

Impacts Potentiels du Changement Climatique sur les Rendements du Mil et du Sorgho Cultivés dans les Communes Rurales au Niger

Mahamadou Dan Ladi Tchoho

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université
Abdou Moumouni de Niamey

Agali Alhassane

Seydou Traoré

Agossou Gadedjisso-Tossou

AGRHYMET Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le
Sahel, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n36p95](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n36p95)

Submitted: 26 October 2023

Accepted: 23 December 2023

Published: 31 December 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tchoho M.D.L., Alhassane A., Traoré S. & Gadedjisso-Tossou A. (2023). *Impacts Potentiels du Changement Climatique sur les Rendements du Mil et du Sorgho Cultivés dans les Communes Rurales au Niger*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (36), 95.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n36p95>

Résumé

Le changement climatique constitue une menace majeure pour les populations de l'Afrique de l'Ouest, en général et du sahel, en particulier. Le Niger est, pleinement, concerné par cette situation qui se traduit par une grande variabilité pluviométrique et une forte récurrence de sécheresses depuis les années 1970s. Cette étude analyse l'impact du changement climatique sur les rendements du mil et du sorgho dans les Communes rurales de Balleyara, Dan Issa, Dogo, Harikanassou, Illéla, Magaria et Mokko, au Niger. Deux variétés de mil (HKP et SOMNO) et une de sorgho (Caudatum) ont été testées. Les données climatiques, utilisées sur la période de référence 1990-2020, proviennent de la Météorologie Nationale du Niger et de l'AGRHYMET Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le Sahel. Le modèle SARRA-H (V33) a été utilisé pour simuler les rendements des différentes variétés sur la période de référence et les périodes futures (2010-2039 et 2040-2069), sur la base des RCP4.5 et 8.5. Pour chaque Commune, les données des scénarios futurs de changement climatique ont été générées par 05 modèles

globaux choisis parmi les 29 testés dans le cadre du projet AgMIP, en tenant compte de 05 conditions climatiques : Fraiche et Humide, Fraiche et Sèche, Moyenne, Chaude et Humide, Chaude et Sèche. Trois dates de semis (Dates précoce, moyenne et tardive), deux types de sols (sableux et sablo-argileux) et deux niveaux de fertilité du sol (Fertile et Non-Fertile) ont été considérés dans le modèle SARRA-H, pour chaque Commune. Les rendements simulés pour les variétés de mil et de sorgho sur la période 1990-2020 ont été plus élevés dans la Commune de Magaria et plus faibles dans celles de Balleyara et Illéla, en particulier pour un semis tardif fait sur un sol non-fertile. Les impacts des scénarios climatiques futurs se sont traduits par des baisses de rendements des variétés testées, allant de -5% à -70% selon les RCP, les horizons, les Communes, les types de sol et les dates de semis. La variété de mil photopériodique SOMNO a été la moins sensible aux scénarios climatiques testés et la variété de sorgho Caudatum la plus sensible. Ces résultats montrent que le choix des variétés et des dates de semis les plus adaptées aux conditions pédoclimatiques locales peut atténuer l'impact du changement climatique sur les rendements agricoles au Niger, notamment avec l'apport de fertilisants et le déploiement de mesures de réduction des impacts négatifs des déficits pluviométriques.

Mots-clés: Impact du Changement Climatique, Anomalies de Rendements, Mil, Sorgho, Dates de semis, fertilité du sol, Niger

Potential Impacts of Climate Change on Millet and Sorghum Yields in Rural Communities in Niger

Mahamadou Dan Ladi Tchoho

Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université
Abdou Moumouni de Niamey

Agali Alhassane

Seydou Traoré

Agossou Gadedjisso-Tossou

AGRHYMET Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le
Sahel, Niamey, Niger

Abstract

Climate change is a major threat to the populations of West Africa in general, and the Sahel in particular. Niger is fully concerned by this situation, which has resulted in high rainfall variability and recurrent droughts since the 1970s. This study analyzes the impact of climate change on millet and

sorghum yields in the rural Communes of Balleyara, Dan Issa, Dogo, Harikanassou, Illéla, Magaria and Mokko, Niger. Two millet varieties (HKP and SOMNO) and one sorghum variety (Caudatum) were tested. Climatic data for the reference period 1990-2020 were obtained from the Niger National Meteorology Service and the AGRHYMET Regional Climate Center for West Africa and the Sahel. The SARRA-H (V33) model was used to simulate yields of different varieties over the reference and future periods (2010-2039 and 2040-2069), based on RCP4.5 and 8.5. For each Commune, data for future climate change scenarios were generated by 05 global models chosen from the 29 tested as part of the AgMIP project, considering 05 climatic conditions: Cool and Humid, Cool and Dry, Medium, Hot and Humid, Hot and Dry. Three sowing dates (early, medium, and late), two soil types (sandy and sandy-clay) and two soil fertility levels (Fertile and Non-Fertile) were considered in the SARRA-H model, for each Commune. Simulated yields for millet and sorghum varieties over the period 1990-2020 were higher in the Commune of Magaria and lower in those of Balleyara and Illéla, particularly for late sowing on non-fertile soil. The impacts of future climate scenarios translated into yield reductions for the varieties tested, ranging from -5% to -70% depending on the RCP, horizons, Communes, soil types and sowing dates. The photoperiodic millet variety SOMNO was the least sensitive to the climatic scenarios tested, and the sorghum variety Caudatum the most sensitive. These results show that the choice of varieties and sowing dates best suited to local soil and climate conditions can mitigate the impact of climate change on agricultural yields in Niger, notably through the use of fertilizers and the deployment of measures to reduce the negative impacts of rainfall deficits.

Keywords: Climate Change Impact, Yield Anomalies, Millet, Sorghum, Sowing Dates, Soil Fertility, Niger

Introduction

Pays continental, situé en plein cœur du Sahel, le Niger est, pleinement, concerné par la situation du changement climatique, car les trois quarts de sa superficie se trouvent dans la partie où le climat connaît une grande variabilité pluviométrique, se traduisant par une forte sécheresse depuis les années 1970. L'irrégularité des pluies et l'instabilité des saisons agricoles constituent quelques-uns des multiples indicateurs du changement climatique actuel dans cette région (Vodounou et Doubogan, 2016 ; Bichet et Diedhiou, 2018). Au Niger, comme dans beaucoup de pays où la sécurité alimentaire repose sur l'agriculture pluviale, les effets du changement climatique demeurent une préoccupation majeure, d'autant plus qu'il existe une forte corrélation entre sécheresses et famines et, de plus en plus, entre inondations et déficits céréaliers. La relation entre la pluie et le rendement

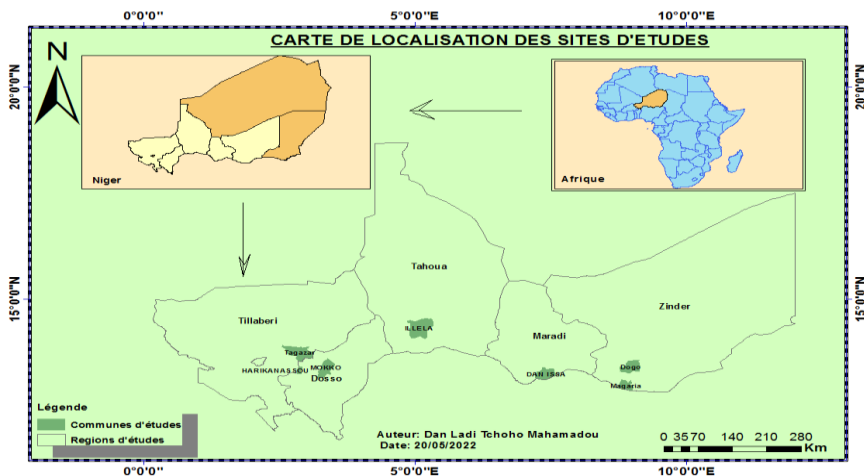
agricole est complexe et non univoque car une année pluvieuse n'implique pas systématiquement une bonne moisson agricole et vice versa (Faye *et al.*, 2018). Celle-ci dépend de la distribution spatio-temporelle des pluies et de leurs caractéristiques (hauteur, intensité), en plus des facteurs sociaux, environnementaux, etc. Au cours des dernières décennies, les précipitations se sont caractérisées par une forte variabilité spatio-temporelle au Niger, du fait de l'intermittence et de la modification des caractéristiques des systèmes précipitants convectifs (Rossi *et al.*, 2012 ; Panthou, 2013) et par une intensification des pluies (Descroix *et al.*, 2015 ; Panthou *et al.*, 2018). Ces caractéristiques se répercutent sur les productions agricoles à travers le décalage entre le début de la saison des pluies et la date de semis réussi (Balme *et al.*, 2005 ; Marteau *et al.*, 2010), l'exacerbation de stress hydrique au cours de la croissance des cultures (Sitta et BacCI, 2016) et la baisse des rendements (Janicot *et al.*, 2015). D'où une fréquence des déficits céréaliers (Olivier De Sardan, 2011). Ces contraintes de production font que le retour de la pluviosité observée depuis les années 1990 est, soit non perçu par les acteurs locaux (Descroix *et al.*, 2015), soit de peu d'intérêts agronomiques. Finalement, les difficultés de l'agriculture pluviale restent aussi élevées que pendant les sécheresses des années 1970 -1990 (Alhassane *et al.*, 2013) et place les populations en première ligne face aux risques climatiques. Pour minimiser ces risques, plusieurs tentatives de réorientation des politiques agricoles ont été initiées par l'Etat du Niger et ses partenaires, à travers notamment la réalisation des ouvrages de mobilisation des eaux et la promotion des cultures irriguées (Boureima, 2016). Relativement à cette situation, il est hautement nécessaire d'évaluer l'impact du changement climatique sur les rendements de principales céréales pluviales cultivées au Niger afin de pouvoir identifier le degré de perte et les capacités d'augmentations de la production agricole pour subvenir aux besoins de la population du pays en rapport avec les tendances actuelles et futures du climat. C'est dans cette optique que cet article aborde l'étude des impacts du changement climatique sur les rendements de deux variétés de mil (HKP et SOMNO) et d'une variété de sorgho (Caudatum) cultivées au Niger. L'étude a pour objectif global d'évaluer les variations des rendements de ces variétés sous les effets du changement climatique, afin d'identifier celles qui sont les plus adaptées aux conditions locales de sept (07) Communes du Niger concernées par cette étude. De manière spécifique, elle vise i) déterminer les tendances actuelles et futures des rendements estimés à l'aide du modèle agronomique SARRA-H, en fonction des trois dates de semis retenues pour chaque Commune, ii) mesurer le niveau d'impact du changement climatique sur les rendements des principales céréales pluviales (mil et sorgho) et iii) identifier la culture/variété et la Commune ainsi que la date de semis la plus adaptée aux effets néfastes du changement climatique,

aussi bien, sur la période de référence (1990-2020) que sur les scénarios futurs (2010-2039 et 2040-2069).

Materiel et methodes

Présentation des zones d'étude

Les zones d'étude portent sur les Communes rurales de Balleyara (entre 13,52 et 13,88 de latitude Nord et entre 2,56 et 3,13 de longitude Est), Dan Issa (7.41 de longitude Est et 13.26 de latitude Nord), Dogo (entre 13.50 de latitude Nord et 9.02 de longitude Est), Harikanassou (entre 13.26 de latitude Nord et 2.84 de longitude), Illéla (entre 5.24 de longitude Est et 14.46 de latitude Nord), Magaria (entre 13.00 de latitude Nord et 8.91 de longitude Est) et Mokko (entre 13,17 de latitude Nord et 3,26 de longitude Est). Dans ces Communes (figure 1), les principales activités économiques des populations sont l'agriculture, l'élevage sédentaire, l'artisanat et le petit commerce. (INS-Niger, 2018). La date de début de la saison agricole est variable d'une Commune à une autre, selon le zonage agroécologique (DMN, 2020). Elle se situe généralement entre le 1^{er} et le 10 juin, au niveau des Communes de Mokko, Balleyara, Harikanassou, Dogo et Illéla et entre le 10 et 20 juin, au niveau de celles de Dan Issa et Magaria. Quant à la date de fin de la saison agricole, elle intervient généralement entre les 10 et le 20 septembre, au niveau de toutes les Communes. Sur cette base, la longueur moyenne de la saison agricole est relativement peu variable, selon les Communes (entre 90 et 98 jours à Balleyara, Illéla, Magaria et Mokko et entre 100 et 110 jours à Dan Issa, Dogo et Harikanassou). Ces Communes ont été choisies parce que les données socioéconomiques y ont été déjà collectées.



Matériel végétal

Deux principales céréales cultivées au Niger ont été considérées dans le cadre cette étude. Il s'agit du mil (variétés HKP et SOMNO) et du sorgho (variété Caudatum).

La variété de mil HKP (localement appelée Haini-Kirei Précoce) a été développée par l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et améliorée par sélection massale par grille (SMG) pendant quatre générations par l'Institut International de Recherches sur les Cultures des Zones Tropicales et Semi-Arides ou "International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics" (ICRISAT). Elle a un cycle de développement de 90 à 95 jours et elle est vulgarisée dans toutes les zones milicoles du Niger où la pluviométrie varie entre 300 et 600 mm d'eau. Son rendement potentiel en grains peut atteindre 1300 à 1800 kg/ha (Alhassane, 2009).

La variété de mil SOMNO est une variété photopériodique à cycle long (120 à 150 jours) développée à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). Elle est adaptée à la zone Nord soudanienne, où la saison des pluies est plus longue avec des précipitations atteignant 700 à 800 mm d'eau (Kaboré et al. 2017). Elle a un rendement potentiel en grains de 2000 à 2500 kg/ha (Alhassane, 2009).

La variété de sorgho Caudatum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) a été développée en 1983 et homologuée 1994 par l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole et l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales (ISRA-IRAT) à Bambey au Sénégal. Elle a été sélectionnée sous le numéro IS 87-7 : 74-55, à partir d'une lignée du Sénégal croisée avec l'écotype Naga white du Ghana. Elle a un cycle de 90 jours et elle s'adapte bien aux zones bénéficiant d'un cumul pluviométrique de 400 à 700 mm d'eau. Elle est faiblement photopériodique et son rendement potentiel atteint 2500 à 5000 kg/ha.

Outils informatiques

Pour déterminer les bonnes plages de semis, le logiciel INSTAT+ version 3.036 a été utilisé pour les calculs de dates de début de la saison agricole au niveau des différentes Communes de l'étude. Le logiciel CDT (Climate Data Tools) a été utilisé pour compléter les données manquantes dans les séries (pluviométrie et températures) observées sur la période de référence 1990-2020 par les données satellitaires (TAMSAT et JRSS). Le logiciel R a permis de générer les données journalières futures de températures (maximales et minimales) et de la pluviométrie sur les périodes 2010-2039 et 2040-2069, en utilisant la méthode AgMIP (Nicholas *et al.*, 2013). Le logiciel SARRA-H (V33) a été utilisé pour simuler les rendements des variétés des trois céréales sur la période de référence (1990-2020) et les horizons futurs 2010-2039 et 2040-2069. Le logiciel R Commander a permis les analyses

statistiques de rendements grains simulés. Le logiciel Excel a permis de calculer les valeurs moyennes, et d'élaborer certains graphiques des rendements grains selon les variétés, les dates de semis, les types de sols et les niveaux de fertilité du sol.

Methodes

Collecte et préparation des données climatiques

Les données climatiques utilisées pour simuler les rendements des différentes variétés de mil et de sorgho sur la période de référence 1990-2020 sont des données journalières observées de températures (maximales et minimales), de pluviométrie, de rayonnement global et d'évapotranspiration potentielle (ETP) obtenues au niveau du Centre Régional AGRHYMET de Niamey au Niger. Les données de pluviométries, comportant des valeurs manquantes, ont été complétées avec des données satellitaires, issues de TAMAST, par la méthode du merging des données journalières, c'est-à-dire d'association des données observées et de données satellitaires.

Données de scénarios futurs de changement climatique

Sur la base des données mergées sur la période de référence (1990-2020), un script R a été utilisé pour générer les données de pluviométries, de températures maximales et minimales pour les horizons futurs allant de 2010-2039 et 2040-2069, sur la base de la méthode AgMIP utilisant les sorties de 29 modèles climatiques globaux (Ruane *et al.*, 2015). Cela consiste à élaborer les scénarios climatiques futurs en ajustant les observations historiques quotidiennes pour faire correspondre les changements climatiques mensuels moyens en termes de température et de pourcentage de précipitations déterminés par les simulations des modèles climatiques globaux sur la période de référence 1990-2020. Ainsi, deux RCP (Representative Concentration Pathway) ont été considérés dans la génération des données des scénarios futurs. Il s'agit du RCP4.5 (optimiste) et RCP8.5 (pessimiste). Quant aux données journalières de rayonnement global ou radiation solaire (R_s), elles ont été calculées avec la formule de Hargreaves et Samani (1985), utilisée par Irwanto *et al.*, 2015, permettant d'estimer le rayonnement solaire à partir de la différence entre les températures maximale et minimale de l'air en utilisant une équation simple (Almorox et Hontoria, 2003; Bandyopadhyay *et al.*, 2008 ; Chineke, 2007) :

$$R_s = a.R_a(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (1)$$

Où, R_s est la radiation solaire en $\text{MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$; T_{\max} et T_{\min} sont respectivement la température quotidienne maximale et minimale de l'air en $^{\circ}\text{C}$; R_a est le rayonnement extraterrestre, en $\text{MJ.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ qui est une fonction de la latitude et du jour de l'année ; et a est un coefficient empirique dont la valeur

est de 0,16 pour les régions intérieures et 0,19 pour les régions côtières. La valeur de R_a est donnée par :

$$R_a = (1440 / \pi) \cdot SC \cdot DF \cdot (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s + W_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta) \quad (2)$$

SC est la constante solaire (1367 W/m^2 ou $0,082 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$) et DF est le facteur de correction de l'excentricité de l'orbite terrestre pouvant être calculé par l'expression :

$$DF = 1.0 + 0.033 \cdot \cos \cos (2 \cdot \pi \cdot (\text{Jour julien}/365)) \quad (3)$$

ϕ est la latitude du site, peut être calculée par l'expression :

$$\phi = \text{latitude} \cdot \pi / 180 \quad (4)$$

δ est la déclinaison solaire, peut être calculée par l'expression :

$$\delta = (23.45 \cdot \pi / 180) \cdot \sin \sin (2 \cdot \pi \cdot (284 + \text{jour julien}) / 365) \quad (5)$$

W_s est l'angle horaire moyen du lever du soleil, peut être calculé par l'expression :

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (6)$$

Choix des meilleurs modèles climatiques pour la génération des scénarios futurs de changement climatique

Le choix de meilleurs modèles globaux, pour générer les scénarios futurs de changement climatique selon les Communes de l'étude, a été fait sur la base d'une analyse statistique ayant permis d'identifier à chaque fois le modèle (parmi les 29 utilisés dans la méthode AgMip) dont la sortie moyenne se rapproche au mieux du point moyen pour chacune des cinq éventuelles situations de changement climatique définies dans la méthode AgMIP. Il s'agit des conditions Fraiche et Sèche, Fraiche et Humide, Chaude et Sèche, Chaude et Humide et Moyenne, comme montrées dans les différents cadrans de la figure 2 constituant un exemple juste pour la Commune de Balleyara.

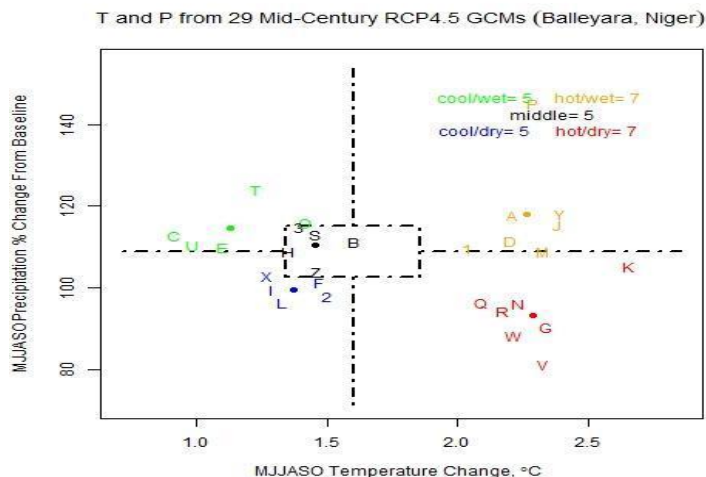


Figure 2. Choix des meilleurs modèles globaux simulant mieux le climat futur aux horizons 2010-2039 et 2040-2069 au niveau de la Commune de Balleyara

Tableau 1. Les différents modèles climatiques retenus pour simuler l'impact du changement climatique sur les rendements du mil et du sorgho aux horizons futurs 2010-2039 et 2040-2069 dans les différentes Communes de l'étud

Communes	Scenarios climatiques				
	Frais et Sec	Frais et Humide	Moyen	Chaud et Humide	Chaud et Sec
<i>Balleyara</i>	2 = GISS-E2-R	E = CCSM4	Z=IPSL-CM5B-LR	A = ACCESS1-0	W = CMCC-CMS
<i>Dan Issa</i>	L= inmcm4	E = CCSM4	1=GFDL-CM3	A = ACCESS1-0	W = CMCC-CMS
<i>Dogo</i>	L = inmcm4	T = NorESM1-M	F = CESM1-BGC	A = ACCESS1-0	R= MPI-ESM-MR
<i>Harikanassou</i>	2 = GISS-E2-R	T = NorESM1-M	H = GFDL-ESM2G	A = ACCESS1-0	W = CMCC-CMS
<i>Illéla</i>	L = inmcm4	C = BNU-ESM	B = bcc-csm1-1	A = ACCESS1-0	W = CMCC-CMS
<i>Magaria</i>	L= inmcm4	S = MRI-CGCM3	B = bcc-csm1-1	A = ACCESS1-0	R = MPI-ESM-MR
Mokko	2 = GISS-E2-R	T = NorESM1-M	H = GFDL-ESM2G	A = ACCESS1-0	W = CMCC-CMS

Détermination des dates de semis

Les dates de début de la saison agricole (pluvieuse) ont été calculées selon les communes de l'étude, en utilisant les données journalières des pluviométries, pour la période de référence (1990-2020) et les horizons futurs 2010-2039 et 2040-2069. Le critère utilisé à cet effet consiste à observer le démarrage de la saison agricole lorsqu'à partir du 1^{er} mai une quantité de pluie d'au moins 20 mm est enregistré en 1 à 3 jours consécutifs, sans qu'un épisode sec de plus de 20 jours ne soit observé pendant les 30 jours qui suivent (Sivakumar, 1988 ; Tinni *et al.*, 2021). C'est sur la base des dates de début de la saison agricole ainsi déterminées que les dates de semis ont été définies dans le modèle de simulation des rendements des cultures SARRA-H selon les Communes de l'étude (tableau 2).

Tableau 2. Dates de semis utilisées dans le modèle SARRA-H pour simuler les rendements des variétés de mil et de sorgho pour les différentes Communes de l'étude, sur la période de référence 1990-2020 et les horizons futurs 2010-2039 et 2040-2069

Communes	Dates de semis		
	Date1 (précoce)	Date2 (moyenne)	Date3 (tardive)
Balleyara	27 mai	23 juin	07 juillet
Dan Issa	24 mai	15 juin	07 juillet
Dogo	13 mai	12 juin	06 juillet
Harikanassou	27 mai	12 juin	26 juin
Illéla	24 mai	16 juin	12 juillet
Magaria	14 mai	15 juin	08 juillet
Mokko	01 juin	13juin	02 juillet

Analyses des sorties du modèle SARRA-H

Les rendements grains, simulés par le modèle SARRA-H, ont été analysés selon les Communes, les cultures/variétés, les dates de semis, les

types de sols (sableux et sablo-argileux) et les scénarios climatiques futurs (2010-2039 et 2040-2069), sur la base des calibrages déjà établis pour les variétés et les types de sol (Alhassane, 2009). Des anomalies de rendements ont été calculées entre les rendements de la période de référence et ceux simulés pour les scénarios futurs de changement climatique afin d'identifier les tendances des impacts du changement climatique. La formule qui a été utilisée pour calculer les anomalies est la suivante :

Anomalies de rendement = (Rendement du scénario futur – Rendement de la période de référence) / rendement de la période de référence

Analyses statistiques des résultats

Les rendements grains simulés sur la période de référence (1990-2020) ont été analysés statistiquement selon les Communes, les dates de semis, les types de sol et le niveau de fertilité du sol, en utilisant successivement :

- 1) le Test de normalité de Shapiro-Wilk (1965), pour statuer sur la distribution des données sur la base de l'Hypothèse nulle (H₀) : si les rendements sont normalement distribués, et de l'Hypothèse alternative (H₁) : si les rendements ne sont pas distribués ;
- 2) le Test non paramétrique de Kruskal Wallis (1952), pour le croisement individuel entre la variable Rendement avec les facteurs (Dates de semis, niveau de fertilisations, Communes et types de sols) et pour l'évaluation de la significativité des différences.
- 3) le Test non paramétrique de Dunn (1961), pour les comparaisons multiples par paires des rendements afin d'identifier et de classer différents types en différents groupes en fonction de la variable.

Resultats

Rendements grains simulés pour le mil HKP sur la période de référence 1990-2020

Les rendements simulés pour la variété de mil HKP sur la période de référence 1990-2020 ont été plus élevés et plus homogènes dans la Commune de Magaria, sur tous les deux types de sols (sableux et sablo-argileux) et leurs niveaux de fertilité (figure 3A, B, C et D). Au niveau de cette Commune, les rendements les plus faibles simulés pour la variété HKP sur les sols sableux et sablo-sablo-argileux fertile se situent autour de 1100kg/ha, les plus élevés atteignent 1500 kg/ha avec des valeurs médianes d'autour de 1400 kg/ha, pour toutes les dates de semis (figure 3A et B). Cependant, sur les sols sableux et sablo-argileux non fertiles, cette variété a donné des rendements grains globalement plus faibles, avec des valeurs minimales ≤ 750 kg/ha selon les semis des Date1, Date2 et Date3, pour des valeurs maximales de l'ordre de 1200 kg/ha pour Date1 et Date2 et de 1100 kg/ha pour Date3 sur le sol sableux

(figure 3C). La même tendance a été observée sur le sol sablo-argileux (figure 3D), mais avec des rendements minimums plus faibles (± 520 kg/ha). La même figure 3 (A, B, C et D) montre que les rendements de la variété de mil HKP ont été globalement plus faibles dans les Communes d'Illéla et de Balleyara et aussi dans celles de Harikanassou et Mokko sur les sols non fertiles (figure 3C et D). Dans les Communes de Dogo et de Dan Issa la HKP a donné des rendements intermédiaires sur tous les types de sols et leurs niveaux de fertilité (figure 3A, B, C et D). Sur le plan statistique, le test de Dunn (1964) a montré des différences significatives entre les rendements simulés pour cette variété à Magaria et ceux simulés à Balleyara, Harikanassou, Illéla et Mokko, au seuil de 5%. Cependant, ce test n'a pas montré des différences significatives entre les rendements des différentes dates de semis (Date1, Date2 et Date3) retenues

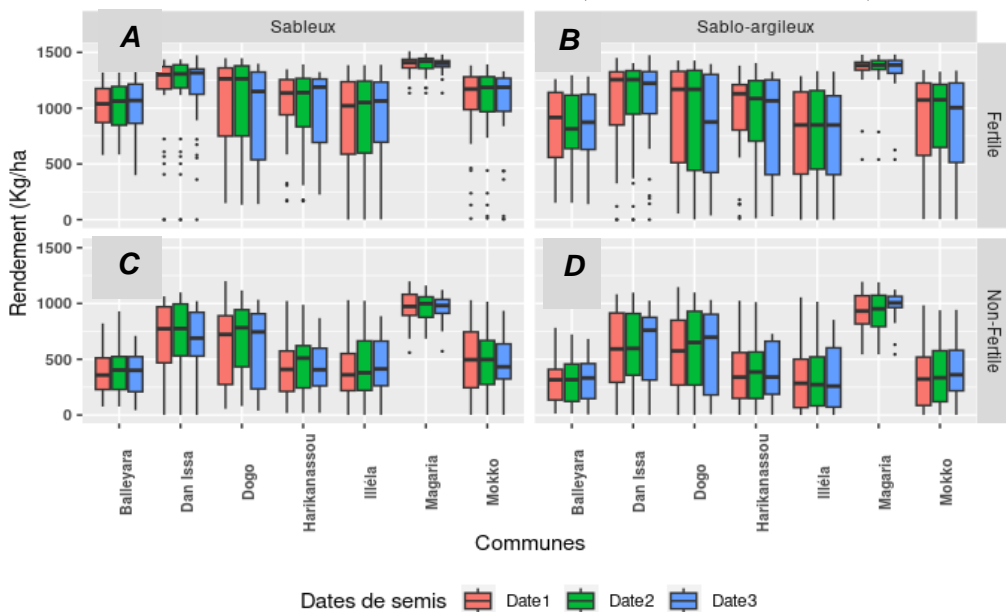


Figure 3. Rendements grains simulés pour la variété de mil HKP sur un sol sableux et sablo-argileux fertile (A et B) et non-fertile (C et D) selon la date de semis (Date1, Date2 et Date3) dans les Communes de Balleyara, Dan Issa, Dogo, Harikanassou, Illéla, Magaria et Mokko

Rendements grains simulés pour le mil SOMNO sur la période 1990-2020

Pour la variété de mil SOMNO, les rendements grains simulés sur la période de référence 1990-2020 ont été plus élevés au niveau de la Commune de Magaria, quels que soient le type et le niveau de fertilité du sol (figure 4A, B, C et D). Cette figure montre qu'à Magaria, les plus faibles rendements simulés pour cette variété sont de l'ordre de 200kg/ha sur le sol sableux fertile et de 90 kg/ha sur le sol sablo-argileux fertile. Les rendements les plus élevés ont varié selon la date de semis, atteignant 1700 kg/ha avec la Date1 et 1600 kg/ha avec Date3, sur le sol sableux, contre respectivement 1750kg et 1600

kg/ha pour Date1 et Date3 sur le sol sablo-argileux. Les rendements médians ont été aussi été plus élevés avec la Date1 qu'avec la Date3 sur les sols sableux et sablo-argileux fertilisés (figure 4A et B). La Date2 occupe souvent une position intermédiaire. Cependant, sur les sols sableux non fertile les rendements grains le plus faibles sont de l'ordre de 500 kg/ha pour toutes les trois dates de semis, contre 130 kg/ha le sol sablo-argileux non fertile. Les rendements grains les plus élevés simulés pour les sols sableux et sablo-argileux non fertiles sont de l'ordre de 1350 kg/ha (figure 4C et D) avec les dates de semis Date1 et Date2 (la Date3 ayant donné des rendements légèrement plus faibles). La figure 4 (A, B, C et D) montre que les rendements de la variété de mil SOMNO ont varié selon les types de sols et ils ont été globalement plus faibles dans les Communes de Balleyara, Dogo et Illéla sur tous les deux types de sols et les niveaux de fertilité. Dans les Communes de Dan Issa, Harikanassou et Mokko, la variété SOMNO a donné des rendements intermédiaires, sur tous les types de sols, fertiles et non fertiles (figure 4A, B, C et D). Le test de Dunn (1961) a montré des différences significatives au seuil de 5% entre les rendements simulés pour cette variété selon les Communes. En effet, les rendements simulés pour la Commune de Magaria sont significativement plus élevés que ceux simulés pour toutes les autres Communes. Par ailleurs, les rendements simulés pour Dan Issa et Harikanassou sont aussi significativement plus élevés que ceux de Balleyara, Dogo et Illéla. En ce qui concerne les dates de semis, elles ont influencé les rendements de la variété SOMNO dans toutes les Communes et pour tous les types de sols et niveaux de fertilité, mais avec un effet non statistiquement significatif.

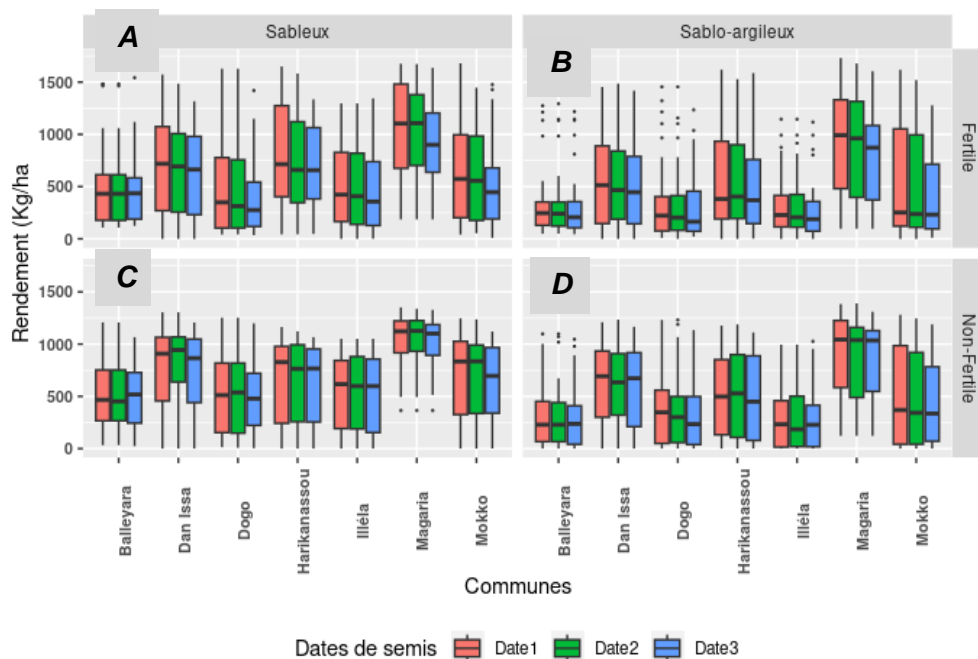


Figure 4. Rendements grains simulés pour la variété de mil SOMNO sur un sol sableux et sablo-argileux fertile (A et B) et non-fertile (C et D) selon la date de semis (Date1, Date2 et Date3) dans les Communes de Balleyara, Dan Issa, Dogo, Harikanassou, Illéla, Magaria et Mokko

Rendements grains simulés pour le sorgho Caudatum sur la période 1990-2020

Chez la variété de sorgho Caudatum, les rendements grains simulés ont été également plus élevés dans la Commune de Magaria aussi bien sur le sol sableux (fertile et non-fertile) que sur le sol sablo-argileux (fertile et non-fertile). En effet, la figure 5A, B, C et D montre qu'au niveau de cette Commune les rendements grains les plus faibles on atteint 2150kg/ha sur le sol sableux fertile (avec les dates de semis Date1 et Date2), contre 1300kg/ha sur le sol sablo-argileux fertile (avec la Date1), 1000 kg/ha sur le sol sableux non fertile (avec les Date1 et Date2) et autour de 600 kg/ha sur le sol sablo-argileux non fertile (avec la Date2). Les rendements les plus élevés simulés pour la variété Caudatum ont atteint 3750 kg/ha sur le sol sableux fertile et 3650 kg/ha sur le sol sablo-argileux fertile (figure 5A et B), avec des valeurs médianes légèrement supérieures à 3000 kg/ha, sur les deux types de sols et pour toutes les dates de semis (Date1, Date2 et Date3). Cependant, sur les sols sableux et sablo-argileux non-fertiles, les rendements les plus élevés simulés pour cette variété de sorgho à Magaria sont restés inférieurs à 2500 kg/ha avec toutes les dates de semis (figure 5C et D). Par ailleurs, la figure 5A, B, C et D montre que les rendements de la variété Caudatum ont été globalement plus

faibles dans les Communes de Balleyara et Illéla, sur tous les deux types de sols (fertiles ou non-fertiles) et avec toutes les trois dates de semis. Dans les Communes de Dan Issa, Dogo, Mokko et Harikanassou, la variété Caudatum a donné des rendements certes variables selon les types de sols les niveaux de fertilité et les dates de semis, mais qui sont globalement meilleurs à ceux obtenus à Balleyara et à Illéla. Le test statistique de Dunn (1961) a montré des différences significatives (au seuil de 5%) entre les rendements simulés pour cette variété à Magaria et ceux de Balleyara, Harikanassou, Illéla et Mokko. Les rendements simulés à Madaglia ne sont pas significativement différents de ceux de Dan Issa et Dogo. Des différences significatives ont aussi été enregistrées entre les rendements simulés aux dates de semis Date1 et Date2 et aux dates de semis Date1 et Date3.

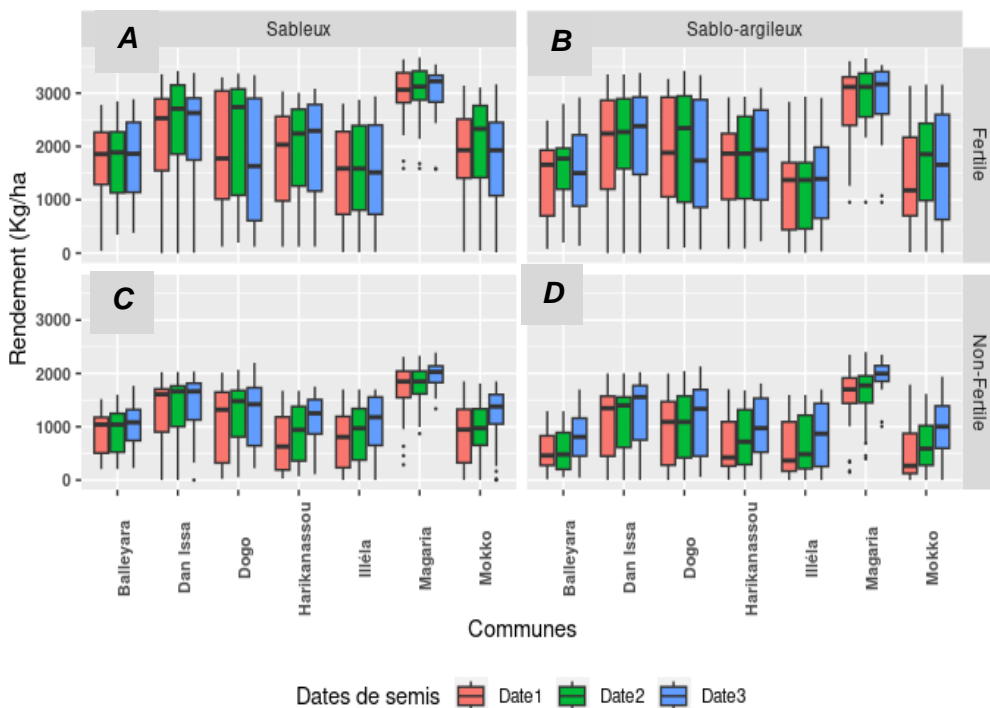


Figure 5. Rendements grains simulés pour la variété de sorgho Caudatum sur un sol sableux et sablo-argileux fertile (A et B) et Non-fertile (C et D) selon la date de semis (Date1, Date2 et Date3) dans les Communes de Balleyara, Dan Issa, Dogo, Harikanassou, Illéla, Magaria et Mokko

Impact de changement climatique sur les rendements grains des variétés de mil HKP et SOMONO et de sorgho Caudatum aux horizons 2010-2039 et 2040-2069

Impact sur les rendements grains de la variété de mil HKP sur le sol sableux

Sur le sol sableux fertile, les conditions climatiques projetées à l'horizon 2010-2039 avec le RCP4.5 présagent une légère baisse des rendements grains de la variété de mil HKP (de moins de -5%) pour toutes les dates de semis retenues (Date1, Date2 et Date3), notamment dans les Communes de Balleyara, Harikanassous, Magaria et Mokko (figure 6A). Cependant, il y a des possibilités d'une légère augmentation des rendements de la même variété de mil à Dan Issa, Dogo et Illéla (moins de +8%) sur le même type de sol. Dans les conditions du RCP8.5, c'est la même tendance qui serait maintenue (sauf à Dogo), mais avec des baisses de rendements plus importantes à Balleyara (figure 6B). En revanche, à l'horizon 2040-2069, les baisses de rendements seraient généralisées à toutes les Communes sur le sol sableux, avec des réductions variables selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3) atteignant -10% à Ballayara, Harikanassou et Mokko avec le RCP4.5 (figure 6E) et plus de -10% avec le RCP8.5 au niveau des mêmes Communes ainsi que celle de Illéla (figure 6F). Toutefois, si le sol n'est pas fertile, les rendements de la variété de mil HKP connaîtraient des baisses importantes selon les Communes et les dates de semis, les RCP et les horizons futurs (Figure 6C, D, G et H). En effet, des baisses de rendements atteignant -25% à -30% pourraient être observées à Balleyara, Dogo, Harikanassou et Mokko à l'horizon 2010-2030 avec le RCP4.5, notamment avec la troisième date de semis (Date3). Les baisses de rendements seraient plus accrues sur le sol sableux non fertile avec les RCP 8.5 et plus particulièrement à l'horizon 2040-2069 auquel des baisses de plus de -50% sont estimées dans toutes les Communes avec le RCP8.5 et la date de semis Dtae3 (figure 6H). D'une manière générale, les baisses de rendements seraient plus importantes avec les dates de semis plus tardives (Date3).

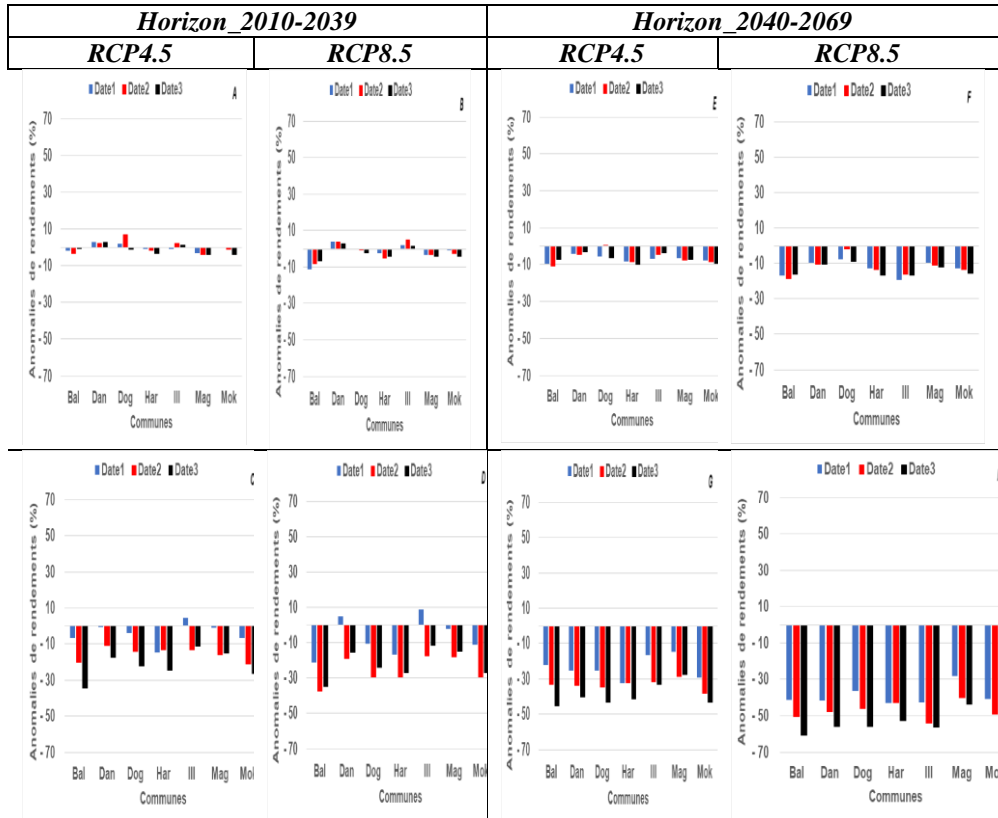


Figure 6. Anomalies des rendements grains de la variété de mil HKP sur un sol sableux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D, G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok)

Impact sur les rendements grains de la variété de mil HKP sur le sol sablo-argileux

Sur le sol sablo-argileux fertile, les rendements grains simulés pour la variété de mil HKP avec les conditions du RCP4.5 à l’horizon 2010-2039 montrent des baisses de moins de -5% au niveau de la Commune de Magaria, à toutes les dates de semis retenues. Dans les autres Communes, c’est plutôt une augmentation des rendements de l’ordre de +1% à 17% qui est possible, notamment à Dogo avec la Date2 (figure 7A). Avec le RCP8.5, la même tendance est observée sauf à Balleyara, Harikanassou, Magaria et Mokko où des baisses de rendements de l’ordre de -5% à -12% seraient enregistrées à toutes les dates de semis (figure 7B). A l’horizon 2040-2069, les baisses de rendements du mil HKP pourraient être globalement plus importantes avec les deux RCP (4.5 et 8.5) au niveau de toutes les Communes de l’étude, sauf à Dogo où une hausse de +10% est possible avec la Date2. La baisse de rendements serait plus importante avec le RCP8.5 (de -22%) à la date de semis

Date1 (figures 7E et F). Sur le sol non fertile, les baisses de rendements seraient plus accrues (-10% à -40%) selon les Communes et les dates de semis, comme le montrent les figures 7C, D, G et H. A l’horizon 2040-2069, les baisses de rendements atteindraient -15% à -60% selon le RCP4.5 et RCP8.5 et les Communes de l’étude (figure 7G et H).

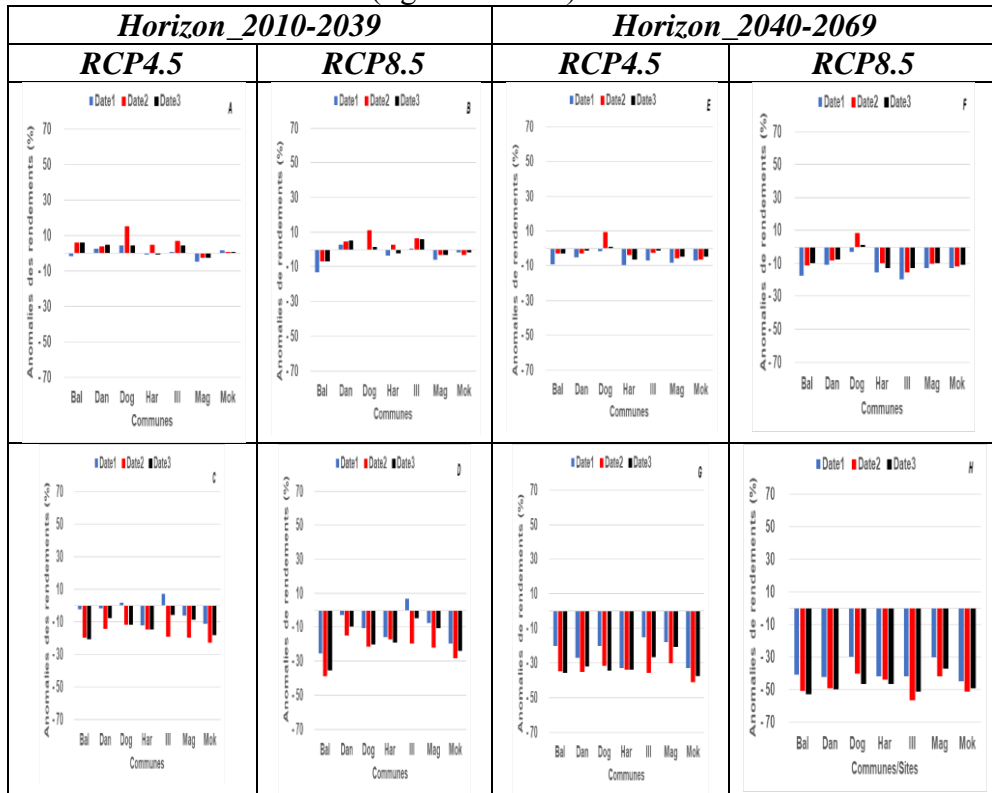


Figure 7. Anomalies des rendements grains de la variété de mil HKP sur un sol sablo-argileux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok)

Impact sur les rendements grains de la variété de mil SOMNO sur le sol sableux

Les scénarios futurs de changement climatique testés (sur la base des RCP4.5 et RCP8.5) permettraient une importante augmentation des rendements grains de la variété du mil SOMNO (photopériodique) sur le sol sableux fertile, au niveau de toutes les Communes de l’étude et à toutes les dates de semis (figures 8A, B, E et F). Ces figures montrent que l’augmentation de rendements est possible dans toutes les Communes, mais elle serait plus importante dans celles de Dogo, Illéla et Dan Issa, notamment avec la date de semis Date2 et le RCP 4.5 (au moins +40%, avec la Date2 à l’horizon 2010-2039 et nettement plus à Dogo à l’horizon 2040-2069). La

Commune de Harikanassou serait la moins favorable à l'augmentation des rendements grains de cette variété, avec seulement +12 % avec le RCP4.5 et la date de semis Date2. En revanche, sur le sol non fertile, l'augmentation des rendements de la SOMNO n'est possible qu'à Dogo, Dan Issa et Illéla (moins de +20%) avec les RCP 4.5 et 8.5 à l'horizon 2010-2039 (figures 8C et D). Dans les autres Communes (Balleyara, Harikanassou et Mokko) les rendements vont plutôt baisser (de -5 à -20% selon les dates de semis) à l'horizon 2010-2039. A l'horizon 2040-2069, la baisse de la fertilité du sol pourrait faire chuter les rendements de la SOMNO de plus de -20 à 30% dans toutes les Communes, sauf à Dogo et à Magaria (figure 8H).

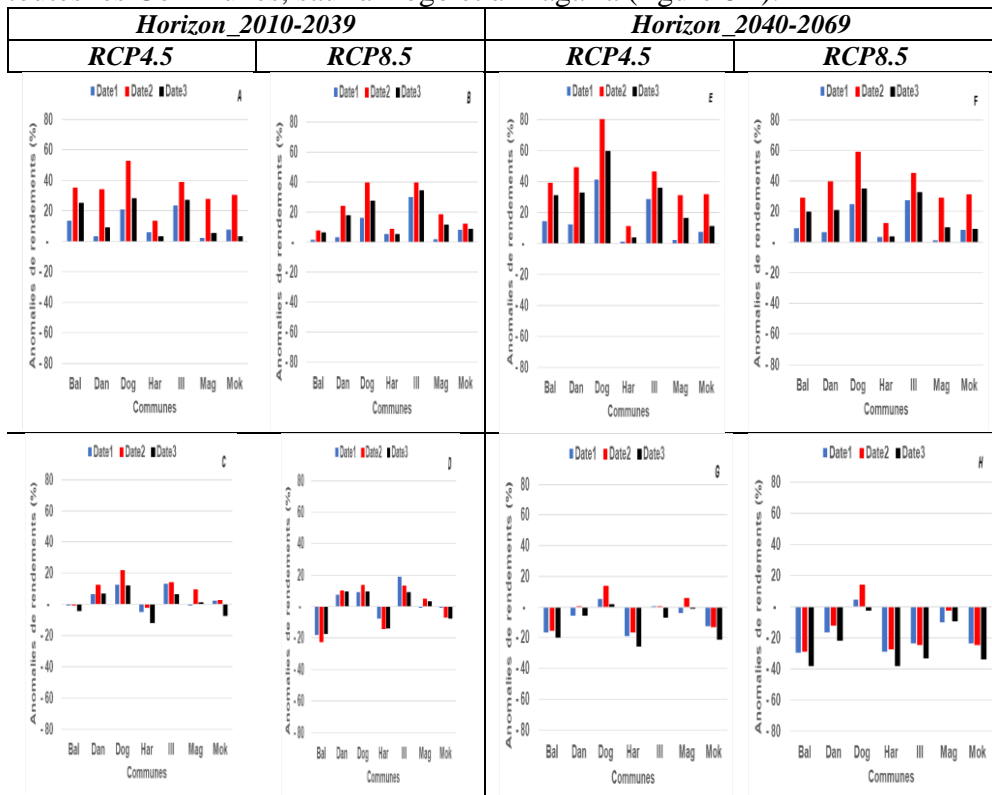


Figure 8. Anomalies des rendements grains de la variété de mil SOMNO sur un sol sableux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok).

Impact sur les rendements grains de la variété de mil SOMNO sur le sol sablo-argileux

Sur le sol sablo-argileux fertile, les rendements de la variété de mil SOMNO montrent également des augmentations au niveau de toutes les Communes de l'étude, avec tous les RCP et à toutes les trois dates de semis (figure 9A B, E et F). Des augmentations de rendements de l'ordre de +15% à

+30% peuvent être observées à Harikanassou, contre +38% à +80% à Dogo à la Date2 (la date de semis la plus favorable), sous les conditions des RCP4.5 et 8.5 aux horizons 2010-2039 et 2040-2069. Des augmentations de rendements sont aussi attendues sur le sol sablo-argileux non fertile, sauf à Balleyara, Harikanassou et Mokko, à l'horizon 2040-2069 où des baisses de plus de -20% peuvent être observées surtout avec Date1 et Date3 (figure 9H). Cette figure montre qu'avec le RCP8.5 et à l'horizon 2040-2069 des augmentations de rendements peuvent être obtenues dans les Communes de Dogo et Magaria.

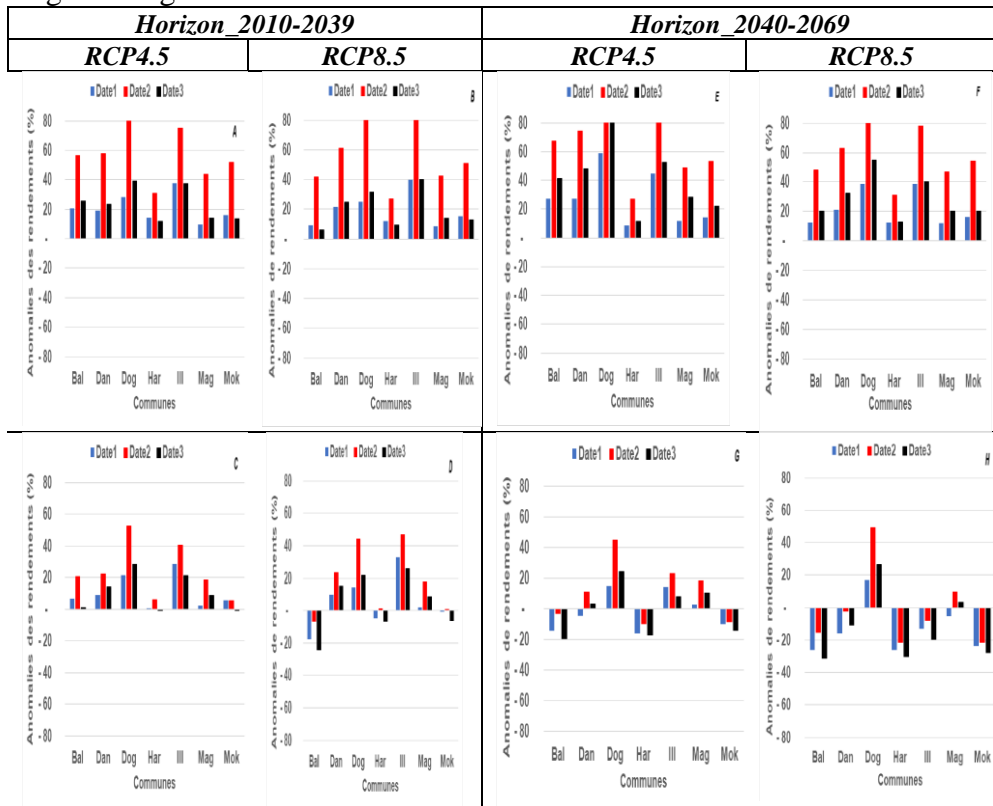


Figure 9. Anomalies des rendements grains de la variété de mil SOMNO sur un sol sablo-argileux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D, G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok)

Impact sur les rendements grains de la variété de sorgho Caudatum sur le sol sableux

Sur le sol sableux fertile et à l'horizon 2010-2039, les rendements de la variété de sorgho Caudatum montrent une tendance à la baisse avec le RCP4.5, au niveau de toutes les Communes et à toutes les dates de semis (figure 10A). Toutefois, cette figure montre des anomalies positives d'augmentations des rendements avec la première date de semis (Date1),

notamment au niveau des Communes de Balleyara (+12%) et Illéla (+45%). Presque la même tendance est observée avec le RCP8.5 au même horizon, notamment à Illéla où une augmentation des rendements de la Caudatum est toujours possible avec la Date1 (+35%), contre des baisses qui pourraient atteindre -10% à -17% selon les dates de semis, notamment à Balleyara et Harikanassou (figure 10B). A l'horizon 2040-2069, avec le RCP4.5 les rendements du sorgho Caudatum pourraient toujours augmenter (+22%) à la première date de semis dans la Commune d'Illéla, au moment où ils seraient en baisse de l'ordre de -5 à -22 % selon les dates de semis et les Communes ; les baisses les plus importantes étant attendues notamment à Balleyara, Harikanassou, Mokko et Magaria (figure 10E). Avec le RCP8.5, les rendements de la variété Caudatum connaîtraient une baisse plus importante, avec toutes les dates de semis et au niveau de toutes les Communes (figure 10F).

Sur le sol sableux non fertile, les rendements du sorgho Caudatum seraient plus négativement affectés par les effets des scénarios climatiques projetés à l'horizon 2010-2039 et plus particulièrement à l'horizon 2040-2069 (figures 10C, D, G et H). Ces figures montrent qu'à l'horizon 2040-2069 et avec les RCP4.5 et 8.5, les baisses de rendements seraient globalement plus importantes (-40% à -70% selon les Communes) à la deuxième date de semis (Date2), au niveau de toutes les Communes (figures 10G et H).

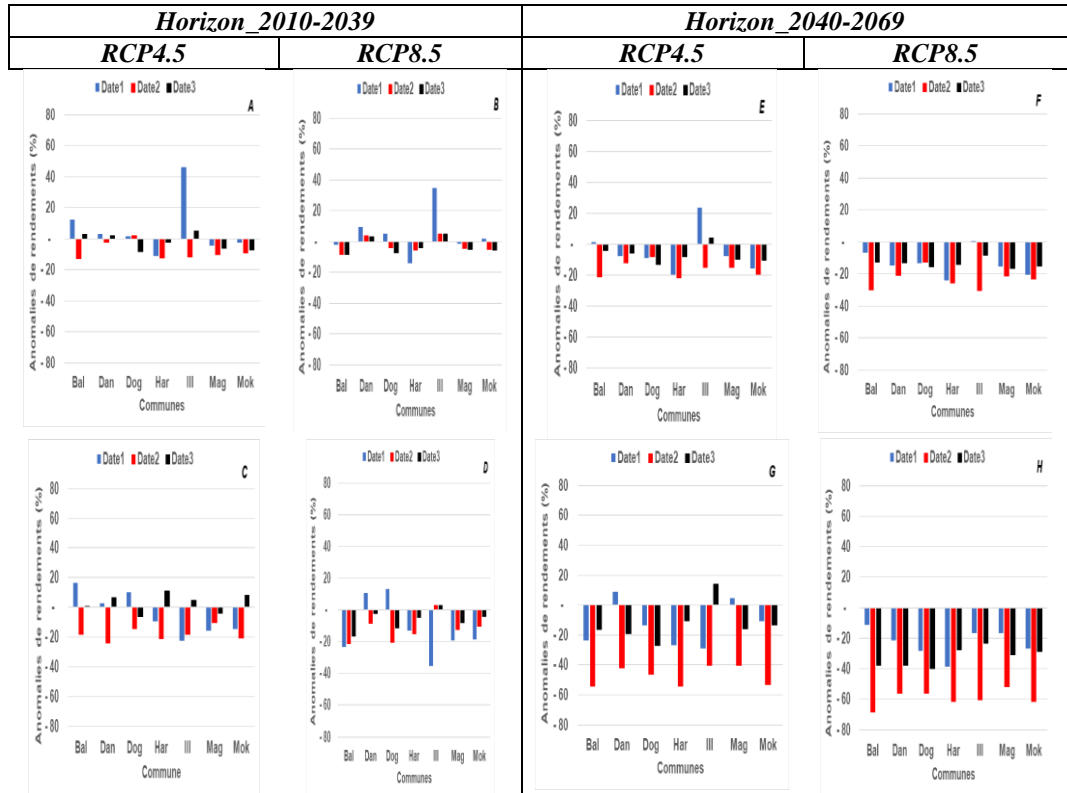


Figure 10. Anomalies des rendements grains de la variété de sorgho Caudatum sur un sol sableux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok)

Impact sur les rendements grains de la variété sorgho Caudatum sur le sol sablo-argileux

Sur le sol sablo-argileux fertile, à l’horizon 2010-2039 les rendements du sorgho Caudatum vont globalement baisser au niveau des Communes, sauf à Balleyara (Date 3), Dan Issa (Date 3), Dogo (Dates 1 et 2) et à Illéla (Dates 1 et 3) où ils pourraient légèrement augmenter selon la date de semis avec les RCP4.5 et 8.5 (figure 11A et B). Les baisses de rendements seraient plus accrues sur ce type de sol à l’horizon 2040-2069 selon les dates de semis au niveau de toutes les Communes (figures 11E et F).

Sur le sol sablo-argileux non fertile, les baisses de rendements de la Caudatum seraient encore plus importantes au niveau de toutes les Communes, en particulier avec la deuxième date de semis (Date2). Toutefois, les figures 11C et D montrent qu’à l’horizon 2010-2039 il y a des possibilités que les rendements de cette variété augmentent de +5 à +20% avec la première ou la troisième date de semis à Balleyara, Dan Issa, Harikanassou, Dogo, Mokko et Illéla. Avec l’horizon 2040-2069, les rendements vont davantage

baissier dans toutes les Communes (de-5 à plus de -70%) selon les RCP et les dates de semis ; la Date2 étant toujours la plus exposée (figures 11G et H)

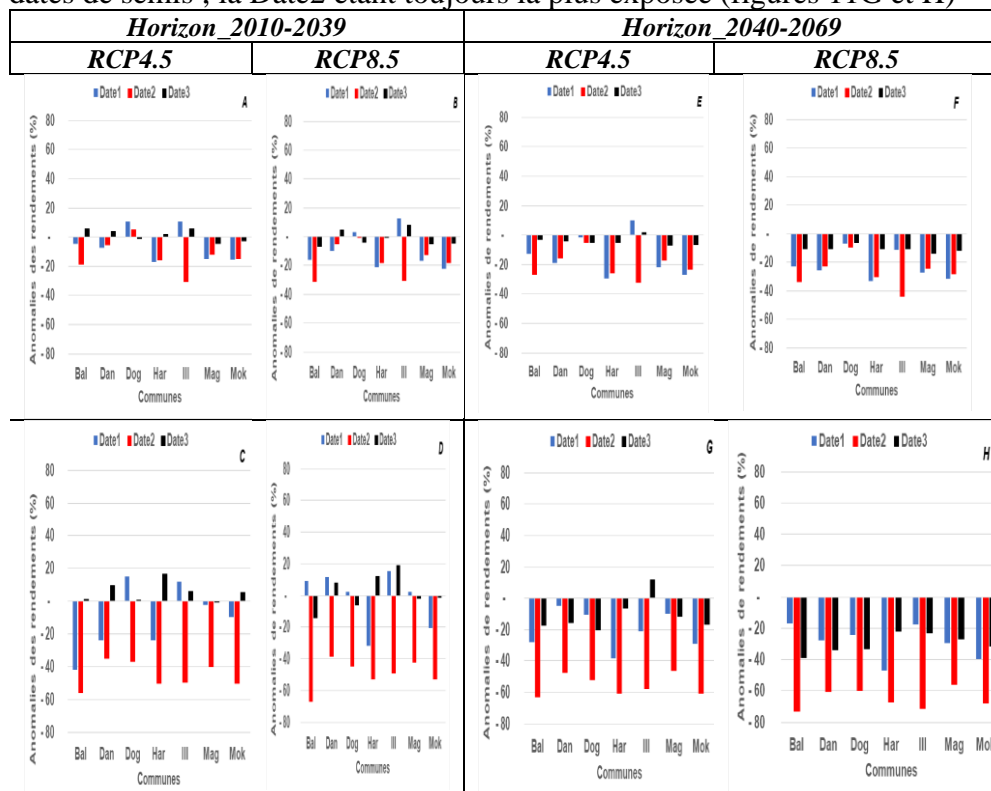


Figure 11. Anomalies des rendements grains de la variété de sorgho Caudatum sur un sol sablo-argileux fertile (A, B, E et F) et non fertile (C, D G et H) selon les dates de semis (Date1, Date2 et Date3), dans les Communes de Balleyara (Bal), Dan Issa (Dan), Dogo (Dog), Illéla (Ill), Harikanassou (Har), Magaria (Mag) et Mokko (Mok)

Discussion

Rendements grains simulés sur la période de référents 1990-2020

Les rendements, simulés pour les différentes variétés de mil et de sorgho sur la période de référence 1990-2020, ont varié selon les Communes, les types de sol, les dates de semis et le niveau de fertilité des sols. Ils ont été plus élevés chez la variété de sorgho Caudatum que chez celles de mil (HKP et SOMNO). Les variations sont liées aux comportements génétiques et physiologiques conférant à chaque variété un potentiel de rendements et un niveau d'adaptation aux conditions pédoclimatiques locales qui sont naturellement différents (Alhassane, 2009). Au sujet de l'adaptation aux conditions locales, la Commune de Magaria a été la plus favorable à la production des variétés de mil et de sorgho testées, et ceci pour tous les types de sol et toutes les dates de semis. La Commune d'Illéla a été globalement la moins productive, après celles de Balleyara et de Harikanassou. Les meilleures

potentialités de production de la Commune de Magaria peuvent s'expliquer par la pluviométrie annuelle (592 mm, en moyenne sur la période 1990-2020) qui y est nettement plus élevée que dans les autres Communes (429 mm à Illéla, contre 456 mm à Balleyara et 518 mm à Harikanassou). Les températures sont en moyenne plus faibles à Magaria, (Tmin =19,24°C et Tmax =35,71°C) qu'à Illéla (Tmin =22,84°C et Tmax =36,46°C), Balleyara (Tmin =23,05°C et Tmax =36,59°C) et Harikanassou (Tmin =23,06°C et Tmax =36,52°C). Le niveau de la fertilité des sols est aussi un autre facteur ayant un effet déterminant sur les rendements des céréales, notamment, au Sahel et au Niger en particulier (Yamoah *et al.*, 2002). En effet, comme attesté par ces auteurs, les rendements simulés pour les sols fertiles ont été meilleurs au niveau de toutes les Communes et avec toutes les dates de semis. Ceci concorde également avec les résultats obtenus par Gnoumou (2017) sur les rendements de sorgho au Burkina Faso. Les trois dates de semis (Date1, Date2 et Date3), testées selon les Communes, ont permis de mettre en évidence les effets des caractères précoces, normaux et tardifs de la mise en place des cultures testées, relativement à la variabilité de la pluviométrie locale. La date de semis « Date2 » a été la plus favorable à la hausse des rendements des céréales testées dans les conditions pédoclimatiques des différentes Communes et, ceci notamment pour le sorgho Caudatum. La Date3 a, quant à elle, donné des rendements meilleurs à ceux obtenus avec la Date1, pratiquement dans toutes les Communes. Dans le même sens, Togo (2019) a obtenu des rendements grains plus élevés à la deuxième date de semis qu'à la première, chez les variétés améliorées de sorgho Soubatimi et Peke testées au Mali. Chez les variétés de mil HKP et SOMNO, les rendements grains simulés n'ont pas montré des grandes différences entre les trois dates de semis testées selon les Communes. Ce résultat montre que le mil s'adapte mieux au décalage de semis, notamment chez la variété photosensible comme l'ont indiqué Bamba *et al.*, (2019) et Mohamed *et al.*, (2022).

Impacts des scénarios climatiques futurs sur les rendements grains des variétés de mil et de sorgho testées

Les anomalies de rendements, obtenues pour les variétés de mil et sorgho dans les conditions des scénarios climatiques futurs (basés sur les RCP4.5 et RCP8.5) comparées à celles de la période de référence 1990-2020, ont été contrastées selon les dates de semis, les variétés/cultures, les types de sols, les Communes et les horizons projetés. De façon générale, elles ont révélé une tendance à la baisse de rendements, notamment, chez la variété de mil HKP et celle de sorgho Caudatum. Cependant, il est possible d'observer une augmentation du rendement grains chez la variété de mil photopériodique (SOMNO) dans les différentes Communes, sous les mêmes conditions climatiques et plus particulièrement sur des sols fertiles. La tendance à la

baisse des rendements qui a été quasi-générale (notamment chez le mil HKP et le sorgho Caudatum), ne s'explique pas forcément et exclusivement par la diminution de la pluviométrie sur les horizons futurs considérés. En effet, certains des cinq modèles utilisés ont même prévu des conditions plus humides selon les RCP et les Communes. Quant aux températures, tous les modèles utilisés ont prévu des augmentations dans les différentes Communes, aux horizons futurs 2010-2039 et 2040-2069 ; ce qui expliquerait plus vraisemblablement les baisses de rendements projetées. Dans le même sens, Sultan *et al.*, (2015) ont indiqué que même si les pluies ne changent pas dans le futur, le rendement des cultures diminuerait d'environ 15 %, du fait de l'augmentation des températures qui réduit la longueur du cycle de la culture et augmente sa sensibilité au stress hydrique à travers une évaporation accrue. Les résultats de cette étude corroborent aussi ceux obtenus sur le millet, le sorgho, le maïs, le riz, l'arachide, les haricots, le manioc, le taro et le coton par Zakari *et al.*, (2016) au Niger. Ces auteurs ont indiqué des variations de rendements allant de -50% à +90% sous les effets du changement des conditions climatiques en Afrique de l'Ouest. L'impact négatif sur le rendement était essentiellement attribué aux hausses de températures projetées, bien que les précipitations (dont la prévision est incertaine) aient le potentiel de réduire ou de renforcer cet impact. Des simulations, réalisées à l'aide du modèle DSSAT, ont montré qu'une hausse de température de + 2°C se traduirait par une baisse de la longueur des cycles des cultures de mil précoce de 5 à 10 %, une augmentation des besoins en eau des cultures de l'ordre de 10 % et une baisse des rendements pouvant aller au-delà de 10 à 20 % à l'horizon 2050, quel que soit le scénario pluviométrique (Agrhymet, 2015). Il est ressorti des simulations faites dans le cadre de cette étude que la date de semis (Date2) qui est moyennement favorable aux rendements des variétés testées sur la période de référence (1990-2020), est devenue la moins favorable sur les périodes projetées (2010-2039 et 2040-2069), notamment, chez le mil HKP et le sorgho Caudatum. Cependant, chez la variété de mil SOMNO, cette date de semis (Date2) a révélé des augmentations des rendements possibles pour cette variété photopériodique, en particulier sur le sol fertile dans toutes les Communes concernées par cette étude. Ces comportements traduisant une certaine spécificité de la réponse variétale vis-à-vis des effets combinés ou spécifiques de la date de semis et du niveau de fertilité du sol méritent d'être considérés dans le choix des pratiques culturales les plus favorables à l'augmentation des rendements des céréales pluviales dans le contexte de la variabilité et du changement climatique (Alhassane *et al.*, 2008, Alhassane *et al.*, 2013). Les résultats de cette étude indiquent que la variabilité et le changement climatiques n'ont donc pas toujours des effets négatifs systématiques sur les cultures, car le comportement adaptatif de la variété, les conditions locales du site (y compris le niveau de fertilité du sol)

et les autres pratiques culturales comme le choix de la date de semis peuvent apporter des effets inversement très positifs. Ces résultats renforcent ceux obtenus sur la culture du mil au Niger par Alhassane (2009) qui a signifié que plus les variétés photopériodiques sont semées tôt en début de saison, plus elles prolongent leur cycle de croissance et mieux elles produisent de la biomasse aérienne (tiges, feuilles et grains), tant que les conditions hydriques et de fertilité du sol ne constituent pas des facteurs limitants. Cette étude a aussi révélé que la variété de sorgho Caudatum est la plus sensible aux scénarios climatiques projetés aux horizons 2010-2039 et 2040-2069, en montrant des anomalies de rendements beaucoup plus négatives, notamment sur un sol non fertile associé aux conditions climatiques du RCP8.5 à l'horizon 2040-2069. Ces résultats sont cohérents avec ceux trouvés par Sultan *et al.*, (2015) stipulant que le changement climatique entraîne environ 12 % de pertes de rendement du sorgho au milieu du XXI^e siècle sur l'ensemble du Sahel.

Conclusion

Il ressort de cette étude que la Commune rurale de Magaria a été la plus favorable aux rendements des variétés de mil HKP et SOMNO et de sorgho Caudatum, sur la période de référence 1990-2020. Les Communes d'Illéla et de Balleyara ont été les moins favorables et celles des Dan Issa, Dogo, Harikanassou et Mokko ont occupé une place intermédiaire. L'analyse des impacts des scénarios climatiques futurs a révélé une tendance globale à la baisse des rendements des variétés de sorgho et de mil : sauf chez la variété photopériodique SOMNO qui a montré une nette possibilité d'augmentation de ses rendements dans les différentes Communes de l'étude, sous les conditions des RCP4.5 et 8.5 aux horizons 2010-2039 et 2040-2069. La tendance à l'augmentation des rendements de cette variété est plus grande sur un sol fertile ; le type de sol n'ayant pas un effet très significatif. Par ailleurs, les effets associés des scénarios climatiques et des dates de semis testés révèlent la deuxième date semis (Date2) comme étant la plus favorable à l'augmentation des rendements de la variété de mil SOMNO dans les différentes Communes. Elle est en revanche la moins favorable chez le sorgho Caudatum, surtout quand le sol est pauvre. Il ressort, donc, de cette étude que la variabilité et les changements climatiques n'ont pas toujours des effets négatifs systématiques sur les céréales pluviales ; tout dépend du comportement de la variété, des conditions locales du site (y compris le niveau de fertilité du sol) et des autres pratiques culturales comme la date de semis. D'où la nécessité de nuancer les conclusions liées aux effets des changements climatiques sur les rendements agricoles, relativement aux réalités locales.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : L'étude a bénéficié de l'appui financier du projet PASEC-Niger de la Banque Mondiale et du projet Intra ACP ClimSA de l'union Européenne.

References:

1. AGRHYMET. 2015. Atlas agro-climatique sur la variabilité et le changement climatique au Niger.37 Pages
2. Alhassane A. 2009. Effets du climat et des pratiques culturales sur la croissance et le développement du mil (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.) au Sahel : contribution à l'amélioration du modèle SARRA-H de prévision des rendements. Thèse de doctorat de l'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. Physiologie Végétale, Option : Agrométéorologie. 224 P.
3. Alhassane A., Salack. S, M. Ly, Lona. I, Traoré. S. B. et Sarr. B. 2013. Evolution of agro-climatic risks related to the recent trends of the rainfall regime over the Sudano-Sahelian region of West Africa, Sécheresse, Vol. 24, N° 4, (2013) 282 -293 p.
4. Alhassane A., Traoré S. B., Zouzou M., Sarr B. et Amadou M. 2008. Effet de la fertilisation azotée et de la densité de semis sur la croissance et le développement d'une variété de mil au sahel. Agronomie Africaine 20 (2) : 151 - 163 (2008). PP 151-163
5. Almorox J and Hontoria C. 2003. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Conversion and Management. 45 (2003) 1529–1535.
6. Balme M., S. Galle et Lebel T. 2005., Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger, Sécheresse, Vol. 16, N° 1 (2005) 15 -22 p.
7. Bamba B., Gueye M., Badiane A., Ngom D. et Ka S. L. 2019. Effet de la date et de la densité de semis sur la croissance et le rendement en grain du mil tardif [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] dans les zones sud-est et sud du Sénégal. Journal of Applied Biosciences 138: 14106 – 14122. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 30th June 2019 <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v138i1.9>.
8. Bandyopadhyay A., Bhadra A., Raghuwanshi N. S. and Singh R. 2008. Estimation of monthly solar radiation from measured air temperature extreme. Agricultural and Forest Meteorology. 148 (2008) 1707–1718.

9. Bichet A. et Diedhiou. A. 2018. West African Sahel has become wetter during the last 30 years, but dry spells are shorter and more frequent, *Clim. Res.*, Vol. 75, N° 2, (2018) 155 -162 p
10. Boureima M. 2006. Les politiques agricoles au Niger, 1960-2015 : 55 ans à la recherche de la sécurité alimentaire et de la réduction de la pauvreté", *Belle Afrique*. Niamey, (2006) 35 p.
11. Chineke T.C. 2007. Equation for estimating global solar radiation in data sparse regions. *Renewable Energy* 33 (2007) 827–831.
12. Descroix L., Diongue Niang A., Panthou G., Bodian. A., Sane Y., Dacosta H., Malam Abdou M., Vandervaere J-P. et Quantin G. 2015. Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et Bassin du Niger Moyen, *Climatologie*, Vol. 12, (2015) 25 -43 p.
13. Dunn, O. J. 1964. Multiple comparisons using rank sums *Technometrics*, 6(3):241–252s. Page 244,
14. Faye M., Fall. A., Faye. G. et Van Hecke. E. 2018. La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal oriental, *Belg. Rev. Belge Géographie*, N° 1 (2018), doi: 10.4000/belgeo.22083
15. Gnoumou X. N., Yaméogo J.T., Traoré, M., Bazongo G., and Bazongo P. 2017. Adaptation aux changements climatiques en Afrique subsaharienne: impact du zaï et des semences améliorées sur le rendement du sorgho dans les villages de Loaga et Sika (province du Bam), *Burkina Faso*. ISSN 2028-9324 Vol. 19 No. 1 Jan. 2017, pp. 166-174 © 2017 Innovative Space of Scientific.
16. Hargreaves, G.H et Samani, Z.A. 1985. Évapotranspiration des cultures de référence en fonction de la température. *Ingénierie appliquée à l'agriculture*, 1, 96-99. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>
17. INS-Niger. 2018. Tableau de bord social, ministère du plan et institut national de la statistique 106P.
18. Irwanto M., Malek F., Masri M., Alam H., Gomesh N., Irman Y. M. and Suhelmi. 2015. Solar Radiation Estimation Using Hargreaves Model for Required data of photovoltaic Power Génération in Perlis. The 1st International Joint Conference of Indonesia-Malaysia-Bangladesh-Ireland (IJCIMBI). 10P. https://www.researchgate.net/publication/275951748_Solar_Radiation_Estimation_Using_Hargreaves_Model_For_Required_Data_of_Photovoltaic_Power_Generation_in_Perlis#fullTextFileContent
19. Janicot S., Aubertin, C. Bernoux M., Dounias E., Guegan J., Lebel T., Mazurek H. et Sultan B. 2015. "Changement climatique : Quels défis pour le Sud ? ", *IRD*, (2015) 268 p.

20. Kabore P.N., Ouedraogo A., Sanon M., Yaka P., Some L. 2017. Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, vol. 14 (2017). <https://doi.org/10.4267/climatologie.1268>. PP 82-95
21. Kruskal and Wallis. 1952. Use of ranks in one criterion variance analysis *Journal of the American Statistical Association*. Vol.47 N° 260, December 1952
22. Marteau R., Sultan. B., Moron. V., Baron. C., Traore. S. B, et Alhassane. A. 2010. Démarrage de la saison des pluies et date de semis du mil dans le sud-ouest du Niger, in "Risques et changement climatique", Rennes (2010) 379 -384 p.
23. Mohamed. A.M.L, Jibrin. J.M., B. M. Auwalu. B. M., Garba. M. and Lawan. B.A. 2022: Application of Ceres-Millet model of DSSAT for simulating millet varieties under different sowing windows in Niger, *Journal of Crop Improvement*, DOI: 10.1080/15427528.2022.2048764.
24. Nicholas H. et Alex R. 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows (Version 2.3). CCSR Columbia University. nih2106@columbia.edu / www.agmip.org
25. Olivier J.-P. De Sardan. 2011. Au Niger, le cycle des crises alimentaires, *Le Monde diplomatique*, 2011. <http://blog.mondediplo.net/2011-01-07-Au-Niger-le-cycle-des-crisis-alimentaires> (consulté l'avr. 28, 2017)
26. Panthou G. 2013. Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années, Université de Grenoble, (2013) 270 p.
27. Panthou G., Lebel. T., Vischel. T., Quantin. G., Y. Sane A. Ba, Ndiaye. O., Diong-Niang. A., and Diopkane. M. 2018. Rainfall intensification in tropical semi-arid regions: the Sahelian case, *Environ. Res. Lett.*, Vol. 13, N° 6 (2018), doi: 10.1088/1748-9326/aac334 .
28. Rossi A., Vischel. T. et Lebel. T. 2012. Analyse spatiale et temporelle de la variabilité à méso-échelle du régime pluviométrique sahélien depuis les années 1950, in "24ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie", Grenoble, (2012) 679 -683 p.
29. Ruane A.C., Winter J. M., McDermid S.P., and Hudson N. I. 2015. AgMIP Climate Data and Scenarios for Integrated Assessment. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation Handbook of Climate Change and Agroecosystems, pp. 45-78 (2015) https://doi.org/10.1142/9781783265640_0003
30. Sitta A., et M.Bacci., 2016. Analyse du risque de sécheresse agricole dans la région de Tillabéry au Niger », in "Risques et adaptation

- climatique dans la région de Tillabéri, Niger”, L’Harmattan, (2016) 143 - 154 p.
31. Shapiro S. S. and Wilk M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
 32. Sivakumar M. V. K. 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric For Meteorol* 1988 ; 42 : 295-305.
 33. Sultan B., Roudier P., Traoré S. 2015. Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest. *In : Sultan Benjamin (ed.), Lalou Richard (ed.), Amadou Sanni M. (ed.), Oumarou A. (ed.), Soumaré M.A. (ed.). Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest.* Marseille: IRD, 2015, p. 209-225. (Synthèses). ISBN 978-2-7099-2146-6.
 34. Tinni Halidou S., Alhassane. A., Lona. I. et Moussa. I. B. 2021. Analyse de l'évolution spatio-temporelle des dérivés pluviométriques caractérisant la saison agricole au Sahel – Central, 20pages
 35. Togo A. 2019. Effets de la fertilisation et de la date de semis sur des variétés de sorgho à double usage. Mémoire d'Ingénieur Agronome de l'Institut polytechnique rural de formation et de recherche appliquée (IPRipr/IFRAifra) de Katibougou, 52pages. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/108798/MSc%20Thesis%20Aly%20Togo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
 36. Vodounou J. B. K. et Doubogan Y. O. 2016. Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. Rural agriculture and adaptation strategies to the climate change in North Benin. <https://doi.org/10.4000/cybergeogeo.27836>
 37. Yamoah C. F., Bationo A.; Shapiro B. et Koala S. 2002. Trend and stability analyses of Millet Yields treated with fertilizer and Crop residues in the Sahel. *Field Crops Research* 75 (2002) 53-62),
 38. Zakari A. H., Mahamadou K. B. et Toudou A. 2016. Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives, 2016 International Formulae Group. All rights reserved. 2730-IJBCS DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.28>, 11pages.