

Effets du Changement climatique sur les ressources phytogénétiques : Une étude de cas à partir du mil et du riz à l'horizon 2050 au Burkina Faso

Ali Lardia BOUGMA^{1*}, Gea GALLUZZI² et Mahamadou SAWADOGO¹

¹ *Université Joseph KI-ZERBO, Département de Biologie et Physiologie Végétales, Laboratoire Biosciences, Équipe Génétique et Amélioration des Plantes, BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso*

² *Bioversity International, Office of the Americas, 00053 Rome, Italy*

(Reçu le 23 Janvier 2024 ; Accepté le 16 Avril 2024)

* Correspondance, courriel : alilardia@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est d'identifier l'impact potentiel du changement climatique sur le mil et le riz à l'aide de données locales du Burkina Faso et évaluer le potentiel d'adaptation des cultivars à l'horizon 2050. Ainsi, les données de température mensuelle (T), de précipitations (P), les cycles de cultures les durées des campagnes de production humide ont été collectées sur le mil et le riz. Les régions du Sahel et du Centre-Est avec des pluviométries annuelles respectivement de 600 mm et 800 mm d'eau ont été les sites d'étude. L'analyse des données a été faite avec l'outil de modélisation des Analogues Climatiques (CCAFS avec une approche rétroactive. Les résultats de l'étude montrent que les terres arables pour les productions du mil et du riz seront perturbées à l'horizon 2050. La modélisation révèle une similarité d'environ 5 - 100 % entre les sols futurs de culture du mil au Burkina Faso et les sols actuels de l'Inde, de l'Afrique du Sud, de la Chine. Par contre, cette modélisation a montré une similarité autour de 10 - 100 % entre les sols futurs de culture du riz au Burkina Faso et les sols actuels de la Russie, de l'Inde, de l'Australie et de la Chine. Les résultats de cette étude peuvent utilisés dans le cadre d'un programme de partage des ressources phytogénétiques entre le Burkina Faso et ces pays.

Mots-clés : *changement climatique, mil, riz, modélisation, Burkina Faso.*

Abstract

Effects of Climate Change on plant genetic resources: A case study based on the pearl millet and the rice in Burkina Faso in 2050

This study aimed to identify the potential climate change impact on millet and rice using local data in Burkina Faso and to assess the potential of cultivars adaptation for the 2050 horizon. Data on monthly temperature (T), rainfall (P), crop cycles and the duration of wet production seasons were collected for millet and rice. The Sahel and Centre-East regions, with annual rainfall of 600 mm and 800 mm respectively, were the study sites. Data analysis was carried out using the Climate Analogs Modeling Tool (CCAFS) with a retroactive approach. The results of the study show that the arable land used to grow millet and rice will be disturbed by 2050. The modeling reveals a similarity by around 5 - 100 % between future millet-growing soils in Burkina Faso and

current soils in India, South Africa and China. On the other hand, this modelling showed a similarity by around 10 - 100 % between future rice-growing soils in Burkina Faso and current soils in Russia, India, Australia and China. The results of this study can be used as part of a program to share plant genetic resources between Burkina Faso and these countries.

Keywords : *climate change, pearl millet, rice, modeling, Burkina Faso.*

1. Introduction

Les efforts pour anticiper l'impact des changements climatiques sur l'agriculture au Burkina Faso mérite une compréhension sur les évolutions futures du climat pour ce pays. Selon le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [1], des centaines de millions de personnes des régions semi-arides des régions d'Afrique pourraient tomber dans l'extrême pauvreté en raison de la crise climatique. En effet, le changement climatique aggravera les défis futurs liés à la capacité d'adaptation des espèces agricoles [2]. Le réchauffement de la terre a été accéléré au cours des 30 dernières années et le groupe des experts prédisent une augmentation de l'ordre de 1,1-6,4 8 °C d'ici 2100 [3 - 5]. Ces projections climatiques ont prévu pour le Sahel, de nouvelles augmentations de températures et de fréquence des sécheresses ainsi que des événements extrêmes [6]. Selon, [7] une réduction des précipitations est prévue pour l'Afrique australe et la partie occidentale de l'Afrique de l'Ouest, tandis qu'une augmentation des précipitations annuelles est attendue pour la partie orientale de l'Afrique de l'Ouest, le Sahel oriental, l'Afrique de l'Est et l'Afrique centrale. Certains modèles climatiques plus négatifs ont prédit une baisse pluviométrie de 100 à 200mm d'eau et une augmentation des températures de l'ordre de 1,5 °C à 2,0 °C pour l'Afrique Subsaharienne [8]. Au Burkina Faso, les sécheresses et les facteurs anthropiques ont occasionné une perte considérable des produits forestiers non ligneux et le processus de dégradation entraîne environ 470000ha de perte par an [9, 10]. Au regard du contexte, plusieurs pays africains ont rejoint *AFR100* dont l'objectif est de restaurer 5 millions d'hectare de terres dégradées d'ici 2030 (<http://afr100.org/content/burkina-faso>). Dans la littérature nombreuses études ont montré l'impact du changement climatique sur les rendements céréaliers en Afrique Subsaharienne [11 - 13].

La plupart de ces études font état d'importantes réductions de rendements dues au changement climatique, à la fois dans un avenir proche ou lointain. Certains auteurs indiquent une érosion génétique importante des espèces à l'horizon 2055 [14 - 16]. Parmi ces espèces, figurent celles cultivées en zone tropicale [15]. L'une des plus récentes études de l'impact du changement climatique sur les cultures a montré que les cultures pourraient bénéficier de l'adaptation au changement climatique grâce à l'utilisation de nouveaux cultivars dans des conditions de changement climatique [2]. Les principales conclusions tirées de l'impact du changement climatique sur l'agriculture révèlent que les rendements des cultures diminueront avec de grandes variations biométriques entre les pays [17 - 19]. En Afrique Subsaharienne et en particulier au Burkina Faso, les populations rurales partagent faiblement leurs ressources agricoles cultivées. Pourtant, il existe une grande variation entre les espèces céréalières cultivées actuellement en termes de besoin de températures et de précipitations pour atteindre la maturité complète (<https://www.yieldgap.org>). Le défis de produire dans ce contexte de dérèglement climatique nécessite l'accès et le partage des ressources phylogénétiques entre les pays à travers des études approfondies. Malgré la résilience des cultures de base comme le mil, le riz africain en Afrique Subsaharienne, ces cultures pourraient être affectées par les changements climatiques selon certains auteurs [20 - 22]. Ces changements climatiques augmentent les risques de perte de la diversité génétique agricole et également la réduction des terres arables. C'est pourquoi, il est donc impérieux de connaître les futures zones potentiellement similaires à ceux du Burkina Faso pour une meilleure adoption et conservation des ressources phylogénétiques agricoles. Cette étude vise (i) à évaluer l'impact du changement climatique sur le mil et le riz dans deux sites du Burkina Faso et (ii) recenser le potentiel d'adaptation des accessions pour les deux cultures à l'horizon 2050.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

L'étude a été conduite dans les zones sahéliennes et soudano-sahéliennes du Burkina Faso. Dans ces deux zones, les précipitations annuelles varient respectivement entre 300 et 500 mm d'eau et 600 à 800 mm d'eau en moyenne par an. Les températures interannuelles ont montré une variation allant de 34,5 à 37°C et de 30 à 35°C respectivement au cours des 30 dernières années [23]. Les données ont été obtenues dans les localités de Dori (zone Sahélienne) et de Tenkodogo (zone Soudano-Sahélienne) qui se caractérisent géographiquement par l'aptitude des sols à la production du mil et du riz respectivement [24, 25].

2-2. Choix des espèces

Le mil (*Pennisetum glaucum*) et le riz (*Oriza sp.*) ont été choisis pour l'étude en raison de l'intérêt de ces plantes pour le pays. Le mil et le riz figurent parmi les aliments de base de la consommation des populations au Burkina Faso. Depuis les années 2000, la production du riz au Sahel couvre environ 60 % de la demande, et 40 % font l'objet d'importation [26]. Selon [27], l'Afrique subsaharienne couvre 47,5 % de la production mondiale du mil avec des superficies de production de plus de 18,6 millions d'hectares.

2-3. Collecte des données

L'étude a utilisé les données météorologiques et les données agronomiques du mil et du riz. Les paramètres du sol et les variables associées à chaque espèce dans les deux sites d'étude ont été collectées. Il s'est agi des données sur la sécheresse, les inondations, la variabilité des températures annuelles, des précipitations annuelles des durées de campagnes saisonnières des cultures.

2-4. Méthodes

La méthode a été inspirée de [28]. Ainsi, le modèle de simulation "Bioclim" a été utilisé pour réaliser les cartes de répartition de la diversité biologique, pour trouver les zones présentant des niveaux de diversité élevés, faibles ou complémentaires et enfin détecter des zones qui connaissent des climats similaires à différents moments de l'année. Pour ce faire, on a sélectionné la période de juin à septembre pour la culture du mil correspondant à la saison des pluies dans le Sahel [24] et la période de mai à novembre pour la culture du riz [25].

2-5. Analyse des données

Les données ont été implémentées dans le logiciel DIVA-GIS (www.diva-gis.org). Il a été utilisé pour cartographier et analyser la répartition des espèces. Un seuil de 0,6 a été retenu pour les résultats obtenus.

3. Résultats

3-1. Répartition spatiale des impacts du changement climatique sur la culture du mil

Le modèle a donné un intervalle de confiance allant de 5 - 100 %. L'analyse des résultats révèle que le changement climatique devrait réduire les zones de cultures du mil à l'échelle mondiale. Les zones « analogues » détectées par le modèle sont montrées dans la **Figure 1**. Le modèle a détecté trois potentiels continents de culture du mil à l'horizon 2050. Les zones qui ont actuellement un climat similaire à celui du futur climat de Dori se situent dans l'étroite ceinture sahélienne d'ouest à l'est et le long des zones

désertiques situées plus dans le sud de l'Afrique comme la Namibie dans les régions chaudes et sèches de l'ouest de l'Inde, les zones tempérées chaudes de la Chine orientale et dans quelques zones éparses d'Amérique latine (**Figure 1**).

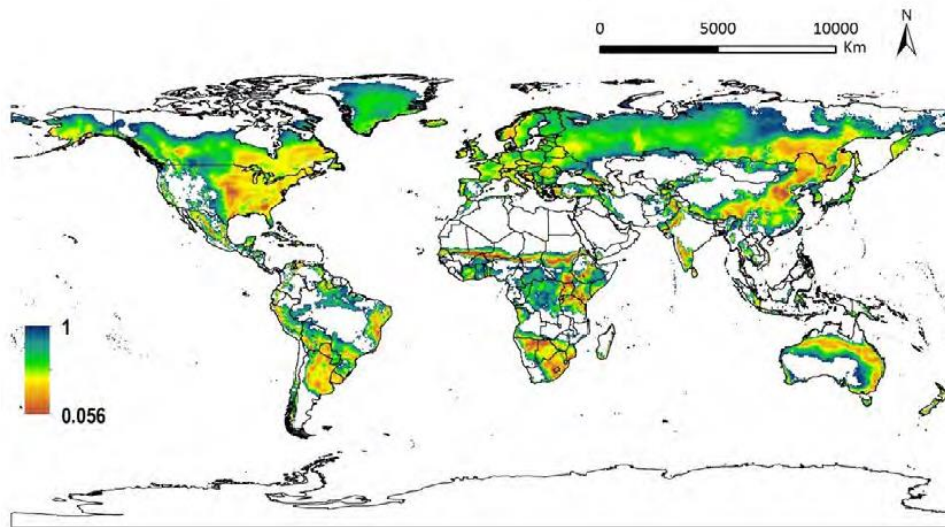


Figure 1 : Sites analogues pour le mil à Dori, une zone de référence située dans la région du Sahel, au Burkina Faso ($14^{\circ} 02'07''N$, $00^{\circ} 02'04''W$). Seuls les sites ayant une similarité supérieure à 60 % ont été retenus. Les zones plus rouges renvoient à une plus grande similitude (c'est-à-dire, elles ont une probabilité plus faible d'être différentes)

3-2. Répartition spatiale des impacts du changement climatique sur la culture du riz

Le modèle a été valide pour un intervalle de confiance allant de 0,12 - 100 % (**Figure 2**). L'analyse révèle que le futur climat de Tenkodogo à l'horizon 2050 sont les zones actuelles de l'Afrique centrale et australe, le continent indien, les régions de la Chine orientale, le nord de l'Australie et certaines régions des Amériques (**Figure 2**).

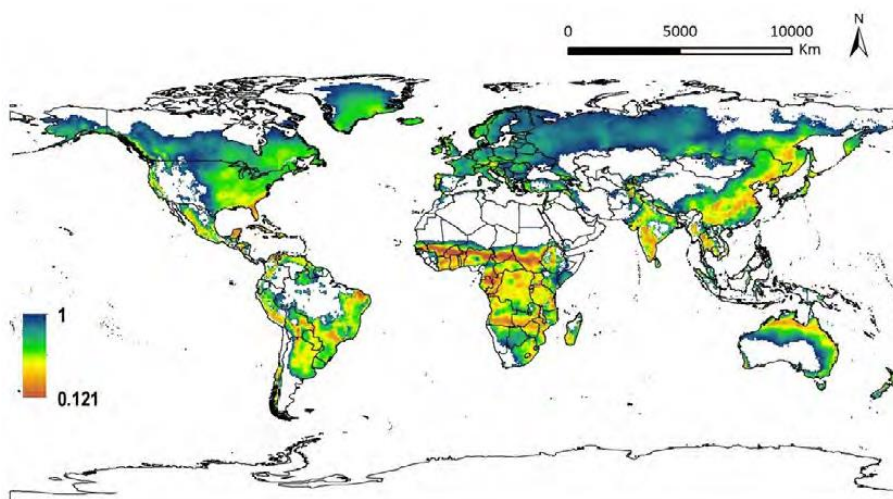


Figure 2 : Sites analogues pour le riz, à Boulgou, une zone de référence située dans la principale région de riziculture au Burkina Faso ($11^{\circ} 30'00''N$, $0^{\circ} 25'00''W$). Seuls les sites ayant une similarité supérieure à 60 % ont été retenus. Les zones plus rouges renvoient à une plus grande similitude (c'est-à-dire, elles ont une probabilité plus faible d'être différentes)

3-3. Les ressources phytogénétiques du mil identifiées dans les sites analogues

Les accessions du mil probablement adaptées pour le Burkina Faso dans ces futures zones climatiques ont été présentées dans la **Figure 3**. L'analyse montre une faible répartition des sites de mil analogues à ceux du Burkina Faso. Les accessions d'intérêt pour le Burkina Faso ont été identifiées dans les pays comme le Niger, l'Afrique du Sud, la Namibie, le Mali, le Botswana, la Tanzanie et le Soudan. Et, au niveau du continent asiatique, ces accessions d'intérêt se trouvent en Inde et au Pakistan.

Species	Accession number	Type of material	Country of origin/occurrence	Holding institute
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 12412	Traditional cultivar/Landrace	Republic of South Africa	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 13343	Traditional cultivar/Landrace	Sudan	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 15833	Traditional cultivar/Landrace	Tanzania	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 18969	Traditional cultivar/Landrace	Namibia	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 5635	Traditional cultivar/Landrace	Niger	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 6383	Traditional cultivar/Landrace	Mali	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 8791	Traditional cultivar/Landrace	Botswana	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 9936	Traditional cultivar/Landrace	Sudan	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 15319	Traditional cultivar/Landrace	India	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 17913	Traditional cultivar/Landrace	India	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 18143	Traditional cultivar/Landrace	Pakistan	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 3230	Traditional cultivar/Landrace	India	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 3954	Traditional cultivar/Landrace	India	ICRISAT
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. <i>americanum</i>	IP 4342	Traditional cultivar/Landrace	India	ICRISAT

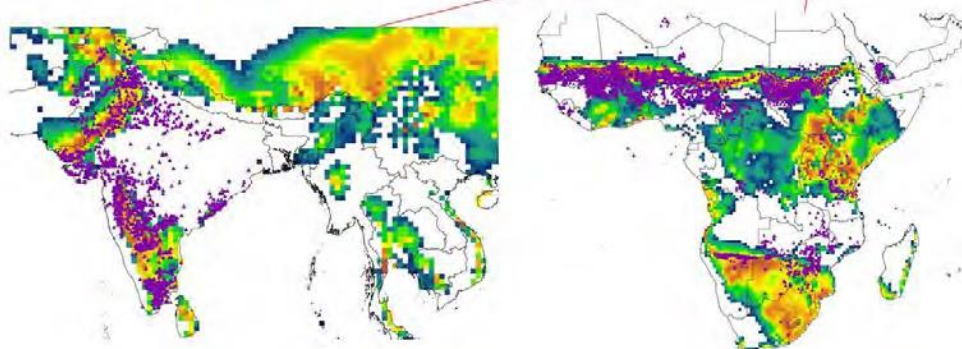


Figure 3 : La richesse en accessions du mil potentielles pour le Burkina Faso sur les sites analogues et enregistrées dans des collections internationales

3-4. Les ressources phytogénétiques du riz identifiées dans les sites analogues

La **Figure 4** indique les accessions de riz disponibles dans les banques de gènes à partir des sites potentiellement analogues à ceux de la zone de Tenkodogo. Les accessions probablement adaptées au Burkina Faso se trouvent en Afrique de l'Ouest d'une part et en Asie d'autre part. Les résultats indiquent que ces accessions sont disponibles dans les banques de gènes de l'IRRI et l'USDA-ARS principalement.

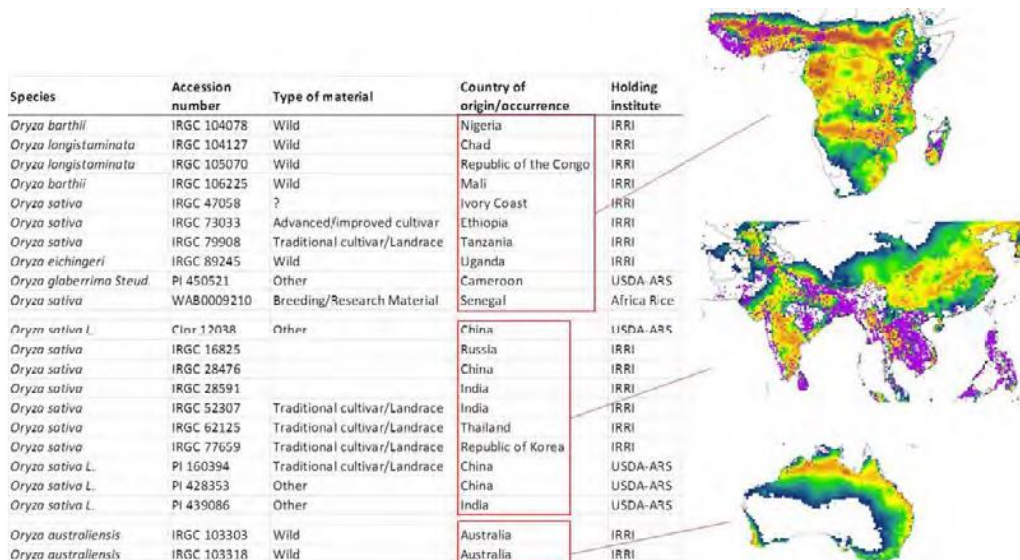


Figure 4 : La richesse en accessions du riz potentielles pour le Burkina Faso sur les sites analogues et enregistrées dans des collections internationales

4. Discussion

Cette étude montre que le changement climatique doit être pris en compte dans la gestion, la conservation et la sélection des ressources phylogénétiques. Les stations météorologiques situées en Afrique de l'Ouest indiquent des degrés de température très alarmante, 10°C de plus que celles situées en Afrique de l'Est [29]. Selon certains scénarios climatiques, il est prévu une augmentation des températures annuelles en Afrique de l'Ouest et de l'Est de 2,6°C à 3°C à l'horizon 2050 et de 4,6°C à 5,7°C à l'horizon 2090 [1]. Des études ont révélé que les phénomènes météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les grosses tempêtes, les sécheresses prolongées ou les inondations deviendront probablement plus fréquents ou plus intenses [12]. Dans cette étude nous avons constaté à l'horizon temporel plusieurs zones d'évolution climatique similaire à celui du Burkina Faso. Cela montre bien que le changement climatique est d'ordre global et les effets d'atténuation peuvent être spécifiques. Ces résultats peuvent nous aider à évaluer les futurs cultivars pour le pays. Notre étude indique que les climats analogues à ceux du Burkina Faso dans le futur pour le mil sont fortement concentrés dans les zones Sahéliennes. Cela témoigne de l'intérêt de cette culture dans le futur en Afrique Subsaharienne avec un grand défi de conservation de la ressource. Les récentes études démontrent que le mil est l'une des céréales la plus résiliente dans le contexte du changement climatique. Elle semble avoir des zones climatiques très limitées dans le futur comme actuellement. Des sources scientifiques mentionnent que la domestication de l'espèce a été faite au sein de la ceinture délimitée qui s'étend de l'ouest du Soudan au Sénégal [30, 31]. Les résultats indiquent une forte répartition des zones climatiques adaptées dans le futur pour le riz. Le riz est une graminée annuelle semi-aquatique qui peut être cultivée dans un large éventail d'écosystèmes agricoles, depuis les terres profondément inondées jusqu'aux terres hautes et sèches [32, 33]. Au regard des deux types d'espèces cultivées (*Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*), les zones climatiques appropriées pour la culture du riz sont diversifiées. L'analyse montre une interdépendance accrue des ressources phylogénétiques au regard du changement climatique. La dépendance des pays aux ressources phylogénétiques extérieures est estimée de l'ordre de 23 à 81 % selon certaines études [34], ce qui est un indice relativement élevé. De manière spécifique, les études révèlent que le Burkina Faso dépend des ressources extérieures de l'ordre de 23 et 32 %, qui est un indice relativement faible comparativement à d'autres pays [34]. Après une vingtaine d'années, cette dynamique pourrait changer au

regard de la dégradation avancée des terres arables [10]. L'érosion de la diversité locale et la réduction des zones de cultures suite aux changements climatiques sont préoccupantes. Les impacts du changement climatique sur la phénologie, le rendement et l'inadéquation des cultures vis-à-vis des environnements ont été suffisamment relevés par certaines études [35, 36]. En plus, des projections climatiques prévoient une perte de 16 - 22 % pour l'ensemble des espèces cultivées à l'horizon 2055 [15]. Bien que cela varie d'une espèce à l'autre, des modélisations attribuent ces espèces en zone sahélienne comme celles qui seront les plus affectées.

5. Conclusion

L'étude a révélé l'impact du changement climatique sur les principaux sites de production du mil et du riz. Nous avons évalué les ressources phytogénétiques existant à s'adapter au changement climatique. Pour la culture du mil et du riz l'impact du changement climatique sur les terres arables devrait être faible à l'horizon 2050. Les climats analogues à ceux du Burkina Faso pour la culture des deux espèces sont concentrées en Afrique et en Asie. L'accès de nouveaux cultivars de mil et de riz à partir des banques de gènes existantes pour chaque espèce reste le principal défi pour le pays au cours des prochaines décennies. En perspectives, un programme de conservation des ressources phytogénétiques locales doit être initié au plan national. Il est judicieux que les ressources phytogénétiques identifiées des climats analogues au Burkina Faso soient stockées dans les banques de gènes nationales pour une meilleure évaluation scientifique.

Remerciements

“The authors wish to thank the second Genetic resources Policy Initiative project (GRPI 2) for the financial support to conduct the work presented in this paper”.

Références

- [1] - IPCC, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J. B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU and B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press, (2021) In Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [2] - S. ALIMAGHAM, M. P. VAN LOON, J. RAMIREZ-VILLEGAS, S. ADJEI-NSIAH, F. BAIJUKYA, A. BALA, R. CHIKOWO, J. VASCO SILVA, A. M. SOULÉ, G. TAULYA, F. A. TENORIO, K. TESFAYE and M. K. VAN ITTERSUM, Climate change impact and adaptation of rainfed cereal crops in sub-Saharan Africa. *European Journal of Agronomy*, (2024), <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127137>
- [3] - UNFCCC, COP21. The Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP21). Available online : <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/parisclimate-change-conference-november-2015/cop-21> (accessed on 3 March 2020)
- [4] - IPCC, Climate change : Synthesis report. summary for policymakers. Tech. rep., (2007), URL <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm>
- [5] - IPCC, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, In Press, (2018)

- [6] - R. RANASINGHE, *et al.* Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In: Masson-Delmotte, V. P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J. B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU and B. ZHOU (eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (2021), In Press. Cambridge University Press
- [7] - C. H. TRISOS, I. O. ADELEKAN, E. TOTIN, A. AYANLADE, J. EFITRE, A. GEMEDA, K. KALABA, C. LENNARD, C. MASAO, Y. MGAYA, G. NGARUIYA, D. OLAGO, N. P. SIMPSON and S. ZAKIELDEEN, *Africa*. In: H.O. PORTNER, D.C. ROBERTS, M. TIGNOR, E.S. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. CRAIG, S. LANGSDORF, S. LOSCHKE, V. MOLLER, A. OKEM, B. RAMA, (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, (2022) 1285 - 1455 p.
- [8] - L. SOME, A. JALLOH, R. ZOUGMORE, *et al.* Burkina Faso. In : Jalloh A, Nelson GC, Thomas TS, et al. (eds) West African Agriculture and Climate Change: *A Comprehensive Analysis. International Food Policy Research Institute*, Washington D.C., (2013) 79 - 110 p.
- [9] - Ministère de l'Environnement, de l'Economie Verte et du Changement Climatique du Burkina Faso (MEEVCC). Rapport Final, Programme de Définition des Cibles de la Neutralité en Matière de Dégradation des Terres (PDC/NDT), Burkina Faso ; MEEVCC : Ouagadougou, Burkina Faso, (2018)
- [10] - B. VINCETI, M. VALETTE, L. A. BOUGMA and A. TURILLAZZI, How Is Forest Landscape Restoration Being Implemented in Burkina Faso? Overview of Ongoing Initiatives. *Sustainability*, 12 (24) (2020) 10430; <https://doi.org/10.3390/su122410430>
- [11] - S. M. SIATWIINDA, I. SUPIT, B. VAN HOVE, O. YEROKUN, G. H. ROS and W. de VRIES, Climate change impacts on rainfed maize yields in Zambia under conventional and optimized crop management. *Clim. Change*, 167 (3) (2021) 1 - 23
- [12] - K. A. AMOUZOU, J. P. LAMERS, J. B. NAAB, C. BORGEMEISTER, P. L. VLEK and M. BECKER, Climate change impact on water-and nitrogen-use efficiencies and yields of maize and sorghum in the northern Benin dry savanna, *West Africa. Field Crops Res.*, 235 (2019) 104 - 117
- [13] - B. FAYE, H. WEBBER, J. B. NAAB, D. S. MACCARTHY, M. ADAM, F. EWERT, J. P. LAMERS, C. F. SCHLEUSSNER, A. RUANE, U. GESSNER and G. HOOGENBOOM, Impacts of 1.5 versus 2.0C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environ. Res. Lett.*, 13 (3) (2018) 034014
- [14] - B. TRAORE, K. DESCHEEMAER, M. T. VAN WIJK, M. CORBEELS, I. SUPIT and K. E. GILLER, Modelling cereal crops to assess future climate risk for family food self-sufficiency in southern Mali. *Field Crops Res.*, 201 (2017) 133 - 145
- [15] - A. JARVIS, A. LANE and R. J. HIJMANS, The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* AGEE-3158, (2008) 11
- [16] - C. MÜLLER, W. CRAMERA, L. W. HAREA and H. LOTZE-CAMPENA, *Climate change risks for African agriculture*. Published in PNAS, (2011), DOI: 10.1073/pnas.1015078108
- [17] - R. P. JOHN, J. A. CHALLINOR, B. C. HENRIKSEN, M. S. HOWDEN, P. MARTRE and P. SMITH, *Invited review : Intergovernmental Panel on Climate Change, agriculture, and food-A case of shifting cultivation and history* (2019), *Glob Chang Biol Aug*, 25 (8) 2518 - 2529. doi: 10.1111/gcb.14700
- [18] - R. WITTIG, K. KÖNIG, M. SCHMIDT and J. SZARZYNSKI, *A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. Environ. Sci. Pollut. Res.-Int.*, 14 (2007) 182 - 189
- [19] - J. H. KOTIR, Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: A review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environ. Dev. Sustain.*, 13 (2011) 587 - 605

- [20] - J. V. SILVA and K. E. GILLER, Grand challenges for the 21st century : what crop models can and can't (yet) do. *J. Agric. Sci.*, 158 (2020) 794 - 805
- [21] - B. SULTAN, P. ROUDIER, P. QUIRION, A. ALHASSANE, B. MULLER, M. DINGKUHN, P. CIAIS, M. GUIMBERTEAU, S. TRAORE and C. BARON, Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environ. Res. Lett.*, 8 (1) (2013) 014040
- [22] - J. KNOX, T. HESS, A. DACCACHE and T. Wheeler, *Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia*, (2012)
- [23] - L. A. BOUGMA, M. H. OUÉDRAOGO, N. SAWADOGO, M. SAWADOGO, D. BALMA and R. VERNOOY, Perceptions paysannes de l'impact du changement climatique sur le mil dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE*, ISSN : 1813-548X, (2018) 264 - 275 p.
- [24] - K. T. INGRAM, M. C. RONCOLI and P. H. KIRSHEN, Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agric Syst*, 74 (2002) 331 - 349
- [25] - FAO, Burkina Faso Country Profile. In : FAO Rice Information. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, (2002)
- [26] - T. F. RANDOLPH, Rice demand in the Sahel. In : Miézan KM, Wopereis MC., Dingkuhn M, et al. (eds) *Irrigated rice in the Sahel : prospects for sustainable development*. WARDA, Bouaké, Ivory Coast, (1997) 71 - 88 p.
- [27] - FAOSTAT, URL: <https://www.fao.org/faostat>. *Food and agriculture organization of the United Nations*, (2023)
- [28] - J. R. BUSBY, BIOCLIM-a bioclimatic analysis and prediction system. In: Margules, C.R., Austin, M.P. (Eds.), *Nature Conservation : Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis*. CSIRO, Canberra, (1991) 64 - 68 p.
- [29] - H. N. LE HOUÉROU, *Bioclimatology and Biogeography of Africa*, Springer, Berlin, 506 (2009)
- [30] - J. R. HARLAN, *Agricultural origins : centers and non-centers*. *Science*, 174 (80) (1971) 468 - 474
- [31] - J. R. HARLAN, *The living fields : our agricultural heritage*. *Cambridge University, Press*, Cambridge, UK; New York, USA, (1975)
- [32] - X. HUANG, N. KURATA, X. WEI *et al.*, A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice, *Nature*, 490 (2012) 497 - 501
- [33] - D. Q. FULLER, T. DENHAM, M. ARROYO-KALIN, L. LUCAS, C. J. STEVENS, L. QIN, R. G. ALLABY and M. D. PURUGGANAN, Convergent evolution and parallelism in plant domestication revealed by an expanding archaeological record. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 111 (17) (2014) 6147 - 6152. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308937110>
- [34] - X. FLORES PALACIOS, *Countries' Interdependence in the Area of Plant Genetic Resources*. Commission on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, (1998)
- [35] - B. SANCHEZ, A. RASMUSSEN and J. R. PORTER, Temperatures and the growth and development of maize and rice : a review. *Glob. Change Biol.*, 20 (2) (2014) 408 - 417, <https://doi.org/10.1111/gcb.12389>
- [36] - G. ABBAS, S. AHMAD, A. AHMAD, W. NASIM, Z. FATIMA, S. HUSSAIN and G. HOOGENBOOM, Quantification the impacts of climate change and crop management on phenology of maize-based cropping system in Punjab, Pakistan. *Agric. For. Meteorol.*, 247 (2017) 42 - 55. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.012>