

TRAJECTOIRES DES IMPACTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS ET DU RIZ PLUVIAL AU BURKINA FASO À L'HORIZON 2050 : ESTIMATION BASEE SUR LES DONNES DES MODÈLES CMIP6.

Koufanou HIEN¹, Florence DELONGUEVILLE², Salack SEYNI³, Pierre OZER⁴

¹ Laboratoire RiCHES, UR Sphères, Université de Liège, Belgique, khien@uliege.be

² Département de Géographie, Université de Namur, Belgique, florence.delongueville@unamur.be

³ Centre de compétences WASCAL, Ouagadougou, Burkina Faso, salack.s@wascal.org

⁴ Laboratoire RiCHES, UR Sphères, Université de Liège, Belgique, pozer@uliege.be

Résumé : Au Burkina Faso, la production du maïs et du riz, essentielle pour la sécurité alimentaire des ménages, fait face aux défis croissants du changement climatique. Cette étude évalue les impacts des trajectoires (agro)climatiques sur la productivité de ces deux céréales pluviales à l'horizon 2050 aux échelles nationales et locales, en utilisant le modèle DSSAT-CSM couplé à R, 10 modèles climatiques NEX-GDDP-CMIP6, 2 scénarios climatiques futurs (SSP2-4.5 et SSP5-8.5), 2 scénarios agricoles (niveau actuel et intensification) et l'effet fertilisant du CO₂. Les résultats indiquent une hausse généralisée des températures moyennes annuelles (+0,5 à +2,5°C) et des précipitations annuelles (-5 à +50%), avec des saisons agricoles plus longues au nord-est et plus courtes au sud-ouest. A l'horizon 2050, les rendements moyens nationaux du maïs augmenteraient (+5 à +19%) et ceux du riz pluvial baisseraient (~ -8 % sous les deux scénarios) sans l'effet du CO₂ et l'intensification agricole. Toutefois, l'effet du CO₂ associé à l'intensification accroît les rendements du riz pluvial que ceux du maïs.

Mots-clés : Céréales pluviales (maïs, riz pluvial), projections CMIP6, Rendements agricoles, Burkina Faso.

Climate Impact Trajectories on Rainfed Maize and Rice Productivity in Burkina Faso by 2050: Estimation Based on CMIP6 Ensemble Models.

Abstract: In Burkina Faso, maize and rice production—both vital to household food security—faces increasing challenges due to climate change. This study assesses the impacts of (agro)climatic trajectories on the productivity of these two rainfed cereals by 2050 at both national and local scales. The analysis combines the DSSAT-CSM model (coupled with R) with climate projections from 10 NEX-GDDP-CMIP6 models, two future climate scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5), two agricultural scenarios (current practices and intensification), and the CO₂ fertilization effect. Results indicate a general increase in average annual temperatures (+0.5 to +2.5 °C) and annual precipitation (-5% to +50%), with longer growing seasons in the northeast and shorter ones in the southwest. By 2050, national average maize yields are projected to increase (+5% to +19%), while rainfed rice yields are expected to decline (~-8% under both scenarios) in the absence of CO₂ fertilization and agricultural intensification. However, when accounting for the CO₂ fertilization effect combined with intensification, gains in rainfed rice yields exceed those observed for maize.

Key words: Rainfed cereals (Maize, Rainfed rice), CMIP6 projections, Crop yields, Burkina Faso.

Introduction

Le changement climatique constitue l'un des principaux défis du XXI^e siècle, avec des impacts particulièrement marqués dans la région sahélienne d'Afrique de l'Ouest (IPCC, 2021). Le Burkina Faso, situé au cœur de cette zone, subit déjà ses effets à travers l'élévation des températures, les sécheresses et les inondations récurrentes (DeLongueville *et al.*, 2016 ; ME, 2022). Ces perturbations affectent profondément le secteur agricole, un pilier de l'économie nationale, représentant 35 % du PIB et employant près de 63% de la population active (INSD, 2022). Majoritairement pluvial, ce secteur repose sur les céréales, notamment le maïs (3^e) et le riz (4^e), qui gagnent en importance dans les politiques agricoles sous l'effet de la demande urbaine croissante et du développement de l'agro-industrie (MARAH, 2022 ; 2023). Toutefois, la productivité de ces cultures reste limitée (+1 à +1,5 t/ha pour le riz pluvial, +2 t/ha pour le maïs), et la production demeure insuffisante pour couvrir les besoins nationaux. En réponse à la demande croissante, l'État met en œuvre plusieurs initiatives telles que la Stratégie nationale de développement de la riziculture et l'Offensive agropastorale et halieutique, visant à améliorer la productivité de ces cultures, accroître la production et réduire la dépendance aux importations, en particulier de riz, et assurer l'autosuffisance alimentaire du pays dans les années à venir (MAAHA, 2021 ; MARAH, 2023).

L'analyse s'appuie sur des données climatiques journalières issues de l'ensemble NEX-GDDP-CMIP6, couvrant la période historique (1985–2014) et les projections futures (2021–2050) sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Ces données, débiaisées à une résolution de 0,25°, proviennent de dix modèles climatiques du CMIP6 et incluent les précipitations, températures, vent, rayonnement solaire et humidité (Thrasher *et al.*, 2022). Les rendements historiques du maïs et du riz ont été extraits de FAOSTAT (<https://www.fao.org/faostat>) pour la validation des simulations historiques (1985-2014). Les principales zones de culture ont été cartographiées à l'aide de la base MapSPAM (<https://mapspam.info/data/>) (IFPRI, 2024), tandis que les données de sols proviennent de SoilGrids-DSSAT à 10 km de résolution (Han *et al.*, 2019). Un ajustement du facteur de fertilité des sols (SLPF) a été appliqué (0,5 pour le maïs, 0,9 pour le riz) afin de refléter les conditions de fertilité édaphique en zone subsaharienne Sahel (Jha *et al.*, 2021). Au total, 205 points de simulation pour le maïs et 155 pour le riz ont été extraits au niveau national à partir du croisement entre les grilles climatiques NEX-GDDP-CMIP6 et les cartes de culture.

1.3. Conception de simulations pour l'évaluation de l'impact et l'analyse des résultats

- **Configuration de DSSAT-R**

Les simulations ont été réalisées à l'aide des modules CERES-Maize et CERES-Rice du modèle DSSAT-CSM (v4.8.0), couplé à R (v4.2.2). Deux variétés sélectionnées, localement et déjà calibrées dans les conditions locales et régionales (Ouedraogo *et al.*, 2022), incluent « Massongo ou Obatampa et SR21 » pour le maïs (cycles de 90–110 jours ; rendement potentiel de 3–5 t/ha) ; FKR 45N et NERICA1 pour le riz pluvial (cycles de 95–120 jours ; rendement potentiel de 3–6 t/ha), ainsi que « FKR 45N et NERICA1 » pour le riz pluvial (cycles de 95–120 jours ; rendement potentiel de 3–6 t/ha). Les pratiques culturales simulées sont issues de la littérature et d'avis d'experts : labour à 25 cm, semis entre le 1er juin et la mi-juillet, espacement 0,80 m × 0,40 m (maïs) et 0,20 m × 0,20 m (riz), avec semis conditionné par des seuils d'humidité (> 40 %) et de température (Tmin/Tmax spécifiques par culture) (Salack *et al.*, 2015 ; Ouedraogo *et al.*, 2022 ; MARAH, 2022)

- **Scénarios d'intensification agricole**

Deux scénarios agricoles ont été définis pour évaluer la productivité future sous contrainte climatique. traduit les pratiques agricoles actuelles (fertilisation azotée de 15 kg/ha, sans apport de matières organiques), et le scénario d'intensification (S2) exprime des apports plus élevés en fertilisants selon les recommandations nationales (74 kg/ha d'azote et 5 et 10 t/ha de matière organique pour le maïs et riz pluvial) (MARAH, 2022). De plus, deux niveaux de concentration en CO₂ ont également été pris en compte : un scénario sans effet CO₂ (concentration historique de Mauna Loa) et un scénario avec effet CO₂ basé sur les projections futures (508 ppm pour SSP2-4.5 et 571 ppm pour SSP5-8.5) (Elsadek *et al.*, 2024).

- **Analyse des résultats**

Les résultats sont agrégés par approche multi-modèles pour réduire les incertitudes. La performance est validée par comparaison aux rendements observés, à l'aide d'indicateurs statistiques (RMSE, CV). Les caractéristiques saisonnières (début ou DDS, fin de saison ou DFS, longueur de saison ou LOS) sont déterminées selon les critères agronomiques agroclimatiques (Salack *et al.*, 2015), et dont les propriétés des sols ont été intégrées via la base FAO-HWSDR (v1.1). Les changements futurs des différentes variables agroclimatiques (rendements, biomasse, cycle cultural etc.) sont déterminées à partir de la formule suivante :

$$\Delta y = \frac{y_{future} - y_{ref}}{y_{ref}} \times 100 \quad (\text{Equation 1})$$

Où Δy représente le changement relatif en pourcentage (%) du rendement des cultures, y_{future} et y_{ref} correspondent aux rendements futurs et historiques.

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques (agro)climatiques futures des saisons au Burkina Faso

Les projections indiquent un réchauffement global et une augmentation moyenne des précipitations annuelles d'ici 2050 au Burkina Faso (Fig. 2). Sous SSP2-4.5, les pluies varient de -5 % à +15 %, avec un réchauffement de 0,5 à 1,5 °C. Sous le scénario intermédiaire SSP2-4.5, les précipitations pourraient fluctuer entre -5 % et +15 % (Fig. 2A), tandis que les températures moyennes augmenteraient de 0,5 à 1,5 °C (Fig. 2C). Ces tendances s'accroissent dans le scénario SSP5-8.5, avec une augmentation pluviométrique pouvant atteindre +55 % (Fig. 2B) et un réchauffement moyen de 2,5 °C (Fig. 2D). Spatialement, le nord du pays devrait connaître des conditions plus chaudes et plus humides, alors que le sud et le sud-ouest afficheraient des évolutions pluviométriques stables voire légèrement déficitaires.

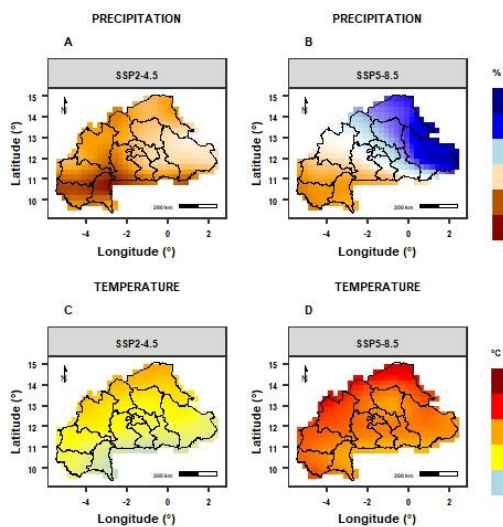


Figure 2: Projection future des précipitations (%) et des températures (°C) moyennes annuelles au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5

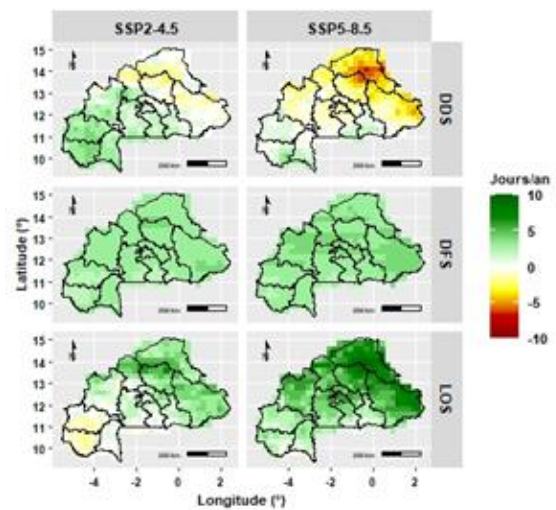


Figure 3: Projection future des caractéristiques des saisons agroclimatiques (DDS et DFS : date de début et de fin de saison ; LOS : Longueur de saison) sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5

Ces évolutions climatiques, cohérentes avec les dynamiques régionales et locales observées récemment dans certaines études (Sawadogo *et al.*, 2024), devraient perturber le déroulement des saisons agroclimatiques au Burkina Faso. Globalement, une installation précoce des saisons, avec un décalage de 7 à 10 jours, est prévue dans la région nord, tandis que les régions sud, centre et ouest conserveraient un calendrier saisonnier normal à tardif. De plus, la fin de la saison serait retardée au nord, alors qu'elle resterait normale à tardive dans le sud et le sud-ouest.

2.2. Projections des impacts climatiques futurs sur les rendements du riz pluvial et du maïs au Burkina Faso

À l'horizon 2050, les rendements du maïs pourraient augmenter en moyenne nationale de 5 à 19 % (données non présentées ici), avec des variations spatiales allant de -5 % à +20 % selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (Fig. 4A). Les zones de culture du maïs situées dans le sud et le sud-ouest du pays seraient les plus affectées par les changements climatiques (Fig. 4A). Néanmoins, une intensification de la fertilisation (scénario S2) combinée à l'effet fertilisant du CO₂ permettrait d'améliorer les rendements dans toutes les régions de culture, en particulier dans le sud (Fig. 4B). Cette augmentation des rendements s'accompagnerait également d'une hausse de la biomasse de 12 à 15 % et d'une stabilité de la durée du cycle cultural (données non montrées ici).

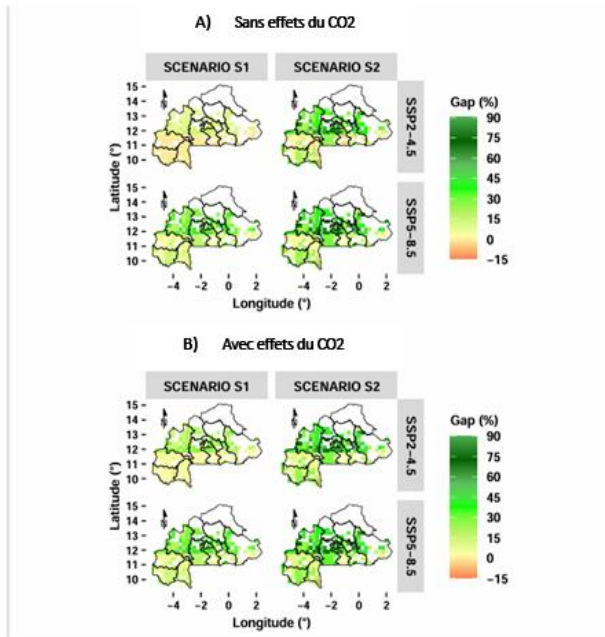


Figure 4 : Projection future des rendements du maïs au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios d'émission SSP2-4.5 et SSP5-8.5, tenant compte (ou non) de l'effet fertilisant du CO₂ et des scénarios agricoles (S1 et S2)

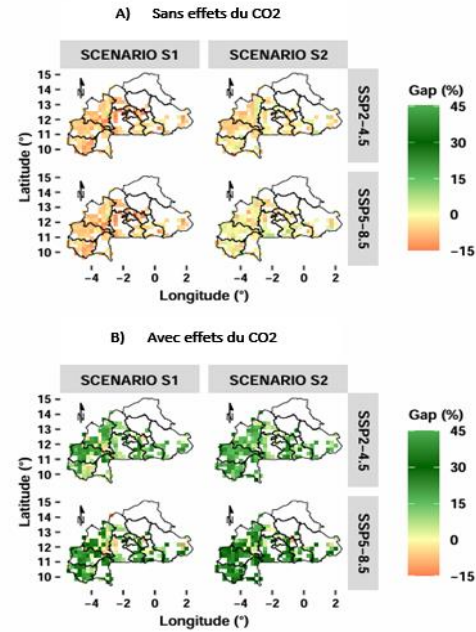


Figure 5 : Projection future des rendements du riz pluvial au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios d'émission SSP2-4.5 et SSP5-8.5, tenant compte (ou non) de l'effet fertilisant du CO₂ et des scénarios agricoles (S1 et S2)

Pour le riz pluvial, sensible au climat, les rendements seraient en baisse au niveau national (~8%) (données non montrées ici). A l'échelle locale, les baisses pourraient atteindre jusqu'à -15 %, sans intensification ni effet CO₂ (Fig. 5A). Toutefois, en prenant en compte l'effet de l'intensification agricole (S2) et du CO₂, les pertes sont atténuées, et les rendements peuvent croître de 5 à 45 % selon les scénarios climatiques et agricoles (Fig. 5B). Ces résultats liés aux impacts sur le maïs et le riz pluvial au niveau national diffèrent des projections régionales qui annoncent généralement une baisse des rendements des céréales pluviales dans le Sahel (Salack *et al.*, 2024), mais restent cohérents avec certaines études locales conduites au Burkina Faso (Some *et al.*, 2012). En effet, malgré les effets potentiellement négatifs de la hausse des températures sur les cultures tropicales, le maïs pourrait maintenir voire augmenter ses rendements si les précipitations restent favorables. Une légère élévation thermique, combinée à une pluviométrie accrue et à des conditions agroclimatiques stables, atténuerait ces impacts. En revanche, le riz, plante en C3 sensible à l'effet fertilisant du CO₂, bénéficierait d'une augmentation de rendement en présence de cet effet (FAO, 2008), mais subirait un déclin en son absence

Conclusion

En résumé, cette étude a mis en évidence les effets contrastés du climat futur sur les rendements du maïs et du riz pluvial au Burkina Faso, soulignant l'importance de scénarios adaptés aux réalités locales. Ainsi, l'étude offre une base scientifique pour guider les politiques agricoles face aux défis climatiques à venir. Toutefois, une approche multi-modèles à fine échelle reste nécessaire pour affiner les incertitudes et orienter les futures recherches vers des stratégies d'adaptation plus ciblées, résilientes et durables face aux changements climatiques.

Remerciements : Les auteurs remercient le centre de la NASA pour le climat, auteur des données de simulation NEX-GDDP-CMIP6. K. HIEN remercie l'ARES-CCD pour le financement de l'étude.

Bibliographie

- Alderman, P. D. (2021). Parallel gridded simulation framework for DSSAT-CSM (version 4.7.5.21) using MPI and NetCDF. *Geoscientific Model Development*, 14 (10), 6541-6569. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6541-2021>
- De Longueville, F., Hountondji, Y.C., Kindo I., Gemenne, F. & Ozer, P. (2016). Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950-2013). *Int. J. Climatol.*, 36(13), 4393-4405, <https://doi.org/10.1002/joc.4640>
- FAO. (2008). Chapitre 4. L'effet fertilisant du CO₂ : production et rétention accrues d'hydrates de carbone en termes de rendement en biomasse et en grain. In La croissance de la production alimentaire et la sécurité alimentaire dans le monde : Les défis futurs. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/4/w5183f/w5183f06.htm>
- Han, E., Ines, A.V.M., & Koo, J. (2019). Development of a 10-km resolution global soil profile dataset for crop modeling applications. *Environ. Model. Softw.*, 19, 70-83, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.05.012>
- INSD (2022). Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso : Synthèse des résultats définitifs. Rapport final. 136 p.
- INSD (2023). Projections démographiques 2020-2035 : Cinquième recensement général de la population et de l'habitat de 2019. édition 2, rapport final. 520p
- International Food Policy Research Institute (IFPRI) (2024). Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2020 Version 1.0", Harvard Dataverse, Version 3, <https://doi.org/10.7910/DVN/SWPENT>,
- Jha, P.K., Araya, A., Stewart, Z.P., Faye, A., Traore, H., Middendorf, B.J & Prasa, P.V.V (2021). Projecting potential impact of COVID-19 on major cereal crops in Senegal and Burkina Faso using crop simulation models, *Agricultural Systems*, 190, 103107, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103107>
- Knutti, R. & Sedláček, J. (2012). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Clim Change* , 3, 369–373. <https://doi.org/10.1038/nclimate1716>
- MARAH (2022). Tableau de bord statistique de l'agriculture, des ressources animales et halieutiques 2021 au Burkina Faso. Rapport final. 96 p.
- MAAHA (2021). Deuxième génération de la stratégie nationale de développement de la riziculture (SNDR-II) : 2021-2030. Document final. 129p.
- MARAH (2023). Plan opérationnel pour la souveraineté alimentaire et la création d'emplois décents dans le secteur agropastoral : « offensive agropastorale et halieutique 2023-2025 ». Document synthèse. 18p
- ME (Ministère de l'Environnement) (2022). Troisième Communication Nationale (TCN) sous la Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements climatiques. Rapport final. 268p
- Ouedraogo, E., Pouya, B.M., Gnankambary, Z. & Nacro, H.B. (2022). Pratiques paysannes de fertilisation du maïs et rotations culturales dans les exploitations à l'Ouest du Burkina Faso : quels effets sur les propriétés chimiques du sol et les rendements? *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(3): 1253-1268, April 2023 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)? <http://www.ifgdg.org/>, 16p
- Salack, S., Sarr, B., Sangare, K.S., Ly M., Sanda, S.I & Kunstmann, H. (2015). Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa, Contribution to CR Special 31 'Modelling climate change impacts for food security, *Clim Res*, 65:107–121, <http://dx.doi.org/10.3354/cr01282>
- Sawadogo, W., Neya, T., Semde, I., Korahiré, A.J., Combasséré, A., Traoré, D.E., Ouedraogo, P., Diasso, U.J., Abiodun J. B., Blifernicht, J. & Kunstmann, K. (2024) . Potential impacts of climate change on the sudan-sahel region in West Africa – Insights from Burkina Faso. *Environmental Challenges*, 15 (2), DOI: [10.1016/j.envc.2024.100860](https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100860)
- Some, L, Jalloh, A., Zougmore, R., Nelson, G., & Thomas, T (2012). Agriculture ouest africaine et changements climatique: Analyse exhaustive- le Burkina Faso. Retrieved December 19, 2024, <https://ebrary.ifpri.org/digital/api/collection/p15738coll2/id/127528/download>
- Sultan, B, Ahmed, A.I, Faye, B. & Trambly, Y (2023). Less negative impacts of climate change on crop yields in West Africa in the new CMIP6 climate simulations ensemble. *PLOS Clim*, 2 (12): <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pclm.0000263>
- Thraser, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T. & Nemani, R. (2022). NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6, *Sci Data* 9, 262, <https://doi.org/10.1038/s41597>
- Waongo, M., Laux, P., Coulibaly, A., Sy, S. & Kunstmann, H. (2024). Assessing the Impacts of Climate Change on Rainfed Maize Production in Burkina Faso, West Africa, *Atmosphere*, 15 (12), 1438. <https://doi.org/10.3390/atmos15121438>