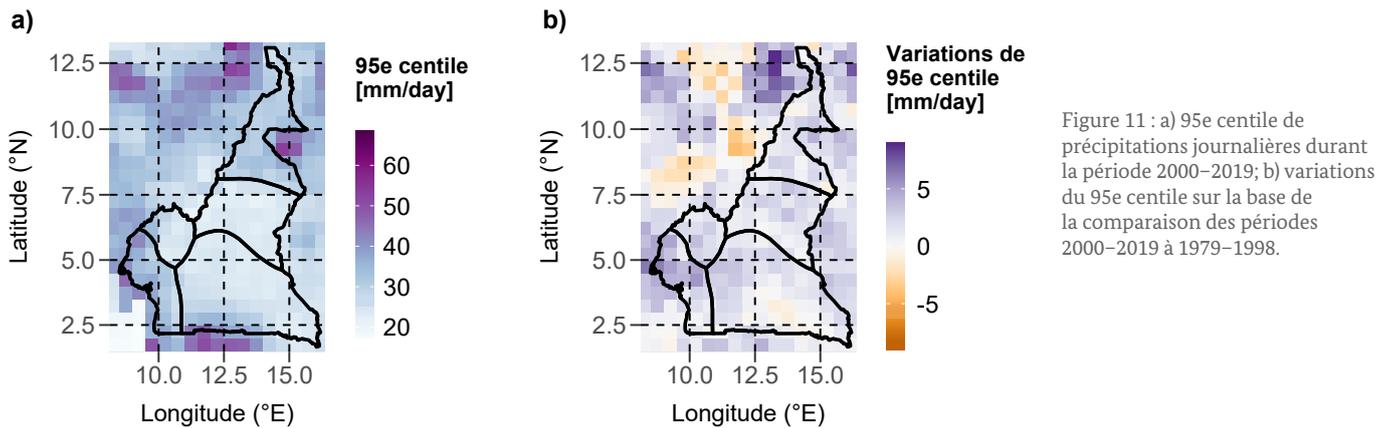


Figure 11 : a) 95e centile de précipitations journalières durant la période 2000–2019; b) variations du 95e centile sur la base de la comparaison des périodes 2000–2019 à 1979–1998.

Fortes précipitations

Les fortes précipitations peuvent non seulement détruire les infrastructures et menacer les vies humaines, mais aussi avoir un impact négatif sur la production agricole en endommageant les cultures ou en entraînant la lixiviation de nutriments dans le sol. Afin de quantifier les modifications concernant les fortes précipitations, nous avons analysé le 95e centile de jours de précipitations (>0,1 mm). D'après cet indicateur, l'ouest du Cameroun, à proximité des côtes, connaît les fortes précipitations les plus intenses, le 95e centile de pluies dépassant largement 30 mm par jour (Figure 11a). Dans le passé, les changements concernant l'intensité des fortes précipitations ont présenté des augmentations, surtout dans l'ouest du pays (Figure 11b). Malgré la diminution des précipitations par le passé dans certaines parties du Cameroun, l'intensité des fortes précipitations n'a pas baissé dans ces régions.

Les projections prévoient une hausse de l'intensité des fortes précipitations à l'avenir (Figure 12). En vertu du scénario de réduction des émissions, les projections annoncent peu de changements et les modèles ne s'accordent pas tous sur la tendance à la hausse. En revanche, en vertu du scénario d'émissions élevées, les projections de l'intensité des fortes précipitations présentent une hausse notable, avec des augmentations particulièrement marquées au nord, et l'accord des modèles sur ces projections est élevé.

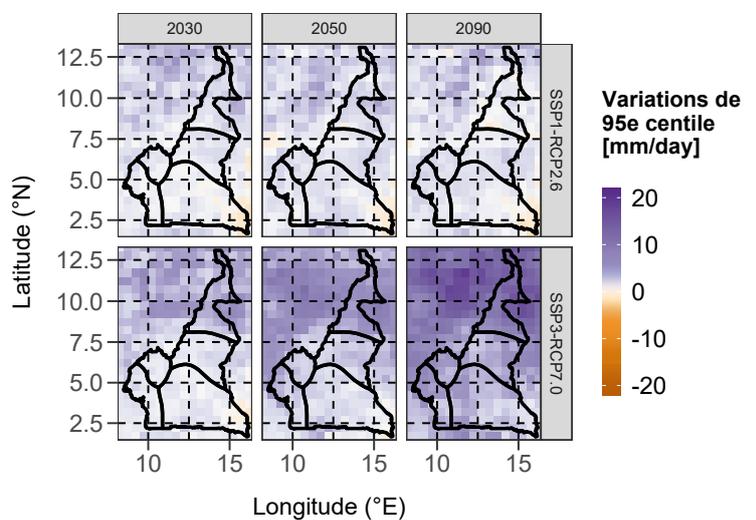


Figure 12 : Cartes présentant les changements projetés par la médiane de l'ensemble multi-modèles concernant le 95e centile de précipitations journalières sur les moyennes de 20 ans pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

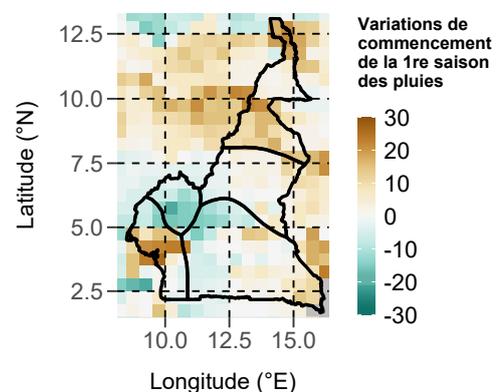


Figure 13 : Variations de la date de commencement de la première saison des pluies d'après la comparaison des périodes 2000–2019 à 1979–1998. La couleur marron indique un commencement ultérieur et la couleur bleue un commencement antérieur ces dernières années.

Impacts climatiques		Tendance passée	Tendance future ¹	Certitude ²
	Températures annuelles moyennes	Augmentation	Augmentation	Très forte
	Nombre de jours & de nuits très chaudes	Augmentation	Augmentation	Très forte
	Précipitations annuelles moyennes	Pas de tendance significative	Augmentation	Émissions élevées : Moyenne
			Pas de tendance significative	Émissions faibles : Moyenne
	Intensité des fortes pluies	Augmentation	Augmentation	Émissions faibles : Très forte
			Pas de tendance significative	Émissions faibles : Très forte

Tableau 1 : Résumé des impacts climatiques au Cameroun.

Saison des pluies

Le début, la fin et la durée de la saison des pluies sont soumis à une forte variabilité spatiale et temporelle. La variabilité interannuelle est particulièrement élevée pour le début de la saison des pluies, et un peu plus faible pour la date de fin. La tendance récente concernant le début de la saison des pluies indique un commencement ultérieur au nord et sur la côte ainsi qu'un commencement antérieur à l'ouest central par rapport à la fin du 20^e siècle (Figure 13). Les dates de la fin de la saison des pluies ont seulement changé dans les parties sud du Cameroun et sont devenues plus tardives (non présenté). Ainsi, dans l'ensemble, la saison des pluies est devenue plus courte au nord et sur la côte, et plus longue dans l'ouest central et la majeure partie du sud.

La deuxième saison des pluies, qui ne survient que dans le sud du pays, a connu un décalage en commençant et en finissant plus tard. Les projections concernant le début, la fin et la durée de la saison des pluies sont incertaines. Les modèles climatiques ont tendance à projeter une importante variabilité interannuelle concernant les caractéristiques de la saison des pluies pour l'avenir. Au nord, un décalage de la saison des pluies vers des dates ultérieures est possible.

1.4 Résumé

D'ici à 2050, les résultats montrent que la température annuelle moyenne devrait augmenter de 1,1 °C en vertu du scénario de réduction des émissions et de 1,5 °C en vertu du scénario d'émissions élevées par rapport à 2004. Les projections concernant les précipitations annuelles restent incertaines. L'ensemble des modèles projette une augmentation des précipitations, plus forte en vertu du scénario d'émissions élevées, et une hausse de leur intensité.

1) La tendance est déterminée pour des moyennes sur l'ensemble du pays grâce à un test de Mann-Kendall avec un niveau de signification de 0,05 pour les années passées de 1979–2016 et les années 2015–2070 en vertu des scénarios d'émissions respectifs pour l'avenir. Si au moins 60 % des modèles montrent une tendance (à n'importe quel niveau de signification) vers la même direction, nous parlons de tendance avec un niveau d'incertitude spécifique (voir note de bas de page suivante).

2) Le niveau de certitude des projections climatiques futures est déterminé par le pourcentage de modèles s'accordant sur la tendance (avec un niveau de signification de 0,05) (comparer GIEC, 2014). ≥ 90 % : très élevé ; ≥ 80 % : élevé ; ≥ 50 % : moyen ; ≤ 50 % : faible.



2. Changement de l'occupation du sol

Situé sur la côte de l'Afrique de l'Ouest, le Cameroun présente une superficie totale d'environ 475 440 km², principalement constituée de forêts, de terres agricoles (20,6 %) et d'autres types d'utilisation des sols (37,7 %) (Ekoungoulou et al., 2018) comme les pâturages, les savanes et les zones urbanisées. Principalement localisées dans les zones du sud du pays, ces forêts forment les bordures occidentales de la Forêt du bassin du Congo. En raison de la demande croissante en ressources et en produits forestiers, une multitude d'activités anthropiques met en péril des écosystèmes naturels et leur biodiversité.

Les forêts jouent un rôle crucial concernant le stockage du carbone et vital pour l'atténuation du changement climatique. Les efforts pour réduire la déforestation, encourager le reboisement et le boisement, et assurer une gestion forestière durable contribueraient considérablement à la séquestration du carbone, à la conservation de la biodiversité et au bien-être général de la planète. Cependant, la dépendance continue des communautés rurales environnantes vis-à-vis des ressources forestières représente une menace sérieuse pour la survie des forêts, car elle conduit habituellement à la déforestation, à la perte de la biodiversité in situ et à la dégradation forestière qui en découle. Cela devrait être évité, car les forêts ont un rôle essentiel dans l'atténuation du changement climatique. Elles agissent comme puits de carbone en absorbant et en stockant de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère. Ce processus permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, facteurs primaires du réchauffement climatique. Ainsi, prévenir la déforestation et protéger les forêts existantes sont des mesures vitales pour maintenir la stabilité du climat. La dépendance des communautés vis-à-vis des forêts est liée aux pratiques agricoles

de subsistance et à la récolte de ressources arboricoles forestières qui offrent divers services et biens écosystémiques (Mukete et al., 2018). La disparition et la transformation des forêts que l'on peut observer sont souvent liées à une combinaison de facteurs, notamment la hausse de la demande en bois, en bois pour le feu, pour les habitations et les effets de l'expansion agricole (Ewane et al., 2015 ; Mukete et al., 2018). Le processus de déforestation apparaît sous différentes formes et, dans la plupart des cas, la dégradation ne se manifeste pas par un recul de la zone de végétation boisée, mais plutôt par une réduction progressive de la biomasse, par des modifications de la composition des espèces et la dégradation des sols (Modica et al., 2015).

D'après les résultats du Sustainability Consortium, de l'Institut des ressources mondiales et de l'Université du Maryland, le Cameroun détenait en 2010 30,4 Mha de forêts naturelles, ce qui correspond à une étendue de plus de 66 % de sa superficie totale. Mais en 2021, il a perdu 167 kha de forêts naturelles, ce qui équivaut à 105 Mt d'émissions de CO₂. Entre 2002 et 2021, 797 kha de forêts primaires humides ont été perdues, ce qui représente 48 % de sa perte totale en couvert forestier dans le même laps de temps. La surface totale des forêts primaires humides au Cameroun a été réduite de 4,2 % durant cette période. Entre 2001 et 2021, 1,4 % de la perte en couvert forestier est survenue là où la cause principale était la déforestation. Les deux régions les plus importantes (Centre et Est) étaient responsables de 52 % des pertes en couvert forestier entre 2001 et 2021. La région Centre a subi la perte la plus considérable en couvert forestier, c'est-à-dire 518 kha, par rapport à la moyenne de 170 kha. En seulement une semaine, entre le 10 et le 17 mars 2023, 77 970 alertes à la déforestation ont été signalées au Cameroun sur une superficie de 956 ha. Ces chiffres montrent clairement la vulnérabilité des forêts au Cameroun.

Classe	Surface 2019 (ha)	Couverture des sols 2019 en %	Surface 2022 (ha)	Couverture des sols 2022 en %
 Hydrologie	7577	0,292839066	7677	0,296703908
 Forêts primaires	1882350	72,74985043	1880750	72,68801296
 Forêts inondables	621	0,024000668	715	0,027633619
 Cultures	5049	0,195135865	5070	0,195947481
 Bâtiments	5137	0,198536925	5748	0,222151109
 Savane et sols nus	686694	26,53963704	687468	26,56955092

Tableau 2 : Modifications de la couverture des sols au Mbam-et-Kim entre 2019 et 2022.

Les études telles que celles menées dans la galerie forestière de Koupa Matapit dans l'Ouest-Cameroun (Momo et al., 2018), dans la réserve forestière de Melap (Ouest-Cameroun) (Temgoua et al., 2021), dans la forêt communautaire d'Ajei dans la région Nord-Ouest (Temgoua et al., 2018) et dans le grand bassin du Congo (Laurance et al., 2015) ont montré que la déforestation était un facteur crucial à l'origine de la perte et de la dégradation des forêts (Ordway et al., 2017 ; Aleman et al., 2018). Pour réduire la déforestation, la cartographie des forêts et la surveillance de leur évolution sont très importantes outre la lutte contre les différents facteurs contribuant à la déforestation. La surveillance et la modélisation des modifications de la couverture végétale sont cruciales, car elles fournissent des informations vitales servant à obtenir une meilleure perspective de la dynamique paysagère et à évaluer la disponibilité durable des ressources naturelles. La surveillance et la cartographie des sols sont utiles à la planification spatiale et à l'étude environnementale (Cheng & Wang, 2019 ; Tripathy & Kumar, 2019). L'analyse des sols et de leur utilisation permettront de prédire de manière fiable les circonstances à venir. Par exemple, il est possible de prédire le couvert forestier grâce aux ensembles de données historiques et aux observations par télédétection (Hamad et al., 2018) en recourant à une méthodologie de détection des modifications des modèles sur une période temporelle par une analyse chronologique. L'étude de l'utilisation des sols ainsi que des modifications et trajectoires de la couverture végétale au niveau mondial, national et local servent donc aux politiques de développement durable, à la surveillance de la sécurité alimentaire et à la recherche sur le changement climatique ou l'environnement (Wang et al., 2016).

La cartographie des zones présentant une modification du couvert forestier est essentielle pour développer des stratégies adaptées localement en vue de mieux contrôler ces dynamiques (de Wasseige et al., 2014). Pour procéder à cette surveillance, la télédétection représente une méthode peu onéreuse qui a prouvé son efficacité pour évaluer l'évolution et la dégradation du couvert forestier sur plusieurs décennies et à différentes échelles (Loveland et al., 2012 ; Hansen et al., 2013 ; Nagendra et al., 2013 ; Mukete et al., 2018). Cette étude repose sur des résultats de recherche antérieurs dans le domaine de la perte du couvert forestier au Cameroun entre 2000 et 2017 (ONACC, 2021). Cependant, la recherche antérieure a observé la couverture des sols en la distinguant entre « forêt » et « non forêt ». Cette étude constitue un référentiel pour les comparaisons.

Selon Global Forest Watch, en 2010, la région Centre présentait 5,71 Mha de forêts naturelles s'étendant sur plus de 83 % de sa superficie. En 2021, elle a perdu 51,0 kha de forêts naturelles, ce qui équivaut à 33,7 Mt d'émissions de CO₂. En 2010, le Mbam-et-Kim présentait 1,93 Mha de couvert arboré s'étendant sur plus de 74 % de sa superficie. Comme l'indique le tableau 2, il a perdu 10,7 kha de couvert arboré en 2021, ce qui équivaut à 6,65 Mt d'émissions de CO₂.

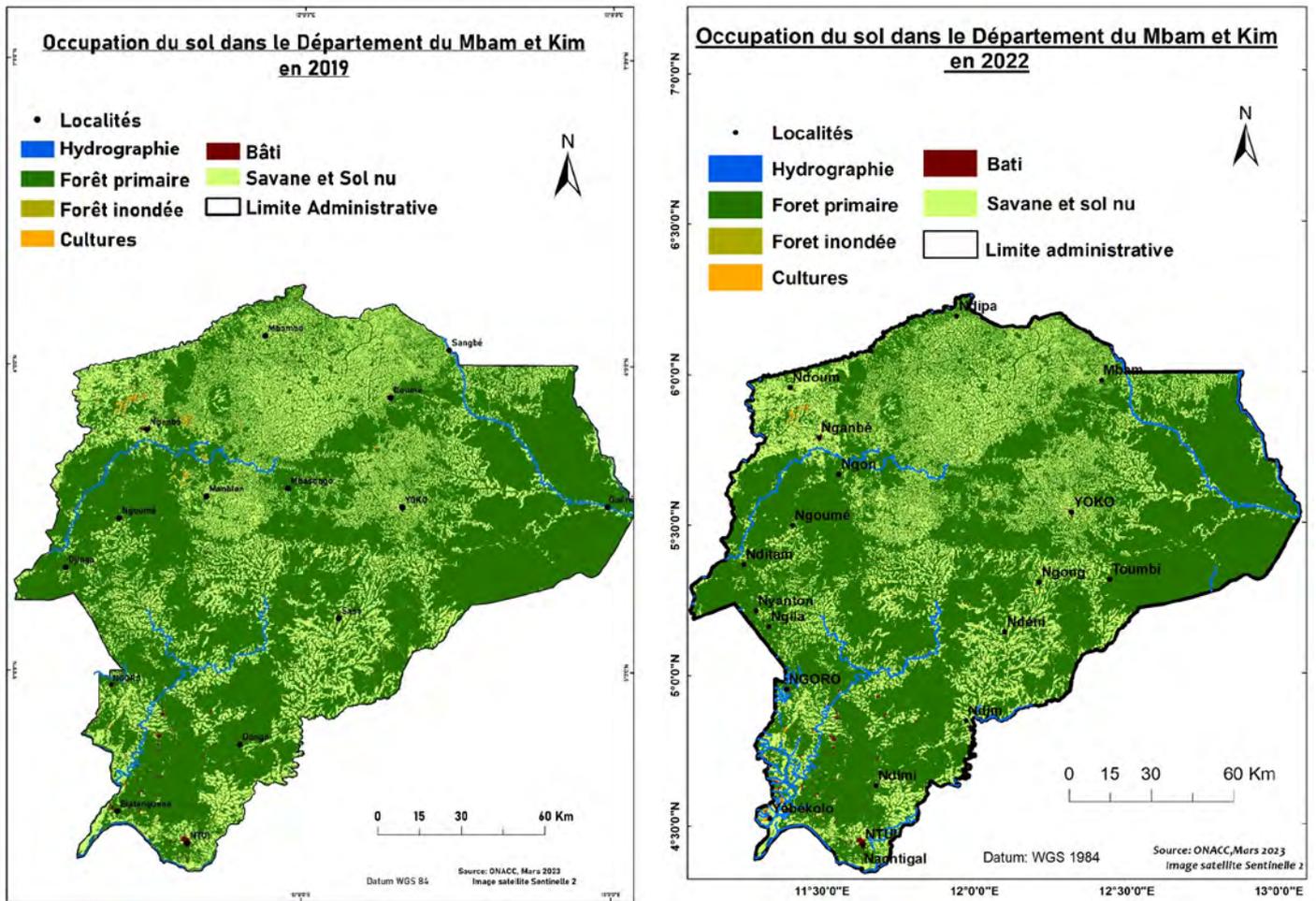


Figure 14 : Modifications de l'utilisation des sols au Mbam-et-Kim entre 2019 et 2022.

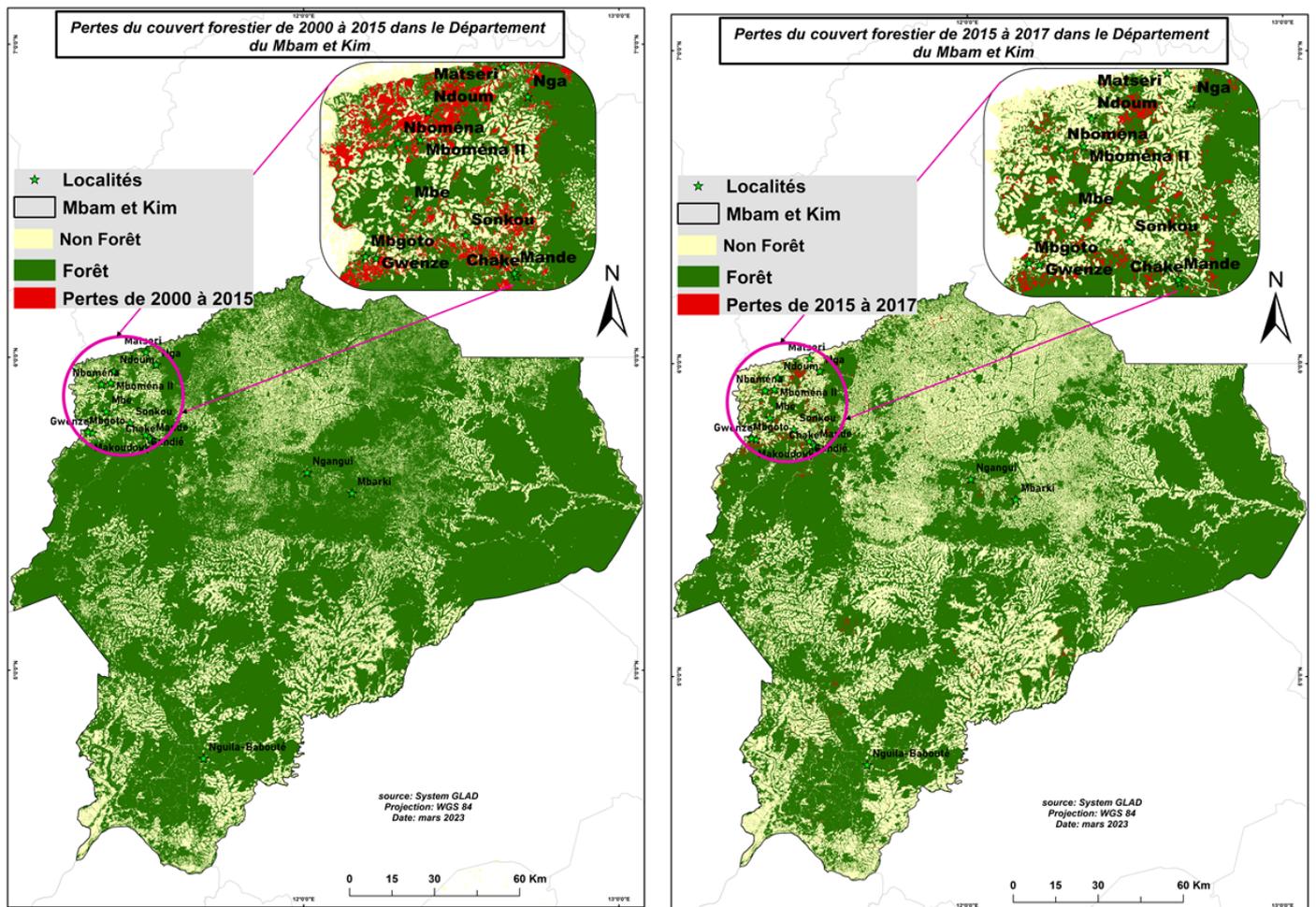


Figure 15 : Modifications de l'utilisation des sols au Mbam-et-Kim entre 2000 et 2017.

Modifications de la couverture des sols		Tendance passée	Certitude
	Hydrographie	Moyennes	Moyenne
	Forêts primaires	Baisse	Moyenne à forte
	Forêts inondables	Moyennes	Moyenne à forte
	Terres agricoles	Moyennes	Moyenne à forte
	Zones construites	Augmentation	Moyenne à forte
	Savane et terrains nus	Augmentation	Moyenne à forte

Tableau 3 : Résumé des modifications de la couverture des sols au Cameroun.

Les figures 14 et 15 montrent les images de surveillance analysées. L'imagerie est effectuée par des satellites en fonction de l'étendue de la mission, c'est-à-dire fournir une imagerie multispectrale haute résolution des sols et des zones côtières de la planète utilisée pour la surveillance environnementale, la cartographie de l'occupation des sols, l'agriculture, ou la gestion de catastrophes. L'interprétation visuelle de toutes les images de surveillance obtenues a été réalisée afin d'identifier la principale zone de déforestation de la région étudiée. Grâce aux informations recueillies sur le terrain, le recours au jugement d'experts a permis d'interpréter les classes d'images. Le tableau 2 présente les six classes/groupes US/CS (Utilisation des sols/ Couverture des sols) classifiés dans les régions étudiées ainsi que la superficie totale correspondante (en km²) et le pourcentage représenté par chaque classe US/CS. La plus grande modification concerne la forêt primaire, qui présente une diminution de sa couverture.

2.1 Résumé

L'analyse a montré que la déforestation se poursuit dans la région du Centre du Cameroun, et des modifications de la couverture des sols sont constatées au niveau des zones urbanisées, de la forêt primaire, des terres cultivées et d'autres classes de la couverture des sols. L'évaluation de ces modifications au niveau local, national ou mondial est donc utile pour les politiques du développement durable.



3. Impacts climatiques sur la productivité de pâturage

Outre la production agricole, beaucoup de petit-e-s exploitant-e-s élèvent du bétail soit pour compléter leurs activités fermières soit en complément du pastoralisme, leur principal moyen de subsistance. En fonction de leur mobilité, on distingue trois types d'éleveur-se-s pastoraux-ales : (1) les **éleveur-se-s nomades**, qui n'ont pas de résidence permanente et se déplacent avec leur bétail à la recherche de ressources en pâturages et en eau ; (2) les **éleveur-se-s pratiquant la transhumance**, qui ont un domicile mais se déplacent avec leur bétail durant la saison sèche et rentrent à temps pour la saison des pluies ; (3) les **éleveur-se-s sédentaires** qui ont un domicile permanent et font paître leur bétail à proximité de leur demeure (Azuhwi et al., 2017). Par bétail, on se réfère à tous les animaux terrestres gardés pour entre autres le transport, la viande, le lait, les œufs, les peaux, les fibres et les plumes, comme les bœufs, les chèvres, les brebis, les porcs, les canards et les poules (FAO, n.d.).

En 2020, les éleveur-se-s camerounais-es détenaient au total 6,1 millions de bovins, 5,5 millions de caprins, 3,6 millions d'ovins et 2 millions de porcins (FAOSTAT, 2020). Pour ce qui est de la répartition géographique des systèmes de subsistance, le nord du Cameroun est dominé par les modes de vie pastoraux, tandis que les moyens de subsistance agricoles sont plus répandus au sud en raison des quantités de précipitations progressivement plus importantes vers le sud du pays (Lange, 2019). La région montagneuse du Nord-Ouest, le plateau de l'Adamaoua et les régions du nord du Cameroun sont les principales zones de production animale (Kelly et al., 2016). Toutefois, dans de nombreuses parties du pays, les petit-e-s exploitant-e-s associent des activités agricoles et pastorales, comme stratégie d'exploitation mixte pour développer leur résilience aux impacts climatiques et à d'autres chocs (Azibo et al., 2016).

Tandis que le nombre de têtes de bétail n'a cessé de croître ces dernières décennies, le nombre de têtes de bétail par habitant a en revanche diminué. Par exemple, le nombre de bovins par habitant a baissé de 0,3 en 1990 à 0,14 en 2020 (FAOSTAT, 2020). On observe des tendances similaires pour d'autres types de cheptel suivant lesquelles le nombre de têtes de bétail n'a pas évolué en accord avec la population humaine. Parmi les raisons possibles, on peut citer les impacts climatiques, la croissance démographique rapide, la dégradation des ressources naturelles comme celles des pâturages et des étendues d'eau en raison de la production agricole, de la déforestation et d'autres activités humaines excessives.

En particulier, le changement climatique a eu des répercussions négatives sur les modes de vie pastoraux au Cameroun par ses impacts sur des ressources agro-pastorales essentielles comme les pâturages, les sols et l'eau (Kongnso et al., 2021). Les vagues de sécheresse ont entraîné une diminution des pâturages et des étendues d'eau, et certaines zones se sont même progressivement transformées en terres nues et non productives. Ces pertes sont particulièrement dramatiques du fait que certaines destinations vers les pâturages et des couloirs de transhumance sont utilisés depuis des décennies par les éleveur-se-s pastoraux-ales qui se déplaçaient traditionnellement vers le sud pendant la saison sèche (Motta et al., 2018). Ainsi, une diminution des pâturages et des étendues d'eau entraîne de lourds impacts comme la modification et le rallongement des routes de transhumance, ainsi qu'une pression plus importante sur les ressources rares, ce qui est également devenu une source de conflits notamment entre éleveur-se-s pastoraux-ales et agriculteur-trice-s (Mbih et al., 2022). En outre, des températures croissantes ont favorisé l'émergence de parasites comme la mouche tsé-tsé qui peut

entraîner la trypanosomiase et provoquer la mort du bétail. On considère que plus de 90 % des bovins au Cameroun sont exposés à cette infection, et les efforts d'éradication sont centrés sur le plateau de l'Adamaoua et des régions du nord (Sevidzem et al., 2022). La montée des températures a aussi favorisé l'émergence d'événements météorologiques extrêmes, comme les précipitations soudaines et intenses accompagnées de coups de tonnerre et d'éclairs qui ont également entraîné la mort du bétail ces dernières années (Kongnso et al., 2021). Enfin, en raison de la variabilité des précipitations, les éleveur-se-s et les agriculteur-trice-s ont des difficultés à déterminer les saisons agro-pastorales et à coordonner les activités de pâturages et d'agriculture. Par exemple, lorsque le début de la saison des pluies est retardé, les éleveur-se-s pastoraux-ales risquent de ne pas être prêts à partir, tandis que les agriculteur-trice-s souhaitent déjà préparer la terre pour les semences (Mbih et al., 2018).

Outre le changement climatique, la dégradation des ressources naturelles, dont l'érosion des sols, est également entraînée par des facteurs socio-économiques tels que le surpâturage, l'extension de la brousse et la mauvaise gestion des pâturages. Une étude réalisée dans la région du Nord-Ouest confirme cette tendance. Là, les éleveur-se-s pastoraux-ales ont fait état d'un nombre de têtes de bétail en baisse et de contraintes à la production, notamment des pâturages insuffisants et de mauvaise qualité, des maladies touchant le bétail, des conflits entre agriculteur-trice-s et éleveur-se-s pastoraux-ales, et un manque de points d'eau (Awalu et al., 2019). Bien que les conflits surviennent principalement entre ces deux groupes cités, d'autres constellations sont courantes : entre pêcheurs et éleveur-se-s pastoraux-ales, entre différents groupes pastoraux à l'intérieur du Cameroun ou issus des pays voisins comme le Nigeria ou le Tchad (Ehiane & Moyo, 2022 ; Mbih, 2020). Ces facteurs affectent certes en premier lieu la production animale, mais ils ne sont pas sans conséquences pour les communautés dépendantes du bétail qui se retrouvent confrontées à la pauvreté, à l'insécurité alimentaire, à la perte de l'héritage culturel, à l'exode rural vers les centres urbains comme Douala et Yaoundé, aux conflits sociaux et à des taux de criminalité plus élevés (Awalu & Nformi, 2022). Nombre de ménages ruraux élèvent du bétail non seulement pour ses avantages directs, mais aussi comme forme d'assurance en temps de crise ou d'épargne pour, par exemple, les frais d'éducation (Forbang et al., 2020). De ce fait, la réduction des troupeaux de bétail rend les ménages ruraux encore plus vulnérables aux différents types de chocs. Les impacts climatiques et socio-économiques sur le bétail ont des impacts différents sur les divers groupes sociaux. Par exemple, dans de nombreux ménages ruraux au Cameroun, les femmes sont chargées de la sécurité alimentaire et nutritionnelle de leur famille, le cheptel assurant une source importante de protéines pour un régime équilibré. Mais ce régime est mis en péril par la baisse du nombre de têtes de bétail (Forbang et al., 2020).

Partout, les éleveur-se-s pastoraux-ales devront envisager diverses stratégies d'adaptation comme des activités d'exploitation mixtes, l'ajustement des périodes de pâturages, la rotation des cultures et du bétail, la plantation de pâturages améliorés, l'augmentation des semences améliorées de cultures et des variétés de bétail, ainsi que des stratégies plus défavorables telles que le dépeuplement du cheptel ou une plus grande mobilité (Awalu et al., 2019; Azibo et al., 2016). Toutefois, pour être en mesure de prendre ces décisions d'adaptation et d'assurer une production animale viable pour aujourd'hui et l'avenir, il est essentiel de connaître les conditions du changement climatique et ses impacts associés sur la productivité herbagère.

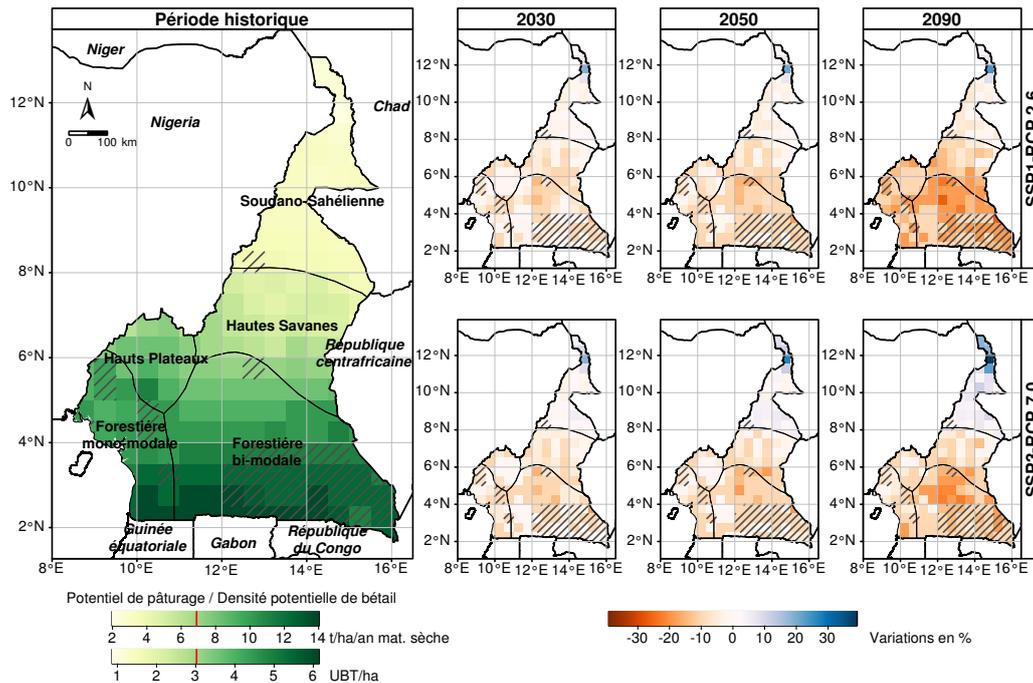


Figure 16 : À gauche : Médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel simulé pour la période historique au Cameroun. La moyenne pondérée du potentiel de pâturage pour l'ensemble du Cameroun est marquée par une ligne rouge dans l'échelle de couleurs. Le potentiel de pâturage en t/ha/an est converti en densité du cheptel potentielle supposant une demande fourragère de 6,25 kg par unité de bétail tropical (UBT). À droite : Médiane de l'ensemble multi-modèles pour les modifications du potentiel de pâturage annuel comparées à la période historique pour trois périodes (colonnes) et deux scénarios d'émissions (lignes).

3.1 Potentiel de pâturage dans le contexte du changement climatique

Dans ce chapitre, le potentiel de pâturage renvoie à la quantité maximale de biomasse herbagère à la disposition du bétail sur les pâturages réservés à cet effet. Dans les régions où les forêts, les pâturages, les terres cultivées et d'autres types de couverture des sols coexistent, le potentiel de pâturage renvoie aux terres de pâturages seules.

Cette analyse est pertinente pour les animaux de pâturage les plus importants dont les bœufs, les moutons et les chèvres. Les besoins quotidiens en fourrage varient en fonction de l'animal. Pour procéder à des comparaisons, les types d'animaux peuvent être « convertis » en Unité de bétail tropical (UBT) suivant leur poids vif en recourant à des facteurs de conversion (voir l'annexe).

La carte de gauche à la Figure 16 montre la médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel pour la période historique 1995–2014. Les hachures indiquent les régions où les pâturages représentent moins de 1 % des sols d'après l'ensemble de données sur l'utilisation des sols HYDE (Klein Goldewijk et al., 2017). Les potentiels de pâturage les plus élevés se situent au sud du Cameroun avec près de 14 tonnes de matière sèche par hectare et par an le long de la frontière de la Guinée équatoriale et du Gabon. Il convient de noter que la plupart des régions les plus productives sont densément boisées et présentent des pâturages limités. Les potentiels de pâturage diminuent vers le nord suivant le déclin du gradient de

précipitations traversant le Cameroun. Le potentiel de pâturage moyen est de 7,8 t/ha dans les hauts plateaux et de 5,9 t/ha dans les hautes savanes. Les potentiels de pâturage les plus faibles sont dans la ZAE soudano-sahélienne avec une moyenne de 3,1 t/ha, mais atteignent jusqu'à 2,1 t/ha dans certaines parties de l'Extrême-Nord. La moyenne pondérée du potentiel de pâturage pour l'ensemble du Cameroun est de 6,8 t/ha (indiquée par une petite ligne rouge dans l'échelle des couleurs de la Figure 16) sur un intervalle de 6,4–7,2 t/ha indiqué par l'ensemble des dix modèles climatiques mondiaux (MCM).

À l'échelle nationale, les projections indiquent une réduction des potentiels de pâturage au Cameroun au cours du 21e siècle (Figure 17). Les modifications les moins importantes sont prévues pour la période de 2030 mais elles s'intensifient vers la fin du siècle. Les pertes du potentiel de pâturage sont plus prononcées en vertu du scénario de réduction des émissions SSP1-RCP2.6, car elles augmentent de 3 % en 2030 à 7 % en 2050 pour atteindre jusqu'à 11 % en 2090 d'après la médiane de l'ensemble multi-modèles. Par contre, les pertes du potentiel de pâturage en vertu du scénario d'émissions élevées SSP3-RCP7.0 augmentent de 4 % en 2030 à 6 % en 2050 et atteignent 9 % en 2090. Malgré les écarts présentés par les modèles climatiques concernant l'ampleur des pertes de potentiel de pâturage, les MCM s'accordent généralement sur la tendance des modifications et la tendance globale des plus grandes pertes en vertu du scénario de réduction des émissions SSP1-RCP2.6 ultérieurement au cours du 21e siècle. Dans la période de 2030, 4 MCM sur 10 projettent une

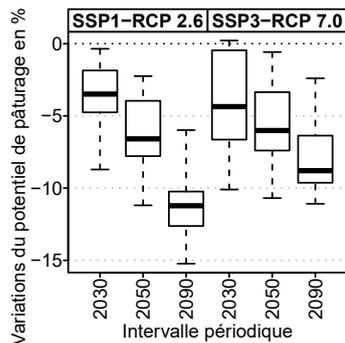


Figure 17 : Modifications du potentiel de pâturage annuel au niveau national pour les deux scénarios d'émissions et trois périodes. Les boîtes à moustaches montrent l'ampleur indiquée par 10 MCM.

perte du potentiel de pâturage légèrement plus importante pour le scénario SSP3-RCP7.0 que pour SSP1-RCP2.6, et un seul MCM projette même une légère hausse. L'effet d'un réchauffement plus élevé en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 pourrait être partiellement compensé par une hausse des précipitations associée à une meilleure utilisation de l'eau par les plantes en raison d'une concentration atmosphérique en CO₂ plus élevée, tandis qu'un réchauffement moins fort devrait coïncider avec des précipitations moins importantes au cours de la seconde moitié du 21e siècle en vertu de SSP1-RCP2.6 (voir le chapitre 1). Les dépôts atmosphériques d'azote sont donc plus forts en vertu du scénario d'émissions élevées SSP3-RCP7.0 que du scénario de réduction des émissions SSP1-RCP2.6, ce qui réduit en partie la perte d'azote dans les sols due au broutage continu. Toutefois, les deux scénarios indiquent une baisse de l'azote et des réserves de carbone au sol au cours du 21e siècle en raison de la pression pastorale, ce qui explique en partie la baisse des potentiels de pâturage simulés en vertu des deux scénarios.

La situation devient plus contrastée lorsque l'on passe du niveau national au niveau régional (cartes de droite dans la Figure 16 et boîtes à moustaches pour toutes les ZAE dans la Figure 18). Tandis que la tendance globale pour le Cameroun s'avère négative, les projections indiquent une hausse des potentiels de pâturage dans la ZAE soudano-sahélienne en vertu de SSP3-RCP7.0. La hausse est constante pour toutes les périodes chronologiques à venir et tous les MCM et atteint une moyenne de 9 % au-dessus des niveaux historiques de 2090 (Figure 18). Les projections concernant les potentiels de pâturage dans la ZAE soudano-sahélienne indiquent une augmentation entre moins de 1 et 3 % pour 7 MCM sur 10 en vertu du scénario SSP1-RCP2.6, les 3 autres MCM en revanche projettent une baisse de 1-2 %, mais uniquement jusqu'à la période 2050. Pour la période 2090, 6 MCM sur 10 projettent une baisse des potentiels de pâturage dans la ZAE soudano-sahélienne en vertu de SSP1-RCP2.6. Les projections pour les potentiels de pâturage dans la ZAE des hautes savanes indiquent une baisse de 4 % en moyenne d'ici 2030 en vertu des deux scénarios d'émissions. Les potentiels de pâturage continuent de baisser de -7 % en 2050 et de -10 % en 2090 en vertu de SSP1-RCP2-6, et de -6 % en 2050 et de -8 % en 2090 en vertu de SSP3-RCP7-0. Les deux ZAE forestières humides présentent les plus forts potentiels de pâturage durant la période historique et sont également les zones où sont projetées les plus fortes pertes en potentiels de pâturage vers la fin du siècle, avec respectivement 12 % et 9 % de pertes en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 dans la ZAE forestière au régime de précipitations monomodal, et 15 % de pertes en vertu des deux scénarios d'émissions dans la ZAE forestière au régime de précipitations bimodal. Les pertes plus importantes dans la dernière ZAE citée sont partiellement causées par un risque d'incendie plus élevé dans cette zone.

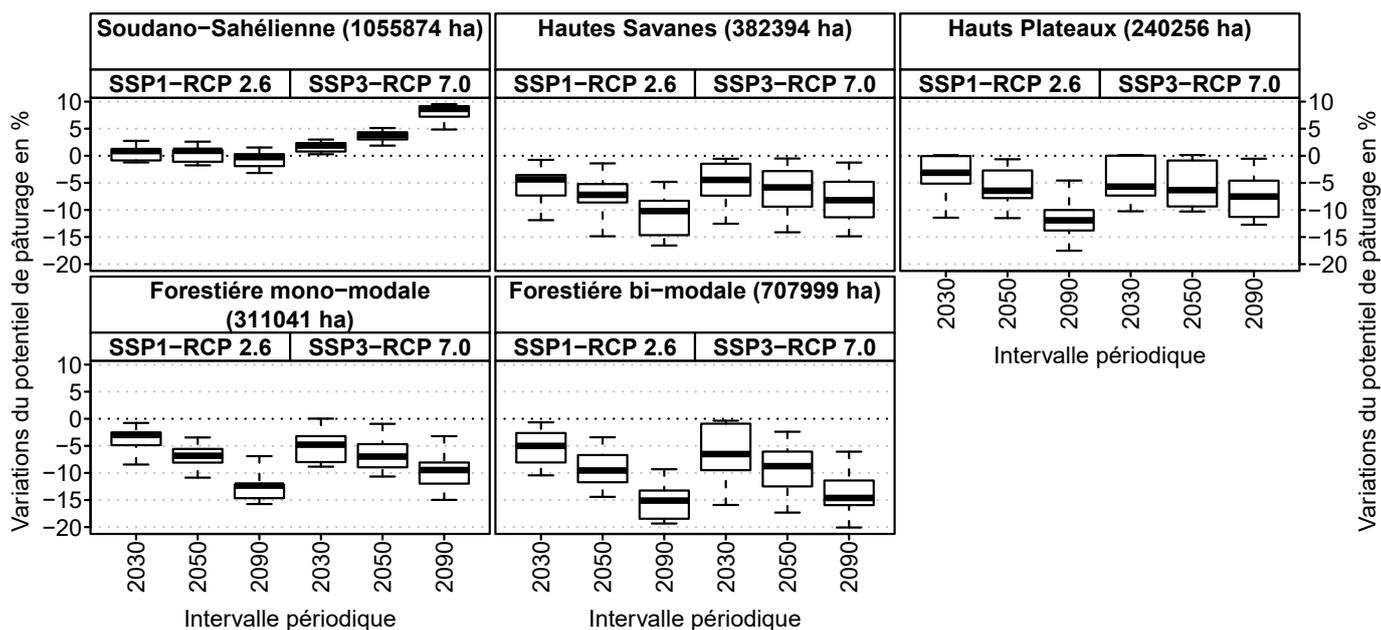


Figure 18 : Modifications du potentiel de pâturage annuel au niveau régional dans chacune des ZAE du Cameroun pour les deux scénarios d'émissions et trois périodes. Les boîtes à moustaches montrent l'ampleur indiquée par 10 MCM. Les nombres entre parenthèses suivant le nom de la ZAE indiquent la surface des zones de pâturages de chaque ZAE d'après l'ensemble de données sur l'utilisation des sols HYDE.

Sensibilité aux conditions de départ

Les potentiels de pâturage simulés reposent sur un certain nombre de postulats. Par exemple, les résultats présentés jusqu'à présent dans le texte et les figures 17–19 supposent que les pâturages se trouvent sur des terres n'ayant pas d'antécédents historiques pour leur utilisation. Comme mentionné auparavant dans ce chapitre, l'utilisation constante des sols risque d'entraîner leur dégradation. Cependant, des données sur l'historique de l'utilisation des sols (par ex. charge de bétail, périodes de repos, provenance des pâturages) ne sont généralement pas disponibles. Pour tester la sensibilité des résultats de modélisation par rapport à l'historique de l'utilisation des sols, nous avons répété les simulations avec les mêmes projections climatiques mais initialisé les pâturages sur des sols dégradés avec des antécédents d'utilisation agricole.

Comme le montre la Figure 19, l'historique de l'utilisation des sols aurait un impact majeur sur le potentiel de pâturage dans le contexte des conditions climatiques historiques. Dans des conditions « intactes », la moyenne du potentiel de pâturage historique pour l'ensemble du Cameroun baisse de 6,8 t/ha à près de 5,1 t/ha. Les pertes les plus prononcées concernent les deux ZAE forestières (-34 et -32 %) où les conditions climatiques soutiendraient des potentiels de pâturage élevés. Ces pertes sont beaucoup moins marquées dans la ZAE soudano-sahélienne (-5 %) où les conditions climatiques sont moins favorables. Les

potentiels de pâturage historiques baissent de près de 20 % pour les sols dégradés des ZAE des hautes savanes et des hauts plateaux. L'historique de l'utilisation des sols a également un effet important sur les tendances des potentiels de pâturage dans le contexte du changement climatique. Les tendances positives pour la ZAE soudano-sahélienne en vertu de SSP3-RCP7.0 sont plus prononcées lorsque les pâturages provenaient de sols dégradés. Même si toutes les autres ZAE sont associées à une projection de pertes de potentiels de pâturage pour l'avenir dans le contexte du changement climatique, ces pertes sont moins prononcées lorsque les pâturages provenaient de sols dégradés. Par exemple, les projections concernant les potentiels de pâturage de la ZAE des hautes savanes annoncent une baisse de 6 et de 3 % à la période 2090 respectivement en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0, lorsque les pâturages provenaient de sols dégradés, alors que des pertes de 10 % et de 8 % sont prévues pour des pâturages issus de sols « intacts » sans antécédents d'utilisation historique. Malgré les gains de rendements relatifs plus élevés dans la ZAE soudano-sahélienne et les pertes de rendements plus faibles dans le reste du pays, les potentiels de pâturage absolus obtenus dans ce test de sensibilité sont plus faibles que les potentiels de pâturage absolus des simulations supposant des conditions de départ intactes à toutes les périodes en vertu des deux scénarios d'émissions.

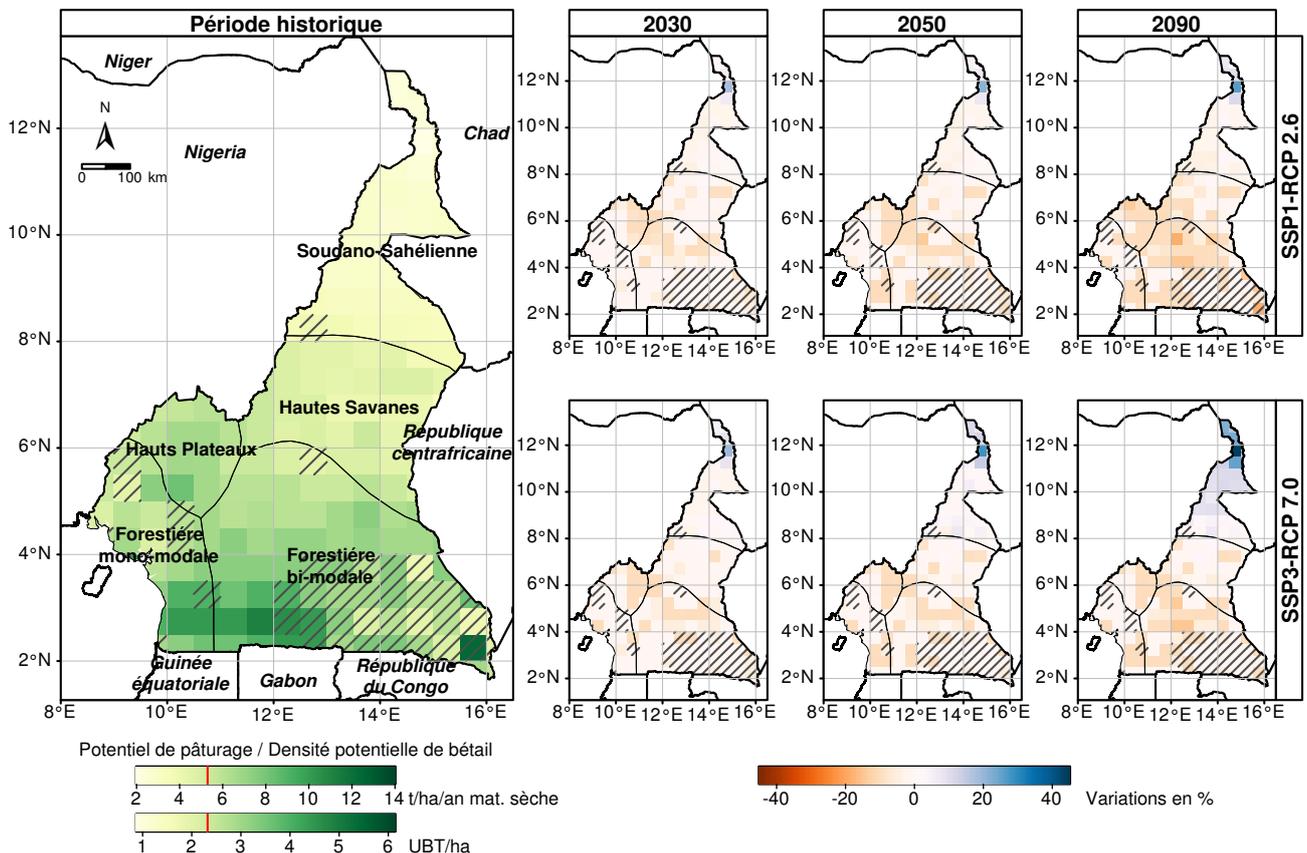
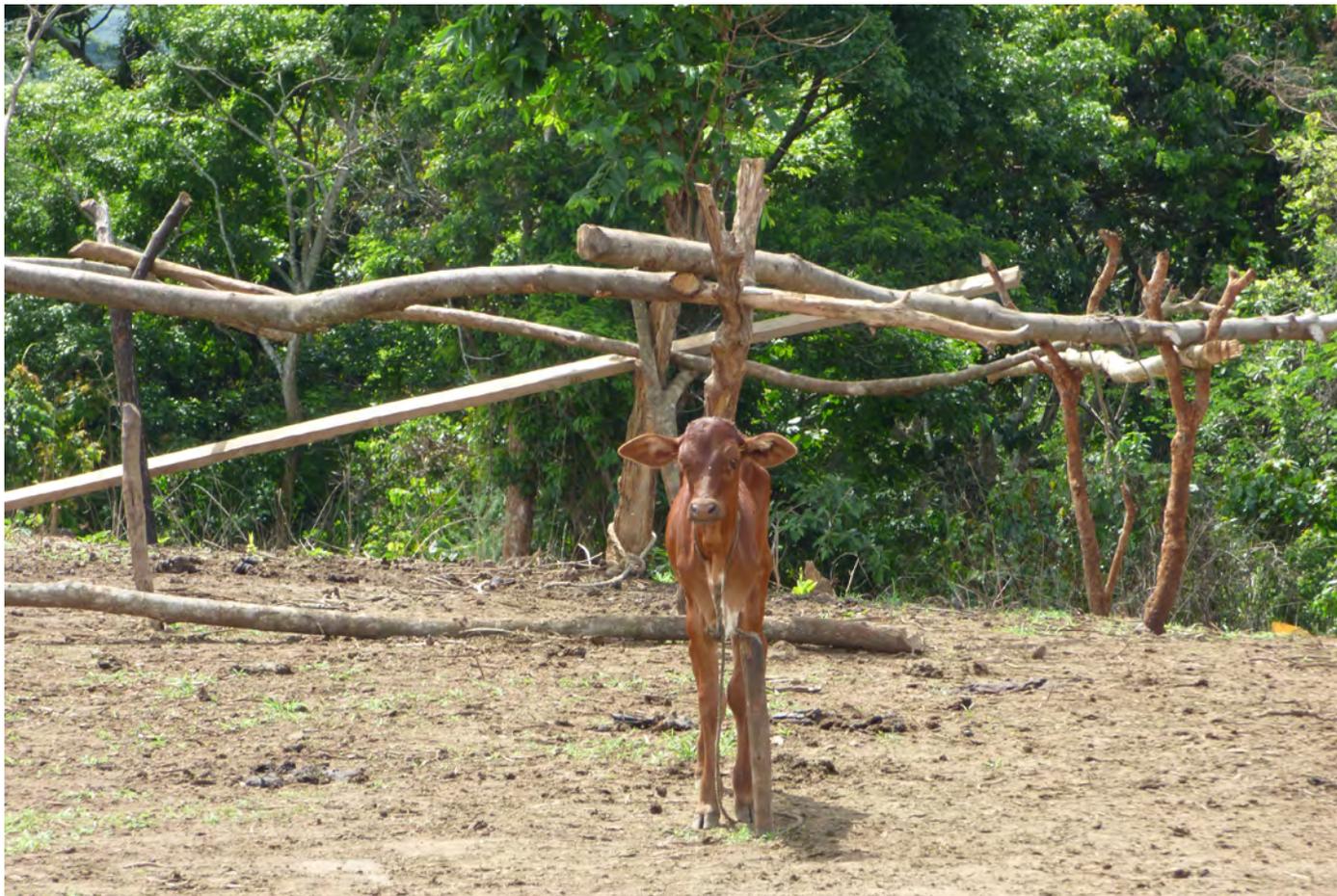


Figure 19 : Sensibilité des potentiels de pâturage à l'historique de l'utilisation des sols. En comparaison à la figure 18, les terres de pâturages de cette figure reposent sur des sols dégradés ayant été cultivés.



3.2 Résumé

Les projections indiquent une baisse des potentiels de pâturage en vertu des deux scénarios d'émissions dans toutes les régions sauf la ZAE soudano-sahélienne. En vertu de SSP1-RCP2.6, les hausses des potentiels de pâturage sont limitées à certaines parties de la région de l'Extrême-Nord. Les pertes en potentiels de pâturage projetées pour la plupart des parties du pays sont le résultat à la fois du changement climatique et de la dégradation progressive des sols en raison de la pression pastorale constante.

La dégradation des sols peut être réduite grâce à la gestion des pâturages avec des densités de cheptel bien inférieures au potentiel de pâturage maximum, des périodes de repos qui permettent aux sols des pâturages de se rétablir ou la lutte contre les incendies dans les zones fréquemment touchées.

Impacts sur la productivité herbagère		Tendance passée	Tendance à venir
	Productivité herbagère	Baisse	Baisse
	Potentiel de pâturage	Baisse 7,1 t / ha à 4,22 t / ha	SSP1-RCP2.6 Baisse de -3 à -8 % SSP3-RCP7.0 Baisse de -2 à -5 %
	Potentiel de pâturage avec avec une historique de l'utilisation de sol	Baisse 7,1 t / ha à 6t / ha	SSP1-RCP2.6 Baisse mais moins que sans incendies

Tableau 4 : Résumé des impacts du changement climatique sur la productivité herbagère.



4. Changement climatique et genre

Les effets du changement climatique ne sont pas insensibles aux questions de genre. Les femmes et les hommes subissent le changement climatique de manière différente, et leur capacité à y faire face et à s'adapter aux situations varient. La vulnérabilité et les possibilités d'adaptation sont profondément liées au genre et à d'autres facteurs sociaux tels que l'âge, l'appartenance ethnique, la situation matrimoniale ou le handicap (Ahmed et al., 2016). Les femmes jouent un rôle clé dans des domaines tels que la production agricole, la gestion des ressources naturelles et la sécurisation alimentaire de leurs familles ; elles sont aussi plus vulnérables aux impacts climatiques et ont des possibilités d'adaptation limitées. Des structures patriarcales profondément ancrées, la répartition en fonction du sexe des rôles et des responsabilités au sein des ménages, dans la production agricole et dans les communautés ainsi que l'accès limité aux ressources et au pouvoir de décision sont à l'origine de ce constat (Alston, 2013 ; Carr et Thompson, 2014). Associés les uns aux autres, différents facteurs sociaux risquent d'accroître le fardeau des femmes et d'autres groupes sociaux selon un processus de « désavantages cumulatifs » (González de la Rocha, 2007) et de renforcer les inégalités existantes. En raison de cette intersectionnalité, une agricultrice veuve d'une minorité ethnique, par exemple, sera confrontée à une tout autre réalité que celle d'une agricultrice mariée, originaire d'une ethnie majoritaire, même si elles vivent dans la même communauté rurale. En outre, l'agricultrice veuve, qui pourrait être d'un âge avancé et atteinte d'un handicap, rencontrerait encore plus de difficultés à faire face aux impacts climatiques. De ce fait, la question du genre ne constitue qu'une strate parmi d'autres facteurs sociaux superposés. Et le changement climatique amplifiera et aggravera vraisemblablement les modèles existants des désavantages liés au genre (Alston, 2013).

Ce chapitre reconnaît ce fait et fournit un aperçu des divers enjeux rencontrés par différents types d'agriculteur-trice-s dans l'adaptation aux impacts climatiques. Cette analyse repose sur l'examen de la littérature concernée et de discussions ciblées réalisées en groupes avec 40 femmes des villages de Maroua et Papa dans l'Extrême-Nord du Cameroun en mai 2022. Ce chapitre sert ici d'introduction, les questions du genre et de l'intersectionnalité seront abordées plus en détail lors de l'évaluation de chaque stratégie d'adaptation aux chapitres 5–7.

4.1 Question du genre dans les politiques et les plans

L'égalité des sexes joue un rôle de plus en plus important dans les politiques et les plans de développement nationaux au Cameroun. Par exemple, en 2009, le Cameroun a lancé sa stratégie de développement à moyen terme intitulée « Vision du Cameroun 2035 ». Dans ses objectifs, le document formule entre autres comment le pays vise à promouvoir l'égalité des sexes d'ici à 2035. L'autonomisation économique des femmes grâce à l'emploi et aux revenus est mentionnée comme étant l'une des priorités.

Dans d'autres plans nationaux comme la « Stratégie Nationale de Développement 2020 –2030 » (SND30), le gouvernement vise à promouvoir l'égalité d'accès à l'éducation, à la formation et à l'information pour les hommes et les femmes, à encourager l'entrepreneuriat des femmes et des jeunes, et à élargir l'accès aux crédits et aux aides à l'investissement pour ces groupes (République du Cameroun 2020). Le nouveau Cadre de coopération des Nations Unies pour le développement durable 2022–2026 concernant le

Cameroun met également en lumière la parité hommes-femmes. ONU Femmes a pour objectif d'accroître l'égalité des sexes dans le système éducatif et le marché du travail camerounais et de réduire les inégalités et la violence liées au genre (ONU, 2021).

Le plan national d'adaptation (PNA) du pays intègre la question du genre et en fait un thème important dans plusieurs domaines. Il essaie d'encourager les Camerounaises aux positions de leadership dans des organisations régionales et internationales. Il les considère comme un groupe particulièrement vulnérable au changement climatique et souhaite leur faire bénéficier d'actions d'adaptation suivant lesquelles le gouvernement prévoit d'augmenter la résilience des pratiques (agricoles) productives et de renforcer les capacités d'acteurs spécifiques (en particulier les jeunes femmes et les personnes âgées, les populations autochtones, les petite-s exploitant-e-s, etc.) en ce qui concerne de nouvelles cultures s'inscrivant dans des méthodes de production intensifiées et durables. Le PNA identifie par ailleurs l'égalité des sexes comme une question transversale (MINEPDED, 2015).

La principale institution chargée des politiques publiques liées au genre au Cameroun est le Ministère de la promotion de la femme et de la famille (MINPROFF) établi en 2004. Le ministère s'occupe de la mise en œuvre de la Politique nationale en matière de genre (PNG) promouvant l'égalité des sexes. Mais malgré une hausse du budget, le ministère est confronté à de nombreux défis pour remplir sa mission. Aussi, le travail d'autres ministères qui mettent aussi l'accent sur la question du genre doit être guidé par le MINPROFF, et certains ministères ont reçu un budget additionnel déterminé spécifiquement pour les activités liées au genre (GIZ, 2021).

4.2 Facteurs de vulnérabilité au changement climatique et capacité d'adaptation sexospécifiques

Plusieurs facteurs expliquent pourquoi les femmes et les hommes sont affectés différemment par le changement climatique et pourquoi leur capacité à s'y adapter varie.

À titre d'exemple, les **rôles traditionnels sexospécifiques** dans les ménages, les communautés et la production agricole accroissent la vulnérabilité des femmes au changement climatique. Les femmes endossent souvent un triple rôle par des activités productives, reproductives et de gestion communautaire, ce qui limite leurs capacités à réaliser un travail payé, réduisant ainsi leur indépendance financière et aggravant leur vulnérabilité à la pauvreté. 50 % des Camerounaises vivent au-dessous du seuil de pauvreté, pour la plupart dans les zones rurales (GIZ, 2019) Leur accès aux revenus et aux ressources s'en retrouve limité, de même que leur contrôle sur ceux-ci. Les hommes, en revanche, se chargent plutôt de la prise de décision, par exemple en ce qui

concerne les dépenses financières et la gestion agricole à la fois au niveau du ménage et de la communauté.

Si l'emploi dans le secteur agricole est généralement élevé au Cameroun, la **division du travail en fonction du sexe** dans ce secteur a également un impact sur la façon dont le changement climatique affecte les hommes et les femmes différemment. Traditionnellement, les hommes sont davantage impliqués dans la production, le traitement et la commercialisation des cultures de rente comme le cacao (MINEPAT, 2020). Ces produits agricoles sont principalement cultivés sur des parcelles familiales de taille moyenne souvent possédées par des hommes, ou sur des parcelles industrialisées pour en faire des produits de vente. Quant au bétail, ce sont les hommes en général qui se chargent de l'élevage. Les femmes, par contre, font pousser principalement des cultures vivrières comme le maïs et le manioc, souvent cultivées sur des petites parcelles familiales où leur travail reste souvent impayé (GIZ, 2019). Cette division de la production agricole en fonction du sexe a également été confirmée lors des discussions de groupes.

Comme ce sera décrit au chapitre 5, le maïs est l'un des produits agricoles les plus sensibles au climat au Cameroun, et le déclin de son rendement est vraisemblable dans de nombreuses parties du pays. La culture et le traitement du maïs étant principalement assurés par les femmes, ces résultats signifient que les Camerounaises en particulier devront adapter leurs pratiques agricoles. Pour ce qui est du bétail, les fermières se chargent de l'élevage et du soin de petits animaux tels que les poules, les moutons et les chèvres et, outre leur rôle clé dans l'agriculture de subsistance, elles assurent également des tâches domestiques telles que le ménage et la garde des enfants. Ce double rôle « contribue à l'augmentation de leur charge de travail, à des contraintes temporelles et, dans certains cas, à une santé fragile » (Azong et al., 2018). Certaines tâches comme se procurer des ressources (ramasser du bois et aller chercher de l'eau) sont généralement attribuées aux femmes et aux filles. En raison du changement climatique et de la rareté de l'eau qui en résulte, les femmes et les filles doivent souvent parcourir de longues distances pour trouver de l'eau ou du bois (participante du groupe cible, 2022). La hausse des températures et les événements météorologiques extrêmes peuvent rendre les trajets vers des étendues d'eau ou des forêts plus épuisantes et même dangereuses. En raison de leurs rôles différents dans l'agriculture et le ménage, les femmes et les hommes sont exposés à des chocs climatiques différents, ils vivent les impacts différemment et ont des capacités d'adaptation et de rétablissement différentes

L'accès limité au financement, au droit coutumier et aux droits fonciers, les normes culturelles et la division du travail en fonction du sexe sont des facteurs qui ont un impact sur la capacité des femmes à s'adapter au changement climatique.



par rapport aux impacts climatiques (Huyer & Partey, 2020). Comme les femmes sont surtout impliquées dans la phase de plantation de la production agricole, elles sont plus directement touchées par les pertes de rendements des récoltes (Azong et al., 2018).

En outre, les Camerounaises **accèdent difficilement aux finances et à la loi coutumière**, et sont confrontées à de multiples obstacles comme le manque de garanties dû au fait qu'elles ne sont pas propriétaires des terres, des niveaux d'éducation et d'informations peu élevés sur les produits financiers, le manque d'accès à un compte bancaire dans les zones rurales et des raisons socio-culturelles (produits financiers inadaptés aux besoins des femmes, par ex.) Les fermières ont donc des ressources financières limitées à leur disposition avec un accès restreint aux crédits, aux subventions, aux bourses ou même aux comptes bancaires (Eloundou Etoundi, 2015). Notamment, seules 10,9 % des femmes camerounaises détiennent un compte dans des institutions financières officielles, alors que 18 % des hommes en possèdent un (GIZ, 2021). Cette contrainte complique les possibilités d'épargne et une planification financière à long terme en temps de crise. Aussi, l'accès limité aux micro-crédits empêche les femmes d'acheter les intrants agricoles comme les semences adaptées à la sécheresse, dont elles ont particulièrement besoin. Ces restrictions financières ont été confirmées par les femmes des groupes cibles, qui ont également souligné la nécessité d'améliorer les services de conseil agricole et l'organisation entre fermier-ère-s (groupe cible, 2022).

Les **droits de propriété** sont un facteur supplémentaire qui entrave les femmes à s'adapter au changement climatique. Officiellement, les droits des femmes au Cameroun sont protégés par la loi internationale, nationale et sous-régionale. Cependant, si la constitution garantit à chacun le même accès à la terre (République du Cameroun, 1966), les systèmes législatifs coutumiers limitent en réalité les possibilités d'appropriation des terres pour les femmes. Sous la loi coutumière, la propriété foncière est exclusivement réservée aux hommes, et il est donc extrêmement difficile pour les femmes d'acheter, de posséder ou d'hériter d'une terre. Dans la plupart des régions du Cameroun, les femmes sont uniquement autorisées à utiliser des terres par des droits secondaires, via leur mari par exemple, ou les droits aux ressources leur sont confiés pour la collecte du bois, de l'eau ou de la nourriture (Fonjong et al., 2010). Même sous la loi civile, c'est à l'époux qu'est déléguée l'autorité pour gérer et décider de la propriété des biens matrimoniaux sans le consentement de sa femme. Légalement, il est aussi autorisé à décider si et où sa femme a le droit de « travailler et de vivre dans l'intérêt du mariage et des enfants » (Enregistrement de l'État civil du Cameroun, 1981). Les veuves ne sont pas protégées par la loi en cas de risque de saisie des terres de leur époux.

Comme le système patriarcal règne sur les droits fonciers au Cameroun, les fermières ont un pouvoir de décision très limité en ce qui concerne les décisions agricoles liées aux terres (GIZ, 2019). Même si les femmes constituent une grande part de la main-d'œuvre agricole, seulement 2 % des titres fonciers sont

détenus par des femmes (Union Européenne, 2019) et parmi les nouveaux enregistrements de titres fonciers effectués entre 2005 et 2013, seuls 18 % des titres ont été enregistrés au nom de femmes (78 % au nom d'hommes, 3 % au nom de collectifs) (INS, 2017). En raison de l'insécurité des droits fonciers et des coutumes sociales, peu de femmes possèdent des terres. La plupart restent ainsi dépendantes de leur mari ou de leur père. Elles ont donc tendance à louer des terres, tandis que les hommes ont tendance à les posséder ou à en hériter. Ces circonstances n'encouragent pas les femmes à entreprendre des investissements à long terme ou à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation climatiques.

La capacité d'adaptation des femmes est en outre mise à mal par **diverses normes culturelles**. Par exemple, lors de crues, le port de longs vêtements traditionnels peut entraver les mouvements en cas d'urgence. S'ils sont gorgés d'eau, ces vêtements augmentent le risque de noyade. Les responsabilités liées à la garde de jeunes enfants, de malades ou de personnes âgées peuvent aussi limiter la capacité des femmes à agir rapidement et à se protéger de dangers (Neumayer & Plümper, 2007). Conformément aux normes culturelles, de nombreuses filles n'apprennent pas à nager et ne sont pas censées pratiquer d'activités physiques comme courir ou grimper. Des niveaux d'éducation peu élevés, un analphabétisme répandu, l'accès limité aux informations et un manque de radios et de téléphones mobiles empêchent les femmes de connaître les menaces climatiques et mettent leur sécurité en jeu en cas d'événements météorologiques extrêmes (Sikod, 2007). 31 % des Camerounaises sont analphabètes, en comparaison aux hommes dont le taux d'illettrisme est de 19 % (GIZ, 2021). Même si cet écart se réduit progressivement chez les plus jeunes générations, cela reste un problème dans certaines régions et au sein des générations plus anciennes. Lors des discussions, une participante du groupe cible a déclaré : « Nous n'avons pas d'informations sur la façon de faire face au changement climatique. » La limitation de l'accès à l'information à l'égard des femmes peut reposer sur certaines interprétations de l'Islam qui leur interdisent de jouer un rôle dans la sphère publique et ainsi d'accéder à l'éducation et au travail productif (GIZ, 2019).

Non seulement les femmes vivent différemment les effets du changement climatique, mais les fermières camerounaises sont confrontées à divers **obstacles institutionnels et structurels qui les empêchent souvent d'adapter leurs pratiques agricoles aux nouvelles conditions climatiques**. Parmi ces obstacles, on peut citer la division du travail en fonction du sexe, les contraintes sur l'utilisation des ressources, une faible utilisation, voire aucune, d'intrants agricoles tels que des semences adaptées à la sécheresse ou des engrais, un accès limité aux services climatiques et aux processus de décisions à tous les niveaux reposant sur des normes culturelles, traditionnelles et religieuses qui peuvent les retenir dans un piège de faible productivité (Huyer & Partey, 2020). En outre, les femmes ont

plus de difficultés à adapter la production agricole aux nouvelles conditions climatiques du fait que les organisations agricoles locales, qui leur permettraient de se procurer les outils, engrais ou informations nécessaires, restreignent souvent la participation féminine (Huyer & Partey, 2020).

Il est probable que le changement climatique renforce la migration des zones rurales vers les zones urbaines, et souvent, ce sont les hommes qui partent, tandis que les femmes restent dans les zones rurales. Cela accentue la charge de travail de celles-ci, car elles doivent effectuer à la fois des travaux payés et non payés et sont plus directement touchées par les catastrophes naturelles, la détérioration de l'environnement et la déforestation (Jahan, 2008). Dans les ménages où les hommes travaillent dans les zones urbaines, leur absence ne signifie pas que l'autorité ou le pouvoir de décision reviennent automatiquement aux femmes lorsqu'il s'agit de faire des choix agricoles rapidement ou de convaincre le mari d'accepter de nouvelles pratiques même si souvent, ce sont elles qui de facto gèrent le ménage (Banque mondiale et al., 2015).

Il est donc important de bien comprendre les différences sexospécifiques concernant les nécessités et les capacités des politiques ou des actions destinées à promouvoir la résilience dans le secteur agricole face au changement climatique et à ses impacts, afin d'assurer une mise en œuvre réussie des mesures d'adaptation (Ampaire, 2017). En raison des limites et des obstacles structurels démontrés, les fermières sont moins à même d'adopter des stratégies d'adaptation et leur capacité d'adaptation s'en trouve ainsi diminuée (Huyer & Partey, 2020).

4.3 Résumé

En conclusion, les effets néfastes du changement climatique ont rendu les modes de vie et les vies déjà dures des petites exploitantes encore plus difficiles et complexes (République du Cameroun, 2020). Les différents aspects présentés dans ce chapitre doivent être indubitablement reconnus comme des facteurs entrecroisés qui limitent la capacité d'adaptation des femmes et d'autres groupes sociaux aux impacts du changement climatique. Ils doivent être considérés systématiquement et soigneusement dans l'élaboration de PNA, de CDN et d'autres politiques et plans pertinents. En dépit de leur vulnérabilité spécifique et de leur capacité d'adaptation limitée, les femmes ont le potentiel d'agir comme agents du changement et de la transformation. En outre, les hommes doivent être perçus comme une partie de la solution et impliqués dans la réalisation de l'égalisation des sexes. Si les femmes et d'autres groupes sociaux sont placés au centre de ces processus, à la fois en tant que groupe cible et que leader de l'action, les systèmes agricoles pourront devenir plus égalitaires, encourager l'inclusion et la résilience climatique.



5. Évaluation des effets climatiques et des options d'adaptation pour le maïs

Le maïs est le produit agricole le plus cultivé au Cameroun. Il est cultivé à la fois pour la consommation domestique et pour un stockage en farine sèche que l'on peut utiliser ou vendre et ainsi former une protection sociale en période de crise (Epule & Bryant, 2014). C'est la culture prédominante des régions du Nord, du Nord-Ouest, de l'Adamaoua et de l'Ouest (Tchuenga Seutcheng & Saha, 2017) et la céréale la plus consommée dans tout le pays (Manu et al., 2014). Le maïs est aussi la principale source alimentaire des bovins et des volailles, ce qui en fait un intrant très convoité pour le secteur de l'élevage camerounais (Manu et al., 2014). Les plus grandes contraintes imposées à la production de maïs sont la disponibilité restreinte de semences améliorées, l'insuffisante fertilité des sols et les pertes suivant les

récoltes (Mafouasson et al., 2020) qui entraînent des moyennes de rendements faibles de 1,8 t/ha dans le Nord et de 3,3 t/ha dans le Nord-Ouest (Manu et al., 2014 ; Takam-Fongang et al., 2018) Pendant la saison de croissance, le maïs exige de grandes quantités d'eau, ce qui le rend particulièrement vulnérable aux sécheresses qui se produisent régulièrement dans les régions du Nord et de l'Extrême-Nord du Cameroun (Epule, 2021). L'adoption des semences améliorées de maïs est faible. Plus de la moitié des fermier-ère-s recourent aux races traditionnelles camerounaises à pollinisation libre récupérées chaque année, ce qui rend l'approvisionnement en semences vulnérable aux chocs climatiques comme les sécheresses récurrentes (Takam-Fongang et al., 2018).

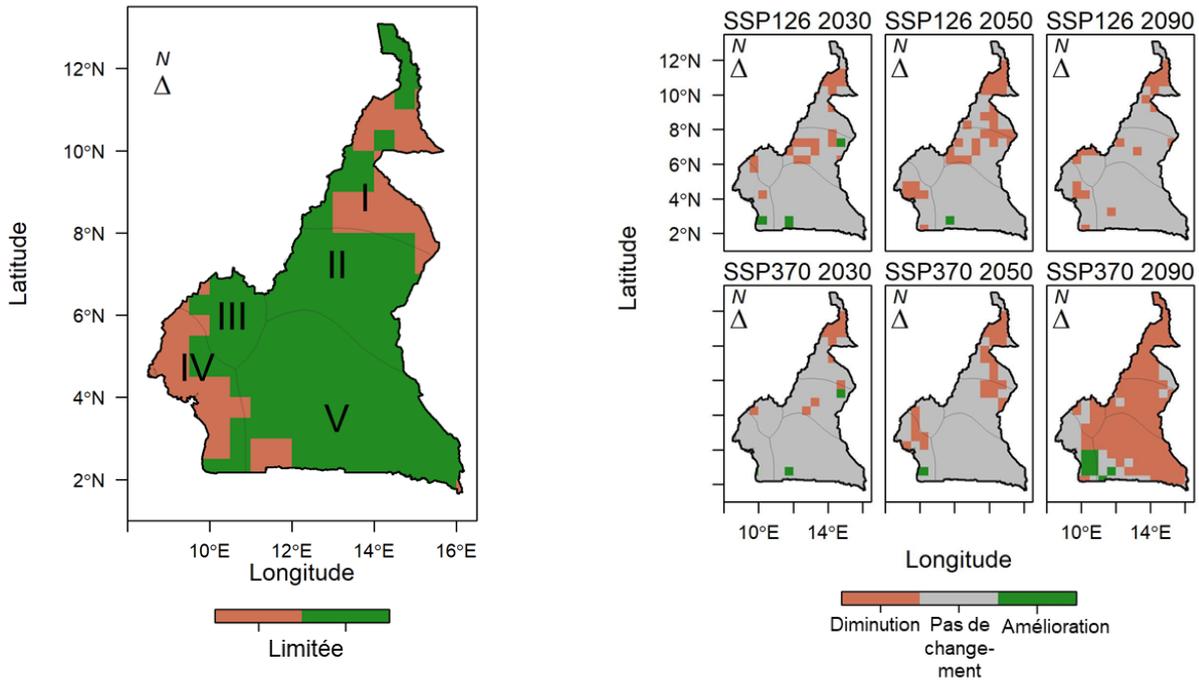


Figure 20: Aptitude culturelle actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du maïs au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).

5.1 Évaluation de l'aptitude culturelle et changement des conditions climatiques

L'aptitude culturelle actuelle du maïs est présentée à la Figure 20 qui indique que **plus de 77 % du territoire du pays est considéré comme propice à la production dans les conditions climatiques actuelles** (voir Figure 21). Ces espaces se situent dans les ZAE des hautes savanes (II), des hauts plateaux (III), dans la zone forestière bimodale (V), marginalement dans la zone forestière monomodale et dans la ZAE soudano-sahélienne (I) (Figure 20a).

Cependant, le changement climatique aura un impact considérable sur l'aptitude culturelle du maïs marquée par une baisse marginale en 2030, mais par un fort déclin en 2050 et surtout en 2090 en vertu du scénario d'émissions élevées (SSP3-RCP7.0) où plus de 70 % de la zone propice sera négativement touchée (Figure 21). Le maïs est une céréale sensible au climat, et l'on s'attend donc à ce qu'il réagisse davantage au changement climatique – en particulier aux changements de températures – que d'autres cultures. Les projections (voir 1.2) prévoient de fortes hausses de températures au Cameroun, notamment pour le scénario d'émissions élevées, ce qui se reflète dans le déclin de l'aptitude culturelle. Ces résultats correspondent à ceux d'autres études qui, par exemple, soulignent la forte vulnérabilité de la région du Nord à l'égard du changement climatique, en particulier aux changements concernant les précipitations (Epule et al., 2021).

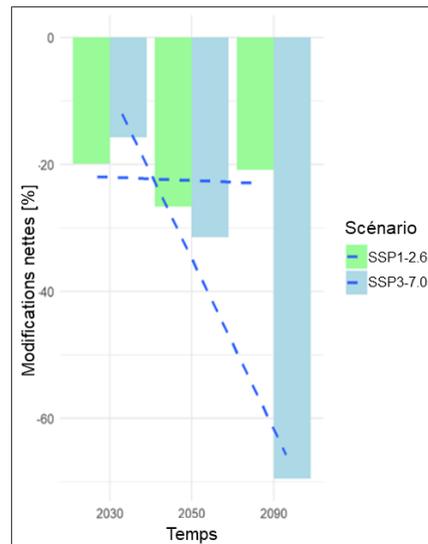


Figure 21 : Modifications nettes [%] des zones propices à la culture du maïs au Cameroun

Scénarios	Années	Baisse	Pas de changement	Amélioration
SSP1-RCP2.6	2030	21.79	76.27	1.94
	2050	27.6	71.43	0.97
	2090	21.79	77.24	0.97
SSP3-RCP7.0	2030	18.65	78.45	2.9
	2050	33.17	65.13	1.7
	2090	71.43	26.63	1.94

Tableau 5 : Évolution de l'aptitude [%] dans le contexte du changement climatique

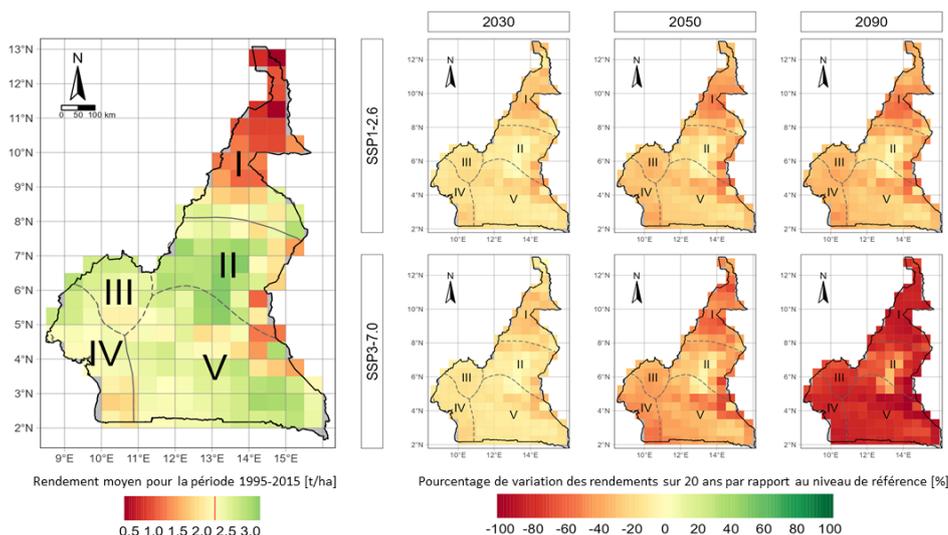


Figure 22 : Rendements de référence simulés (grande carte, à gauche) et modifications relatives des rendements à venir du cultivar référentiel inadapté (série de petites cartes, à droite) pour les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 et les trois intervalles temporels de référence (2030, 2060, 2090). Les zones grises indiquent les valeurs manquantes pour la zone. La ligne rouge indique la moyenne des rendements de référence (2,23 t/ha) pour toutes les cellules de la grille des rendements de référence.

5.2 Évaluation des pertes de rendements du maïs dans les conditions climatiques à venir

Les rendements de maïs actuels atteignent en moyenne 2,1 t/ha dans les données observées (Iizumi, 2019) et 2,2 t/ha dans les données simulées pour le cultivar de référence choisi. Les rendements de référence (Figure 22, grande carte) avec les impacts du changement climatique simulés sur les rendements vont généralement de 2,3 à 2,5 t/ha sauf pour la ZAE semi-aride (I) où le rendement moyen est bien plus faible (1,5 t/ha). La région la plus productive du pays se trouve dans la ZAE des hautes savanes (II), suivie de près par les ZAE (III) et (V).

La Figure 23 montre la répartition actuelle des niveaux de rendements absolus au Cameroun ainsi que les changements relatifs de rendements en vertu des scénarios de projection à venir SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les impacts climatiques sur les projections des rendements à venir sont négatifs partout dans le monde, mais leur intensité varie suivant le scénario et la ZAE en raison des différences régionales du changement climatique. Les baisses les plus importantes sont attendues pour la fin du 21^e siècle. Les baisses des rendements moyens au niveau national sont de -34 % d'ici 2090 pour le scénario SSP1-RCP2.6 et de -79 % d'ici 2090 pour SSP3-RCP7.0. Les plus fortes pertes d'ici 2090 sont subies par la ZAE (I) pour les deux scénarios, avec des baisses de rendements moyens de -43 % pour SSP1-RCP2.6 et de -84 % d'ici 2090 pour SSP3-RCP7.0 (Figure 23). Comme les rendements de la ZAE (I) sont déjà très faibles dans les conditions actuelles, cela annonce un effondrement complet des rendements dans cette zone à long terme pour l'avenir en vertu du scénario d'émissions élevées. Les pertes les moins importantes concernent la ZAE (II) avec des baisses relatives des rendements moyens de -27 % en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 et de -70 % en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 d'ici 2090, mais ces pertes sont fortes. La variabilité des rendements subit également les impacts du changement climatique : la moyenne nationale du coefficient de variation (CV)³ des rendements pour les deux scénarios passe de 11 % durant la période de référence à 18 % en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 et à 43 % en vertu du scénario SSP3-RCP7.0.

Les séries chronologiques des rendements moyens par ZAE montrent des tendances claires présentées suivant les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les rendements moyens des ZAE se stabilisent après 2050 pour le scénario SSP1-RCP2.6 et montrent même une légère tendance à la hausse, mais les différences des niveaux de rendements entre ZAE restent constantes, la ZAE (II) assurant la meilleure performance et la ZAE (I) réalisant la pire. Les niveaux de rendements connaissent un déclin continu dans toutes les ZAE en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 avec des baisses plus accentuées dans les ZAE (II) à (V), jusqu'à ce que les différences de niveaux de rendements entre ZAE disparaissent presque d'ici 2100. Les différences entre scénarios deviennent apparentes d'ici 2060. Une trajectoire unique est observée à la seconde saison végétative dans la ZAE (V) qui démarre avec des rendements faibles comparables à la ZAE (I) qui présente des niveaux de rendements beaucoup plus stables en vertu des deux scénarios. Les baisses de rendements ne sont visibles en vertu du SSP3-RCP7.0 qu'après 2070, ce qui fait de cette ZAE la zone la plus performante en 2100.

Le modèle culturel APSIM basé sur les processus a été utilisé pour réaliser la projection des rendements de maïs dans le contexte du changement climatique. APSIM simule la croissance du maïs en se basant sur les données météorologiques, les caractéristiques du sol et les informations sur la gestion des cultures.

D'après les études réalisées, les impacts sur les rendements sont presque entièrement liés aux hausses de températures, car il n'y a pas de tendance claire pour les précipitations sur la durée, sauf une légère tendance à la sécheresse dans la ZAE (V) qui est une région très humide, et les simulations sur les modifications des rendements correspondaient principalement aux changements de température plutôt qu'à ceux des précipitations. Le maïs est une céréale sensible à la chaleur, or les températures seuil pour son développement ont déjà été atteintes aujourd'hui au Cameroun (Epule, 2021).

3) Le CV est calculé sur le rapport entre les moyennes et les écarts-types des rendements moyens sur 20 ans.

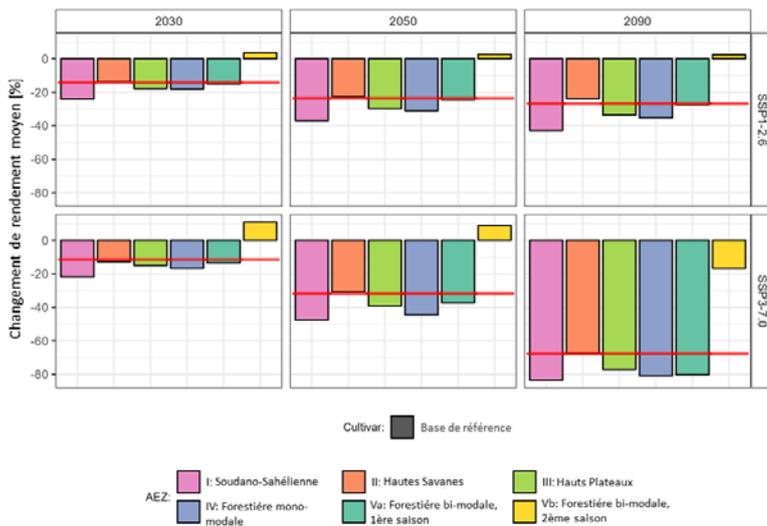


Figure 23 : Diagramme à barres des modifications des rendements moyens sur 20 ans du cultivar de référence par ZAE et scénario de changement climatique pour les trois périodes référentielles 2030, 2050 et 2090. Les lignes horizontales rouges indiquent le changement moyen du cultivar pour chaque période.

5.3 Option d'adaptation : les variétés résistantes à la chaleur

Les niveaux de rendements du maïs au Cameroun sont très faibles avec une moyenne de 2,1 t/ha (Iizumi, 2019), ce qui est certainement dû au rare recours aux intrants et aux semences améliorées et au stress lié à la sécheresse étant donné que seulement 1 % des terres cultivables sont irriguées (Mafouasson, 2020 ; Takam-Fongang et al., 2018). La plupart des semences utilisées par les petite-s exploitant-e-s au Cameroun sont des races non améliorées, aux niveaux de rendements variables (Mafouasson et al., 2020), et elles sont distribuées par le biais de systèmes de semences informels et locaux. Les semences sont préservées d'une année à l'autre ou échangées au sein des communautés locales. Un système informel est essentiel pour l'approvisionnement de semences au Cameroun, mais les chocs climatiques risquent d'épuiser les réserves de semences des ménages en raison de récoltes insuffisantes successives et de laisser les fermier-ère-s en manque de stocks à replanter à la saison suivante (Mafouasson, 2020). Les semences améliorées assurent des rendements plus élevés et plus stables, une meilleure résilience climatique grâce à leur résistance à la sécheresse, une meilleure qualité de récolte et des bénéfices nutritionnels (Cairns et al., 2013 ; Minoli et al., 2019). Le recours à de nouvelles variétés associé à une gestion améliorée pourrait compenser de près de 40 % les pertes de rendements liées au changement climatique (Cairns et al., 2013). Les semences améliorées adaptées localement pourraient permettre aux agriculteur-trice-s de maintenir des rendements suffisants dans les conditions du changement climatique, mais actuellement, l'adoption des semences améliorées s'avère faible au Cameroun (Mafouasson, 2020). La variété la plus communément utilisée, la CMS 8704 (Cameroon Maize Selection – Sélection de maïs camerounais), a été développée en 1987 par l'IRAD (Etoundi et al., 2008) et est ainsi inadaptée aux conditions climatiques actuelles ou à venir. Étant donné la multitude d'options d'amélioration des variétés, cette étude se concentre sur l'adaptation à la tolérance

à la chaleur du maïs. Le maïs est considéré comme une plante sensible à la chaleur en raison de sa floraison. Exposé à de hautes températures, le pollen peut devenir infertile, ce qui bloque la pollinisation, la fixation des grains et les rendements de manière considérable (Tesfaye et al., 2017). Partout au Cameroun, les températures devraient augmenter en vertu du changement climatique parallèlement au réchauffement mondial, et de nombreuses régions du pays où pousse le maïs connaissent déjà régulièrement des niveaux de températures seuils pour sa production durant la saison de croissance, en particulier au Nord (Cairns & Prasanna 2018 ; Epule 2021). La tolérance à la chaleur est certes un aspect complexe de la physiologie de la plante, mais elle peut être assez facilement paramétrée dans le modèle cultural APSIM afin d'illustrer les potentiels d'une variété de maïs synthétique, résistant au climat, en augmentant les valeurs de contraintes thermiques pour la fixation des grains. Jusqu'à présent, la tolérance à la chaleur a fait l'objet de peu d'études, et nombre d'agriculteur-trice-s ne sont pas conscient-e-s de la sensibilité du maïs à la chaleur, la plupart des essais d'amélioration et de sélection au Cameroun se concentrant plutôt sur la résistance aux nuisibles et la maturité précoce (Mafouasson et al., 2020 ; Tadesse et al., 2014). Comme la sélection végétale est un investissement engagé et à long terme, ses objectifs doivent être évalués en matière d'efficacité et de pertinence avant la mise en œuvre. Pour les travaux de sélection, par ex. par l'IRAD, il faudrait donc soutenir l'orientation sur la tolérance à la chaleur par une approche de modélisation d'anticipation intégrale des impacts. Toutes les variétés de maïs ne sauraient être adaptées à toutes les régions de culture du maïs au Cameroun, c'est pourquoi cette étude utilise une modélisation basée sur une grille pour la ventilation spatiale des impacts sur l'aptitude et les rendements en vertu de deux scénarios de changement climatique au Cameroun.

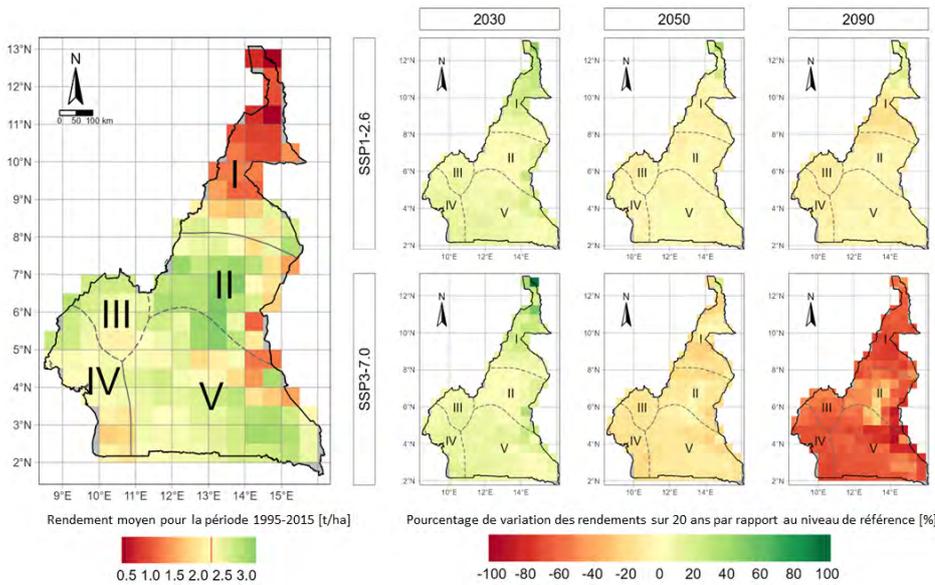


Figure 24 : Rendements de référence (grande carte, à gauche) et changements relatifs des rendements à venir (série de petites cartes, à droite) du cultivar résistant à la chaleur pour les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 et les trois intervalles temporels de référence (2030, 2050, 2090).

5.3.1 Potentiel d'atténuation des risques

Les impacts climatiques sur les rendements du cultivar synthétique résistant à la chaleur sont visiblement différents de ceux du cultivar de référence inadapté. Tandis que les impacts sur la moyenne des rendements sur une période de 20 ans en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 sont encore négatifs partout en 2050, ils ne prennent de l'importance que d'ici 2090, et les impacts sont beaucoup moins néfastes en vertu de SSP1-RCP2.6 avec peu ou presque pas de changement au niveau des tendances de rendements (Figure 24). Les pertes de rendements moyens au niveau national en 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 ne s'élèvent qu'à -6 %, à la grande différence du scénario SSP3-RCP7.0 où la moyenne des pertes nationales atteint -62 %. Le cultivar résistant à la chaleur réalise des gains de rendements dans la quasi-totalité des ZAE dans le futur à court terme, ceci est bien visible dans la ZAE (I) où les gains de rendements sont les plus élevés d'en moyenne 14 % et 18 % en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0 respectivement. Les gains de rendements relatifs moyens sont perdus d'ici 2050 et se transforment en pertes importantes d'ici 2090 en vertu de SSP3-RCP7.0 – mais les pertes de rendements moyens du cultivar adapté sont toujours moins fortes que celles du cultivar inadapté pour toutes les ZAE. Les différences entre les changements de rendements moyens sur toutes les ZAE sont faibles en vertu des deux scénarios. La perte la plus faible en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 concerne la ZAE (II) avec -56 % et la plus forte concerne la ZAE (I) avec -67 %. La ZAE (V) ne subit aucune baisse de rendements en vertu des deux scénarios (Figure 25), mais les niveaux de rendements absolus durant la seconde saison de croissance de la ZAE (V) sont si faibles que les autres ZAE ont de meilleurs résultats en vertu de SSP1-RCP2.6 jusqu'en 2100 et jusqu'en 2070 en vertu de SSP3-RCP7.0. La variabilité des rendements du cultivar adapté mesurée par son CV est donc moins affectée par le changement climatique, le CV moyen national augmentant légèrement à 18 %, sachant que sa valeur référentielle était de 11 %, en vertu de SSP1-RCP2.6, et de 29 % en vertu de

SSP3-RCP7.0. La plus grande variabilité est détectée à nouveau dans la ZAE (I). Les différences des niveaux de rendements entre scénarios deviennent apparentes en 2050 (Figure 25). Les niveaux de rendements continuent de décroître dans toutes les ZAE sauf dans la ZAE (V) en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 avec des baisses plus accentuées dans les ZAE (II) à (V), mais les différences de niveaux de rendements entre les ZAE (II) et (I) persistent.

L'utilisation des semences améliorées de maïs permet d'obtenir des niveaux de rendements plus élevés de maïs dans les conditions actuelles et dans les conditions de changement climatique.

Le cultivar résistant à la chaleur permet ainsi d'atténuer considérablement les impacts climatiques en vertu du scénario de réduction des émissions, mais il ne parvient pas à compenser toutes les pertes de rendements projetées pour les périodes à moyen et à long terme. Les pertes de rendements restent importantes en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 pour la période à long terme, ce qui montre que le degré de résistance à la chaleur simulé n'est pas suffisant pour supporter les hausses de températures attendues en vertu du scénario d'émissions élevées à la fin du 21^e siècle. La seconde saison de croissance de la ZAE (V) est en contradiction avec les résultats de toutes les autres ZAE, ce qui laisse supposer un effet de saisonnalité marqué sur les impacts du changement climatique pour les rendements. Si les semences améliorées sont développées, leur mise en œuvre devrait être accompagnée d'une gestion adaptée et d'offres de services de vulgarisation aux agriculteur-trice-s participant-e-s. La définition de dates de semis adéquates pourrait être une mesure supplémentaire pertinente pour préserver et améliorer les rendements de maïs conformément à nos résultats.



Figure 25 : Diagramme à barres des modifications des rendements moyens sur 20 ans du cultivar résistant à la chaleur par ZAE et scénario de changement climatique pour les trois périodes de référence 2030, 2050 et 2090. Les lignes horizontales rouges indiquent le changement moyen du cultivar pour chaque période.

5.3.2 Rapport coût-efficacité

L'analyse coûts-bénéfices (ACB) suivante examine si le passage des variétés traditionnelles de maïs aux semences améliorées résistantes à la chaleur représente une stratégie d'adaptation rentable. Les coûts et les avantages liés à l'utilisation de semences améliorées sont comparés à un scénario sans adaptation (référentiel) et projetés jusqu'en 2050, en considérant deux scénarios d'émissions. La rentabilité de l'investissement est testée et comparée au niveau national à partir des rendements nationaux moyens et de ceux de la région de l'Adamaoua au centre du Cameroun qui présente de forts rendements.

L'investissement initial nécessaire pour passer des variétés de maïs traditionnelles aux semences améliorées devient déjà rentable dès la deuxième année.

Les résultats de l'ACB centrée sur deux régions montrent qu'il est intéressant d'investir dans des variétés résistantes à la chaleur à la fois au niveau national et dans la région à haut rendement de l'Adamaoua (3 et 4). Au niveau national (3), le taux de rendement interne (TRI) atteint des niveaux maximums en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 où il atteint 110 %. Le TRI est légèrement plus faible (90 %) en vertu du scénario SSP3-RCP7.0, car les rendements de maïs sont moins performants en vertu du scénario d'émissions élevées que du scénario de réduction des émissions. Les très fortes valeurs du TRI présentées ici ne sont pas rares en ce qui concerne les investissements dans les semences

améliorées, car même de légères modifications au niveau des dépenses contrastent avec les hausses de rendements très élevées et les revenus substantiels qui en découlent (voir aussi Lotze-Campen et al., 2015). Le rapport avantages-coûts (A/C) de plus de 2,1 en vertu des deux scénarios d'émissions montre que les avantages sont deux fois plus élevés que les coûts.

Dans la région de l'Adamaoua aussi, l'investissement dans la variété résistante à la chaleur est rentable. Le rendement est ici de 64 % pour le scénario de réduction des émissions et de 49 % pour le scénario d'émissions élevées. Le rapport A/C est légèrement moins bon qu'au niveau national, mais il présente tout de même un bon rapport de 1,75 et 1,74.

Même si les rendements de maïs absolus dans l'Adamaoua sont considérablement plus élevés qu'au niveau national, la différence de rendement entre le maïs conventionnel (CMS) et la variété améliorée est plus faible qu'au niveau national. Cela pourrait être dû au fait que la variété traditionnelle (CMS) présente déjà un avantage géographique dans la région à fort rendement de l'Adamaoua (voir l'explication ci-dessus). Cela signifie que le potentiel d'amélioration, même s'il est encore important, n'est pas aussi considérable au niveau national (en cas de référentiel / rendement référentiel plus faible), ce qui explique la raison pour laquelle l'ACB présente une performance légèrement meilleure au niveau national que dans l'Adamaoua.

	Adaptation en vertu de SSP1-RCP2.6	Adaptation en vertu de SSP3-RCP7.0
VAN (Valeur actuelle nette)	782,036 FCFA	768,912 FCFA
TRI (Taux de rendement interne)	110 %	90 %
A/C (Rapport avantages-coûts)	2.18	2.16

Tableau 6 : Résumé des indicateurs clés de l'ACB pour un passage aux semences améliorées de maïs résistantes à la chaleur au niveau national au Cameroun.

Au niveau national, le flux de trésorerie net⁴ est déjà positif à partir de la deuxième année en vertu des deux scénarios d'émissions (Figure 26) en débutant à 31 000 FCFA (SSP1-2.6) et à 25 000 FCFA (SSP3-7.0). Au cours des décennies ultérieures, il se développe de la même manière pour atteindre environ 50 000 FCFA par hectare d'ici au milieu du siècle. Les hauts et les bas sont le résultat des fluctuations des rendements et, en conséquence, des revenus des agriculteur-trice-s.

Le flux de trésorerie net pour l'investissement dans des variétés résistantes à la chaleur dans la région de l'Adamaoua est positif à partir de la deuxième année, mais pas aussi élevé qu'au niveau national (Figure 27). Il débute à environ 15 000 FCFA en vertu du scénario SSP1-2.6 et à environ 7 000 FCFA en vertu du scénario SSP3-7.0. Au fil du temps, il augmente pour atteindre près de 40 000 FCFA en vertu du scénario d'émissions élevées. Comme dans le cas du flux de trésorerie au niveau national, les hauts et les bas suivent les fluctuations de revenus des agriculteur-trice-s par rapport aux fluctuations annuelles de rendements.

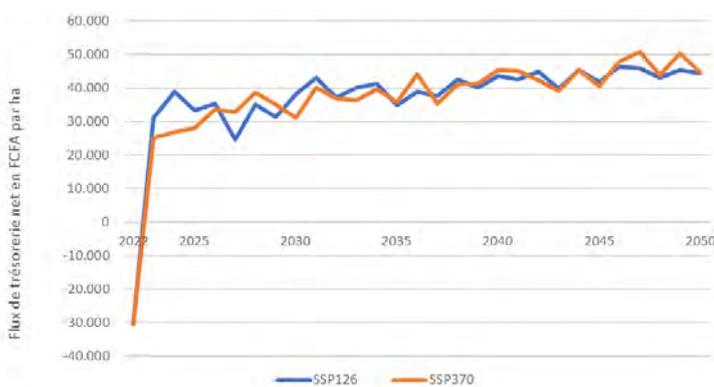


Figure 26: Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans des semences améliorées en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0 au niveau national.

	Adaptation en vertu de SSP1-RCP2.6	Adaptation en vertu de SSP3-RCP7.0
VAN	501,380 FCFA	492,116 FCFA
TRI	64 %	49 %
A/C	1.75	1.74

Tableau 7 : Résumé des indicateurs clés de l'ACB pour un passage aux semences améliorées de maïs résistantes à la chaleur dans la région de l'Adamaoua au Cameroun.

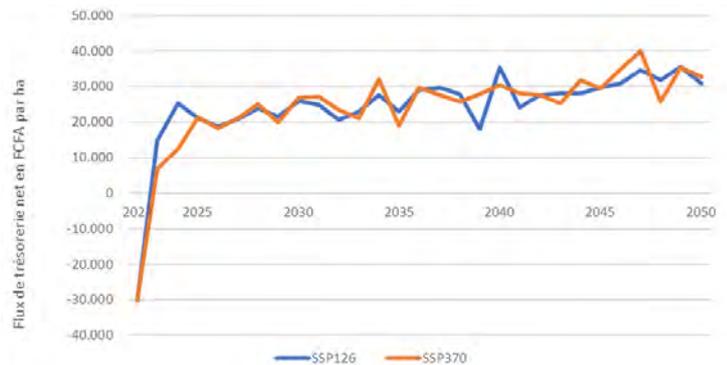


Figure 27: Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans des semences améliorées en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0 dans la région de l'Adamaoua.

5.3.3 Avantages conjoints et enjeux

Les précédentes évaluations concernant la rentabilité ont montré que le recours aux variétés de semences améliorées pouvait générer des taux d'intérêt élevés (voir par ex. Lotze-Campen et al., 2015). Comme le maïs est une plante sensible à la chaleur, toute amélioration de sa résistance thermique est particulièrement efficace, ainsi que l'indique cette ACA. Toutefois, la comparaison de deux régions camerounaises différentes montre que l'ampleur de ces avantages peut différer en fonction des facteurs affectant la production du maïs et sa commercialisation dans d'autres régions du Cameroun ou d'autres pays (Kaliba et al., 2017). D'une part, des conditions agroécologiques spécifiques et des méthodes de gestion utilisées par les agriculteur-trice-s peuvent affecter les rendements, et d'autre part, la demande du marché en maïs peut, par exemple, considérablement en influencer le prix.

En outre, la plupart des semences au Cameroun sont des races primitives conservées par les agriculteur-trice-s (Mafouasson et al., 2020). Le maïs est la céréale la plus cultivée dans le pays, et elle fournit plus de 20 % des calories consommées au Cameroun (Etoundi & Dia, 2008 ; Manu et al., 2015). C'est aussi la principale source de revenus pour plus de 3 millions de petit-e-s exploitant-e-s (Engwali et al., 2019). Le développement de semences améliorées de maïs présente donc un fort potentiel comme stratégie d'adaptation au changement climatique. Comme la demande en maïs est élevée au Cameroun tout comme dans les pays voisins (Mireille et al., 2009), les avantages économiques générés pourraient aussi être non négligeables. Toutefois, la distribution officielle de semences améliorées est difficile. Takam-Fongang

4) Comme l'exige une ACB, le flux de trésorerie net ne fait référence qu'aux investissements réalisés et aux variables de production qui s'ensuivent, pas à l'ensemble du système de production du maïs.

Impacts sur le maïs conventionnel		Tendance passée	Tendance à venir	Certitude	
	Aptitude	77 % suitability of the country's territory	SSP1-RCP2.6 Baisse -19 à -71 % SSP3-RCP7.0 Baisse -22 à -28 %	Forte	
	Rendements	2.1 t/ha	SSP1-RCP2.6 Baisse de 34 % en 2090 SSP3-RCP7.0 Baisse de 79 % en 2090	Forte	
	Rendements potentiels avec les semences améliorées	-	SSP1-RCP2.6 Baisse de 6 % en 2090 SSP3-RCP7.0 Baisse de 62 % en 2090	Forte	
	Analyse coûts-bénéfices (ACA) pour le maïs adapté	Niveau national	-	SSP1-RCP2.6 Augmentation VAN 782 036, TRI +110 %, A/C 2,18 SSP3-RCP7.0 Augmentation VAN 768 912, TRI +90 %, A/C 2,16	liée à la certitude des projections de rendement et d'autres données d'entrée
		Adamaoua	-	SSP1-RCP2.6 Augmentation VAN 501 380, TRI +64 %, A/C 1,75 SSP3-RCP7.0 Augmentation VAN 492 116, TRI +49 %, A/C 1,74	liée à la certitude des projections de rendement et d'autres données d'entrée

Résumé des impacts du changement climatique sur les rendements du maïs conventionnel et du maïs tolérant à la chaleur.

et al., (2018) ont notamment constaté que plus l'établissement de l'IRAD le plus proche était éloigné, plus leur adoption diminuait. Le pays est également confronté à un manque de programmes de vulgarisation et de soutien cohérents concernant les semences améliorées de semences, avec une faible contribution du secteur privé dans la distribution et l'accès aux semences (Mafouasson, 2020). Aussi, le nombre de producteurs de semences et de transformateurs de maïs privés, qui pourraient soutenir la distribution et la propagation des semences, est en baisse (Mafouasson, 2020).

La question des coûts constitue l'une des préoccupations majeures entourant les semences améliorées. Beaucoup de petit-e-s exploitant-e-s risquent de ne pas pouvoir accéder aux semences améliorées en raison de leur prix plus élevé, ce qui limiterait leur accès à ces ressources. La disponibilité de semences améliorées dans les zones rurales représente un autre problème. Les agricultrices et les agriculteurs situés dans des zones éloignées ou difficiles d'accès risquent de ne pas pouvoir se procurer ces semences en raison de problèmes de logistique ou de transport. Et même s'ils y ont accès, ces frais risquent d'être répercutés sur le prix final, ce qui impactera négativement leur profit économique. En raison du manque de données spécifiques, ces problèmes n'ont pas pu être pris en compte dans cette ACA. Davantage d'études seraient nécessaires pour prendre ces aspects supplémentaires en considération.

5.3.4 Opportunités pour les femmes et d'autres groupes sociaux concernant la stratégie d'adaptation constituée par l'adoption de semences améliorées

Diverses études suggèrent que le genre et d'autres facteurs sociaux influent sur l'adoption de semences améliorées de maïs en tant que stratégie d'adaptation au

changement climatique. Plus fréquemment que les hommes, les femmes rencontrent des difficultés à adopter des semences améliorées de semences, comme l'indique le faible taux d'adoption des semences améliorées de maïs au Cameroun (Manu et al., 2015). Résultant de l'éducation, de visites d'agents de vulgarisation et de l'accès aux informations pertinentes, la prise de conscience a été mise en lumière comme étant un facteur important à la base de l'adoption de semences améliorées de maïs dans d'autres régions d'Afrique (Fisher et al., 2019). En outre, différentes études soulignent le rôle des réseaux pour l'adoption de variétés de semences améliorées (Fisher et al., 2019 ; Otieno et al., 2021). Tandis que les hommes ont tendance à profiter d'un meilleur accès aux semences améliorées via des réseaux de semences et des services de vulgarisation officiels, les femmes se tournent plus probablement vers des réseaux informels entre agriculteur-trice-s où l'accès aux semences améliorées est plus difficile et, de ce fait, rendent leurs revenus et leur sécurité alimentaire plus vulnérables (Otieno et al., 2021).

5.4 Résumé

Même si l'on constate des disparités au niveau spatial et temporel, le changement climatique devrait avoir des impacts négatifs sur le maïs. Dans la ZAE (I), les rendements de maïs diminueront de jusqu'à -84 % d'ici à 2090 en vertu de SSP3-RCP7.0. Les modèles culturels montrent que les zones propices au maïs se réduiront au Cameroun, surtout en vertu de SSP3-RCP7.0. La stratégie d'adaptation préconisant le recours aux semences améliorées est rentable et peut être recommandée pour s'adapter aux changements climatiques projetés. Le succès de la mise en œuvre dépendra d'une conception spécifique au contexte qui tiendra compte des différentes réalités biophysiques dans lesquelles elles seront appliquées, notamment les conditions agroécologiques.



6. Évaluation des impacts climatiques et des options d'adaptation pour le manioc

Le manioc est un tubercule riche en amidon et une culture de base essentielle dans les régions plus humides du Cameroun, car elle requiert beaucoup d'eau au cours de sa longue saison de croissance. C'est la plante à racines et tubercules la plus consommée dans le pays (Poubom et al., 2005) et ses feuilles sont aussi un légume riche en nutriments largement consommé (Sarr et al., 2013). Malgré sa versatilité et le fait qu'il pourrait faire l'objet d'un traitement industriel, le manioc est longtemps resté une culture de subsistance, car il est cultivé dans des régions où le développement d'infrastructures est limité, et les capacités de stockage inadéquates entraînent une détérioration rapide et des pertes massives post-récoltes (Njukwe et al., 2014a ; 2014b). Le

manioc pousse bien dans des sols acides et peu fertiles courants dans les zones tropicales humides, mais il conduit à un fort épuisement des nutriments s'il pousse en continu sans période de jachère. C'est un phénomène courant au Cameroun dû à la pression démographique qui entraîne une hausse de la demande de la part des centres urbains et de l'industrie alimentaire (Sarr et al., 2013). La gestion durable de la fertilité des sols est une stratégie d'adaptation prometteuse permettant de rendre le manioc plus résistant au climat (USAID, 2018).

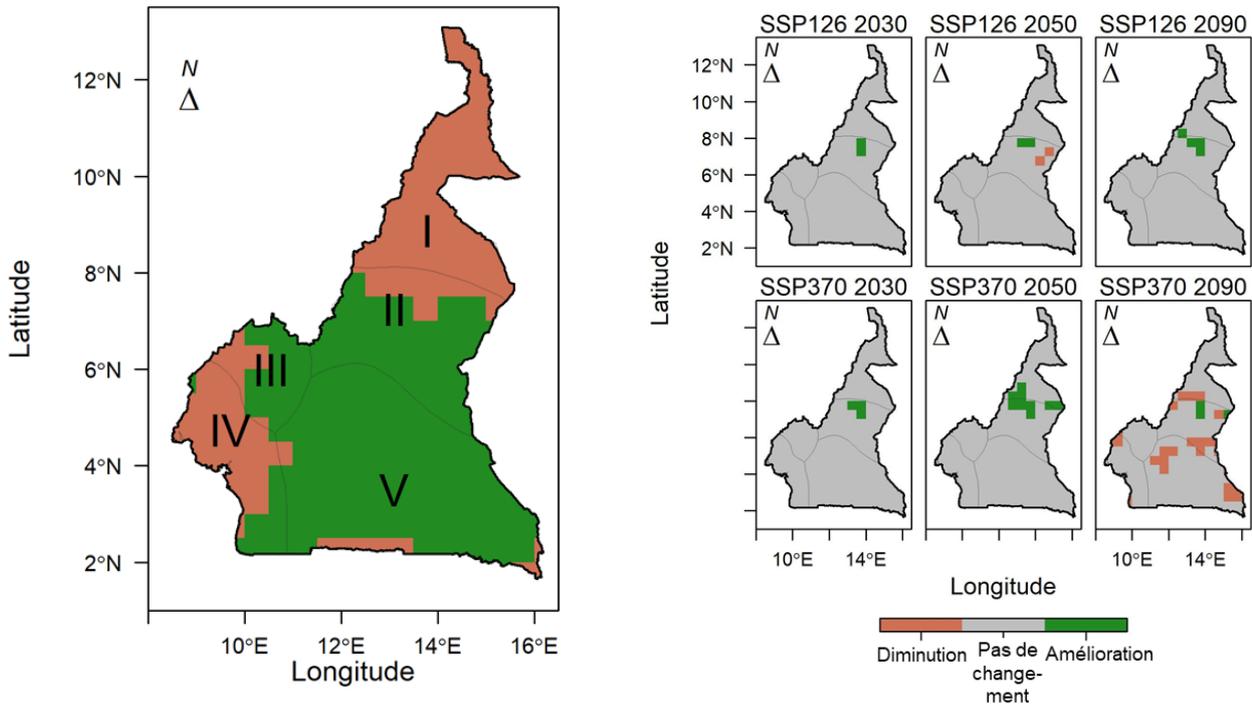


Figure 28 : Aptitude culturelle actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du manioc au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).

6.1 Évaluation de l'aptitude culturelle et changement des conditions climatiques

Les impacts climatiques sur l'aptitude du manioc sont présentés à la Figure 28. Les projections indiquent que la majeure partie du pays devrait maintenir son niveau d'aptitude à la production du manioc, en particulier en vertu du scénario de réduction des émissions. Contrairement au maïs, le manioc est moins vulnérable aux risques climatiques comme la sécheresse ou une pluviométrie irrégulière, par exemple à la floraison (Jarvis et al., 2012), ce qui expliquerait l'effet marginal des changements climatiques sur l'aptitude future. En vertu du scénario d'émissions élevées, des baisses minimales sont projetées pour 2090, surtout dans la ZAE (V), et même quelques zones supplémentaires deviendront plus propices à la production de manioc en 2050 à la limite des ZAE (I) et (II). Les interactions entre les hausses de températures et de précipitations dans la zone soudano-sahélienne (I) déterminent ici la hausse de l'aptitude. En conclusion, les modifications nettes de l'aptitude au manioc au niveau national indiquent que cette aptitude restera largement stable au Cameroun pour le scénario de réduction des émissions et présentera une variation minimale en vertu du scénario d'émissions élevées (Figure 29).

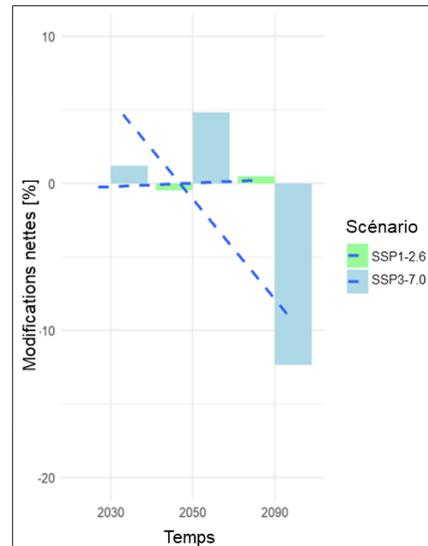


Figure 29 : Modifications nettes [%] de l'aptitude au manioc.

Scénarios	Années	Baisse	Pas de changement	Amélioration
SSP1-RCP2.6	2030	0.73	98.54	0.73
	2050	1.94	96.61	1.45
	2090	0.97	97.58	1.45
SSP3-RCP7.0	2030	0.24	98.31	1.45
	2050	1.21	92.74	6.05
	2090	14.77	82.81	2.42

Tableau 9 : Évolution de l'aptitude du manioc [%] dans le contexte du changement climatique

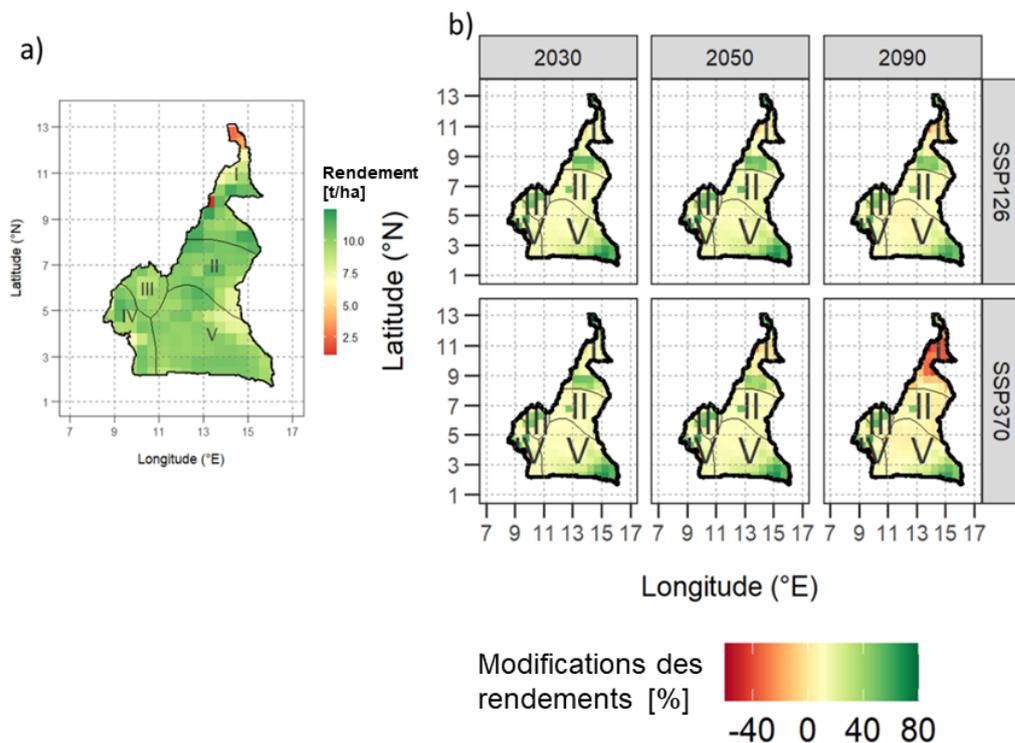


Figure 30 : Modifications des rendements (%) de manioc actuelles (a) et projetées à l'avenir (b) au Cameroun avec un intervalle de quadrillage de 0,5° en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et de RCP7.0 (rangée inférieure) pour 2030, 2050 et 2090.

6.2 Évaluation des pertes de rendements du manioc dans les conditions climatiques à venir

La moyenne nationale des rendements de manioc des petites exploitations camerounaises de 1995 et 2015 était de 10 t/ha, l'estimation calculée par notre modèle étant de 9,7 t/ha. La distribution des rendements de manioc par notre modèle est montrée à la Figure 30a. Ces rendements sont bien inférieurs aux rendements de manioc attendus qui peuvent être obtenus soit dans les conditions environnementales soit suivant les caractéristiques génétiques des variétés de manioc plantées dans le pays. L'intensité de la production de manioc est plus élevée dans les régions du Centre, du Sud et de l'Ouest du pays. Cependant, les potentiels de rendements sont au plus haut dans les parties sud-est du pays où les quantités de précipitations ont tendance à être plus élevées. Les hauts plateaux, les zones forestières monomodale et bimodale présentent de vastes surfaces avec un fort potentiel de rendements de manioc (>10t/ha) dans les conditions climatiques actuelles (Figure 30a). Les ZAE des hautes savanes et soudano-sahélienne présentent des surfaces où les rendements de manioc sont les plus faibles du Cameroun.

Le modèle cultural APSIM basé sur les processus a été utilisé pour réaliser la projection des rendements de manioc dans le contexte du changement climatique. APSIM simule la croissance du manioc en se basant sur les données météorologiques, les caractéristiques du sol et les informations sur la gestion des cultures.

La figure 30 montre les changements futurs projetés en pourcentage par rapport à la ligne de base dans les rendements de manioc à travers les ZAE du Cameroun pour 2030 (première colonne), 2050 (deuxième colonne), et 2090 (troisième colonne) sous SSP1-RCP2.6 (ligne supérieure) et SSP3-RCP7.0 (ligne inférieure) par ZAE. Les impacts climatiques sur les rendements de manioc montrent des disparités spatiales et temporelles avec des tendances générales montrant qu'ils s'aggravent avec le temps de 2030 à 2090 et avec le scénario de SSP1-RCP2.6 à SSP3-RCP7.0. Nous prévoyons une perte de rendement à l'échelle de ZAE allant jusqu'à 30 % (SSP1-RCP2.6) et 35 % (SSP3-RCP7.0) vers 2030, 30 % (SSP1-RCP2.6) et 35 % (SSP3-RCP7.0) vers 2050, et 35 % (SSP1-RCP2.6) et 40 % (SSP3-RCP7.0) vers la fin du siècle (figure 30b).

Les pertes de manioc les plus élevées pour la plupart des périodes et des scénarios sont prévues pour la ZAE I, où, d'ici 2090, les rendements diminueront de 6 % et 30 % pour les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0, respectivement, et jusqu'à 10,5 % (SSP1-RCP2.6) et 38,8 % (SSP3-RCP7.0) d'ici la fin du siècle. Plus de 30 % de pertes de rendement pour le manioc sont prévus pour les ZAE I et II d'ici la fin du siècle dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0. Certains effets positifs sur le rendement du manioc sont prévus dans les ZAE III, IV et V dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6. Les impacts climatiques sur les rendements de manioc sont pires dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0 que dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6 pour tous les scénarios. A l'échelle nationale (Figure 31), nous prévoyons une perte de rendement allant jusqu'à 15 % dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6 d'ici 2090 et jusqu'à 28 % dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0 d'ici 2090.

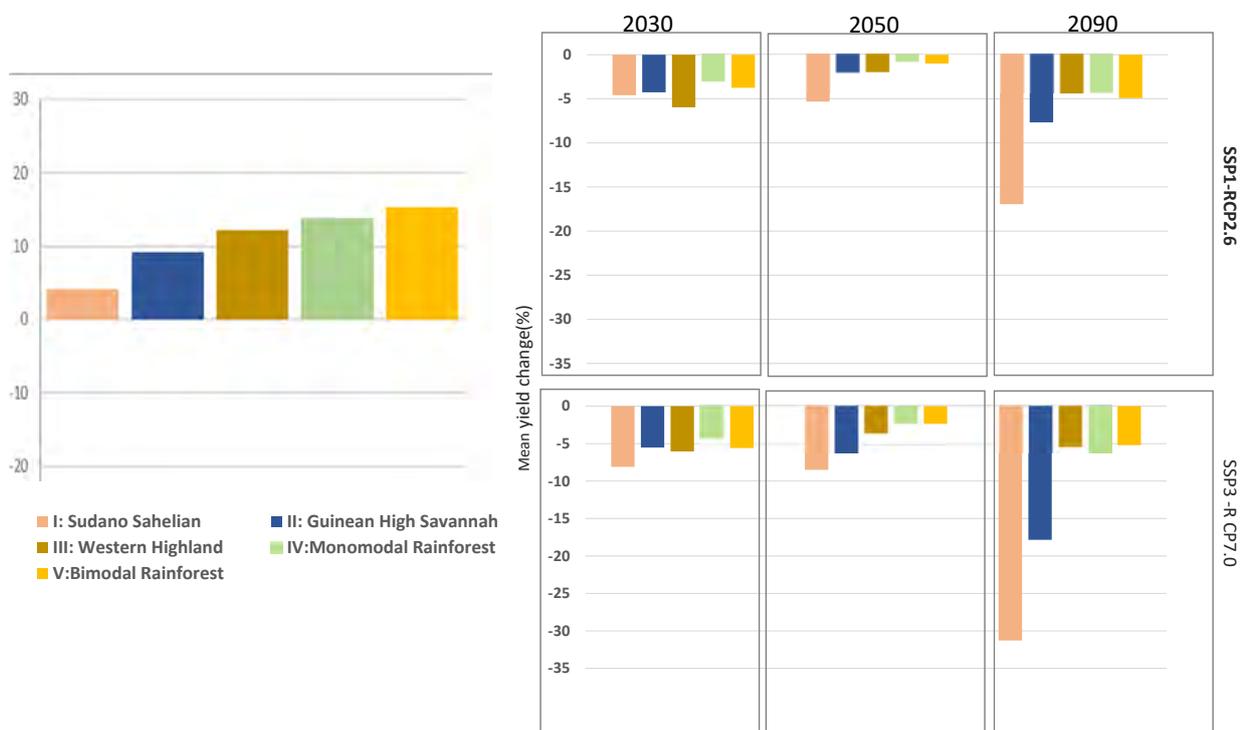


Figure 31 : Impacts climatiques simulés sur les rendements de manioc au niveau régional au Cameroun pour les périodes 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

La conclusion de cette évaluation est que le changement climatique aura des impacts sur les rendements de manioc au Cameroun, surtout dans les ZAE (IV) et (V) où la densité de manioc est la plus élevée, à partir de 2030 et avec des impacts plus graves en vertu du scénario SSP3-RCP7.0. Cela s'explique par le fait que même si ces régions présentent et maintiendront une enveloppe climatique adaptée comme le montrent les projections sur l'aptitude, les rendements sont influencés par d'autres facteurs outre le climat, et que le changement climatique aura aussi des répercussions sur ces facteurs. Nos projections indiquent des pertes de rendements de jusqu'à -60 % vers la fin du siècle. Les effets liés à la fois à l'eau et aux températures expliquent les modifications de rendements, les hausses de températures ayant des impacts plus importants que les changements projetés au niveau des précipitations, car les rendements de manioc devraient rester inchangés dans les régions où la pluviométrie devrait rester stable ou augmenter (voir chapitre 1). Il convient de noter que non seulement la sécheresse conduit à des baisses de rendements au Cameroun, mais aussi les inondations et la saturation en eau de la partie racinaire sont nocives à la croissance et aux rendements du manioc, notamment si ces problèmes surviennent aux premières étapes de la croissance de la plante. Les pertes de rendements du manioc sont cependant inférieures aux pertes connues par d'autres cultures au Cameroun, ce qui montre que, comparé à d'autres plantes, le manioc est tout de même résistant au climat.

L'analyse montre que le changement climatique aura des impacts négatifs sur les rendements de manioc au Cameroun avec des impacts plus graves en vertu de SSP3-RCP7.0.

6.3 Option d'adaptation : Gestion intégrée de la fertilité des sols

Répondre à la demande alimentaire en se limitant aux terres agricoles sans empiéter davantage sur les écosystèmes naturels tels que les forêts, les zones humides et les savanes représente l'un des plus grands enjeux actuels (Cassman & Grassini, 2020). On constate de gros écarts de rendements, c'est-à-dire la différence entre les rendements possibles sous une gestion optimale et les rendements effectivement obtenus sous la gestion actuelle (Cassman, 2012) pour les cultures comme entre autres le manioc, le maïs, les haricots, le taro et la banane plantain (Sadras et al., 2015 ; Djurfeldt et al., 2019). Comme le montrent les projections, avec la baisse de l'aptitude et des rendements déjà faibles de cultures essentielles telles que le manioc, des méthodes d'intensification durables sont nécessaires pour accroître la production et amortir les chocs climatiques tout en minimisant la détérioration de l'environnement. Parmi les stratégies les plus prometteuses à l'égard de l'intensification durable des systèmes culturaux, on peut citer la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS).

La GIFS intègre des pratiques de gestion adaptées aux conditions locales qui recourent de manière efficace aux sources de fertilité minérales et organiques, aux variétés de cultures améliorées pour régénérer les nutriments des sols et améliorer l'efficacité agronomique et la production agricole (Vanlauwe et al., 2010). En d'autres termes : l'amélioration de la fertilité des sols correspond à l'adoption de manière cohérente, appropriée et intégrée de plusieurs méthodes en se basant sur les connaissances des facteurs agricoles et environnementaux. Ainsi, l'augmentation de la productivité agricole est influencée par les nutriments des sols combinés à des compétences en gestion agricole efficaces et efficaces. Les interventions de GIFS varient et peuvent inclure l'application d'engrais (organiques et non-organiques), la collecte des eaux (paillage), la culture intercalaire et le fumier de ferme. Comme alternative aux engrais minéraux, les engrais organiques sont recommandés pour améliorer la productivité des sols dans les systèmes agricoles africains en raison de leurs effets bénéfiques sur la productivité (Harrag et al., 2021), sur les propriétés physiques et chimiques des sols et sur les rendements (Al-Gaadi et al., 2019 ; Biratu et al., 2019 ; Ngosong et al., 2015). Les études menées au Cameroun sur la fertilisation du manioc (par ex. Temegne & Ngome, 2017 ; Bilong et al., 2017) montrent des résultats positifs sur les rendements de manioc. Bilong et al., (2022) ont utilisé le tournesol mexicain (*Tithonia diversifolia*) afin de déterminer les effets des engrais organiques sur les propriétés physiques des sols ainsi que sur la croissance et les rendements de manioc. *Tithonia diversifolia* présente les paramètres chimiques suivants : carbone 24,8 %, azote 3,47 %, rapport C/N 7,15 ; phosphore 0,6 %, potassium 3,8 %, calcium 3,06 %, magnésium 0,54 % (Bilong et al., 2022).

Leurs résultats, ainsi que ceux issus d'autres études, montrent que *Tithonia* présente un fort potentiel de régénération des sols (Ojeniyi, 2012 ; Agbede et al., 2014) et de gestion de la santé de

la plante en raison de la présence de lactones sesquiterpéniques (terpène tagitinine) et d'autres substances antimicrobiennes contre les parasites et les maladies (Adoyo, Mukalam, et Enyola, 1999). Les études ont montré que, comparée aux pratiques traditionnelles, la GIFS peut avoir des effets positifs sur la productivité culturale (Dai et al., 2010 ; Manzeke et al., 2012 ; Ram et al., 2016 ; Ngosong et al., 2015). Divers avantages de la GIFS pour l'environnement, l'économie et la production ont été relevés à l'égard de différents systèmes et gradients climatiques (par ex. Ngwira, Aune et al., 2014 ; Mupangwa, Mutenje et al., 2017 ; Jat, Choudhary et al., 2020 ; Devkota et al., 2022 ; Muyayabantu et al., 2013) ainsi que sur les rendements de manioc (par ex. Pypers et al., 2011 ; Biratu et al., 2018).

Malgré les preuves irréfutables des effets positifs de la GIFS sur les rendements des cultures, le développement de cette stratégie reste difficile (par ex. Vanlauwe et al., 2015) au Cameroun. L'hétérogénéité des systèmes de gestion environnementaux et agricoles, la réponse des rendements agricoles, la stabilité des rendements et la rentabilité de la GIFS varient. Par exemple, Vanlauwe et al., (2015) ont remarqué, à l'échelle de la ferme, qu'il était nécessaire de dégager une meilleure compréhension des interactions entre les conditions de fertilité des sols, les pratiques de gestion des cultures et des terres et les rendements, comme étant la base permettant de faire ressortir la grande variabilité souvent observée dans les résultats des pratiques de GIFS, pour élaborer des recommandations spécifiques au ménage et au site. De ce fait, les résultats des expériences de GIFS, spécifiques au site, pourraient servir d'« instruments de mesure » pour développer la GIFS au niveau national, puisque des facteurs biophysiques et socio-économiques liés à la ferme même restreignent l'impact de la GIFS sur les rendements des cultures.

6.3.1 Potentiel d'atténuation des risques

Nous avons appliqué une approche de modélisation culturale quadrillée pour simuler la réponse des rendements de manioc à la GIFS au Cameroun afin de fournir une meilleure compréhension de la performance de la GIFS dans l'espace et dans le temps, d'éviter ainsi toute adaptation inefficace et d'améliorer les recommandations agronomiques plus ciblées et les investissements durables pour l'intensification. En outre, nous avons fourni une évaluation de la performance potentielle de la GIFS comme mesure d'adaptation dans les conditions climatiques projetées pour le pays. Plusieurs études ont simulé les impacts de la GIFS avec APSIM en utilisant des valeurs expérimentales pour paramétrer, calibrer et étalonner le modèle (Nezomba et al., 2018 ; Dimes et al., 2003). Toutefois, aucune étude n'a développé de protocoles pour simuler les impacts de la GIFS sur la réponse des rendements de manioc à l'échelle d'une grille. Des suppositions spécifiques ont donc dû être avancées à l'égard des effets de la GIFS sur les dynamiques des sols et de l'eau. Les ajustements suivants ont donc été

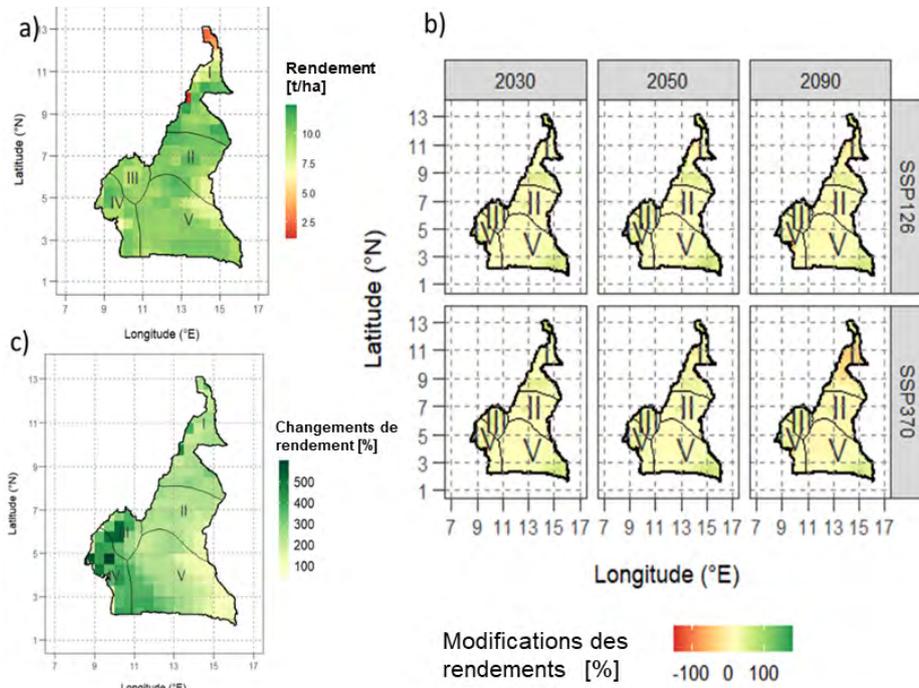


Figure 32 : Carte de la distribution spatiale quadrillée des projections de rendements du manioc avec GIFS au Cameroun en vertu de différents scénarios et périodes.

effectués dans le modèle APSIM pour émuler la GIFS sur une grille du Cameroun :

- Augmentation de la gestion des mauvaises herbes
- Augmentation de l'azote initial dans les sols (Dusserre, Autfray et al., 2020 ; Rani, Bandyopadhyay et al., 2020 ; Bilong et al., 2017 ; Adams et al., 2020)
- Augmentation du carbone dans les sols dans le cadre de la GIFS (Bilong et al., 2017 ; Adams et al., 2020)

Dans notre analyse, nous ne prenons pas en compte le paillage et les rotations de cultures parce que les sources et la qualité des matériaux externes pour le paillage, au-delà des résidus, sont très incertaines pour les petit-e-s exploitant-e-s. En outre, nous tenons compte d'une culture continue du manioc avec une période de jachère pour permettre une évaluation du changement climatique à long terme. Nous choisissons également un système de GIFS qui réduit les besoins en main-d'œuvre et en apport de carburant

en limitant autant que possible les intrants externes. Le modèle APSIM a été utilisé pour modéliser les composants organiques des sols.

Le recours à la GIFS conduit à des rendements de manioc plus élevés dans les conditions actuelles et dans les conditions du changement climatique dans la plupart des régions.

Nos résultats montrent que la GIFS augmente les rendements dans toutes les ZAE dans les conditions climatiques actuelles. Conformément à la figure 33b, les résultats montrent que, comparé au référentiel, les plus fortes hausses de rendements concernent les provinces des hauts plateaux (500 %). Aucun impact négatif de la GIFS n'est observé dans les conditions climatiques actuelles.

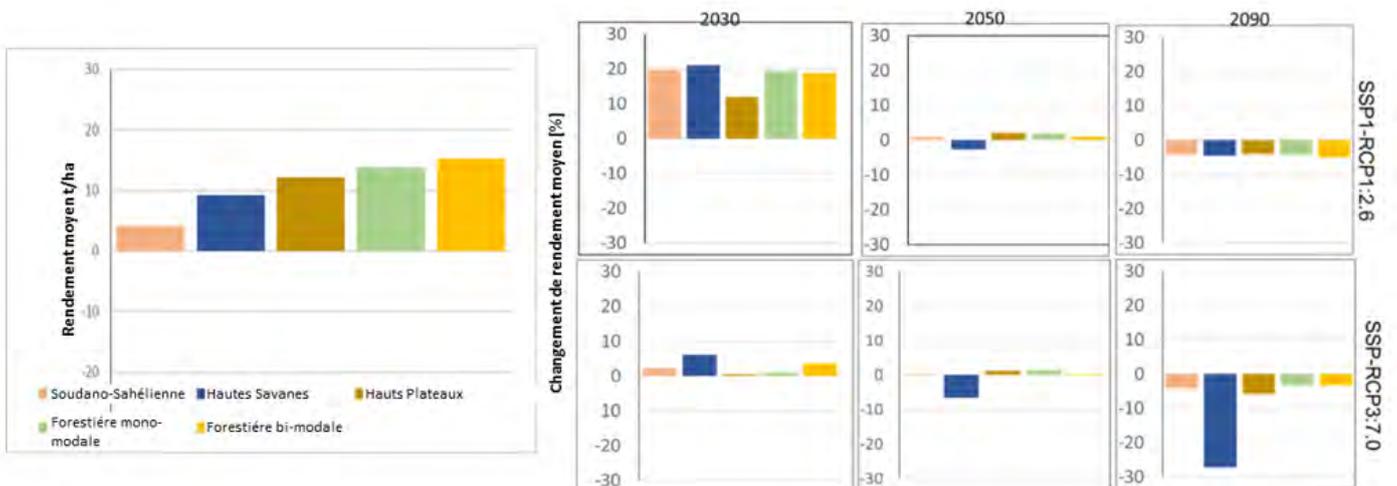


Figure 33 : Impacts potentiels de la GIFS sur les rendements de manioc de chaque ZAE au Cameroun pour les périodes 2030, 2050 et 2090 en vertu du SSP1-RCP2.6 et du SSP3-RCP7.0.

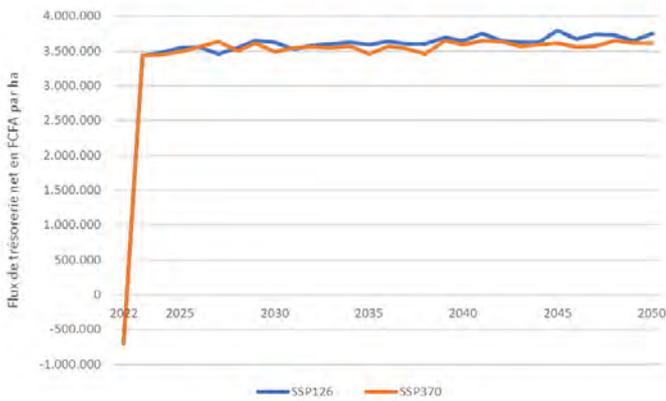


Figure 34 : Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans la GIFS en vertu de SSP1-2.6 et SSP3-7.0.

Nos projections montrent qu'en vertu du scénario SSP1-RCP2.6, les réponses des rendements varient. Elles sont plus élevées dans les parties des ZAE (III), (IV) et (V) comparées au rendement référentiel (Figure 33a) et, dans les parties nord, faibles à négatives dans les ZAE (I) et (II), bien qu'elles soient positives pour toutes les ZAE dans les conditions climatiques actuelles (Figure 33b). L'effet de la GIFS par rapport au changement climatique correspond à sa réponse actuelle en rendements : les avantages seront plus forts pour les ZAE où ces rendements sont déjà élevés dans les conditions climatiques actuelles. Les ZAE (IV) et (V) présentent le plus grand potentiel par rapport à la GIFS avec des hausses de rendements de jusqu'à + 40 % en fonction de la période et du scénario au niveau des provinces. Cependant, en vertu du SSP3-RCP7.0, toutes les ZAE montrent des pertes en potentiel de compensation de la GIFS par rapport au changement climatique, probablement en raison de l'impact des hausses de températures sur les rendements, car la GIFS agit principalement sur la qualité des sols. En vertu de SSP3-RCP7.0, les bénéfices en rendements liés à la GIFS déclinent avec le temps, avec des valeurs maximales dans l'avenir proche et minimales vers la fin du siècle pour toutes les ZAE.

6.3.2 Rapport coût-efficacité

L'analyse coûts-bénéfices (ACA) suivante cherche à évaluer si l'application de la GIFS basée sur le paillage de biomasse composée de *Tithonia* et de *Mucuna* dans la production de manioc représente une stratégie d'adaptation rentable. Les coûts et les avantages liés à l'utilisation de la GIFS sont comparés à la production conventionnelle de manioc et projetés jusqu'en 2050 en vertu de deux scénarios de changement climatique.

L'investissement initial nécessaire de la GIFS est relativement peu important et très profitable avec un TRI de près de 500 % en vertu des deux scénarios d'émissions.

Les résultats montrent clairement que la mise en œuvre de la GIFS sur les champs de manioc au Cameroun est très

avantageuse. Les indicateurs économiques clés, tels qu'ils sont présentés au tableau 10, montrent des performances de même niveau pour les deux scénarios climatiques, mais le scénario de réduction des émissions obtient des résultats légèrement meilleurs. Le taux de rendement extrêmement élevé de près de 500 % pour les deux scénarios climatiques et la VAN très élevée sont dus au fait que les projections de rendements prédisent une hausse considérable des rendements de manioc grâce à l'utilisation de la GIFS, ce qui entraîne une forte hausse des bénéfices. En outre, la culture de la *Mucuna* crée un nouveau flux de revenus pour les agriculteur-trice-s avec un supplément de coûts et de travail négligeable. Même les coûts de main-d'œuvre élevés liés à la *Tithonia* sont facilement compensés par notre modèle : pour les deux scénarios climatiques, les bénéfices sont six fois plus élevés que les coûts.

	Adaptation en vertu de SSP1-RCP2.6	Adaptation en vertu de SSP3-RCP7.0
VAN (Valeur actuelle nette)	74,588,373	73,473,560
TRI (Taux de rendement interne)	487 %	485 %
A/C (Rapport avantages-coûts)	5.64	5.57

Tableau 10 : Résumé des indicateurs clés de l'ACA pour l'investissement dans la GIFS.

En raison des faibles coûts d'investissements initiaux, le flux de trésorerie net⁵ (Figure 34) est positif dès la deuxième année, avec près de 3,5 millions FCFA par ha. Au fil du temps, il continue d'augmenter en vertu des deux scénarios, mais le scénario SSP1-2.6 obtient légèrement de meilleurs résultats sur la durée. Les hauts et les bas illustrés sont le résultat des fluctuations des rendements et, en conséquence, des revenus des agriculteur-trice-s.

Ainsi, le flux de trésorerie considérablement élevé s'explique aussi dans notre modèle par les énormes différences de gains entre les scénarios sans et avec adaptation. En 2050, le flux de trésorerie net en vertu de SSP1-RCP2.6 atteint 3 743 976, et celui en vertu de SSP3-RCP7.0 atteint 3 612 574.

6.3.3 Avantages conjoints et enjeux

En raison des coûts d'investissements initiaux relativement bas de la GIFS, les gains de rendements et économiques bénéficient directement aux petit-e-s exploitant-e-s. Comme les données suggèrent que l'effet fertilisant de la *Tithonia* et de la *Mucuna* est énorme comparé à la culture non fertilisée du manioc et qu'il conduit à une hausse des rendements de 200 % suivant nos projections de rendements, cette mesure prouve qu'elle est extrêmement profitable.

5) Comme l'exige une ACB, le flux de trésorerie net ne fait référence qu'aux investissements réalisés et aux variables de production qui s'ensuivent, pas à l'ensemble du système de production du manioc.

Impacts sur la culture du manioc		Tendance passée	Tendance à venir	Certitude
	Aptitude	-	SSP1-RCP2.6 Relativement stable SSP3-RCP7.0 Relativement stable	Forte
	Rendements	Augmentation 10 t/ha	SSP1-RCP2.6 Baisse de 35 % en 2090 SSP3-RCP7.0 Baisse de 40 % en 2090	Moyenne à forte
	Rendements potentiels avec la GIFS	-	SSP1-RCP2.6 Augmentation SSP3-RCP7.0 Baisse	Moyenne à forte
	Analyse coûts-bénéfices (ACA) de la GIFS	-	SSP1-RCP2.6 Augmentation VAN 74 588 373, TRI +487 %, A/C 5,64 SSP3-RCP7.0 Augmentation VAN 73 473 560, TRI +485 %, A/C 5,57	liée à la certitude des projections de rendement et d'autres données d'entrée

Tableau 11 : Impacts du changement climatique sur la culture du manioc.

Mais il ne faut pas oublier que la charge de travail pour l'application de la *Tithonia* est considérable (200 jours pour un hectare), et qu'elle n'est abordable qu'en raison du fait que la rémunération de la main-d'œuvre est relativement faible. Surtout dans le cas de la *Tithonia*, l'énorme volume de biomasse nécessaire et les coûts de travail requis pour sa collecte, son transport et son application représentent une contrainte majeure à l'utilisation des matériaux organiques basés sur la biomasse de la *Mucuna* et de la *Tithonia* (Ngosong et al., 2015). Les effets économiques négatifs résultant de l'application de *Tithonia* en raison des coûts de main-d'œuvre élevés restent problématiques, même si les mauvaises herbes sont quasiment éradiquées par la culture couvre-sol de *Mucuna* sur le même champ.

La culture de *Tithonia* à proximité du site de l'exploitation permettrait de réduire les coûts de main-d'œuvre et de transport. Même si la *Tithonia* est largement répandue et accessible gratuitement sur les terres abandonnées et les bords des routes au Cameroun, sa culture ciblée près des fermes renforcerait sa disponibilité et réduirait les coûts associés (Ngosong et al., 2015). En matière de sécurité alimentaire, la culture de la *Mucuna* offre des avantages supplémentaires aux petit-e-s exploitant-e-s, car elle représente une source alimentaire potentielle. Elle permettrait de compenser les pénuries alimentaires graves tout le long de l'année et d'élargir la base alimentaire des ménages agricoles. En outre, la culture ciblée de la *Mucuna* donne la possibilité aux fermier-ère-s de répartir les risques en temps de pertes de récoltes, car son excédent pourrait être vendu au marché. Cet aspect explique les avantages très forts de la GIFS basée sur la *Mucuna* et la *Tithonia* dans le contexte du Cameroun, comme le montrent nos calculs ci-dessus.

6.3.4 Opportunités de la stratégie d'adaptation constituée par la GIFS pour les femmes et d'autres groupes sociaux

Les études réalisées jusqu'à présent concernant l'effet du genre sur l'adoption de la GIFS au Cameroun sont limitées. Des études menées en Éthiopie et au Zimbabwe soulignent en particulier

le fort besoin en main-d'œuvre lié à la GIFS (Hörner & Wollni, 2022 ; Rusinamhodzi, 2015). Hörner et Wollni (2022) ont constaté que la GIFS augmentait certes la productivité, mais qu'elle s'accompagnait aussi d'une hausse du nombre de jours de travail par hectare de 139 à 169 lorsque trois pratiques essentielles de la GIFS – fertilisation organique et non-organique, semences améliorées – étaient mises en œuvre. Dans cette perspective, différents chercheurs considèrent que ces exigences de travail élevées représentent un frein majeur à l'adoption des pratiques de la GIFS par les femmes. Par exemple, Jaza Folefack (2015) a étudié le compostage dans la région de Yaoundé au Cameroun et constaté que davantage d'hommes que de femmes recouraient au compostage, imputant cette différence au fait qu'il fallait déplacer de lourds et gros volumes de compost, comparé à d'autres types de fertilisants plus légers (Jaza Folefack, 2015). De même, dans une étude sur la GIFS en Tanzanie, les femmes chefs de famille avaient tendance à ne pas adopter de pratiques de GIFS ou à se concentrer sur une seule pratique, tandis que les hommes chefs de famille adoptaient plusieurs pratiques à la fois, la raison mentionnée étant la lourde charge de travail associée (Kihara et al., 2022). Les auteur-e-s de l'étude sur la GIFS ont également dévoilé que plus d'hommes que de femmes adoptaient des pratiques de conservation de l'eau et des sols, cette différence étant expliquée par le fait que la propriété foncière est davantage réservée aux hommes dans le pays (ibid.). Il est probable que des contraintes similaires soient vécues au Cameroun, où peu de femmes seulement possèdent leurs propres terres (Pemunta, 2017).

6.4 Résumé

Avec des disparités spatiales et temporelles, plus de 30 % de pertes de rendements de manioc sont projetés pour les ZAE (I) et (II) d'ici la fin du siècle en vertu du scénario SSP3-RCP7.0. Des effets positifs importants sur les rendements de manioc sont projetés dans les ZAE (III), (IV) et (V) en vertu de SSP1-RCP2.6. Les modèles culturels montrent que les zones propices au manioc resteront stables. La GIFS peut être vivement recommandée aux petit-e-s exploitant-e-s pour ses effets très positifs sur les sociétés et l'environnement.



7. Évaluation des effets climatiques et des options d'adaptation pour le cacao

Le Cameroun fait partie de ce que l'on appelle la « ceinture de cacao » en Afrique de l'Ouest qui s'étend du Sierra Leone au sud du Cameroun. La ceinture de cacao produit 70 % du cacao mondial et emploie près de deux millions d'agriculteur-trice-s (Schroth et al., 2016). Principalement culture de rente destinée à l'exportation, le cacao est produit dans les régions du Centre, du Sud et du Sud-Ouest du Cameroun sur des exploitations d'une surface moyenne de 5,7 ha (Alliance of Bioversity International and CIAT et al., 2020). Actuellement, le Cameroun est le 5e plus grand producteur de cacao, mais la relative importance du secteur a considérablement diminué en raison des faibles prix à la production et des réductions des aides pour les engrais et les pesticides, qui ont poussé nombre de petites exploitations à passer d'une culture de rente à une culture vivrière (Kumase et al., 2010 ; Mukete et al., 2018). Malgré tout, le cacao représente près de 14 % des exportations hors pétrole du pays (Mukete et al., 2018). Les rendements sont bien inférieurs à leur potentiel de 2–3 t/ha avec une moyenne de seulement 400 kg/ha en raison d'un manque d'intrants, de main-d'œuvre, de services agricoles, de soutien gouvernemental et d'une mauvaise organisation des coopératives de producteurs (Alliance of Bioversity International and CIAT et al., 2020 ; Nfinn, 2005), auxquels s'ajoute l'âge avancé de nombreux cacaoyers (Wessel & Foluke Quist-Wessel, 2015). On estime que les ravages causés par les insectes, les maladies et les pertes post-récoltes touchent couramment 30 % de la production (Mukete et al., 2018 ; Nfinn, 2005). Les hausses de production sont donc généralement atteintes par l'expansion des zones agricoles, ce qui entraîne une vaste déforestation (Wessel & Foluke Quist-Wessel, 2015). Les impacts climatiques sur la culture du cacao diffèrent beaucoup suivant les pays ou les régions : les modèles prédisent une aptitude limitée aux

régions productrices de cacao actuelles en Afrique, par exemple en Côte d'Ivoire, alors que d'autres régions pourraient profiter d'une meilleure aptitude climatique à cette culture, notamment le plateau du Kwahu au Ghana (Läderach et al., 2013 ; voir aussi Ofori-Boateng, 2012).

7.1 Évaluation de l'aptitude culturelle et changement des conditions climatiques

Actuellement, 68 % du pays présente un climat propice à la production du cacao, notamment les ZAE (III), (IV), surtout la zone (V) et des parties sud de la zone des hautes savanes (II). Les projections (voir chapitre 1) annoncent de fortes hausses de températures au Cameroun, en particulier en vertu du scénario d'émissions élevées (SSP3-RCP7.0), ce qui aura un impact considérable sur l'aptitude du cacao à long terme (Figure 36). Seules des baisses minimales et des modifications légèrement positives, par ex. dans la zone des hautes savanes (II), sont projetées pour l'avenir proche et moyen. Ces résultats coïncident avec les projections de Schroth et al. (2016) qui montrent qu'en raison de sa situation équatoriale, l'aptitude à la culture du cacao au Cameroun ne sera influencée que de manière minimale par le changement climatique jusqu'en 2050, comparé à d'autres régions productrices d'Afrique occidentale. En outre, les légères augmentations présentées par la zone des hautes savanes (II) permettraient d'envisager l'étendue des plantations de cacao actuelles hors des régions productrices de cacao traditionnelles.

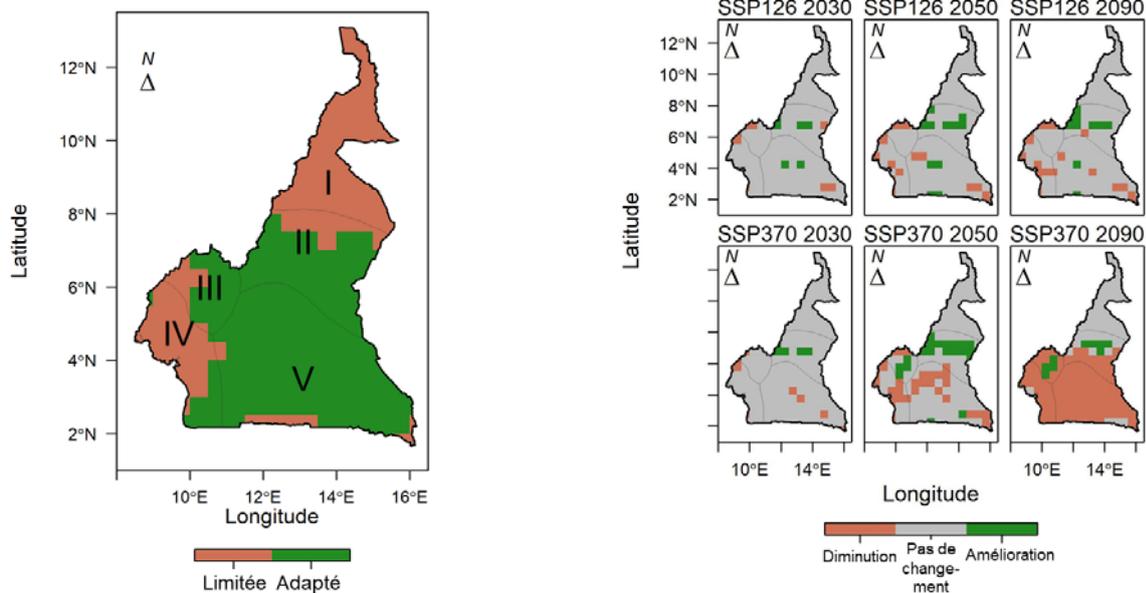


Figure 35 : Aptitude culturelle actuelle (a) et projections des changements de l'aptitude climatique (b) du cacao au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).

Nous projetons donc une légère extension vers le nord des régions propices au cacao en vertu des deux scénarios. Toutefois, en vertu du scénario d'émissions élevées, il deviendra de plus en plus difficile de produire le cacao dans les régions productrices traditionnelles où les surfaces propices à la culture diminueront de plus de 42 % (Tableau 12). Cela se reflète également dans les modifications nettes qui indiquent une tendance légèrement négative en vertu du scénario de réduction des émissions, mais une tendance à la détérioration rapide en vertu du scénario d'émissions élevées (Figure 37). De ce fait, des plans d'adaptation techniques et politiques sont requis pour maintenir la production agricole à ses niveaux actuels.

7.2 Option d'adaptation pour le cacao : Agroforesterie avec des arbres fruitiers

L'agroforesterie peut être définie comme une pratique délibérée d'intégration de la végétation ligneuse (arbres ou arbustes) aux systèmes agricoles et/ou d'élevage pour bénéficier des interactions écologiques et économiques en résultant (Burgess, Graves et al., 2019). Associée à des arbres d'ombrage, cette méthode apporte divers avantages conjoints tels qu'une meilleure pollinisation (De Beenhouwer et al., 2013), une stabilité des rendements à long terme (Bisseleua et al., 2013), la séquestration du carbone par une modification de la matière organique du sol, (Schroth et al., 2013) (Jagoret, Deheuevls et al., 2014), une amélioration de la fertilité des sols (Mbow, 2014) et une contribution au reboisement (Jagoret, Michel-Dounias et al., 2011). Pour ce qui est du potentiel d'atténuation des risques climatiques, les arbres de l'étage dominant du système agroforestier peuvent réguler le microclimat (régimes de températures et d'humidité) ou atténuer les répercussions négatives des extrêmes climatiques sur les arbres de l'étage ou les cultures (Chemura, Kutuywayo et al., 2022) (Mbow, Smith et al., 2014).

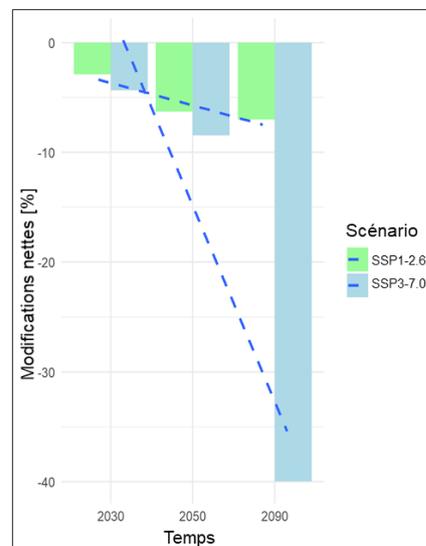


Figure 36 : Modifications nettes de l'aptitude au cacao.

Scénarios	Années	Baisse	Pas de changement	Amélioration
SSP1-RCP2.6	2030	6.05	90.8	3.15
	2050	9.69	86.92	3.39
	2090	10.17	86.68	3.15
SSP3-RCP7.0	2030	7.03	90.31	2.66
	2050	14.29	79.9	5.81
	2090	42.37	55.21	2.42

Tableau 12 : Évolution de l'aptitude du cacao [%] dans le contexte du changement climatique

Au Cameroun, la production du cacao est en grande partie traditionnellement associée aux arbres, que ce soit dans les forêts naturelles, dans les vergers avec des arbres fruitiers, avec des arbres médicinaux ou utilisés pour leur bois. Soit les fermier-ères conservent quelques espèces locales d'arbres forestiers qui ont poussé naturellement sur les parcelles tels que *Ceiba pentandra* L., *Erythrophleum ivorense* A. Chev. et *Milicia excelsa* Berg pour leur ombrage mais aussi pour leur potentiel économique et fertilisant, soit ils plantent des arbres fruitiers comme l'orange (*Citrus sinensis*), le safoutier (*Dacryodes edulis*), l'avocat (*Persea americana* Mill.) et le colatier (*Cola nitida* Vent.) aux côtés des cacaoyers pour leur production fruitière (Asare, 2005). Le safoutier notamment est un arbre courant dans l'agroforesterie qui présente de nombreux avantages nutritionnels et procure de l'ombre (Ayuk, Duguma et al., 1999). Bien que la production de cacao soit un facteur important de la déforestation au Cameroun, l'établissement de systèmes agroforestiers liés au cacao peut aussi contribuer au reboisement, par exemple dans la zone des savanes au paysage naturellement pauvre en arbres et herbagé (Jagoret, Michel-Dounias et al., 2011). Il est intéressant de voir que des études soulignent l'idée que la planification résiliente de l'utilisation des sols devrait considérer l'intensification du cacao et la préservation des forêts séparément (Alemagi et al., 2015 ; Gockowski & Sonwa, 2011). Traditionnellement, les systèmes agroforestiers sont encore associés à une productivité faible du cacao, mais des études au Cameroun ont montré que la productivité du cacao associée aux alisiers reste comparable aux systèmes de production en monoculture, et que la séquestration du carbone est sept fois plus élevée que celle obtenue avec la monoculture (Saj, Durot et al., 2017).

En ce qui concerne la planification de l'adaptation au Cameroun, l'agroforesterie est mentionnée dans différentes stratégies nationales telles que le PNIAC (Plan national d'investissement pour l'adaptation aux changements climatiques) en tant qu'option prometteuse visant à réduire la vulnérabilité des écosystèmes envers le changement climatique (MINEPDED, 2015). En outre, le cadre pour la production du cacao sans déforestation signé par le gouvernement camerounais (MINADER, MINOF, MINCOMMERCE, MINEPDED), le secteur privé et des organisations de la société civile (par ex. GIZ, WWF Cameroun) et la recherche a été établi pour promouvoir les systèmes agroforestiers dans la production du cacao comme alternative à sa monoculture (sans arbres d'ombrage) (Cadre d'Actions, 2021).

Au-delà de ses avantages, l'agroforesterie peut renforcer la compétition entre les espèces en fonction de la distance entre l'arbre associé et le cacaoyer, ce qui peut avoir une influence négative sur la productivité cacaoyère (Saj et al., 2023). En conséquence, des pratiques de gestion adéquates sont essentielles pour son rendement économique : une densité de plantation optimale et un élagage régulier des arbres associés (deux fois par an par ex.) ont des effets positifs sur l'ombrage des cacaoyers et leurs rendements. La réussite de l'agroforesterie repose donc sur les pratiques de gestion consciencieuses et

compétentes des agricultrices et des agriculteurs (Andres et al., 2016 ; information d'un consultant local). En outre, pour mieux comprendre les méthodes de gestion appropriées et les compromis potentiels entre les cacaoyers et les arbres associés en Afrique subsaharienne, davantage de recherche est nécessaire, en particulier sur les espèces endémiques (Saj, Durot et al., 2017). Pour une mise en œuvre réussie de cette stratégie d'adaptation, un soutien institutionnel est nécessaire. Par exemple, on rapporte que le développement de coopératives, en vue de partager les coûts et d'échanger des connaissances sur les techniques de gestion et la commercialisation, a un impact très positif sur l'adoption de l'agroforesterie (Asaah et al., 2011).

7.2.1 Évaluation de l'aptitude et indications pour la planification de l'utilisation des sols

Comme le cacao est traditionnellement cultivé en association avec des arbres d'ombrage, il est important, pour la planification de l'utilisation des sols, de considérer non seulement l'aptitude du cacao lui-même mais aussi tout un système. (Singh, Behera et al., 2022). Dans cette étude, nous avons défini le système agroforestier par l'intégration d'arbres fruitiers courants, à savoir le safoutier et le manguier. La Figure 37 montre le potentiel des systèmes agroforestiers du cacao basés sur l'aptitude combinée du cacao et de l'arbre fruitier en question. Plus de la moitié du pays est adapté aux systèmes agroforestiers du cacao basés sur le safoutier, et près de 50 % du pays est adapté aux systèmes basés sur le manguier, tous deux couvrant plus de 70 % des zones propices à la production du cacao. Les deux arbres présentent une aptitude limitée dans la zone des hauts plateaux (III) et au sud-ouest de la côte (IV). L'interaction des fortes précipitations mensuelles et des températures annuelles moyennes élevées, comparé aux autres zones, détermine les limites de ces arbres fruitiers. Toutefois, d'autres arbres pourraient convenir ici.

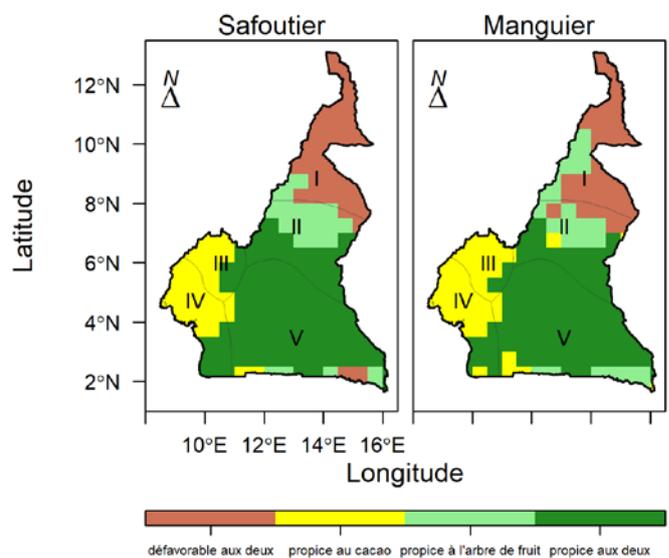


Figure 37 : Aptitude actuelle des systèmes agroforestiers pour le cacao associés au safoutier (*Dacryodes edulis*) et au manguier (*Mangifera indica*).

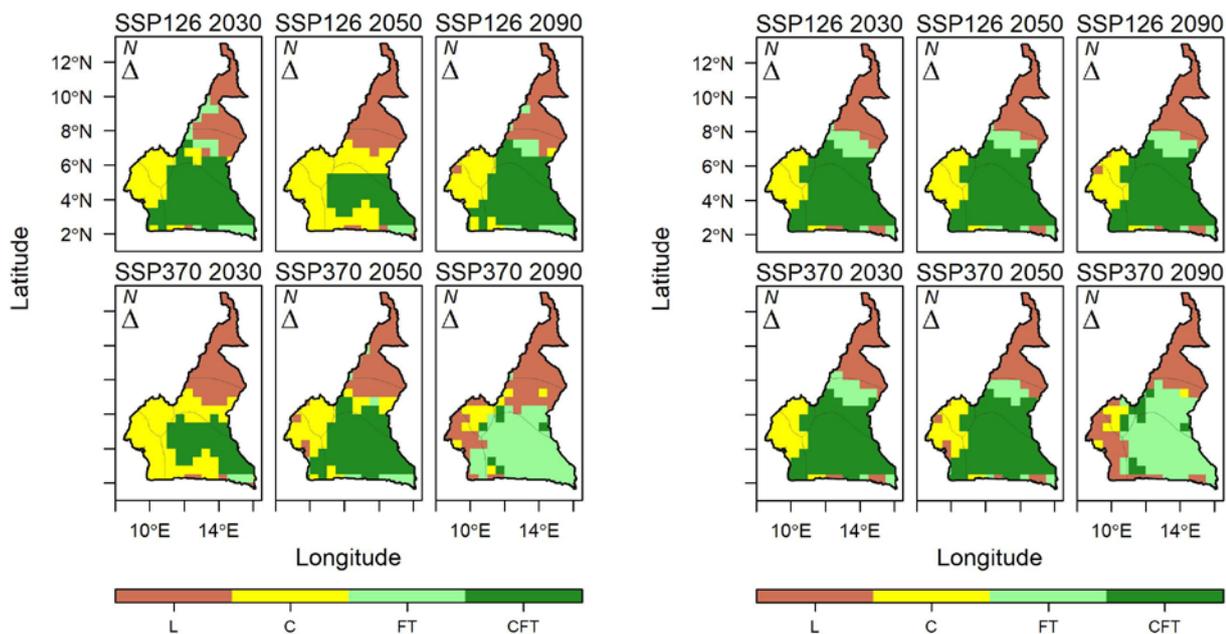


Figure 38 : Projection de l'aptitude culturelle (a) des systèmes agroforestiers pour le cacao avec le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le manguier (*Mangifera indica*) (b) au Cameroun pour les années 2030 (à gauche), 2050 (au centre) et 2090 (à droite) en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).

Les projections pour l'avenir (Figure 37 et Tableau 13) indiquent que la zone pour le safoutier reste très stable en vertu des deux scénarios, ce qui souligne son potentiel d'atténuation des effets du changement climatique sur le cacao dans un système agroforestier associé. Le safoutier et le manguier conviennent tous deux pour une adaptation à long terme, mais le manguier sera plus limité à court (2030) et à moyen terme (2050).

Comme présenté dans l'analyse précédente, une diminution de la production de cacao au Cameroun, causée par le changement climatique, semble probable, ce qui augmente la demande d'aide à la décision pour la planification de l'adaptation.

Arbre fruitier	Scénarios	Années	Tous deux adaptés	Seulement le cacao	Seulement l'arbre fruitier	Tous deux limités
Safoutier	SSP1-RCP2.6	2030	52.03	15.54	9.46	22.97
		2050	54.05	15.54	8.78	21.62
		2090	52.70	14.86	9.46	22.97
	SSP3-RCP7.0	2030	52.70	15.54	10.14	21.62
		2050	54.05	13.51	7.43	25.00
		2090	7.43	5.41	49.32	37.84
Manguier	SSP1-RCP2.6	2030	47.30	20.27	8.78	23.65
		2050	25.68	43.92	2.03	28.38
		2090	47.30	20.27	7.43	25.00
	SSP3-RCP7.0	2030	26.35	41.89	2.03	29.73
		2050	28.38	22.30	4.05	28.38
			4.05	8.78	46.62	40.54

Tableau 13 : Projections de l'aptitude des systèmes agroforestiers pour le cacao.

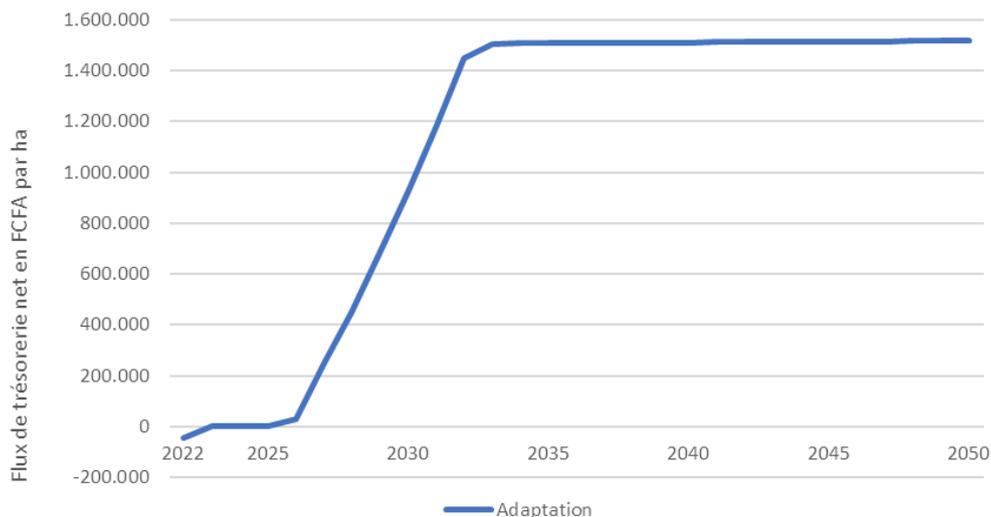


Figure 39 : Flux de trésorerie net en FCFA par hectare jusqu'en 2050 pour l'investissement dans l'insertion d'arbres fruitiers dans une plantation de cacaoyers.

7.2.2 Rapport coût-efficacité

Pour évaluer la faisabilité économique de l'introduction de différents arbres fruitiers dans la production du cacao, l'ACB suivante compare les coûts et les avantages de l'investissement dans un système de production du cacao conventionnel sans agroforesterie. Puisqu'aucun ensemble de données cohérent n'a pu être trouvé sur les régions individuelles examinées, nous avons produit des moyennes nationales basées sur différentes sources de données.

Les bénéfices générés grâce aux systèmes agroforestiers sont 7 fois plus élevés que leurs coûts. Investir dans les systèmes agroforestiers s'avère donc rentable à long terme, car ils ont le potentiel non seulement d'accroître les rendements, mais aussi de créer de flux de revenus supplémentaires pour les agriculteur-trice-s.

L'investissement consistant à insérer des arbres fruitiers dans la plantation de cacaoyers en vaut la peine et devient payant dans la sixième année. Comme le montre le tableau 14, tous les paramètres clés sont positifs. Avec un taux de rendement de 89 %, la VAN en 2050 est de 22 210 376 FCFA. (Toute VAN positive indique un investissement rentable). À de nombreuses reprises, les bénéfices dépassent les coûts, ce qui se reflète bien dans le rapport A/C de 7,56. Les résultats vraiment très positifs peuvent s'expliquer par le fait que dans notre modèle, un revenu supplémentaire est généré par la vente des fruits. Comme l'entretien des arbres se fonde dans une large mesure dans l'entretien de la plantation de cacaoyers, des coûts supplémentaires peu élevés sont engagés ici. La hausse de 12 % des rendements de cacao amplifie d'autant plus les bénéfices. Cependant, les valeurs présentées dans cette ACA doivent toujours être considérées et interprétées à la lumière des suppositions faites, sinon les résultats pourraient être trompeurs.

	Adaptation
VAN (Valeur actuelle nette)	22,210,376
TRI (Taux de rendement interne)	89 %
A/C (Rapport avantages-coûts)	7.56

Tableau 14 : Résumé des indicateurs clés de l'ACB concernant l'investissement dans l'agroforesterie avec les arbres fruitiers pour la production de cacao.

Le flux de trésorerie net⁶ (Figure 39) est négatif durant la première année en raison des investissements initiaux nécessaires à la plantation des arbres fruitiers du système agroforestier. Durant la deuxième année, il atteint déjà la valeur nulle et à partir de la cinquième année, il devient positif avec un flux de trésorerie net de 30 773 FCFA par an et par hectare. Ce gain de revenus différé est dû au fait que les arbres fruitiers doivent pousser durant un certain temps avant de pouvoir fournir assez d'ombre et d'avoir un effet positif sur les rendements de cacao. En outre, durant cette phase, ils ne portent pas de fruits ou très peu. Ce n'est qu'à partir de la cinquième ou de la sixième année que le modèle suppose un premier revenu généré par les ventes de fruits. Le flux de trésorerie augmente abruptement à partir de ce moment et atteint son apogée en 2033. À ce moment-là, les arbres fruitiers atteignent leur taille finale et leurs rendements maximum. À partir de là, le flux de trésorerie reste stable.

Toutefois, dans un avenir encore plus lointain, il faut supposer que les rendements baisseront soit en raison de l'âge des arbres, soit parce que les vieux arbres devront être remplacés, ce qui entraînera de nouveaux coûts d'investissements. Ces coûts pourraient réduire les flux de trésorerie jusqu'à ce que les nouveaux arbres replantés atteignent leur potentiel de rendements maximal.

6) Comme l'exige une ACB, le flux de trésorerie net ne fait référence qu'aux investissements réalisés et aux variables de production qui s'ensuivent, pas à l'ensemble du système de production du cacao.

7.2.3 Avantages conjoints et enjeux

Comme le montrent Lanre et al. (2020), les cultivatrices et les cultivateurs de cacao d'Afrique de l'Ouest sont confrontés à de nombreuses difficultés, outre le changement des conditions climatiques qui peut entraver les éventuels impacts économiques positifs du système agroforestier. D'après les auteur-e-s, les principaux problèmes rencontrés par les productrices et producteurs de cacao sont en général l'instabilité des prix, l'insuffisance des réseaux routiers et l'accès limité aux terres. Comme le confirment les experts locaux, le manque d'infrastructures permettant d'accéder rapidement aux marchés afin de vendre les fruits périssables risque de dissuader les cultivatrices et cultivateurs à renforcer l'agroforesterie à l'aide des arbres fruitiers. Cela signifie aussi que des frais supplémentaires liés au stockage adéquat des fruits périssables sur l'exploitation ou au transport vers le marché le plus proche devraient être pris en compte dans le calcul total des coûts. Aussi, des obstacles tels que l'accès limité aux services de vulgarisation risquent d'empêcher la mise en œuvre effective sur le terrain de solutions innovantes comme l'agroforesterie. Ainsi, un meilleur renforcement des capacités et du transfert de connaissances des agriculteur-trice-s concernant la gestion efficace des systèmes agroforestiers soutiendra positivement leur réussite à long terme. Concernant les autres produits nécessaires à l'agriculture, nous reconnaissons la nécessité de l'application d'engrais et de pesticides pour l'entretien des systèmes agroforestiers, même si, selon les experts locaux, les exploitations n'appliquent pas toutes des engrais sur leur production. La littérature et les experts locaux suggèrent que le système agroforestier permet d'économiser les engrais et pesticides chimiques. Cependant, aucun chiffre concret n'a été déterminé au sujet de cette action spécifique. Ainsi, cet effet d'économie potentielle n'a pas été exprimé en termes monétaires dans cette analyse.

En revanche, on note un certain nombre d'avantages positifs supplémentaires : par exemple, l'établissement de coopératives

agricoles de cacao ou la participation à ces coopératives permettrait de baisser les coûts de transport des produits agricoles, des machines et de la main-d'œuvre, puisque les frais associés peuvent être partagés par un groupe de cultivateurs (Madsen et al., 2020). D'après les experts locaux, au bout d'un certain temps, le bois des arbres fruitiers (bois mort ou élagué) peut aussi servir de source d'énergie ou être utilisé dans le domaine médical, ce qui constitue un aspect intéressant pour les femmes qui ont tendance à consacrer beaucoup de temps et de travail à la collecte de bois de feu.

En outre, un certain nombre d'obstacles culturels et socio-économiques devraient être surmontés pour initier la plantation d'arbres fruitiers dans les plantations de cacao. Comme l'expliquent Jaza Folefack et al. (2021), les traditions et coutumes locales de certaines régions du Cameroun encouragent les cultivatrices et cultivateurs à préserver d'anciennes espèces d'arbres, car celles-ci représentent le foyer des ancêtres et assurent la protection du village contre des événements tragiques. Ces croyances risquent d'empêcher les agriculteur-trice-s de planter de nouveaux arbres fruitiers plus productifs. Un expert local explique que les agriculteur-trice-s préservent les grands et anciens arbres en dépit du fait qu'ils ne sont plus productifs par crainte d'endommager les cacaoyers en les coupant (en particulier dans les plantations de cacao ayant atteint leur maturité). D'autres raisons socio-économiques peuvent entraver la plantation de variétés d'arbres fruitiers productifs telles que le fort taux d'analphabétisme ou un niveau d'éducation faible. Jaza Folefack et al. (2021) mentionnent également que certain-e-s producteur-trice-s maintiennent les systèmes agroforestiers à faible rendement en raison de problèmes de main-d'œuvre et financiers à court terme sans tenir compte des bénéfices à long terme que représente la plantation de nouveaux arbres fruitiers. Il est donc important de fournir des informations sur les bénéfices économiques à long terme des systèmes agroforestiers et de fournir un soutien pour les coûts d'investissement initiaux.



Impacts sur la culture du cacao		Tendance passée	Tendance à venir	Certitude
	Aptitude	Aptitude de 68 % au territoire du pays	SSP1-RCP2.6 Baisse -6,05 à -10,17 % SSP3-RCP7.0 Baisse -7,03 à -42,37 %	Forte
	Projections de l'aptitude des systèmes agroforestiers pour le cacao	Safoutier et manguier couvrant plus de 70 % des zones propices à la production du cacao.	Safoutier SSP1-RCP2.6 Relativement stable SSP3-RCP7.0 Relativement stable Manguier SSP1-RCP2.6 Variable SSP3-RCP7.0 Relativement stable à long terme	Forte Forte
	Analyse coûts-bénéfices de l'investissement dans l'agroforesterie avec des arbres fruitiers	-	Augmentation VAN 22 210 376 TRI +89 % A/C 7,56	-

Tableau 15 : Résumé des impacts du changement climatique sur la culture du cacao.

7.2.4 Opportunités de la stratégie d'adaptation constituée par l'agroforesterie pour les femmes et d'autres groupes sociaux

Le genre et d'autres facteurs sociaux influent sur l'adoption de l'agroforesterie en tant que stratégie d'adaptation au changement climatique. Les aspects suivants ne renvoient pas seulement aux systèmes agroforestiers pour le cacao mais à la pratique de l'agroforesterie en général. Une étude menée au Cameroun montre que davantage d'hommes que de femmes ont tendance à adopter l'agroforesterie (Ngaiwi et al., 2023), une tendance observable dans d'autres régions d'Afrique (Gachuri et al., 2022). Cette différence peut être liée à différents obstacles comme l'accès aux terres, la prise de décision, le travail, les finances et les tabous culturels (Kiptot & Franzel, 2011). Dans de nombreux contextes ruraux au Cameroun, les femmes n'ont généralement pas le contrôle des terres, ce qui est dû au système d'héritage majoritairement patrilinéaire (Pemunta, 2017). Ainsi, le contrôle limité des terres et les retours de l'agroforesterie prévus à long terme peuvent dissuader les femmes de s'engager dans cette pratique. Une étude réalisée en Ouganda a révélé que les femmes étaient moins informées que les hommes au sujet des questions de limites des parcelles, ce qui est un élément important dans la conception des systèmes agroforestiers (Kalanzi et al., 2021). En outre, leur pouvoir de décision limité désavantage les femmes, par exemple lorsqu'elles doivent demander la permission de planter un arbre ou négocier au sujet des espèces à sélectionner. Comme les femmes ont tendance à être chargées de la sécurité alimentaire et de la santé du ménage, elles préfèrent souvent les arbres qui fournissent des produits de subsistance poussant rapidement comme les fruits, les produits médicinaux ou le fourrage, tandis que les hommes privilégient les espèces qui poussent directement et fournissent des produits à forte valeur ajoutée comme le bois, générateur de revenus (Kiptot & Franzel, 2011). Selon un rapport de l'ICRAF, les hommes ont également

tendance à avoir davantage de contrôle sur ces ressources, contrairement aux femmes qui y ont un accès limité et profitent moins des avantages économiques associés (Kiptot & Franzel, 2011). L'accès des femmes à la gestion des systèmes agroforestiers est aussi limité par les normes culturelles : les systèmes agroforestiers constitués de plus grands arbres requièrent des activités comme celle de grimper aux arbres pour tailler les branchages par ex., une pratique considérée comme indécente pour les femmes dans certaines communautés d'Afrique de l'Ouest (ibid.). Ainsi, pour encourager l'adoption de l'agroforesterie par les femmes, il faut améliorer leur accès aux terres et leur accorder un pouvoir de décision plus important dans la conception et la gestion des systèmes agroforestiers.

Ainsi, pour encourager l'adoption de l'agroforesterie par les femmes, il faut améliorer leur accès aux terres et leur accorder un pouvoir de décision plus important dans la conception et la gestion des systèmes agroforestiers.

7.3 Résumé

En conclusion, le recours aux arbres fruitiers présente un fort potentiel dans la stratégie d'adaptation de la production de cacao au Cameroun. En associant la culture de ces arbres aux cacaoyers, les productrices et les producteurs peuvent atténuer les impacts du changement climatique, améliorer la fertilité des sols et accroître la biodiversité. Les arbres sélectionnés, le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le manguier (*Mangifera indica*) montrent à long terme leur potentiel pour une association aux cacaoyers. Toutefois, les zones propices au manguier en particulier seront variables à court et à moyen terme. Combinée à des mesures de soutien et d'incitation adaptées, l'agroforesterie permettra d'assurer à long terme la durabilité de la production de cacao au Cameroun tout en réalisant divers bénéfices au niveau environnemental et économique.



8. Conclusion et recommandations politiques

Cette étude fournit une analyse complète des risques climatiques pour le secteur agricole camerounais dans le but d'offrir aux décideurs nationaux et locaux une base de décision approfondie sur les risques climatiques actuels et futurs pour la production agricole afin d'orienter la planification et la mise en œuvre d'une adaptation appropriée dans le pays.

La CDN et le PNACC soulignent tous deux que l'agriculture est le secteur le plus vulnérable au changement climatique, car l'agriculture pluviale prédomine, ce qui la rend très sensible aux variations des précipitations et à la sécheresse. En particulier, le PNAE promeut plusieurs stratégies et recommandations pour aider à réduire la vulnérabilité du secteur aux effets négatifs du changement climatique. Le PNACC souligne que les systèmes agricoles doivent être améliorés par la recherche agronomique, la diffusion des résultats de la recherche et la promotion de bonnes pratiques ayant un potentiel d'adaptation.

Cette analyse des risques climatiques fournit donc des informations sur l'impact projeté du changement climatique sur différentes cultures sélectionnées ainsi que sur la productivité des prairies afin de contribuer à la disponibilité de données solides sur la vulnérabilité du secteur agricole et de l'élevage, par exemple sur la disponibilité de fourrage (prairies) dans les zones pastorales comme mentionné dans le PNACC. En outre, l'étude évalue le potentiel d'atténuation des risques pour des stratégies d'adaptation spécifiques telles que les semences améliorées (voir variété de maïs tolérante à la chaleur), les techniques de gestion des sols (voir ISFM pour la production de manioc) et l'agroforesterie (voir agroforesterie dans la production de cacao) qui sont mises en évidence dans le PNACC et d'autres stratégies nationales ainsi que sélectionnées par les parties prenantes au cours de l'atelier de lancement à Yaoundé.

Les modèles de changement climatique montrent une tendance claire qui prévoit une augmentation continue de la température, ainsi qu'une augmentation de la fréquence des températures extrêmes, telles que les journées et les nuits chaudes, qui peuvent limiter la croissance des cultures, voire conduire à de mauvaises récoltes, et avoir un impact négatif sur l'agrégation et la transformation des récoltes. En réponse à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, la température annuelle moyenne devrait augmenter de 1,1 °C selon le scénario de faibles émissions et de 1,5 °C selon le scénario d'émissions élevées d'ici 2050, par rapport à 2004. Les projections de précipitations sont beaucoup plus incertaines que les projections de températures. Même si la majorité des modèles climatiques indiquent un climat futur légèrement plus humide au Cameroun, il n'est pas exclu que le pays connaisse un climat futur plus sec dans certaines parties du pays, comme le suggèrent certains modèles. De même, les précipitations extrêmes devraient augmenter, mais tous les modèles ne s'accordent pas sur cette tendance.

Le changement climatique devrait avoir un impact significatif sur la production agricole. Tout en présentant des disparités spatiales et temporelles, le changement climatique devrait avoir un impact négatif sur les rendements du maïs, du manioc et du cacao. Les rendements de maïs diminueront dans l'ZAE I jusqu'à -84 % d'ici 2090 selon le scénario SSP3-RCP7.0 et des pertes de rendement de plus de 30 % pour le manioc sont prévues pour les ZAE I et II d'ici la fin du siècle selon le scénario SSP3-RCP7.0. Des effets positifs significatifs sur le rendement du manioc sont prévus dans les ZAE III, IV et V dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6. Les modèles de cultures montrent que les zones propices au maïs et au cacao diminueront au Cameroun, en particulier dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0, tandis que l'aptitude au manioc restera relativement stable. En ce qui concerne le secteur de l'élevage, il semble très probable que le potentiel de pâturage diminuera

dans les deux scénarios de changement climatique, avec des diminutions plus importantes dans le cadre du SSP1-RCP2.6 que dans le cadre du SSP3-RCP7.0.

Sur la base de l'analyse d'impact projetée, nous avons analysé trois stratégies d'adaptation : les variétés de maïs améliorées, la gestion intégrée de la fertilité des sols pour le manioc et les systèmes agroforestiers pour la production de cacao. Dans le cadre de notre analyse des options d'adaptation, nous prenons en compte les aspects liés au potentiel d'atténuation des risques, au rapport coût-efficacité et à la dimension de genre. L'évaluation indique que toutes les stratégies sélectionnées sont des stratégies d'adaptation prometteuses. En particulier, l'ISFM peut être fortement recommandée aux petits exploitants agricoles, ce qui a des effets très positifs sur les sociétés et l'environnement. Les semences améliorées ont un fort potentiel d'amélioration des moyens de subsistance, mais il s'agit également d'une stratégie d'adaptation à forte intensité de soutien. Enfin, l'agroforesterie peut réduire l'impact des risques climatiques sur la production de cacao, mais il convient de tenir compte de l'adéquation future du climat.

En général, il n'existe pas de stratégie d'adaptation unique convenant à l'ensemble du pays, car leur efficacité et leurs avantages connexes dépendent en fin de compte des effets climatiques prévus, ainsi que de la conception concrète adaptée au contexte local et aux besoins des agriculteurs. L'impact réel des changements climatiques prévus n'est pas seulement déterminé par les risques réels, mais aussi par la vulnérabilité et l'exposition des communautés agricoles concernées. Les différentes caractéristiques sociales telles que le sexe, l'âge, l'éducation et la santé peuvent considérablement influencer la vulnérabilité des agriculteurs et donc leur exposition au changement climatique. La prise en compte de ces caractéristiques est une condition préalable importante pour renforcer la résilience des communautés agricoles.

En outre, l'accès à des informations climatiques exploitables peut aider les agriculteurs à prendre des décisions éclairées sur les stratégies d'adaptation appropriées et à réduire l'impact des risques climatiques. En outre, des caractéristiques sociales différentes telles que le sexe, l'âge, l'éducation et la santé peuvent, par exemple, influencer considérablement la vulnérabilité des agriculteurs et donc leur exposition au changement climatique. La prise en compte de ces caractéristiques est une condition préalable importante pour mettre en place des systèmes de production agricole résilients.

En outre, la planification de l'adaptation doit être **spécifique à chaque** région, car les différentes zones du Cameroun seront touchées différemment par le changement climatique. Par exemple, la région du Nord (ZAE I) sera particulièrement touchée et devrait donc faire l'objet d'une attention particulière.

Sur la base des résultats de cette étude, les **recommandations politiques** suivantes sont proposées :

Renforcer la résilience de la production de maïs

- L'introduction de semences améliorées (tolérantes à la chaleur) est l'une des options permettant d'atténuer les effets prévus du changement climatique sur la production de maïs. L'idéal est de promouvoir des variétés améliorées qui remplissent plusieurs conditions, telles que la préférence de l'agriculteur, l'adéquation locale, la gestion agronomique, et qui sont disponibles et accessibles également pour les petits exploitants agricoles.
- Il convient de garantir un accès équitable aux semences améliorées, aux intrants nécessaires et aux connaissances, en mettant particulièrement l'accent sur les différences socio-économiques des agriculteurs. Cela peut inclure des cycles de sélection rapides qui fournissent aux agriculteurs un flux régulier de variétés améliorées, des campagnes d'information sur les avantages des variétés améliorées dans le cadre du changement climatique et la mise en place d'un modèle de système de semences qui fournit de nouvelles variétés aux agriculteurs de manière rapide et rentable.
- Parallèlement, il convient d'encourager la recherche et la promotion d'autres cultures, telles que le sorgho, qui sont naturellement plus nutritives et plus résistantes aux effets du changement climatique que le maïs.

Renforcer la résilience de la production de manioc

- L'ISFM basée sur un transfert de biomasse à travers les plantes sauvages *Mucuna* et *Tithonia* est une stratégie d'adaptation prometteuse dans tous les scénarios futurs de changement climatique pour la production de manioc au Cameroun et pourrait être bénéfique pour toutes les régions du pays afin de gérer la fertilité des sols pour être en mesure de faire face au stress climatique.
- La sensibilisation et la formation aux avantages et à la mise en œuvre de l'ISFM contribuent à l'efficacité de cette stratégie qui prend relativement de temps aux agriculteurs.
- La prise en compte de la technologie dans les programmes d'éducation et de vulgarisation peut également contribuer à une diffusion efficace. Les politiques d'intensification de l'utilisation durable des terres et de réhabilitation des sols dégradés, ainsi que les mécanismes nécessaires à leur mise en œuvre et à leur évaluation, peuvent contribuer à promouvoir l'adoption de la GIFS.
- La recherche sur les pratiques ISFM innovantes ainsi que la diffusion des résultats peuvent améliorer l'efficacité de la technologie et renforcer le taux d'adoption.

Renforcer la résilience de la production de cacao

- Dans le contexte de la production de cacao au Cameroun, **l'agroforesterie** est une pratique traditionnelle qui offre de multiples avantages, tels que la réduction de l'impact des températures extrêmes sur les cacaoyers grâce à l'ombrage, l'amélioration de la santé du sol, l'augmentation de la biodiversité et, par conséquent, l'amélioration de la qualité du cacao. Il est également intéressant de considérer les

arbres fruitiers comme des compagnons du cacaoyer, car ils fournissent de la nourriture et peuvent générer des revenus supplémentaires. Toutefois, le type d'espèces d'arbres et de cultures intercalaires doit être soigneusement sélectionné, sur la base de l'adéquation locale actuelle et future, des préférences et des possibilités de revenus supplémentaires.

- La densité des arbres doit être choisie avec soin et la mise en place de l'agroforesterie doit être planifiée en fonction du contexte local, en tenant compte des rivalités éventuelles concernant l'utilisation des terres.
- Le niveau optimal d'ombrage est un facteur important dans la mise en place des systèmes agroforestiers et nécessite un entretien continu tel que l'élagage.
- Les agriculteurs devraient recevoir des plants d'arbres et des formations sur la mise en place et la gestion des systèmes agroforestiers.

Renforcer la résilience de la production de pâturage

- Les possibilités de pâturage pour le bétail diminueront légèrement dans les deux scénarios de changement climatique. Les stratégies d'adaptation telles que le fauchage ou un calendrier pastoral pourraient être des options prometteuses pour fournir et gérer les réserves de fourrage, mais elles doivent faire l'objet de recherches.
- Compte tenu de l'état actuel de la sécurité dans le pays et dans la région, ainsi que de sa faible capacité d'adaptation aux effets du changement climatique, les projets d'adaptation doivent **tenir compte de la dynamique des conflits**. Les décideurs politiques devraient accorder une attention particulière aux besoins des communautés marginalisées dans l'agriculture. Les infrastructures de transhumance sont essentielles à l'apaisement des tensions intercommunautaires sous-jacentes.

Créer un environnement propice à l'intensification des efforts d'adaptation

Outre les stratégies d'adaptation présentées et analysées dans le cadre de cette étude, il existe bien sûr d'autres stratégies d'adaptation de la production agricole au changement climatique, qui pourraient être encore plus adaptées, moins coûteuses ou plus faciles à mettre en œuvre, en fonction des circonstances. Les exploitations agricoles sont des systèmes complexes qui nécessitent une conception ciblée et adaptée des pratiques de gestion. Indépendamment des risques climatiques spécifiques, les combinaisons de stratégies d'adaptation sont souvent plus efficaces que les approches individuelles. Pour éviter les effets secondaires négatifs, chaque combinaison doit être soigneusement évaluée. D'autres recommandations peuvent être formulées afin de créer un environnement propice à la mise en œuvre et à la transposition à plus grande échelle :

- Il existe des **connaissances indigènes et traditionnelles riches et variées** sur l'adaptation dans les régions du Cameroun, qu'il convient de mettre à profit pour une adaptation réussie. Toutefois, il est nécessaire d'approfondir la recherche dans ce domaine et de réactiver les stratégies d'adaptation indigènes autrefois pratiquées, qui ont en partie perdu de leur attrait au cours des dernières décennies.
- Les agriculteurs ont besoin d'aide pour **combler le déficit de financement** entre l'investissement et le seuil de rentabilité, lorsque la stratégie d'adaptation devient rentable. Dans certains cas, comme l'agroforesterie, cela peut prendre quelques années. Dans d'autres cas, comme les semences améliorées, cela nécessite des investissements initiaux élevés pour les semences et les intrants spéciaux. Cela nécessite un soutien financier transitoire.
- **La recherche et le développement** sont au cœur d'une agriculture innovante et résistante au climat. Les investissements réguliers dans les instituts de recherche nationaux doivent être renforcés. La recherche sur l'adaptation devrait être intégrée dans les services de vulgarisation et les programmes universitaires.
- Les stratégies d'adaptation ne doivent pas être élaborées de manière isolée, mais plutôt **en collaboration avec les parties prenantes**, notamment les agriculteurs, les chercheurs et les décideurs politiques, mais aussi d'autres parties prenantes tout au long de la chaîne de valeur. Les communautés devraient être impliquées à tous les stades de la planification, par exemple par le biais de sessions de conversation communautaires. La collecte de données ventilées par sexe est essentielle pour concevoir des stratégies d'adaptation tenant compte de la dimension de genre. Cela permettrait de garantir que les stratégies sont adaptées au contexte, inclusives et durables, et d'augmenter leurs chances de réussite.
- La mise en œuvre des stratégies d'adaptation devrait être soutenue financièrement par le Fonds pour l'environnement mondial, le Fonds vert pour le climat, les ONG, les partenaires techniques et financiers, par exemple.
- L'étude a été conçue en conformité avec d'importants documents et processus politiques au Cameroun, en particulier la politique sur le changement climatique, la loi sur le changement climatique, la contribution déterminée au niveau national (CDN) et le plan national d'adaptation pour le secteur agricole (PAN). Les résultats de cette analyse des risques climatiques peuvent ainsi contribuer à l'élaboration et à la mise en œuvre des **politiques d'adaptation au climat et de la planification du développement agricole**.

Références bibliographiques

- Agriculture au Cameroun (2023a): La culture du Safoutier au Cameroun : Pourquoi et comment investir dans cette culture ? URL : <https://www.agricultureaucameroun.net/investir-culture-du-safoutier-au-camaroun/>
- Agriculture au Cameroun (2023b): Fruitiers disponible (price sheet). URL : <https://www.agricultureaucameroun.net/>
- Alston, M. and K. Whittenbury (2013): Introducing Gender and Climate Change: Research, Policy and Action. In *Research, Action and Policy: Addressing the Gendered Impacts of Climate Change*, M. Alston and K. Whittenbury, Eds. Heidelberg, Germany: Springer Dordrecht.
- Ampaire, E. L.; Acosta, M., Huyer; S., Kigonya, R., Muchunguzi, P., Muna, R. and L. Jassogne (2017): Gender in climate change , agriculture, and natural resource policies: insights from East Africa. In: *Climate Change 2020* 158, pp. 43–60.
- ANADER (2017): Fiche technicoéconomique du Maïs. Agence Nationale d'Appui au Développement Rural. September 2017.
- Azong, M., Kelso, C., Naidoo, K. (2018): Vulnerability and resilience of female farmers in Oku, Cameroon, to Climate Change. In: *African Sociological Review*, vol. 22, no.1.
- Alliance of Bioversity International and CIAT; CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2020): *Adapting Green Innovation Centres to climate change: analysis of value chain adaptation potential. Potatoes, cocoa, and poultry in Adamawa, Northwest, West and Southwest Cameroon*. 51 p.
- Andres, C.; Comoé, H.; Beerli, A.; Schneider, M.; Rist, S.; Jacobi, J. (2016): Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. In: Lichtfouse, E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews*. Sustainable Agriculture Reviews (19). Springer, Cham.
- Asaah, E.K., Tchoundjeu, Z., Leakey, R.R.B., Takoung, B., Njong, J. 2011. Trees, agroforestry and multifunctional agriculture in Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9(1).
- Asare, Richard (2005): Cocoa agroforests in West Africa. A look at activities on preferred trees in the farming systems
- Awalu, A. M.; Bobbo, M. Y. & N, M. I. (2019): Pastoralists' Perceptions towards Rangeland Degradation and Management in Donga-Mantung Division, North West Region, Cameroon. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science*, 3(4), 199–210.
- Awalu, A. M. & Nformi, M. I. (2022): Rangeland Degradation and Rehabilitation: Indigenous Ecological Knowledge and Perceptions of Pastoralists in the Adamawa High Plateau of Cameroon. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science*, 6(4), 01–24.
- Awono, A.; Ndoye, O.; Schreckenber, K.; Tabu-Na, H.; Isseri, F.; Temple, I. 2002b. Production and marketing of safou (*Dacryodes edulis*) in Cameroon and internationally: Market development issues. *Forests, Trees and Livelihoods* 12: 125–147
- Ayuk, E. T., B. Duguma, S. Franzel, J. Kengue, M. Mollet, T. Tiki-Manga and P. Zekeng (1999): Uses, management, and economic potential of *Dacryodes edulis* (Burseraceae) in the Humid Lowlands of Cameroon. *Economic Botany* 53(3): 292–301.
- Azibo, B. R.; Kimengsi, J. N. & Buchenrieder, G. (2016): Understanding and Building on Indigenous Agro-Pastoral Adaptation strategies for Climate Change in Sub-Saharan Africa: Experiences from Rural Cameroon. *JOURNAL OF ADVANCES IN AGRICULTURE*, 6(1), 833–840. URL: <https://doi.org/10.24297/jaa.v6i1.5391>
- Azuhwi, B.; Gidado, M. J.; Nsoh, M. F. & Ndamba, M. (2017): Making rangelands more secure in Cameroon: Lessons learned and recommendations for policy makers, development actors and pastoralists. *Responsible Land Governance: Towards an Evidence Based Approach*, Annual World Bank Conference on Land and Poverty, Washington, D.C.
- Bilong, E.G., Ngome Ajebesone, F., Abossolo-Angue, M., À Madong, B., Ndaka Bonguen, S.M. & Bilong, P. (2017): Effets des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* et des engrais minéraux sur la croissance, le développement et le rendement du cassava (*Manihot esculenta* Crantz) en zone forestière du Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(4): 1716–1726. ISSN 1997-342X.
- Bilong, E. G.; Abossolo-Angue, M.; Nanganoa, L. T.; Anaba, B. D.; Ajebesone, F. N.; Madong, B. À. & Bilong, P. (2022): Organic manures and inorganic fertilizers effects on soil properties and economic analysis under cassava cultivation in the southern Cameroon. *Scientific Reports*, 12(1), 20598. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-17991-6#citeas>
- Biratu, G.K.; Elias, E. & Ntawuruhunga, P. (2019): Soil fertility status of cassava fields treated by integrated application of manure and NPK fertilizer in Zambia. *Environmental Systems Research* 8(3).

- Biratu, G. K.; Elias, E.; Ntawuruhunga, P. & Sileshi, G. W. (2018): Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. *Heliyon*, 4(8), e00759.
- Bisseleua HBD, Fotio D, Yede D, Missoup AD, Vidal S (2013) Shade tree diversity, cocoa pest damage, yield compensating inputs and farmers' net returns in West Africa. *Plos One* 8:e56115.
- Bunn, C., P. Läderach, A. Quaye, S. Muilerman, M. R. A. Noponen and M. Lundy (2019): "Recommendation domains to scale out climate change adaptation in cocoa production in Ghana." *Climate Services* 16: 100123.
- Burgess, P., A. Graves, S. García de Jalón, J. Palma, C. Dupraz and M. Van Noordwijk (2019): Modelling agroforestry systems: 209–238.
- Burke, M. & Emerick, K. (2016): Adaptation to Climate Change: Evidence from US Agriculture. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(3): 106–140. URL: <http://dx.doi.org/10.1257/pol.20130025>
- Business in Cameroon (2022a): Cameroon: Cocoa price cap improved. Driven by year-end sales. URL: <https://www.businessincameroon.com/industry/0912-12896-cameroon-cocoa-price-cap-improved-driven-by-year-end-sales>
- Business in Cameroon (2022b): Cameroon: Cocoa farm gate prices improve slightly to XAF1,000-1,050 per kilogram. URL: <https://www.businessincameroon.com/agriculture/2402-11320-cameroon-cocoa-farm-gate-prices-improve-slightly-to-xaf1-000-1-050-per-kilogram>
- Cadre Harmonisé (2021): Cadre Harmonisé d'Identification des Zones à Risque et des Populations en Insécurité Alimentaire et Nutritionnelle. URL: https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/ipcinfo/docs/ch/Fich_Com_SWA-CMR_d%C3%A9c_2021_VF-finale.pdf
- Cairns, J.; Hellin, J.; Sonder, K.; Crossa, J.; Araus, J.L.; MacRobert, J.; Thierfelder, C. & Prasanna, B.M. (2013): Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Sec* 5:345–360. doi: 10.1007/s12571-013-0256-x
- Cameroon's Civil Status Registration 1981: Ordinance 81-02.
- Carr, Edward R. and Mary C. Thompson (2014): Gender and Climate Change Adaptation in Agrarian Settings: Current Thinking, New Directions, and Research Frontiers', *Geography Compass*, vol. 8, no. 3, pp. 182–197, 2014, doi: 10.1111/gec3.12121.
- Cassman, K. G. (2012): What do we need to know about global food security?. *Global Food Security*, 2(1), 81–82.
- Cassman, K. G. & Grassini, P. (2020): A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability*, 3(4), 262–268.
- Centre De Documentation pour le Développement Rural (2016): Cameroun : Peut-on être riche en cultivant le maïs? 24 January 2016. <https://www.lavoixdupaysan.net/peut-on-etre-riche-en-cultivant-le-mais/>
- Chakoma, I.; Manyawu, G.; Gwiriri, L.; Moyo, S. & Dube, S. (2016): The agronomy and use of *Mucuna pruriens* in smallholder farming systems in southern Africa. ILRI (International Livestock Research Institute) extension brief.
- Chemura, A., D. Kutwayo, D. Hikwa and C. Gornott (2022). "Climate change and cocoyam (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) production: assessing impacts and potential adaptation strategies in Zimbabwe." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 27(6): 42.
- Chen, J, F.P. Brissette, D. Chaumont, and M. Braun. 2013. "Finding Appropriate Bias Correction Methods in Downscaling Precipitation for Hydrologic Impact Studies over North America." *Water Resources Research* 49 (7): 4187–4205. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20331>.
- Cheng, K., & Wang, J. (2019): Forest Type Classification Based on Integrated Spectral-Spatial-Temporal Features and Random Forest Algorithm: A Case Study in the Qinling Mountains. *Forests*.
- Dai, X.Q.; Zhang, H.Y.; Spiertz, J.H.J.; Yu, J.; Xie, G.H. & Bouman, B.A.M. (2010): Crop response of aerobic rice and winter wheat to nitrogen, phosphorous and potassium in a double cropping system. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 86, 301–315.
- De Beenhouwer M, Aerts R, Honnay O (2013): A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry. *Agr Ecosyst Environ* 175:1–7
- de Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F. and Mayaux, Ph., 2014. *The forests of the Congo Basin : State of the Forest 2013*. Weyrich. Belgium. 328p. ISBN : 978-2-87489-299-8
- Devkota, M., K. P. Devkota and S. Kumar (2022). "Conservation agriculture improves agronomic, economic, and soil fertility indicators for a clay soil in a rainfed Mediterranean climate in Morocco." *Agricultural Systems* 201: 103470.

- Djurfeldt, A. A., G. Djurfeldt, E. Hillbom, A. C. Isinika, M. D. K. Joshua, W. C. Kaleng'a, A. Kalindi, E. Msuya, W. Mulwafu and M. Wamulume (2019). "Is there such a thing as sustainable agricultural intensification in smallholder-based farming in sub-Saharan Africa? Understanding yield differences in relation to gender in Malawi, Tanzania and Zambia." *Development Studies Research* 6(1): 62–75.
- Dolaso, A. A. & Shano, B. K. (2023): Assessment of Postharvest Loss of Avocado at Producers Level (Case of Wolaita and KembataTembaro Zones). 2023020214.
- Drüke, M., Forkel, M., von Bloh, W., Sakschewski, B., Cardoso, M., Bustamante, M., Kurths, J., and Thonicke, K. (2019) : Improving the LPJmL4-SPITFIRE vegetation–fire model for South America using satellite data, *Geosci. Model Dev.*, 12, 5029–5054.
- Dusserre, J., P. Autfray, M. Rakotoarivelo, T. Rakotoson and L.-M. Raboin (2020). "Effects of contrasted cropping systems on yield and N balance of upland rainfed rice in Madagascar: Inputs from the DSSAT model." *Experimental Agriculture* 56(3): 355–370.
- Ehiane, S. & Moyo, P. (2022): Climate Change, Human Insecurity and Conflict Dynamics in the Lake Chad Region. *Journal of Asian and African Studies*, 57(8), 1677–1689.
- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi K., Liebert, J. (2012). HESS Opinions "Should we apply bias correction to global and regional climate model data?" In *Hydrology and Earth System Sciences* <https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012>
- Ekyaligonza, D.M.; Tibasiima, T.K.; Dietrich, P.; Kagorora, J.P.; Friedel, J.K.; Eder, M. & Freyer, B. (2022): Short-term trade-offs of organic matter management strategies for smallholder farms. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:1035822.
- Ekoungoulou, R., Fousseni, F., Mukete, B., Ifo, S., Loumeto, J., Liu, X. and Niu, S. (2018): Assessing the Effectiveness of Protected Areas on Floristic Diversity in Tropical Forests. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16, 837-853.
- Eloundou Etoundi C. 2015 : Analyse des facteurs pouvant limiter l'accessibilité des femmes aux services financiers en milieu rural au Cameroun. Saint-Denis: Edilivre.
- Engwali, D.; Lema, Y.; Dinga, A. & Chotangui, A.H. (2019): Comparative Analysis of Improved Maize (*Zea mays* L.) Seeds Adoption on Smallholder Farmers' Performance in Fako Division, South West Region, Cameroon. *International Journal of Agricultural Economics* 4(6): 267–274.
- Epule, T. E. (2021): Recent Patterns of Exposure, Sensitivity, and Adaptive Capacity of Selected Crops in Cameroon. *Agriculture* 11, no. 6: 550.
- Epule, T. E., A. Chehbouni, D. Dhiba, D. Etongo, F. Driouech, Y. Brouziyne and C. Peng (2021). "Vulnerability of maize, millet, and rice yields to growing season precipitation and socio-economic proxies in Cameroon." *PLOS ONE* 16(6)
- Epule, T.E. & Bryant, C.R. (2014): Maize Production Responsiveness to Land Use Change and Climate Trends in Cameroon. *Sustainability* 7, 384–397; doi:10.3390/su7010384
- Epule, E.T. ; Bryant, C.R. ; Akkari, C. & Daouda, O. (2015) : Can organic fertilizers set the pace for a greener arable agricultural revolution in Africa? Analysis, synthesis and way forward. *Land Use Policy* 47: 179–187.
- Etoundi, S. M. N. & Dia, B. K. (2008): Determinants of the adoption of improved varieties of Maize in Cameroon: case of CMS 8704. *Proceedings of the African Economic Conference*, Chapter 17.
- Ewane, E.B., Olome, E.B. and Lee, H.H. (2015): Challenges to Sustainable Forest Management and Community Livelihoods Sustenance in Cameroon: Evidence from the Southern Bakundu Forest Reserve in Southwest Cameroon. *Journal of Sustainable Development*, 8, 226–239.
- Evangelista, P., Young, N. and Burnett, J. (2013). How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. *Climatic Change*, 119(3–4), pp.855–873. doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0776-6>.
- Ewert, F., R.P. Rötter, M. Bindi, H. Webber, M. Trnka, K.C. Kersebaum, J.E. Olesen, et al. 2015. "Crop Modelling for Integrated Assessment of Risk to Food Production from Climate Change." *Environmental Modelling & Software* 72 (October): 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.003>.
- Gockowski, J., & Sonwa, D. (2011). Cocoa intensification scenarios and their predicted impact on CO₂ emissions, biodiversity conservation, and rural livelihoods in the Guinea rain forest of WestAfrica. *Environmental Management*, 48(2), 307–321.
- FAO (n.d): Plant breeding programs in Cameroon. URL: <https://www.fao.org/in-action/plant-breeding/nuestrosasociados/africa/cameroon/es/>
- FAO (2023a): Cassava yields for Cameroon from 1972 until 2021. Crops and livestock products. FAOSTAT.
- FAO (2023b): Gross domestic product per capita in Cameroon from 1971 until 2020. Macro indicators. FAOSTAT.
- FAO (2023c): Cocoa yields for Cameroon from 1972 until 2021. Crops and livestock products.

- FAO (2023d): Livestock Systems. URL: <https://www.fao.org/livestock-systems/en/>
- FAOSTAT (2020): Crops and livestock products in Cameroon. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network) (2022): Cameroon Bulletin des Prix, 28 février 2022.
- Fonjong, Lotsmart, Sama-Lang, Irene and Lawrence Fobe 2010: An Assessment of the Evolution of Land tenure System in Cameroon and its Effects of Women's Land Rights and Food Security. In: Perspectives on global development and technology 9.
- Folberth C, Gaiser T, Abbaspour K C, Schulin R and Yang H 2012 Regionalization of a large-scale crop growth model for Sub-Saharan Africa: model setup, evaluation, and estimation of maize yields Agric. Ecosyst. Environ. 151 21–33
- Folberth, C., R. Skalský, E. Moltchanova, J. Balkovič, L. B. Azevedo, M. Obersteiner, and M. van der Velde. 2016. "Uncertainty in Soil Data Can Outweigh Climate Impact Signals in Global Crop Yield Simulations." *Nature Communications* 7 (1). <https://doi.org/10.1038/ncomms11872>.
- Forbang, L. E.; Lengha, T. N.; & Amungwa, F. A. (2020): The Impact of Livestock Extension on the Livelihood of Mbororo Fulani Women in the North West Region of Cameroon. *Journal of Agricultural Studies*, 8(2), 666. URL: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i2.17076>
- Fotouo Makouate, H. & Dongmo Lekagne, J. B. (2021): African Pear (*Dacoryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam) Physical Characteristics, Nutritional Properties and Postharvest Management: A Review. In. *Agric. conspec. sci.* Vol. 87 (2022) No. 1 (1–10).
- Framework for Action, 2021: Roadmap to Deforestation-free Cocoa in Cameroon
- GIZ 2019: Analyse Genre pour Pader II, (author: Carla Dietzel, Development Advisor Gender/HIV/ Wellbeing, Regional Office Yaoundé Gender AP Cameroon)
- GIZ 2021: Gender analysis for GIZ Cameroon (author: Carla Dietzel, Conseillère en développement Genre/VIH/bien-être, Bureau régional de la GIZ à Yaoundé, Gender AP Cameroun)
- González de la Rocha, Mercedes 2007: 'The Construction of the Myth of Survival', *Development & Change*, vol. 38, no. 1, pp. 45–66, 2007, doi: 10.1111/j.1467-7660.2007.00402.x.
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018): Predicting Land Use/ Land Cover Changes Using a CA-Markov Model under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, et al. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342 (6160): 850–53. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.
- Huyer, Sophia and Samuel Partey 2020: Weathering the storm or storming the norms? Moving gender equality forward in climate-resilient agriculture. *Climatic Change* 158, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02612-5>
- ICCO (2023): Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLIX, No.1, Cocoa year 2022/23
- Iizumi, Toshichika (2019): Global dataset of historical yields v1.2 and v1.3 aligned version. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.909132>
- INS - Institut National de la Statistique 2017: Annuaire Statistique du Cameroun, Edition 2017. Source: <http://www.statistics-cameroon.org/news.php?id=513>
- IRAD (2000) : Les cinq (5) Zones agroécologiques du Cameroun. <http://www.camagro.cm/index.php?id=55>
- Jacobi J, Andres C, Schneider M, Pillco M, Calizaya P, RIST S (2014): Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agrofor Syst* 88:1117–1132.
- Jahan, Momtaz 2008: The impact of environmental degradation on women in Bangladesh: an overview. *Asian Aff J* no. 30: pp.5–15.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) (2015): 2015 Country Report of
- Gender Profile (Cameroon).
- Jagoret, P., O. Deheuvels and P. Bastide (2014). «Production durable de cacao. S'inspirer de l'agroforesterie.» *Perspectives Cirad Intensification écologique*.
- Jagoret, P., I. Michel-Dounias and E. Malézieux (2011). "Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon." *Agroforestry Systems* 81(3): 267–278.
- Jarvis, A., J. Ramirez-Villegas, B. V. Herrera Campo and C. Navarro-Racines (2012). "Is Cassava the Answer to African Climate Change Adaptation?" *Tropical Plant Biology* 5: 9–29.

- Jat, H. S., K. M. Choudhary, D. P. Nandal, A. K. Yadav, T. Poonia, Y. Singh, P. C. Sharma and M. L. Jat (2020). "Conservation agriculture-based sustainable intensification of cereal systems leads to energy conservation, higher productivity and farm profitability." *Environmental management* 65: 774–786.
- Jaza Folefack, A.J. (2015): The Use of compost from household waste in agriculture: Economic and Environmental Analysis in Cameroon. *Farming and Rural Systems Economics*.
- Jaza Folefack, A. J.; Ngwack, F. S.; Achu Muluh, G.; Geitzenauer, M. & Mathe, S. (2021): A comparative cost-benefit analysis between fairtrade certified and non-certified cocoa production in the South-West region of Cameroon. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 122/2. 321–333.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A. J., Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 235–265.
- Juma, I.; Fors, H.; Persson Hovmalm, H.; Nyomora, A.; Faith, M.; Geleta, M. S.; Carlsson, A. & Octavio Ortiz, R. (2019): Avocado Production and Local Trade in the Southern Highlands of Tanzania: A Case of an Emerging Trade Commodity from Horticulture. In. *Agronomy* 2019, 9(11), 749; URL:
- Kamda Silapeux, A.G.; Ponka, R.; Frazzoli, C. & Fokou, E. (2021): Waste of Fresh Fruits in Yaoundé, Cameroon: Challenges for Retailers and Impacts on Consumer Health. *Agriculture* 2021, 11, 89. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020089>
- Kelly, R. F.; Hamman, S. M.; Morgan, K. L.; Nkongho, E. F.; Ngwa, V. N.; Tanya, V.; Andu, W. N.; Sander, M.; Ndip, L.; Handel, I. G.; Mazeri, S.; Muwonge, A. & Bronsvort, B. M. de. C. (2016): Knowledge of Bovine Tuberculosis, Cattle Husbandry and Dairy Practices amongst Pastoralists and Small-Scale Dairy Farmers in Cameroon. *PLOS ONE*, 11(1).
- Kiptot, E., Franzel, S. Gender and agroforestry in Africa: a review of women's participation. *Agroforest Syst* 84, 35–58 (2012).
- Kimaru-Muchai, S.W.; Ngetich, F.K.; Mucheru- Muna, M.W.; Baaru, M. (2021): Zai pits for heightened sorghum production in drier parts of Upper Eastern Kenya. In: *Heliyon* (7/9).
- Kintché, K. ; Hauser, S. ; Mahungu, N.M. ; Ndonda, A.; Lukombo, S. ; Nhamo, N. ; Uzokwe, V.N.E. ; Yomeni, M. ; Ngamitshara, J. ; Ekoko, B. ; Mbala, M. ; Akem, C.; Pypers, P. ; Matungulua, K.P. ; Kehbila, A. & Vanlauwe, B. (2017) : Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. *European Journal of Agronomy* 89: 107–123.
- Kiptot, E. (2008): Adoption dynamics of *Tithonia Diversifolia* for soil fertility management in pilot villages of Western Kenya. In: *Experimental Agriculture* (44/4), pp. 473–484.
- Klein Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J., and Stehfest, E. (2017): Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 927–953.
- Kongnso, M. E.; Buba, U. H. & Nfor, J. T. (2021): Implications of Climatic Stressors on Agro-Pastoral Resources Among Mbororo Communities Along the Slopes of Kilum-Ijim Mountain, North West Region, Cameroon. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 685071.
- Kumase, W.N.; Bisseleua, H. & Klasen, S. (2010): Opportunities and constraints in agriculture: A gendered analysis of cocoa production in Southern Cameroon. Discussion Papers, No. 27, Georg-August-Universität Göttingen, Courant Research Centre - Poverty, Equity and Growth (CRC-PEG)
- Läderach, P.; Martinez-Valle, A.; Schroth, G. & Castro, N. (2013): Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. In: *Climatic Change* (119), pp. 841–854.
- Lange, S. (2019): Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and Bias-corrected for ISIMIP (EWEMBI). (V. 1.1.). GFZ Data Services.
- Lange, S. (2019a). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). *Geoscientific Model Development Discussions*. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-36>
- Lange, S. (2019b). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5). V. 1.0. GFZ Data Services.
- Lange, S., & Büchner, M. (2021). ISIMIP3b bias-adjusted atmospheric climate input data. ISIMIP Repository.
- Lange, S., Menz, C., Gleixner, S., Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Muller Schmied, H., Hersbach, H., & Buontempo, C. (2021). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5 v2. 0).
- Lanre, O.E.; Olumide, O.J. & Sadiat, B.A. (2020): Socio Economic Characteristics and Constraints in Cocoa Production among Cocoa Farmers in Ondo State, Nigeria. In. *International Journal of Innovations in Agriculture* (2), p. 55–61.
- Lescuyer, G. & Bassanaga, S. (2021): Positive Influence of Certification on the Financial Performance of Cocoa Production Models in Cameroon. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5(743079).

- Loveland, T., Mahmood, R., Patel-Weynand, T., Kartensen, K. and Beckendorf, K. (2012). National Climate Assessment Technical Report on the Impacts of Climate and Land Use and Land Cover Climate. Madsen, S.; Stewart, B. & Wezel, A. (2020): Agroforestry in Cameroon: positive impacts for farmers and the environment. In: JRC Contract CT-EX2019D351242-102 Agroecology for Food Insecure Countries, 2020.
- Mafouasson, H.N.A. (2020): Feasibility Study for the Development of Public-Private Seed Delivery Systems in Cameroon.
- Mafouasson, H.N.A., Kenga, R., Gracen, V., Ntsomboh-Ntsefong, G., Ngoune Tandzi, L. & Ngome, P.I.T. (2020): Production Constraints, Farmers' Preferred Characteristics of Maize Varieties in the Bimodal Humid Forest Zone of Cameroon and Their Implications for Plant Breeding. *Agric Res* 9(4):497–507.
- Manu I.N.; Tarla D.N. & Chefor G.F. (2014): Effects of improved maize (*Zea mays* L.) varieties on household food security in the North West Region of Cameroon. *Scholarly Journal of Agricultural Science* Vol. 4(5), pp. 265–272; ISSN 2276-7118.
- Manu, D. N.; Tarla, G.-F.; Chefor, E. E.; Ndeh & Chia, I. (2015): Socio-economic Analysis and Adoption of Improved Maize (*Zea mays* L.) Varieties by Farmers in the North West Region of Cameroon. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology* 4(1): 58–66.
- Manzeke, G.M.; Mapfumo, P., Mtambanengwe, F., Chikowo, R., Tendayi, T. & Cakmak, I. (2012): Soil fertility management effects on maize productivity and grain zinc content in smallholder farming systems of Zimbabwe. *Plant Soil*, 361, 57–69.
- Mbih, R. A. (2020): The politics of farmer–herder conflicts and alternative conflict management in Northwest Cameroon. *African Geographical Review*, 39(4), 324–344.
- Mbih, R. A.; Driever, S. L.; Ndzeidze, S. K.; Mbuh, M. J.; Bongadzem, C. S. & Wirngo, H. M. (2018): Fulani pastoralists' transformation process: A sustainable development approach in the Western Highlands of Cameroon. *Environment, Development and Sustainability*, 20(2), 789–807.
- Mbih, R. A.; Ndzeidze, S. K.; Wanyama, D. & Mbuh, M. J. (2022): Challenges of transhumance in Northwest Cameroon. *SN Social Sciences*, 2(10), 208.
- Mbow, C., P. Smith, D. Skole, L. Duguma and M. Bustamante (2014). "Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6: 8–14.
- MINADER & WFP Cameroon (2022): Newsletter on agricultural products price monitoring on markets in the Adamawa, North and Far North regions. N° 001. Period: March to May 2022.
- MINEPDED, 2015: Plan National D'investissement Pour L'adaptation Au Changement Climatique
- MINEPDED (2021): Etude sur la vulnérabilité et de l'adaptation du Cameroun aux changements climatiques dans le cadre de la TNC et BUR1. Rapport, Yaoundé, 488p.
- MINEPAT - Ministry of Economy, Planning and Land Planning 2020: Politique nationale genre du Cameroun 2020–2030.
- Minoli, S.; Müller, C.; Elliott, J.; Ruane, A. C.; Jägermeyr, J.; Zabel, F.; Dury, M.; Folberth, C.; François, L.; Hank, T.; Jacquemin, I.; Liu, W.; Olin, S. & Pugh, T.A.M. (2019): Global response patterns of major rainfed crops to adaptation by maintaining current growing periods and irrigation. *Earth's Future*, 7,
- Mireille, S.; Ntsama, E. & Epo, N.E. (2009): Gender, Agricultural Crisis, Innovatory Choice And Profitability In Maize Cultivation In Cameroon. DSA Annual Conference 2009 "Contemporary Crises and New Opportunities", University of Ulster.
- Modica, G., Merlino, A., Solano, F., & Mercurio, R. (2015). An Index for the Assessment of Degraded Mediterranean Forest Ecosystems. *Forest Systems*, 24, Article No. e37. <https://doi.org/10.5424/fs/2015243-07855>
- Molua, E. (2006): Climatic trends in Cameroon: Implications for agricultural management. *Climate Research - CLIMATE RES.* 30. 255–262. doi:10.3354/cr030255
- Molua, E. & Lambi, C. (2006): Climate Hydrology and Water Resources in Cameroon. CEEPA, Pretoria.
- Motta, P.; Porphyre, T.; Hamman, S. M.; Morgan, K. L.; Ngwa, V. N.; Tanya, V. N.; Raizman, E.; Handel, I. G. & Bronsvort, B. M. (2018): Cattle transhumance and agropastoral nomadic herding practices in Central Cameroon. *BMC Veterinary Research*, 14(1), 214.
- Mukete, B., Sun, Y., Zama, E. and Monono, S. (2016): Paper Consumption and Environmental Impact in an Emerging Economy. *Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering*, 1.
- Mukete, B., Sun, Y., Etongo, D., Sajjad, S. and Abdul, M. (2018): Assessing the Drivers of Land Use Change in the Rumpi Hills Forest Protected Area, Cameroon. *Journal of Sustainable Forestry*.

- Mukete N.; Li, Z.; Beckline, M. & Bobyeg, P. (2018): Cocoa Production in Cameroon: A Socioeconomic and Technical Efficiency Perspective. *International Journal of Agricultural Economics*. Vol. 3, No. 1.
- Mupangwa, W., M. Mutenje, C. Thierfelder and I. Nyagumbo (2017). "Are conservation agriculture (CA) systems productive and profitable options for smallholder farmers in different agro-ecoregions of Zimbabwe?" *Renewable Agriculture and Food Systems* 32(1): 87–103.
- Müller, C., J.A Franke, J. Jägermeyr, A. C. Ruane, J. Elliott, E. J. Moyer, J. Heinke, et al. 2021. Exploring Uncertainties in Global Crop Yield Projections in a Large Ensemble of Crop Models and CMIP5 and CMIP6 Climate Scenarios. *Environmental Research Letters* 16 (3): 034040–40. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd8fc>.
- Müller, C., E. Stehfest, J.G. van Minnen, B. Strengers, W. von Bloh, A. H. W. Beusen, S. Schaphoff, T. Kram, and W. Lucht. 2016. Drivers and Patterns of Land Biosphere Carbon Balance Reversal. *Environmental Research Letters* 11 (4): 044002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/044002>.
- Mutsonziwa, K.; Kouame, E. & Motsomi, A. (2018): Cameroun Agriculture. URL: https://finmark.org.za/system/documents/files/000/000/211/original/Cameroun-Agriculture_French_7-June-2018.pdf?1601979551
- Muyayabantu, G. M.; Kadiata, B. D. & Nkongolo, K. K. (2013): Assessing the effects of integrated soil fertility management on biological efficiency and economic advantages of intercropped maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) in DR Congo. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(3).
- Nagendra, H., R. Lucas, J.P. Honrado, R.H.G. Jongman, C. Tarantino, M. Adamo, and P. Mairota. 2013. Remote Sensing for Conservation Monitoring: Assessing Protected Areas, Habitat Extent, Habitat Condition, Species Diversity, and Threats. *Ecological Indicators* 33 (2013): 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.014>.
- NAP Global Network (n.d.): Gender Review of National Adaptation Plan (NAP)
- Neumayer Eric and Thomas Plümper 2007: The gendered nature of natural disasters: the impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981–2002. *Ann Assoc Am Geogr* 97:p.
- Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Rurinda, J. & Mapfumo, P. (2018): Integrated soil fertility management sequences for reducing climate risk in smallholder crop production systems in southern Africa. *Field Crops Research*, 224, 102–114.
- Nfinn, T.M. (2005): Cocoa production in Cameroon. AFTA 2005 Conference Proceedings, 5p.
- Ngwira, A., J. B. Aune and C. Thierfelder (2014). "DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi." *Soil and Tillage Research* 143: 85–94.
- Ngandjui Tchapgga, F.; Chotangui, A.H.; Fouegag, M.T.; Mubeteneh, T.C. (2023): Effects of potato (*Solanum tuberosum* L.)– *Mucuna pruriens* intercropping pattern on the agronomic performances of potato and the soil physicochemical properties of the western highlands of Cameroon. In: *Open Agriculture* (8).
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., Urquhart, P. (2014). IPCC - Africa. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability—Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.002>
- Nijse, F. J. M. M., P. M. Cox, and M. S. Williamson. 2020. "Emergent Constraints on Transient Climate Response (TCR) and Equilibrium Climate Sensitivity (ECS) from Historical Warming in CMIP5 and CMIP6 Models. *Earth System Dynamics* 11 (3): 737–50. <https://doi.org/10.5194/esd-11-737-2020>.
- Njukwe, E.; Onadipe, O.; Amadou Thierno, D.; Hanna, R.; Kirscht, H.; Maziya-Dixon, B.; Araki, S.; Mbairanodji, A. & Ngue-Bissa, T. (2014a): Cassava processing among small-holder farmers in Cameroon: Opportunities and challenges. *International Journal of Agricultural Policy and Research* Vol.2 (4), pp. 113–124; ISSN 2350-1561.
- Njukwe, E.; Hanna, R.; Sarr, P.S.; Shigeru, A.; Kirscht, H.; Mbairanodji, A.; Ngue-Bissa, T. & Tenkouano, A. (2014b): Cassava value chain development through partnership and stakeholders' platform in Cameroon *International Journal of Agricultural Policy and Research* Vol.2 (11), pp. 383–392; ISSN 2350-1561.
- Ngosong, C.; Mfombep, P. M.; Njume, A. C.; Tening, A. S. (2015): Integrated Soil Fertility Management: Impact of *Mucuna* and *Tithonia* Biomass on Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Performance in Smallholder Farming Systems. In: *Agricultural Sciences*, 2015 (6), pp. 1176–1186.
- Ofori-Boateng, K. (2012): Impact of Climate Change on Cocoa Production in West Africa. A Thesis in the Department of Economics, Submitted to the Faculty of The Social Sciences, University of Ibadan.
- ONACC (2021a): Agricultural calendar for the Five AEZs of Cameroon. Observatoire National Sur Les Changement Climatique – National Observatory on Climate Change. Direction Générale – General Directorate. March 2021.

- ONACC (2021b): Atlas des pertuisis du convert forester au Cameroon de 2009 à 2017
- Poubom, C.F.N.; Awah, E.T.; Tchuanyo, M. & Tengoua, F. (2005): Farmers' perceptions of cassava pests and indigenous control methods in Cameroon. *International Journal of Pest Management* 51(2).
- Pypers, P.; Sanginga, J. M.; Kasereka, B.; Walangululu, M. & Vanlauwe, B. (2011): Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava–legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field crops research*, 120(1), 76–85.
- Ramirez-Villegas, J., A. Jarvis and P. Läderach (2013): "Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum." *Agricultural and Forest Meteorology* 170: 67–78.
- Rani, A., K. Bandyopadhyay, P. Krishnan, A. Sarangi and S. Datta (2020). "Simulation of tillage, crop residue mulch and nitrogen interactions on yield and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) using DSSAT model." *Indian Journal of Agricultural Sciences* 90(10): 20–28.
- République du Cameroun (2015) : Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Cameroun.
- Republic of Cameroon 1966: Constitution of the Republic of Cameroon.
- Republic of Cameroon 2020: SND30 – Stratégie Nationale de Développement 2020–2030. Ministère de l'Économie, de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
- Reuters (2015): Cameroon mid-March farmgate cocoa prices rise. URL: <https://www.reuters.com/article/cameroon-cocoa-idINL3N0WI5GM20150316>
- Rey, J.-Y.; Diallo, T. M.; Vannière, H.; Didier, C.; Keita, S. & Sangaré, M. (2004): The mango in French-speaking West Africa: varieties and varietal composition of the orchards. In: *Fruits*, 2004, vol. 59, pp. 191–208
- Rimlinger, A.; Duminil, J.; Lemoine, T.; Avana, M.-L.; Chakocho, A.; Gakwavu, A.; Mboujda, F.; Tsogo, M.; Elias, M. & Carrière, M. (2021): Shifting perceptions, preferences and practices in the African fruit trade: the case of African plum (*Dacyodes edulis*) in different cultural and urbanization contexts in Cameroon. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 17(65).
- Rolinski, S., Müller, C., Heinke, J., Weindl, I., Biewald, A., Bodirsky, B. L., Bondeau, A., Boons-Prins, E. R., Bouwman, A. F., Leffelaar, P. A., te Roller, J. A., Schaphoff, S., and Thonicke, K. (2018): Modeling vegetation and carbon dynamics of managed grasslands at the global scale with LPJmL 3.6, *Geosci. Model Dev.*, 11, 429–451.
- Rosenzweig, C., J. Elliott, D. Deryng, A. C. Ruane, C. Müller, A. Arneth, K.J. Boote, et al. 2013. 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): 3268–73. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>.
- Sadras, V., K. Cassman, P. Grassini, W. Bastiaanssen, A. Laborte, A. Milne, G. Sileshi and P. Steduto (2015). Yield gap analysis of field crops: Methods and case studies.
- Saj, S., C. Durot, K. Mvondo Sakouma, K. Tayo Gamo and M.-L. Avana-Tientcheu (2017). Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: a functional analysis of tree communities in cacao plantations of Central Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability* 15(3): 282–302.
- Saj, S., P. Jagoret, H. T. Ngnogue and P. Tixier (2023). "Effect of neighbouring perennials on cocoa tree pod production in complex agroforestry systems in Cameroon." *European Journal of Agronomy* 146: 126810.
- Sarr, P. S.; Araki, S. & Njukwe, E. (2013): Interactions between cassava varieties and soil characteristics in crop production in Eastern Cameroon. *African Study Monographs*, 34 (4): 187–202.
- Schaphoff, S., von Bloh, W., Rammig, A., Thonicke, K., Biemans, H., Forkel, M., Gerten, D., Heinke, J., Jägermeyr, J., Knauer, J., Langerwisch, F., Lucht, W., Müller, C., Rolinski, S., and Waha, K. (2018): LPJmL4 – a dynamic global vegetation model with managed land – Part 1: Model description, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1343–1375.
- Schauberger, B., Gornott, C., Wechsung, F. (2017). Global evaluation of a semiempirical model for yield anomalies and application to within- season yield forecasting. *Global Change Bio-logy*, 23(11), 4750–4764. <https://doi.org/10.1111/gcb.13738>
- Schroth G, Bede L, Paiva A, Cassano C, Amorim A, Faria D, Mariano-Neto E, Martini AZ, Sambuichi RR, Lôbo R (2013) Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitig Adapt Strat Glob Chang* 1–16.

- Schroth, G.; Läderach, P.; Martinze-Valle, A.I.; Bunn, C. & Jassogne, L. (2016): Vulnerability of climate change of cocoa in West Africa: Patterns opportunities and limits to adaptation. In: *Science of the Total Environment* (556), p. 231–241.
- Sevidzem SL, Koumba AA, Mavoungou JF, Windsor PA (2022). Spatial meta-analysis of the occurrence and distribution of tsetse-transmitted animal trypanosomiasis in Cameroon over the last 30 years. *Epidemiology and Infection* 150, e97, 1–13.
- Sikod, Fondo 2007: Gender Division of Labour and Women's Decision-Making Power in Rural Households in Cameroon. In: *Africa Development* Vol. 32, No. 3, pp. 58–71
- Singh, R., M. D. Behera, P. Das, J. Rizvi, S. K. Dhyani and Ç. M. Biradar (2022). "Agroforestry Suitability for Planning Site-Specific Interventions Using Machine Learning Approaches." *Sustainability* 14(9): 5189.
- Suchel, J.B. (1987) : Les climats du Cameroun. Thèse doct. d'État, Univ. de St-Étienne, 4 vol., 1188 p. + atlas, 18 images satellitaires.
- Tadesse, D.; Zenebe, G.M. & Ayalew, A. (2014): Participatory on Farm Evaluation of Improved Maize Varieties in Chilga District of North Western Ethiopia. *International Journal of Agriculture and Forestry* 2014, 4(5): 402–407.
- Takam-Fongang, G.M.; Kamdem, C.B. & Kane, G.Q. (2018): Adoption and impact of improved maize varieties on maize yields: Evidence from central Cameroon. *Rev Dev Econ.* 23:172–188.
- Tchindjang, M. (1996): Le Bamiléké central et ses bordures : Morphologie Régionale et dynamique des versants. Etude géomorphologique. Thèse de Doctorat. 3vol. Université de Paris 7, 867p.
- Tchindjang, M. (2012): Paradoxes et risques dans les Hautes terres camerounaises. Multifonctionnalité naturelle et sous valorisation humaine, Mémoire d'HDR, Vol.3, Université Paris Diderot Paris7, 266p.
- Tchindjang, M.; Amougou, J.A.; Abossolo, S.A. & Bessoh Bell, S. (2012): Challenges of climate change, landscape dynamics and environmental risks in Cameroon. In Runge J(Ed): *Landscape evolution, neotectonics and quaternary environmental change in Southern Cameroon. Palaeoecology of Africa*, 31, chap. 5, pp. 237–286.
- Tchuenga Seutcheng, T.G. & Saha, F. (2017): Le maïs : une céréale à multiples usages au Cameroun sous la menace des contraintes climatiques et de ravageurs. *Afrique SCIENCE* 13(6) 177 – 188; ISSN 1813-548X.
- Tebaldi, C. and Knutti, R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), pp.2053–2075. doi:https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2076.
- Temegne, C.N. & Ngome, F.A. (2017): Fertility Management for Cassava Production in the Centre Region of Cameroon. *Journal of Experimental Agriculture International* 16(5): 1–8. doi: 10.9734/JEAI/2017/34111
- Temegne, N.C.; Ngome, A.F. & Fotso, K.A. (2015): Effect of soil chemical composition on nutrient uptake and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae) in two AEZs of Cameroon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(6): 2776–2788.
- Union Européenne 2019: Document d'action concernant l'Accompagnement des mutations du Bassin Cotonnier du Cameroun – ABC.
- Teutschbein, C. and Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457(2012), pp.12–29. Doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052.
- The Sustainability Consortium, World Resources Institute, and University of Maryland. "Tree Cover Loss by Driver." Accessed through Global Forest Watch on 25/03/2023. www.globalforestwatch.org.
- Tripathy, P., & Kumar, A. (2019): Monitoring and Modelling Spatio-Temporal Urban Growth of Delhi Using Cellular Automata and Geoinformatics. *Cities*, 90.
- USAID (2018): Climate Risk Profile: West Africa. URL: https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/West_Africa_CRP_Final.pdf
- van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34–43.
- Vanlauwe, B.; Descheemaeker, K.; Giller, K. E.; Huising, J.; Merckx, R.; Nziguheba, G.; Wendt, J. & Zingore, S. (2015): Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation, *SOIL*, 1, 491–508.
- Vanlauwe, B.; Bationo, A.; Chianu, J.; Giller, K.E.; Merckx, R.; Mokwunye, U.; Ohiokpehai, O.; Pypers, P.; Tabo, R.; Shepherd, K.; Smaling, E.; Woomer, P.L. & Sanginga, N. (2010): Integrated soil fertility management – operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook Agric.* 39, 17–24.

von Bloh, W., Schaphoff, S., Müller, C., Rolinski, S., Waha, K., and Zaehle, S. (2018): Implementing the nitrogen cycle into the dynamic global vegetation, hydrology, and crop growth model LPJmL (version 5.0), *Geosci. Model Dev.*, 11, 2789–2812.

Vondou, D.A.; Guenang, G.M.; Djotang, T.L.A. & Kamsu-Tamo, P.H; (2021): Trends and Interannual Variability of Extreme Rainfall Indices over Cameroon. *Sustainability* 2021, 13, 6803.

Wessel, M. & Foluke Quist-Wessel, P.M. (2015): Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments, *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 74–75:1, 1–7. doi: 10.1016/j.njas.2015.09.001

UN 2021: United Nations Sustainable Development Cooperation Framework for Cameroon 2022–2026.

University of Maryland and World Resources Institute. “Global Primary Forest Loss”. Accessed through Global Forest Watch on 25/03/2023 from www.globalforestwatch.org.

Wang, W., Zhang, C., Allen, J. M., Li, W., Boyer, M. A., Segerson, K., Silander, J. A. (2016). Analysis and Prediction of Land Use Changes Related to Invasive Species and Major Driving Forces in the State of Connecticut. *Land*, 5, Article No. 25.

World Bank 2015: Gender in climate-smart agriculture. In: *Gender in agriculture sourcebook*.

World Bank 2019: World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/>

World Bank (2020): Cameroon. URL: <https://data.worldbank.org/country/CM>

Ziébé, R., Thys, E. and De Deken. R. (2005): Analyse de systèmes de production animale à l'échelle d'un canton: Cas de Boboyo dans l'Extrême-Nord Cameroun, *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 58 (3).

