



Analyse Bibliographique des Impacts Climatiques sur la Culture du Sorgho et Implications pour l'Amélioration de sa Résilience en Afrique de l'Ouest

Sylvain Megnonhou^{1*}, David Montcho¹, Essegbemon Akpo¹, Judicaël Dandjlessa², Clément Agbangla³

¹Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Bénin

²Laboratoire de Phytotechnie, Physiologie et Amélioration Génétique des Plantes, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi BP 526, Cotonou Bénin

³Laboratoire de Génétique et de Biotechnologie, Faculté des Sciences et Technologie, Université d'Abomey-Calavi, P.O. Box 526, Cotonou, Bénin

RESUME

Les hausses de température et l'allongement des périodes de sécheresse suscitent de vives inquiétudes sur la production agricole, la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Parmi les cultures dites résilientes aux conditions climatiques extrêmes, le sorgho occupe une place stratégique en Afrique de l'Ouest. Pourtant, cette céréale, reconnue pour sa valeur nutritionnelle et sa tolérance au stress hydrique, reste marginalisée dans les recherches portant sur les stratégies d'adaptation climatique. Cette revue explore l'évolution récente de la production de sorgho et analyse la littérature scientifique actuelle sur les effets présents et anticipés du changement climatique sur cette culture en Afrique de l'Ouest. Elle discute également des stratégies d'adaptation envisageables pour améliorer sa productivité face aux aléas climatiques. Ces mesures d'adaptation incluent la sélection de variétés mieux adaptées aux conditions abiotiques, l'optimisation des pratiques agricoles locales, le développement de techniques de transformation des grains adaptées au contexte climatique, ainsi que l'intégration croissante des outils numériques pour la modélisation et la gestion des risques climatiques. Les données compilées montrent que les rendements du sorgho restent généralement faibles et stagnants dans la région Ouest-Africaine, variant entre 0,8 et 1,5 t/ha, bien en dessous du potentiel génétique estimé à plus de 2,5 t/ha. Les projections basées sur des modèles climatiques suggèrent des baisses de rendement encore plus marquées si aucune mesure d'adaptation n'est adoptée. Bien que des efforts soient faits pour améliorer la résilience des systèmes de production, une partie des variétés développées reste faiblement adoptée, en raison notamment d'un manque de prise en compte des attentes des utilisateurs finaux. Il devient donc crucial que les futurs investissements en amélioration variétale soient non seulement orientés vers des traits à forte valeur agronomique et socioéconomique, mais qu'ils intègrent également les savoirs paysans dans le développement des technologies, afin de favoriser leur adoption effective et de renforcer durablement la résilience climatique des systèmes agricoles à base de sorgho en Afrique de l'Ouest.

Mots clés : Changement climatique, Productivité agricole, *Sorghum bicolor*, Stress abiotique, Adaptation climatique

Abstract

Increasing temperatures and prolonged drought periods are raising serious concerns about agricultural production, as well as food and nutrition security. Among the crops considered resilient to extreme climatic conditions, sorghum holds a strategic position in West Africa. However, this cereal, recognized for its nutritional value and tolerance to water stress, remains marginalized in research on climate adaptation strategies. This review explores recent trends in sorghum production and analyzes current scientific literature on the present and anticipated effects of climate change on this crop in West Africa. It also discusses potential adaptation strategies to improve its productivity in the face of climate variability. These measures include the selection of varieties better adapted to abiotic conditions, the optimization of local farming practices, the development of grain processing techniques tailored to the climatic context, and the increasing integration of digital tools for climate risk modeling and management. The compiled data show that sorghum yields remain generally low and stagnant in the West African region, ranging from 0.8 to 1.5 t/ha, far below the genetic potential estimated at over 2.5 t/ha. Climate model projections suggest even sharper yield declines if no adaptation measures are adopted. Although efforts are being made to strengthen the resilience of production systems, a portion of the developed varieties remains poorly adopted, notably due to insufficient consideration of end-users' expectations. It is therefore crucial that future investments in varietal improvement be not only directed toward traits of high agronomic and socioeconomic value, but also integrate farmers' knowledge into the development of technologies, in order to foster effective adoption and sustainably enhance the climate resilience of sorghum-based farming systems in West Africa.

Keywords: Climate change, Agricultural productivity, *Sorghum bicolor*, Abiotic stress, Climate adaptation

Corresponding author: Sylvain MEGNONHOU,

Received in April 2025 and accepted in August 2025

E-mail address: sylvainmegnonhou@gmail.com

1. Introduction

La sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest reste un défi structurel majeur avec la forte démographie prévue à l'horizon 2050 (Defrance et al., 2020). L'une des solutions possibles à ce problème est l'amélioration de la productivité des systèmes agricoles qui, doivent produire davantage pour nourrir une population en forte croissance (FAO, 2023). Cependant, l'agriculture en Afrique de l'Ouest reste principalement pluviale, et donc très vulnérable au changement et à la variabilité climatiques (Sultan & Gaetani, 2016; Zougmore et al., 2016). Ainsi les fortes fluctuations interannuelles des précipitations, la fréquence accrue des extrêmes pluviométriques et des sécheresses prolongées sont autant d'indices de modifications climatiques qui affectent les systèmes de production agricole dans la sous-région (Salack et al., 2016; Sultan et al., 2019).

Des travaux de Stuch et al. (2021), on retient une probable augmentation significative des températures dans l'ensemble de la sous-région Ouest-Africaine, ce qui pourrait modifier non seulement la quantité des précipitations, mais aussi le comportement physiologique des cultures. Une analyse bibliographique antérieure (Sultan & Gaetani, 2016) a également rapporté que l'Afrique de l'Ouest connaissait un changement climatique rapide, caractérisé par une augmentation des températures et des événements climatiques extrêmes plus fréquents, ce qui entraînerait des pertes de rendement des cultures. Par ailleurs, ce problème est aggravé par une réduction drastique de la disponibilité de terres fertiles pour ces cultures (Kone et al., 2024). La réduction de l'étendue des terres agricoles continuerait du fait de la persistance des pratiques agricoles inadaptées observées dans la sous-région.

La culture du sorgho bien qu'étant d'une importance capitale pour les populations du centre et nord Bénin, ne fait pas exception à ces contraintes climatiques rapportées dans les systèmes de cultures en Afrique de l'Ouest (Megnonhou et al., 2025). S'inscrivant dans la même logique, les travaux de Amouzou et al. (2019) ont prédit une réduction probable et considérable de l'efficacité d'utilisation de l'eau et de l'azote, ainsi que des rendements en grains du maïs et du sorgho dans la Savane Sèche du Nord-Bénin. De plus, une revue systématique conduite par Carr et al. (2022) a signalé une diminution des rendements des principales cultures céréalières en raison des changements climatiques d'une médiane de 6 % dans tous les scénarii analysés, avec une diminution marquée sur le rendement de la culture du sorgho. Par ailleurs, des travaux de simulation climatique ont prédit une probable augmentation de la fréquence des extrêmes de chaleur et de précipitations (Faye et al., 2018a; Sultan et al., 2019), ce qui entraînerait une réduction du rendement moyen du sorgho de 5 à 15 % et en termes monétaires, se traduirait par des pertes annuelles de 0,73 à 2,17 milliards de Dollars Américain (USD) pour l'Afrique de l'Ouest.

Cependant, le sorgho est connu comme une culture résistante aux conditions climatiques extrêmes, nécessitant moins d'intrants et produisant des rendements stables grâce à diverses caractéristiques de tolérance au stress biotique et abiotique (Chadalavada et al., 2021; Huang, 2018; Zhang et al., 2019). Ainsi, une méta-analyse réalisée par Khalifa & Eltahir (2023) rapporte une augmentation des rendements du sorgho malgré le réchauffement climatique grâce à une amélioration des politiques agricoles et de la qualité des intrants en Afrique

Subsaharienne. Le sorgho s'est avéré selon plusieurs sources, moins vulnérable aux variabilités climatiques et constitue la culture alternative pour une meilleure gestion de la sécurité alimentaire dans le contexte des changements climatiques en Afrique Subsaharienne (Hadebe et al., 2017; Hossain et al., 2022; Matei et al., 2020).

Ces traits positifs comparés aux travaux d'impacts climatiques indiquant ou prédisant des diminutions de rendement (Amouzou et al., 2019a; Carr et al., 2022; Faye et al., 2018; Sultan et al., 2019) semblent porter confusion sur le niveau réel des effets du climat actuel et futur sur la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest. En outre, la plupart de ces évaluations d'impact sont prédictives et réalisées sur des systèmes de production généralisée sans une spécificité accordée à la culture du sorgho. Ce manque de détails peut influencer le choix ou l'adoption des stratégies d'adaptation face aux changements climatiques (Ouédraogo et al., 2017). Ainsi, sans mesure d'adaptation, le rendement des cultures devrait-il diminuer, tandis que la variabilité interannuelle du rendement augmenterait de manière significative (Ahmed et al., 2015).

De nombreuses études sur les mécanismes d'adaptation (Adam et al., 2020; Sultan & Gaetani, 2016) ont révélé que des pratiques agricoles correspondant aux variations climatiques peuvent considérablement réduire les impacts négatifs du changement climatique. Par ailleurs, des investigations en Afrique de l'Ouest ont montré que la combinaison de pratiques agricoles adaptées aux conditions climatiques favorables est susceptible de protéger et d'améliorer la productivité agricole future (Adam et al., 2020; Carr et al., 2022). Il est donc impérieux de situer les effets actuels du climat sur les systèmes de culture à base du sorgho, afin de promouvoir l'adoption des pratiques agricoles convenables pour une durabilité de ces derniers.

Cette revue vise à synthétiser les connaissances actuelles sur les impacts du changement climatique et les stratégies d'adaptation associées à la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest, tout en analysant l'évolution des rendements et de la production au cours de la dernière décennie dans cette sous-région.

2. Méthodologie

La présente analyse bibliographique a été conduite en deux phases:

La première phase a consisté en la collecte et l'analyse des données relatives aux rendements et à la production du sorgho dans les pays d'Afrique de l'Ouest au cours des dix dernières années (2014-2023). Les données ont été extraites à partir de la base statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Les moyennes ainsi que les représentations graphiques ont été élaborées à l'aide du logiciel Microsoft Excel afin de mettre en évidence les tendances de production dans la sous-région. La seconde phase consiste en une revue bibliographique. Celle-ci s'est appuyée sur une recherche documentaire approfondie dans différentes bases de données scientifiques, notamment Web of Science et Scopus. Pour compléter cette recherche et limiter les biais liés à la publication, la littérature grise incluant les thèses, les rapports techniques, les documents techniques d'information, et les actes de conférences ont également été consultés.

Les mots-clés utilisés comprenaient : *sorghum*, *drought*, *West Africa*, *climate change*, *yield*, *adaptation strategy*, *Sorghum varieties*. Ces termes utilisés aussi en français ont été combinés selon une syntaxe

adaptée à chaque base pour optimiser la recherche par thématique et pour la pertinence des résultats.

L'ensemble des références identifiées a été importé dans le logiciel Zotero pour la gestion bibliographique, notamment pour le repérage et la suppression des doublons. Un processus de sélection en deux étapes a ensuite été appliqué. D'abord, les titres et résumés ont été examinés afin d'évaluer leurs adéquations avec la problématique abordée. Les publications jugées pertinentes ont ensuite fait l'objet d'une lecture intégrale pour une évaluation approfondie de leurs contenus.

Les critères d'inclusion retenus étaient les suivants :

- ✓ Études expérimentales ou observationnelles portant spécifiquement sur le sorgho en Afrique de l'Ouest ;
- ✓ Présence de données quantitatives sur les effets du changement climatique sur les rendements et la production de sorgho, ainsi que sur les stratégies d'adaptation mises en œuvre ;
- ✓ Publications rédigées en français ou en anglais.

Les travaux focalisés sur d'autres zones géographiques sans pertinence agro-climatique pour l'Afrique de l'Ouest, ou hors du champ thématique de cette revue, ont été exclus. Enfin, les données extraites ont été synthétisées de manière narrative afin de faire émerger les tendances générales sur l'impact actuel et futur du changement climatique, ainsi que les principales stratégies d'adaptation développées dans la sous-région.

3. Résultats et discussion

3.1. Evolution du rendement et de la production du sorgho en Afrique de l'Ouest

L'analyse de l'évolution des rendements du sorgho entre 2014 et 2023 dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest met en évidence des dynamiques contrastées (Tableau 1), reflet d'une interaction complexe entre facteurs agro-climatiques, technologiques et socio-économiques (Mundia et al., 2019). Globalement, les rendements restent faibles et stagnants dans la plupart des pays, oscillant entre 0,8 et 1,5 t/ha. Ce plage de rendement est bien en deçà du potentiel génétique de la culture, estimé à plus de 2,5 t/ha dans des conditions optimales de la sous-région (Yahaya & Shimelis, 2022). Il convient cependant de noter que la Guinée et le Sénégal ont particulièrement affiché non seulement une évolution de rendement progressivement à la hausse, mais également les meilleurs rendements de ces dernières années (Tableau 1). Cette tendance pourrait bien se justifier par les nombreuses initiatives de recherche pour l'amélioration de la culture dans ces pays et en partenariat avec des institutions internationales de recherche agricole.

Par ailleurs, une analyse approfondie des données de la FAO (2014–2023), présente une forte hétérogénéité dans la production de sorgho en Afrique de l'Ouest (Tableau 2). Ainsi, le Nigéria demeure de loin le premier producteur sous-régional, avec des volumes oscillants entre 6,4 et 7,5 millions de tonnes, représentant plus de la moitié de la

production ouest-africaine. Plusieurs autres sources rapportent que sa production avoisine 70 % de la production totale de sorgho en Afrique de l'Ouest, et le classe troisième producteur mondial après les États-Unis et l'Inde (Mundia et al., 2019b; Sadiq, 2020). Cependant, la popularité croissante du maïs et du soja a entraîné une baisse de la production de sorgho dans toutes les régions productrices (Mundia et al., 2019a). Le Nigéria, auparavant autosuffisant, a récemment dû importer du sorgho des États-Unis pour satisfaire la demande locale, en particulier dans le Nord-Est du pays, en raison des contraintes sécuritaires, économiques et climatiques (Scott et al., 2017). Des pays comme le Burkina Faso, le Niger et le Mali viennent après le Nigéria, avec des productions comprises entre 1,2 et 2,1 millions de tonnes, bien que marquées par une variabilité interannuelle importante liée aux aléas climatiques et contextes socio-politiques. Selon Mundia et al. (2019), la production céréalière du Burkina Faso est constituée de 44 % de sorgho et le classe troisième pays producteur de sorgho du continent après le Nigéria et le Soudan. Dans d'autres pays comme le Ghana et le Sénégal, les données montrent une tendance haussière continue, supposant un regain d'intérêt pour la culture du sorgho. Le Ghana est passé de 259 000 tonnes en 2014 à 439 000 tonnes en 2023, tandis que le Sénégal a quadruplé sa production sur la même période, atteignant 445 000 tonnes en 2023 (Tableau 2). À l'inverse, des pays comme la Gambie affichent une régression importante, avec une production tombée de 20 000 tonnes à seulement 5 000 tonnes sur la décennie. Le Bénin reste peu productif dans la dynamique sous-régionale, avec une production généralement inférieure à 150 000 tonnes, à l'exception de l'année 2018 marquée par un pic isolé. Ces tendances soulignent non seulement le poids disproportionné du Nigéria dans la production sous-régionale, mais également la diversité des trajectoires nationales, influencées par les politiques agricoles, les conditions agro-climatiques, le contexte socio-politique et les investissements dans les systèmes de recherche agricole et de production du sorgho.

Tableau 1 : Evolution des rendements du sorgho dans différents pays d'Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2023 (FAOSTAT, 2023)

Pays	Rendement (kg/ha)									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bénin	987,5	985,7	983,0	990,7	1089,7	1059,1	1100,5	1007,4	976,0	871,8
Burkina Faso	1102,8	993,6	959,4	819,3	1011,6	990,3	1060,5	899,6	1028,2	987,9
Côte d'Ivoire	678,3	686,5	688,8	692,3	691,9	709,7	714,7	715,9	733,5	740,0
Gambie	745,0	896,4	681,9	628,2	751,4	629,6	638,6	1004,8	870,5	500,0
Ghana	1141,0	1150,0	1000,0	1101,5	1146,5	1150,0	1171,1	1045,2	1295,2	1416,1
Guinée	1064,6	1145,6	1241,4	1330,1	1423,0	1450,0	1466,8	1483,8	1501,0	1444,4
Guinée-Bissau	982,5	990,6	998,9	963,6	1050,0	894,0	897,0	899,0	1337,1	1150,0
Mali	1055,8	1048,2	893,4	897,5	1024,1	1006,9	995,0	801,8	978,0	935,8
Niger	399,2	561,4	501,6	509,1	539,0	506,1	580,7	343,1	554,8	444,9
Nigéria	1207,1	1187,5	1380,9	1192,3	1208,1	1234,9	1136,4	1134,0	1194,1	1123,2
Sénégal	818,2	939,0	876,1	973,6	1192,9	1131,2	1356,8	1328,1	1344,2	1711,5
Sierra Leone	939,3	951,3	968,7	978,3	982,2	985,0	980,8	971,2	972,1	973,1
Togo	950,1	890,5	860,0	875,2	869,5	889,1	896,7	876,4	884,2	886,4

Source : (FAOSTAT,2023)

Tableau 2 : Evolution de la production du sorgho dans différents pays d'Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2023 (FAOSTAT, 2023)

Pays	Production (tonne)									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bénin	100248,9	129674,5	129665,4	138391,3	319174,6	160000,0	148235,9	133093,3	124235,7	150464,9
Burkina Faso	1707613,0	1435640,0	1663844,0	1365898,0	1929834,3	1871791,2	1839571,0	1643722,0	2013869,0	1772021,7
Côte d'Ivoire	51344,0	55100,0	59100,0	63400,0	65661,0	68132,0	72186,0	70155,0	73345,0	74000,0
Gambie	20289,0	26891,0	20458,0	18846,0	15072,2	6296,1	6210,0	4850,0	5223,0	5000,0
Ghana	259000,0	262651,9	229604,4	230000,0	316236,1	345000,0	356000,0	324000,0	401499,0	439000,0
Guinée	38000,0	36462,9	28800,0	29400,0	60570,0	62215,0	63110,0	64012,0	64927,9	65000,0
Guinée-Bissau	14000,0	16000,0	17000,0	20000,0	21000,0	21900,0	20680,0	22838,0	26742,0	23000,0
Mali	1271880,0	1527456,0	1393826,0	1423358,0	1469687,9	1511110,0	1822694,0	1239656,0	1603394,0	1528008,0
Niger	1425982,0	1918330,0	1808263,2	1945135,9	2100189,8	1896638,1	2132295,0	1207237,0	2100697,3	1646000,0
Nigéria	6883294,0	7005025,0	7556076,0	6939000,0	6800000,0	6665000,0	6590600,0	6725500,0	6806370,0	6402000,0
Sénégal	102323,0	188500,0	193452,0	215491,0	295463,1	270168,3	377322,9	352474,3	363164,0	445000,0
Sierra Leone	30000,0	38293,7	49000,0	57000,0	49000,0	50000,0	52000,0	80000,0	58000,0	61000,0
Togo	307579,0	270863,0	272776,0	276167,0	277240,0	282582,0	279105,0	276986,0	280809,0	288000,0

Source : (FAOSTAT,2023)

3.2. Impacts et projections des changements climatiques sur la production du sorgho en Afrique de l'Ouest

Les projections sur le climat et l'agriculture en Afrique de l'Ouest prédisent des impacts négatifs susceptibles d'entraîner des crises alimentaires si des mesures adaptatives ne sont pas mises en place. Pendant que Biasutti (2013) à l'aide de nombreux modèles CMIP5 évoque des saisons de pluies plus humides avec de léger retard dans l'arrivée des premières pluies d'ici la fin du 21^e siècle, de nombreuses autres études ont fait savoir que des augmentations de température et

des déficits pluviométriques prévus sont susceptibles d'entraver la production agricole en Afrique de l'Ouest (Ahmed et al., 2015b; Sultan et al., 2014; Sultan & Gaetani, 2016b; Sylla et al., 2016). Par ailleurs, le GIEC estime que la température moyenne à la surface de la terre devrait dépasser 1,5°C d'ici 2040 et entrainera des effets néfastes sur les systèmes alimentaires en Afrique en raccourcissant les saisons de croissance et en augmentant le stress hydrique (Balestrini, 2021). Faye et al. (2018) ont évoqué des projections similaires et ont trouvé qu'avec les dates de semis et taux d'engrais actuels, le rendement du sorgho devraient diminuer de 2 % en Afrique de l'Ouest pour un

réchauffement de 1,5 °C, et de 5 % pour le scénario de réchauffement de 2,0 °C. Ainsi, les rendements du sorgho deviendront plus volatiles et incertains dans la plus part des pays d'Afrique de l'Ouest compte tenu de la variabilité interannuelle de la température et/ou des précipitations prévue pour le climat (Ahmed et al., 2015). Selon Akinseye et al. (2020), les impacts des changements climatiques seront disproportionnels aux variétés de sorgho produites. En effet, ces travaux ont projeté des diminutions de rendement allant jusqu'à 6,2 % au milieu du siècle (2040-2069) avec des variétés précoces alors qu'avec des variétés à maturation moyenne, des augmentations significatives du rendement ont été prédites. Par ailleurs, l'utilisation du model AquaCrop par Akumaga et al. (2018) a permis de montrer que les effets du changement climatique sur le rendement du sorgho seraient fonction de la zone agroécologique de production. Ainsi, leurs résultats simulés pour différentes zones agroécologiques du Niger ont révélé des effets positifs des variations climatiques sur les rendements du sorgho (2% à 6% d'augmentation) dans la zone de Savane du Sud de la Guinée, tandis que dans la zone de Savane du nord de la Guinée, ils seraient principalement négatifs (2% à 20% de diminution).

Des travaux de Amouzou et al. (2019), on retient que les changements climatiques réduiraient probablement l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'azote ainsi que des rendements en grains du sorgho dans la Savane Sèche du Nord Bénin. Ces contraintes sur le sol combinées à des périodes de précipitation incertaines engendreront de fortes fluctuations des rendements du sorgho (Bekuma Abdisa et al., 2022). Par ailleurs, les projections des impacts des changements climatiques sur la culture du sorgho ont montré des tendances régionales distinctes. En effet, dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0, les rendements moyens du sorgho au Burkina-Faso devraient diminuer jusqu'en 2090 pour atteindre 857 kg/ha (-5,5 %) par rapport aux rendements actuels (Arumugam et al., 2023a), alors qu'au Ghana les zones inaptes à la culture du sorgho devraient augmenter de 12 % (RCP2.6) et de 13 % (RCP8.5) avec plus d'optimisation des conditions climatiques de cette culture vers le Nord du pays (Chemura et al., 2020). Pour Jalloh et al., (2013) la culture du sorgho connaîtra des limites au niveau des zones actuellement cultivables qui pourraient à l'avenir en raison de l'augmentation de la température devenir hostile à la production. Les variations détaillées sur les zones favorables et sur les rendements du sorgho pluvial en Afrique de l'Ouest pour les modèles CSIRO, A1B et MCG sont présentées à la Figure1.

Les manifestations divergentes des changements climatiques se sont aussi révélé par le scénario RCP8.5 du GIEC qui a prédit que, bien qu'incertain, l'évolution du climat africain entraînera une augmentation des précipitations dans le Sahel oriental et une diminution dans le Sahel occidental (Defrance et al., 2020). Ceci explique les diminutions de rendement du sorgho signalé dans la plupart des pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest à l'exception du Niger qui pourrait connaître des augmentations de rendements du sorgho allant jusqu'à 34 % d'ici 2050 (Tableau 2). Par ailleurs, une réduction des pertes est rapportée au niveau du model RCP8.5 prenant en compte des augmentations de concentration en CO₂ atmosphérique. Ceci se confirme à travers les

résultats de plusieurs études (Famien et al., 2018; Knox et al., 2012) qui ont indiqué que l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ entrainerait une réduction de la transpiration et donc aiderait les plantes en C4 comme le sorgho à mieux supporter les périodes de stress hydrique sévère. Des projections similaires des impacts des changements climatiques sur le rendement de la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest ont été faites par plusieurs études conduites antérieurement (Jalloh et al., 2013; Knox et al., 2012; Nelson et al., 2010; Roudier et al., 2011). Dans cette la même logique, (Nelson et al., 2010), utilisant un modèle mondial d'équilibre partiel de l'alimentation et de l'agriculture appelé IMPACT, ont rapporté des résultats très positifs quant aux prévisions sur le rendement de la culture du sorgho. Le modèle IMPACT inclut simultanément les analyses des modèles de culture et la croissance technologique future (Jalloh et al., 2013), et a prévu des rendements très élevés même en cas de changement climatique. Toutefois, cette prévision ne doit pas être interprétée comme si les changements climatiques seront généralement positifs pour la culture du sorgho car Les effets néfastes des prévisions climatiques sur cette culture dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest ont déjà été documentés (Tableau 3). Les fortes productivités prédites par ce model indiquent l'importance de l'introduction des technologies et interpellent sur l'amélioration des investissements en faveur du développement de l'agriculture.

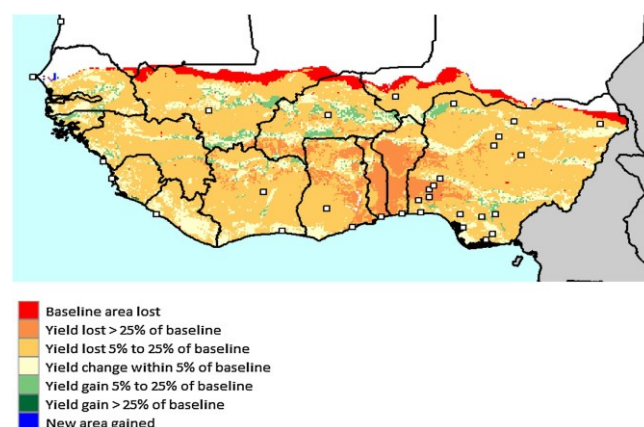


Figure 1 : Variations des zones favorables et des rendements du sorgho pluvial en Afrique de l'Ouest selon les modèles climatiques CSIRO et le scénario A1B(Jalloh et al., 2013)

Tableau 3 : Synthèse des variations de rendement de la culture de sorgho dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 avec ou sans CO₂ d'ici 2050

Pays	Rendement historique	% RCP2.6	% RCP8.5	%RCP8.5 [CO ₂]
Burkina Faso	867	-15%	-28%	-9%
Mali	1071	-15%	-27%	-13%
Niger	259	10%	6%	34%
Nigeria	1100	-10%	-24%	-15%
Sénégal	834	-13%	-28%	-12%

Source : Defrance et al. (2020)

3.3. Mesures adaptatives pour une meilleure résilience du sorgho face au climat

3.3.1. Maintenance des systèmes de culture

Le développement de nouvelles mesures adaptatives pourrait aider à améliorer ou stabiliser les rendements des cultures dans le contexte du changement climatique (Carr et al., 2022; Sapkota et al., 2018). Ainsi, le choix des dates de semis et des pratiques culturales adéquates est très déterminant dans l'amélioration du rendement des cultures en raison de la recrudescence des périodes de sécheresse et de précipitation incertaines (Guan et al., 2017). En effet, l'étude de l'effet de la variabilité des dates de semis sur les rendements de 55 accessions de sorgho conduite par Naoura et al., (2023), a révélé qu'un simple retard du semis a conduit à une réduction de la durée de la phase végétative et par conséquent à une diminution considérable du rendement potentiel

du sorgho. Ainsi, l'actualisation et la prise en compte des travaux pour la mise à jour du calendrier agricole (périodes de semis, etc.) sont très capitales pour le maintien de la productivité des cultures dans le contexte d'un climat changeant. En outre, Khalifa & Eltahir, (2023) trouvent qu'une adoption intégrée des pratiques agronomiques et des cultivars tolérants serait idéal pour augmenter le rendement du sorgho et assurer sa résilience dans un contexte plus chaud. Ces mesures de gestion d'exploitation sont très importantes et méritent d'être documentées afin d'accompagner les systèmes de production pour une résilience renforcée face au climat. Le tableau 4 résume quelques études récentes abordant la mise à jour des pratiques de gestion des systèmes de culture à base du sorgho pour une meilleure résilience sous les climats actuels et futurs en Afrique de l'Ouest.

Tableau 4 : Quelques études présentant des pratiques de gestion des systèmes de culture à base du sorgho pour une meilleure adaptation face au climat actuel et future d'Afrique de l'Ouest.

Auteur (S)	Pays/région	Model/scenario climatique/Méthodologies	Principaux résultats
(MEGNONHOU et al., 2025)	Bénin	Recherche participative	Les producteurs de sorgho au Bénin adaptent leurs pratiques face aux aléas climatiques en adoptant des variétés à cycle court, en ajustant les dates de semis (précoces, tardifs ou multiples), en modifiant les pratiques culturales (labour profond, fertilisation), et en diversifiant les systèmes de culture, notamment par des associations comme sorgho-niébé
(Faye et al., 2022)	Sénégal	RCP 4.5 et 8.5	Sous les scénarios RCP 4.5 et 8.5 à l'horizon 2050, les rendements du sorgho diminuent globalement de 20–30 % pour les variétés à cycle court et de moins de 20 % pour les variétés à cycle long
(Araya et al., 2022)	Sénégal	RCP 8.5	L'ajustement localisé des dates de semis, de la fertilisation azotée et de l'irrigation permet d'augmenter significativement les rendements du sorgho, du mil et de l'arachide au Sénégal, même sous un climat futur plus chaud et plus sec
(Raes et al., 2021)	Gambia, Côte d'Ivoire, Mali et Niger	RCP 4.5 et RCP 8.5	L'augmentation modérée de la fertilité du sol et le choix de variétés à cycle plus court ou plus adaptées à la sécheresse peuvent permettre de maintenir des niveaux de production acceptables pour le sorgho
(Adam et al., 2020)	Soudano-sahélienne	DSSAT/APSIM	Augmenter les apports d'engrais avec 30 kg de N/ha et ajuster les densités de semis avec une augmentation de 4 à 6 plants /m ² dans le climat actuel pourrait faire augmenter les rendements du sorgho de 20 à 153 %
(Arumugam et al., 2023)	Burkina-Faso	DSSAT	La GIFS à travers la technique de Zaï et de l'agroforesterie pourrait augmenter le rendement du sorgho jusqu'à 300 % en condition de changement climatique
(Akinseye et al., 2020)	Mali	APSIM	Juin et Juillet sont respectivement les mois favorables de semis projetés pour les variétés précoces et les variétés à maturité moyenne de sorgho au Mali dans le cadre des changements climatiques.
(Dossou-Aminon et al., 2016)	Bénin	Recherche participative	L'établissement des champs de sorgho dans les basses terres est une stratégie développée au Nord Bénin pour mieux produire le sorgho face au climat
(Guan et al., 2017)	Afrique de l'Ouest	APSIM v7.5 et SARRA-H v3.2	L'augmentation des apports d'engrais peut accroître les rendements du sorgho dans le climat actuel (+ 50 %), mais ne contribue pas à la réduction des impacts négatifs future, sauf dans le cas d'une amélioration des précipitations
(Dabre et al., 2024)	Burkina-Faso	Expérimentation	Le zaï rectangulaire permet d'améliorer le rendement grain du sorgho à plus de 43 % par rapport au zaï ordinaire (sphérique).
(MacCarthy et al., 2021)	Afrique de l'Ouest	RAP 4–SDP et RAP 5–USDP	Les modèles SDP (ajout de 10kg N/ha + variétés non améliorées + 4 plant/m ²) et USDP (15kg N/ha + variété améliorée + 6 plants/m ²) simulent respectivement des augmentations de rendement de 124 % et 174 % pour le sorgho par rapport aux pratiques culturales actuelles.
(Akumaga et al., 2018)	Mali	RCP4.5 and RCP8.5	L'amélioration du niveau de fertilité des sols (de faible à optimum) contribuera à une augmentation spectaculaire de rendement (60 à 208 %) du sorgho au Mali
(K. Traore et al., 2017)	Mali	Expérimentation	La technique de labour en billon suivant les courbes de niveau contribue à une augmentation de rendement grain de sorgho allant de 58 à 85 % par rapport aux parcelles à labour simple.
(Dembele et al., 2021)	Mali	Expérimentation	Pour un bon rendement grain du sorgho, la combinaison entre le taux d'azote et la densité de semis est spécifique à chaque variété.
(A. Traore, 2022)	Afrique subsaharienne	STICS	La combinaison des pratiques telle que l'association sorgho-niébé, l'utilisation de la variété améliorée et de fumure minérale constituent une meilleure stratégie adaptative pour la résilience du sorgho sous climat actuel et future.

3.3.2. Développement de nouveaux cultivars

L'expérience des changements climatiques a montré la nécessité pour les chercheurs à travers leurs programmes de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest de mettre l'accent sur le développement de nouveaux matériels génétiques adaptés aux conditions hostiles actuelles ou projetées du climat (Akinseye et al., 2020; Gano et al., 2021). Ainsi, les programmes de sélection variétale du sorgho dans la sous-région visent principalement à développer des variétés destinées aux petits exploitants agricoles, en mettant l'accent sur des caractères agronomiques améliorés : rendements accrus, qualité des tiges et stabilité de production face aux stress biotiques et abiotiques (Orr et al., 2022).

3.3.2.1. Cultivars tolérants au *Striga hermonthica*

L'utilisation des technologies telles que la sélection assistée par marqueur et la mutagenèse induite ont été observée dans la mise au point de nouveaux matériels de sorgho. Le *Striga* représente une menace d'importance capitale pour la culture du sorgho, et le changement climatique pourrait favoriser sa distribution géographique en Afrique Subsaharienne. Face à cela, quatre lignées résistantes de sorgho au *Striga* ont été développées par sélection assistée par marqueurs (Mohamed et al., 2014). Yohannes et al. (2015) ont rapporté que le rétrocroisement assisté par marqueur (MABC) a été efficace pour introgresser cinq QTLs pour la résistance au *Striga* entre le donneur du sorgho N13 et une variété sensible d'origine érythréenne (la variété Hurgurtay). De plus, l'induction de la mutagenèse à l'aide de l'Ethyl méthyl de sulfonate a permis d'identifier trois lignées mutantes de sorgho (SbEMS0937-1, SbEMS3105-2 et SbEMS2311-1) qui seraient munies d'une résistance contre le *Striga* (SawaDogu et al., 2016).

3.3.2.2. Cultivars tolérants à la sécheresse

Pour répondre à l'impact récurrent et sévère du stress hydrique sur la production et la productivité du sorgho, le Programme International sur le Sorgho et le Mil (INTSORMIL), l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT), ainsi que divers Systèmes Nationaux de Recherche Agricole (SNRA) en Afrique Subsaharienne ont établi une collaboration en matière de recherche sur la sélection de variétés tolérantes à la sécheresse. Le tableau 5 présente des variétés de sorgho améliorées, dotées de caractéristiques de tolérance à la sécheresse, qui ont été développées et diffusées par ces institutions dans les régions semi-arides. Par ailleurs, d'autres investigations de chercheurs ont évalué et sélectionné de meilleurs cultivars pour la tolérance à la sécheresse. Ainsi, selon Guan et al. (2015), la sélection de cultivars traditionnels de sorgho avec un cycle de croissance plus long pourraient mieux profiter de la durée accrue de la saison des pluies et de la quantité totale de précipitations, alors que les

cultivars modernes avec un cycle de croissance court seraient mieux adaptés aux conditions de saisons plus courtes. Au Burkina Faso, les travaux sur l'amélioration génétique du sorgho pour la tolérance au déficit hydrique ont été en grande partie menés par Ouédraogo (2015). Ces recherches ont montré que la variété de sorgho B35 est tolérante au déficit hydrique sévère en conservant une teneur élevée en chlorophylle pendant la phase de stress hydrique. Elle possède ainsi, quatre QTLs de résistance à savoir le stg1, stg2, stg3 et stg4. Cependant, cette variété n'est pas appréciée des producteurs car elle possède un faible rendement. Cette variété devrait être intégrée dans des programmes d'hybridation afin d'introgresser les gènes de résistance dans des variétés plus productives. Ainsi, la technique de la mutagenèse permet de contourner les processus de croisement en générant de nouveaux caractères pouvant être utilisés pour identifier des traits de tolérance au déficit hydrique. Les travaux de recherche sur l'amélioration génétique par la mutagenèse induite demeurent assez faibles en Afrique de l'Ouest. Néanmoins, quelques recherches ont été menées au Mali. Ainsi, les travaux conduits par plusieurs chercheurs (Bretaudeau et al., 1994; Bretaudeau & Traore, 1991) ont-ils permis de sélectionner un mutant de sorgho (MIG-SOR86-30-03) tolérant au déficit hydrique. Ce mutant présente un système d'enracinement profond, une photosynthèse élevée et une tolérance à la sécheresse. Ainsi, grâce à ces différents travaux de sélection du sorgho, les niveaux de rendement actuels et la tolérance à la sécheresse sont considérablement améliorés. Cela permet une meilleure résilience des systèmes de culture à base de sorgho dans les zones Arides et Semi-Arides.

Tableau 5 : Quelques variétés améliorées de sorgho introduites en Afrique de l'Ouest

Nom du génotype	Origine génétique	Caractéristiques recherchées	Pays	Année d'introduction	Références
SAMSORG-47	ZAUNA-INUWA/lignée pure/- sélection tête à rang	"Stay-green"	Nigéria	2018	(Yahaya & Shimelis, 2022)
SAMSORG-48	KAURA BRON/Variance - sélection tête à rang	Maturité précoce	Nigéria	2018	(Yahaya & Shimelis, 2022)
PSLS-SGCTB01, PSLS-SGCTB02, PSLS-SGCTB03 et PSLS-SGCTB04	Introductions de plantes (PI) : 685009, 685010, 685012	Tolérance à la sécheresse post-floraison	États-Unis (USDA)	2018	(Burke et al., 2015)
IESV 92043 DL	KARI Mtama 1 x Seredo	Tolérance à la sécheresse et résistance au moucheron	KALRO, Kenya/ Somalie/ Zimbabwe	2017	(Maluk, 2018)
RSC02-3seL(bulk) to RSC149-3seL(bulk)	F2:3 germplasm families [44 accessions x (BTx406)]	Tolérance à la sécheresse, résistant aux maladies	USDA-ARS	2012	(Yahaya & Shimelis, 2022)
ArfaGadamak8	Variété locale	Maturité précoce, tolérance à la sécheresse	Soudan (ARC)	2009	(Osman, 2007; Smale et al., 2018)
Gadam El Hamam	Pollinisation libre /depuis le Soudan	Maturité précoce, tolérance à la sécheresse	Afrique du sud/ Soudan/ Kenya	2004	(Sperling et al., 2011)
Yarwasha	Variété locale	Maturité précoce, tolérance à la sécheresse	Soudan (ARC)	2003	(Osman, 2007; Smale et al., 2018)
Tengemeo	2KX17/B/1/ Pollinisation libre	Maturité moyenne, tolérance à la sécheresse	Tanzanie	1986	(Wambugu & Kamanga, 2014)
Serena	Pollinisation libre	Tolérance à la sécheresse	Kenya	1975	(Maluk, 2018; Timu et al., 2014)
Seredo	Pollinisation libre	Maturité moyenne, tolérante à la sécheresse	Kenya	1970	(Maluk, 2018; Timu et al., 2014)
Wad Hamad	Variété pollinisée librement	Maturité moyenne, tolérante à la sécheresse	Soudan	1992	(Smale et al., 2018)
Farine	Variété locale	Tolérance à la sécheresse	Tchad	-	(Naoura et al., 2019)

3.3.2.3. Défis et enjeux liés à la création variétale du sorgho.

Les différents travaux de sélection de nouveaux cultivars de sorgho devraient considérablement améliorer la résilience de cette culture en Afrique de l'Ouest. Cela permettrait une meilleure croissance des systèmes de culture à base de sorgho dans les zones Arides et Semi-Arides. Cependant, les programmes d'amélioration présentent certaines faiblesses, notamment une implication insuffisante des agriculteurs dans le processus de développement et de sélection des variétés, en dépit de leur savoir-faire précieux en matière de choix de cultivars adaptés à leur environnement et à leurs préférences alimentaires (Ceccarelli & Grando, 2022). Ainsi, malgré les efforts de recherche et de diffusion, le taux d'adoption des variétés améliorées de sorgho demeure faible en Afrique de l'Ouest, notamment en raison de l'inadéquation perçue entre la qualité des grains et les préférences locales de consommation. Le cas du Bénin en constitue une illustration révélatrice. En effet, bien que

plusieurs variétés améliorées de sorgho aient été introduites par Kayodé et al. (2018), celles-ci ne figurent dans aucune des observations relevées lors des travaux de caractérisation de la diversité des espèces céréalières réalisés par Assogba et al. (2023), cinq ans plus tard, dans les zones agroécologiques du centre du pays. Cette absence témoigne d'un manque d'appropriation par les producteurs locaux, et met en lumière la nécessité de repenser les approches d'amélioration variétale, en intégrant davantage les besoins réels et les préférences des communautés rurales à travers des démarches participatives. Ce phénomène n'est pas isolé : dans d'autres zones du continent, les agriculteurs manifestent également une certaine réticence face aux variétés améliorées proposées (Ahmad Yahaya et al., 2022; Smale et al., 2019). Pour renforcer l'adoption de ces variétés et stimuler leur commercialisation, il est essentiel qu'elles intègrent les caractéristiques recherchées par les utilisateurs finaux (Derese et al., 2018). Des attributs tels que la couleur,

la taille et la saveur des grains sont déterminants car ils conditionnent l'acceptabilité des produits issus de ces variétés (Ghebrehiwot et al., 2016; Isaacs et al., 2023). Comme l'indiquent Vázquez-Araújo et al. (2012), la compréhension des besoins et attentes des consommateurs constitue la première étape dans la mise au point de produits attractifs ; ces attentes influencent directement leur acceptation, et donc l'adoption des innovations variétales. Lorsque les consommateurs reconnaissent la valeur des variétés améliorées et manifestent leur volonté de payer pour les attributs spécifiques qu'elles offrent, leur adoption devient pratiquement inévitable (Kassie et al., 2017). Dans cette logique, la sélection participative du sorgho devient une nécessité pour une meilleure efficacité dans l'adoption des technologies de résilience climatique en Afrique de l'Ouest.

3.3.3. *Les formes et méthodes de transformation du sorgho suscitées par des besoins d'adaptation aux aléas climatiques*

Pour faire face aux défis du changement climatique, diverses méthodes de transformations ont été mises sur pied. Ainsi, dans le catalogue de la boîte à outils des technologies sur le mil et le sorgho, des chercheurs ont fait mention du système de fraisage et de mélange des farines de mil et de sorgho (Clearinghouse, 2022). D'après les auteurs, la transformation locale de la farine permet la réduction du transport et des coûts pour les consommateurs ruraux et l'ajout de valeur au grain brut des produits vendus aux marchés urbains et aux transformateurs alimentaires. Des avantages qui, de ce point de vue, contribuent à la réduction des contributions au réchauffement climatique. De plus, les farines de mil et de sorgho sont sans gluten et conviennent à une variété de produits alimentaires tels que le pain, les biscuits, les gâteaux, les bouillies et même les pâtes. De ce fait, elles peuvent être utilisées comme substitut de farine tout usage dans presque toutes les recettes et amoindrir les risques de mauvaise productivité d'autres cultures sources de farine lors de perturbations climatiques. Par ailleurs, Kayodé et al. (2012) ont évalué l'effet des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle de trois types de bouillies à base de sorgho. Il s'agit d'une méthode particulière de transformation qui utilise la combinaison et le trempage des graines de plusieurs céréales dont le sorgho pendant environ 23 heures pour une bonne fermentation. Ce procédé a permis de réduire de façon significative des teneurs en phénols totaux et en anthocyanes. Il s'agit d'une technologie innovante indispensable dans la gestion de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en temps des aléas climatiques. Dans le même contexte, Ali & Djalé (2001), ont mené une étude sur la substitution de la farine de blé ou autres farines par la farine de sorgho en boulangerie, biscuiterie et produits locaux ('Ablo', 'Kome'). Les auteurs ont d'une part partiellement substitué la farine de blé avec les farines de certaines variétés de sorgho dans la fabrication du pain et des biscuits, et d'autre part totalement remplacé la farine de maïs par ces mêmes farines dans la préparation des produits locaux (Ablo, Kome). Les produits obtenus se sont avérés être des denrées de qualité satisfaisante et certaines variétés ont en particulier donné des produits locaux (Ablo, Kome) meilleurs à ceux obtenus avec la farine de maïs. Ces mêmes

variétés introduites en remplacement partiel du blé en boulangerie et biscuiterie ont donné des produits de bonne qualité, équivalents à ceux obtenus avec le blé seul. Songre-Ouattara et al. (2016) abordent dans le même sens et trouvent que l'enrichissement de biscuits à base de sorgho avec du moringa, de la spiruline ou de la patate douce à chair orange permet d'améliorer significativement leur teneur en protéines et en micronutriments essentiels, tout en maintenant une bonne acceptabilité sensorielle aux niveaux modérés d'incorporation. En outre, Salim et al. (2017) ont montré que la fortification de la farine du sorgho avec du soja et du blé permet d'augmenter significativement la teneur en protéines, lipides et cendres, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire dans les zones rurales grâce à l'adoption de technologies simples adaptées au contexte local. Ces innovations s'avèrent importantes dans la gestion des pénuries de maïs causées par les changements climatiques. D'autres méthodes de transformation des résidus de la culture de sorgho existent également dans une perspective d'adaptation, aux changements climatiques. Dans le catalogue de la boîte à outils des technologies sur le mil et le sorgho (Clearinghouse, 2022), des chercheurs ont fait mention de la transformation des résidus en aliments bétails comme une mesure adéquate de gestion de la culture du sorgho en réponse aux réalités climatiques. Cette mesure vient combler les insuffisances de la méthode classique de gestion des résidus par les agriculteurs. Ces derniers coupent normalement les tiges en petits morceaux à la main afin de pouvoir les donner au bétail, un processus qui non seulement prend beaucoup de temps mais aussi limite la quantité de paille de sorgho utilisée pour le bétail. Par ailleurs, l'incinération des résidus restants contribue à l'épuisement du carbone du sol, à la pollution atmosphérique locale et aux émissions inutiles de gaz carbonique. C'est pour relever ces défis que l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides et ses partenaires ont développé un transformateur qui permet de hacher ou de broyer les tiges de sorgho pour les utiliser comme aliments bétail ou comme paillis.

3.3.4. *Utilisation du numérique dans le processus d'adaptation du sorgho face au climat*

Des initiatives telles que la vulgarisation numérique au Ghana ont permis d'améliorer la qualité des services de vulgarisation agricole, facilitant ainsi l'accès des agriculteurs à des informations climatiques et agronomiques pertinentes. Ces services, appelés 'services agromet', soutiennent la transition vers une agriculture plus productive et résiliente au climat en aidant les agriculteurs à mieux gérer les risques liés à la variabilité climatique (Banque mondiale, 2023). Par ailleurs, divers auteurs ont entrepris des travaux sur l'usage du numérique dans la gestion des systèmes de culture à base du sorgho. C'est le cas de Boyard-Micheau (2013) qui a évalué les effets de la variabilité climatique sur les rendements agricoles de l'espèce simulés par le modèle SARRA-H (une plateforme de logiciels développés pour modéliser les bilans hydriques et l'évaluation de variables agricoles, tel que le rendement potentiel céréalier en milieu tropical semi-aride) dans la région est du Mont Kenya. L'étude visait à déterminer la sensibilité

des cultures vivrières à différentes variables pluviométriques ainsi qu'aux variables météorologiques autres que la pluie. Il s'agit plus spécifiquement de comprendre de quelle manière la variabilité spatiotemporelle des paramètres climatiques, modulent la variabilité des rendements agricoles. La variable agricole considérée est le rendement potentiel qui, faute de données observées sur le terrain, est simulée grâce au modèle agro-climatique SARRA-H à partir de données pluviométriques et météorologiques observées pour la période 1973-2001. Les analyses effectuées au cours de l'étude ont montré qu'en dépit de sa forte résilience, le sorgho reste touché par les effets du changement climatique. De même, Röhrig et al. (2021) ont mis au point au Niger, le modèle cultural AMPLIFY (Agricultural Model for Production Loss Identification and Failures of Yields). Ce modèle permet d'évaluer le rôle de la variabilité météorologique sur les rendements de diverses cultures vivrières dont le sorgho, à la fois au niveau national et infranational (régional). Les investigations utilisant ce modèle démontrent la variation des rendements qui serait due aux variations météorologiques à la fois au niveau national et au niveau régional. Sankara (2020) quant à lui, a mené une étude de lutte contre l'insécurité alimentaire à partir de l'alerte précoce tout en modélisant le rendement du sorgho dans quatorze (14) provinces de trois régions du Burkina Faso avec les outils GeoWRSI (Water Requirements Satisfaction Index), SPIRITS, les images NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et l'historique des rendements. La méthodologie du travail a consisté à rechercher un modèle de prévision de rendement adéquat du sorgho en mettant en évidence la corrélation entre les rendements historiques et les différentes variables explicatives du rendement à savoir les variables phénologiques à travers l'analyse du profil temporel du NDVI, le bilan en eau du GeoWRSI et les données de pluviométrie issues de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data). Ainsi, des modèles ont été construits à travers la combinaison de ces éléments et peuvent contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire à travers une alerte précoce. Ces mesures adaptatives démontrent l'importance du numérique dans la mise au point des stratégies d'adaptation de l'agriculture en ce sens qu'elles aident à la prédiction des conditions météorologiques agréables ou désagréables permettant d'anticiper sur des menaces climatiques plus sévères.

4. Conclusion et recommandations

Le sorgho, bien qu'étant une culture naturellement résistante aux conditions climatiques extrêmes, reste encore peu intégré dans les innovations récentes en matière d'agriculture climato-intelligente. À travers cette analyse bibliographique, nous avons pu mettre en lumière l'évolution des rendements et de la production du sorgho en Afrique de l'Ouest au cours de la dernière décennie. Les résultats ont montré une forte contribution du Nigéria à la production sous-régionale, mais aussi une diversité marquée des trajectoires nationales, influencées par les politiques publiques, les conditions agro-climatiques et le niveau d'investissement dans les systèmes de culture du sorgho. Par ailleurs, les études d'impact climatique recensées indiquent une tendance générale à la baisse des rendements dans la majorité des pays ouest-africains,

soulignant ainsi la nécessité de stratégies d'adaptation. Ces stratégies incluent le développement de meilleures pratiques culturales, l'amélioration génétique des variétés, l'adoption de procédés technologiques valorisant la qualité nutritionnelle, ainsi que l'implémentation d'outils numériques pour améliorer les capacités de prévision et d'alerte. Cependant, malgré l'existence de programmes de sélection variétale, une partie des variétés développées reste faiblement adoptée, en raison notamment d'un manque de prise en compte des attentes des utilisateurs finaux. Il devient donc crucial que les futurs investissements en amélioration variétale soient non seulement orientés vers des traits à forte valeur agronomique et socioéconomique, mais qu'ils intègrent également les savoirs paysans dans le développement des technologies, afin de favoriser leur adoption effective et de renforcer durablement la résilience climatique des systèmes agricoles à base du sorgho en Afrique de l'Ouest

Références bibliographiques

- Adam, M., MacCarthy, D. S., Traoré, P. C. S., Nenkam, A., Freduah, B. S., Ly, M., & Adiku, S. G. K. (2020b). Which is more important to sorghum production systems in the Sudano-Sahelian zone of West Africa: Climate change or improved management practices? *Agricultural Systems*, 185, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102920>
- Ahmad Yahaya, M., Shimelis, H., Nebie, B., Ojiewo, C. O., & Danso-Abbeam, G. (2022). Sorghum production in Nigeria: Opportunities, constraints, and recommendations. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 72(1), 660–672. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2047771>
- Ahmed, K. F., Wang, G., Yu, M., Koo, J., & You, L. (2015). Potential impact of climate change on cereal crop yield in West Africa. *Climatic Change*, 133(2), 321–334. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1462-7>
- Akinseye, F. M., Ajeigbe, H. A., Traore, P. C. S., Agele, S. O., Zemadim, B., & Whitbread, A. (2020). Improving sorghum productivity under changing climatic conditions: A modelling approach. *Field Crops Research*, 246, 107685. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107685>
- Akumaga, U., Tarhule, A., Piani, C., Traore, B., & Yusuf, A. (2018). Utilizing Process-Based Modeling to Assess the Impact of Climate Change on Crop Yields and Adaptation Options in the Niger River Basin, West Africa. *Agronomy*, 8(2), 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020011>
- Ali, K. L., & Djalé, K. A. (2001). Substitution partielle de la farine de blé ou autres farines par la farine de sorgho en boulangerie, biscuiterie et produits locaux ('Ablo', 'Kome'). *Towards Sustainable Sorghum Production, Utilization, and Commercialization in West and Central Africa: Proceedings of a Technical Workshop of the West and Central Africa Sorghum Research Network, 19-22 April 1999, Lome, Togo. Bamako, BP 320, Mali: West and Central Africa Sorghum Research*

- Network; and Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 000 Pages, 15. https://oar.icrisat.org/357/1/CO_0018.pdf#page=27
- Amouzou, K. A., Lamers, J. P. A., Naab, J. B., Borgemeister, C., Vlek, P. L. G., & Becker, M. (2019). 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 Research*, 235, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.021>
- Arumugam, P., Chemura, A., Aschenbrenner, P., Schauburger, B., & Gornott, C. (2023). Climate change impacts and adaptation strategies: An assessment on sorghum for Burkina Faso. *European Journal of Agronomy*, 142, 126655. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126655>
- ASSOGBA, P., AFOUDA, A. S., AFOUDA, H. W., & Ibouaïma YABI. (2023). *Characterisation of the agro-diversity of family farms in the communes of Save and Ouesse (Central Benin)*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8270763>
- Balestrini, A. (2021, August 23). *Rapport AR6 du GIEC « résumé pour les décideurs »*. État d'urgence. <https://etatdurgence.ch/blog/articles/rapport-ar6-du-giec-resume-pour-les-decideurs/>
- Banque mondiale. (2023). *Mécanismes de fourniture des informations numériques sur le climat et des conseils en agriculture en Afrique de l'Ouest*. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099184003162337050/pdf/P1729410355d9d056098e906ff1a4abb546.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Bekuma Abdisa, T., Mamo Diga, G., & Regassa Tolessa, A. (2022). Impact of climate variability on rain-fed maize and sorghum yield among smallholder farmers. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1), 2057656. <https://doi.org/10.1080/23311932.2022.2057656>
- Biasutti, M. (2013). Forced Sahel rainfall trends in the CMIP5 archive. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1613–1623. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50206>
- Boyard-Micheau, J. (2013). *Prévisibilité potentielle des variables climatiques à impact agricole en Afrique de l'Est et application au sorgho dans la région du mont Kenya* [PhD Thesis, Université de Bourgogne]. <https://theses.hal.science/tel-01124214/>
- Bretauudeau, A., & Traore, B. M. (1991). Caractérisation de quelques paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de Sorgho (*Sorghum bicolor* Moench) soumises à un stress hydrique. *Revue Du Réseau Pour l'amélioration de La Productivité Agricole En Milieu Aride*, 3, 21–34. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=5575888>
- Bretauudeau, A., Traore, B. M., Traore, S., Toure, O. S., & Keita, M. (1994). Contribution à l'utilisation des paramètres morpho-physiologiques et agronomiques pour la sélection de variétés de sorgho résistantes à la sécheresse. *Bilan Hydrique Agricole et Sécheresse En Afrique Tropicale*, (John Libbey Ed.) Eurotext, Paris, 125–136. https://cda-omvs.org/wp-content/uploads/attachments/10059_ocr.pdf
- Burke, J. J., Payton, P., Chen, J., Xin, Z., Burow, G., & Hayes, C. (2015). Metabolic Responses of Two Contrasting Sorghums to Water-Deficit Stress. *Crop Science*, 55(1), 344–353. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.04.0322>
- Carr, T. W., Mkuhlani, S., Segnon, A. C., Ali, Z., Zougmore, R., Dangour, A. D., Green, R., & Scheelbeek, P. (2022). Climate change impacts and adaptation strategies for crops in West Africa: A systematic review. *Environmental Research Letters*, 17(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac61c8>
- Ceccarelli, S., & Grando, S. (2022). Return to Agrobiodiversity: Participatory Plant Breeding. *Diversity*, 14(2), 126. <https://doi.org/10.3390/d14020126>
- Chadalavada, K., Kumari, B. D. R., & Kumar, T. S. (2021). Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. *Planta*, 253(5), 113. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03631-2>
- Chemura, A., Schauburger, B., & Gornott, C. (2020). Impacts of climate change on agro-climatic suitability of major food crops in Ghana. *PLOS ONE*, 15(6), e0229881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229881>
- Clearinghouse, T. (2022). Catalogue de la Boîte à Outils des Technologies sur le Mil et Sorgho. TAAT Clearinghouse. Série de Rapports Techniques 014. *Gates Open Res*, 6(139), 139. <https://gatesopenresearch.org/documents/6-139>
- Dabre, A., Savadogo, P., Sanou, L., & Nacro, H. B. (2024). Sorghum Yield Using Rectangular Versus Spherical zaï Pits and Integrated Soil Fertility Management in the Sahelian and Sudano-Sahelian Zones of Burkina Faso. *Agricultural Research*. <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00690-7>
- Defrance, D., Sultan, B., Castets, M., Famien, A. M., & Baron, C. (2020). Impact of Climate Change in West Africa on Cereal Production Per Capita in 2050. *Sustainability*, 12(18), 7585. <https://doi.org/10.3390/su12187585>
- Dembele, J. S. B., Gano, B., Kouressy, M., Dembele, L. L., Doumbia, M., Ganyo, K. K., Sanogo, S., Togola, A., Traore, K., Vaksman, M., Teme, N., Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Plant density and nitrogen fertilization optimization on sorghum grain yield in Mali. *Agronomy Journal*, 113(6), 4705–4720. <https://doi.org/10.1002/agj2.20850>
- Dereese, S. A., Shimelis, H., Laing, M., & Mengistu, F. (2018). The impact of drought on sorghum production, and farmer's varietal and trait preferences, in the north eastern Ethiopia: Implications for breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68(5), 424–436. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1418018>

- Dossou-Aminon, I., Dansi, A., Ahissou, H., Cissé, N., Vodouhè, R., & Sanni, A. (2016). Climate variability and status of the production and diversity of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the arid zone of northwest Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(7), 1181–1201. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0310-y>
- Famien, A. M., Janicot, S., Ochou, A. D., Vrac, M., Defrance, D., Sultan, B., & Noël, T. (2018). A bias-corrected CMIP5 dataset for Africa using the CDF-t method – a contribution to agricultural impact studies. *Earth System Dynamics*, 9(1), 313–338. <https://doi.org/10.5194/esd-9-313-2018>
- FAO. (2023). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*, FAO. ed. FAO, Rome (I). - Recherche Google (FAO, Rome (I)). <https://www.fao.org/3/i6030f/i6030f.pdf>
- Faye, B., Webber, H., Naab, J. B., MacCarthy, D. S., Adam, M., Ewert, F., Lamers, J. P. A., Schleussner, C.-F., Ruane, A., Gessner, U., Hoogenboom, G., Boote, K., Shelia, V., Saeed, F., Wisser, D., Hadir, S., Laux, P., & Gaiser, T. (2018). Impacts of 1.5 versus 2.0 °C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40>
- Gano, B., Dembele, J. S. B., Tovignan, T. K., Sine, B., Vadez, V., Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Adaptation Responses to Early Drought Stress of West Africa Sorghum Varieties. *Agronomy*, 11(3), 443. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030443>
- Ghebrehiwot, H. M., Shimelis, H. A., Kirkman, K. P., Laing, M. D., & Mabhaudhi, T. (2016). Nutritional and Sensory Evaluation of Injera Prepared from tef and *Eragrostis curvula* (Schr.) Nees. Flours with Sorghum Blends. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01059>
- Guan, K., Sultan, B., Biasutti, M., Baron, C., & Lobell, D. B. (2015). What aspects of future rainfall changes matter for crop yields in West Africa? *Geophysical Research Letters*, 42(19), 8001–8010. <https://doi.org/10.1002/2015GL063877>
- Guan, K., Sultan, B., Biasutti, M., Baron, C., & Lobell, D. B. (2017). Assessing climate adaptation options and uncertainties for cereal systems in West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.021>
- Hadebe, S. T., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2017). Drought Tolerance and Water Use of Cereal Crops: A Focus on Sorghum as a Food Security Crop in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(3), 177–191. <https://doi.org/10.1111/jac.12191>
- Hossain, Md. S., Islam, Md. N., Rahman, Md. M., Mostofa, M. G., & Khan, Md. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
- Huang, R. (2018). Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 739–746. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61728-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61728-3)
- Isaacs, K., Smit, M., Samaké, B., Rattunde, F., Cissé, F., Diallo, A., Sidibe, M., & Weltzien, E. (2023). Participatory Evaluation of Sorghum Processing and Sensory Attributes in Mali: Methodology for Improving Food Security Outcomes from Variety Development Efforts. *Sustainability*, 15(5), 4312. <https://doi.org/10.3390/su15054312>
- Jalloh, A., Nelson, G. C., Thomas, T. S., Zougmore, R. B., & Roy-Macauley, H. (2013). *West African agriculture and climate change: A comprehensive analysis*. Intl Food Policy Res Inst.
- Kassie, G. T., Abdulai, A., Greene, W. H., Shiferaw, B., Abate, T., Tarekegne, A., & Sutcliffe, C. (2017). Modeling Preference and Willingness to Pay for Drought Tolerance (DT) in Maize in Rural Zimbabwe. *World Development*, 94, 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.02.008>
- Kayodé, A. P. P., Akogou, F. U. G., Hounkpatin, W. A., & Hounhouigan, D. J. (2012). Effets des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle des formulations de bouillies de complément à base de sorgho. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 2192–2201. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/85274>
- Kayodé, P. (2018). *Adoption de variétés de sorgho résilientes aux changements climatiques au Bénin*. CTA. <https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=XdeLDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20de%20sorgho%20au%20B%C3%A9nin&ots=EXYn9WNCMc&sig=HxxdKWv4a60nqnkOSc13Z7CJQSY>
- Khalifa, M., & Eltahir, E. A. B. (2023). Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1184373. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1184373>
- Knox, J., Hess, T., Daccache, A., & Wheeler, T. (2012). Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7(3), 034032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034032>
- Kone, S., Balde, A., Zahonogo, P., & Sanfo, S. (2024). A systematic review of recent estimations of climate change impact on agriculture and adaptation strategies perspectives in Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10115-7>
- MacCarthy, D. S., Adam, M., Freduah, B. S., Fosu-Mensah, B. Y., Ampim, P. A., Ly, M., Traore, P. S., & Adiku, S. G. (2021). Climate change impact and variability on cereal productivity among smallholder farmers under future production systems in West Africa. *Sustainability*, 13(9), 5191. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5191>
- Maluk, M. D. (2018). *Assessment of drought tolerance, earliness and grain yield in south Sudan sorghum germplasm and icrisat*

- lines [PhD Thesis, University of Nairobi]. <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/105516>
- Matei, G., VLĂDU, V., Dodocioiu, A. M., & Toader, M. (2020). Study regarding the optimization of grain sorghum cultivation technology in the context of sustainable agriculture. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 63(2). https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_2/Art23.pdf
- Megnonhou, S., Montcho, D., Akpo, E., Dandjlessa, J., & Kpocheme, A. O. E. K. (2025). Evaluation of Food Technologies and Farmers' Practices Related to Sorghum Cultivation in Central and Northern Benin. *CORAF* 2023, 5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2025118005>
- MEGNONHOU, S., MONTCHO, D., Essegbemon, A., NEBIE, B., KOLADE, O., LARWANOU, M., & AGBANGLA, C. (2025). A Correspondence Factor Analysis of Famers' Perceptions of Climate Change Impacts, and Adaptation Strategies in Sorghum production in Bénin. *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin*, 35(01).
- Mohamed, A., Ali, R., Elhassan, O., Suliman, E., Mugoya, C., Masiga, C. W., Elhusien, A., & Hash, C. T. (2014). First products of DNA marker-assisted selection in sorghum released for cultivation by farmers in sub-saharan Africa. *Journal of Plant Science and Molecular Breeding*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.7243/2050-2389-3-3>
- Mundia, C. W., Secchi, S., Akamani, K., & Wang, G. (2019). A Regional Comparison of Factors Affecting Global Sorghum Production: The Case of North America, Asia and Africa's Sahel. *Sustainability*, 11(7), 2135. <https://doi.org/10.3390/su11072135>
- Naoura, G., Emendack, Y., Sawadogo, N., Djirabaye, N., Tabo, R., Laza, H., & Atchozou, E. A. (2023). Assessment of Photoperiod Sensitivity and the Effect of Sowing Date on Dry-Season Sorghum Cultivars in Southern Chad. *Agronomy*, 13(3), 932. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030932>
- Naoura, G., Sawadogo, N., Atchozou, E. A., Emendack, Y., Hassan, M. A., Reoungal, D., Amos, D. N., Djirabaye, N., Tabo, R., & Laza, H. (2019). Assessment of agro-morphological variability of dry-season sorghum cultivars in Chad as novel sources of drought tolerance. *Scientific Reports*, 9(1), 19581. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56192-6>
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T. B., & Ringler, C. (2010). *Food security, farming, and climate change to 2050: Scenarios, results, policy options* (Vol. 172). Intl Food Policy Res Inst.
- Orr, A., Weltzien, E., & Rattunde, F. (2022). Research and development for sorghum and millets in Sub-Saharan Africa: What have we learned? *Outlook on Agriculture*, 51(4), 435–447. <https://doi.org/10.1177/00307270221133127>
- Osman, A. K. (2007). Community based seed supply in Sudan. *LEISA-LEUSDEN*, 23(2), 18. <https://core.ac.uk/download/pdf/48027317.pdf>
- Ouédraogo, M., Zougmore, R., Moussa, A. S., Partey, S. T., Thornton, P. K., Kristjanson, P., Ndour, N. Y. B., Somé, L., Naab, J., Boureima, M., Diakité, L., & Quiros, C. (2017). Markets and climate are driving rapid change in farming practices in Savannah West Africa. *Regional Environmental Change*, 17(2), 437–449. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1029-9>
- Röhrig, F., Gloy, N., von Loeben, S. C., Gornott, C., Arumugam, P., Aschenbrenner, P., Baek, H.-R. L., Carlsburg, M., Chemura, A., & Fodi, B. I. (2021). *Climate Risk Analysis for Identifying and Weighing Adaptation Strategies in Niger's Agricultural Sector*. https://publications.pik-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemFullPage.jsp?itemId=item_27268_2&view=ACTION
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21(3), 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>
- Sadiq, S. (2020). Sorghum food security in Nigeria. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 166–178. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduzfd/issue/58147/792399>
- Salack, S., Klein, C., Giannini, A., Sarr, B., Worou, O. N., Belko, N., Jan Bliefernicht, & Kunstman, H. (2016). Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel. *Environmental Research Letters*, 11(10), 104008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104008>
- Salim, E. R. A., Ahmed, W. A., Mohamed, M. A., AlSiddig, M. A., & Hamed, S. Y. (2017). Fortified sorghum as a potential for food security in rural areas by adaptation of technology and innovation in Sudan. *Journal of Food, Nutrition and Population Health*, 1(1), 1–15.
- Sankara, R. (2020). *Contribution de l'imagerie satellitaire à la lutte contre l'insécurité alimentaire au Burkina Faso: Prévisions de rendements du Sorgho (Sorghum Bicolor L. Moench) à partir des outils SPIRITS, GeoWRSI et des images du NDVI*. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/10076>
- Sapkota, T. B., Aryal, J. P., Khatri-Chhetri, A., Shirsath, P. B., Arumugam, P., & Stirling, C. M. (2018). Identifying high-yield low-emission pathways for the cereal production in South Asia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(4), 621–641. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9752-1>
- SawaDogu, T. C., TRAORE, H., YONLI, D., BOUSSIM, J. I., & TUINSTRAL, M. (2016). Evaluation de la résistance de lignées mutantes de sorgho contre Striga hermonthica (Del.) Benth. au Burkina Faso: Screening of sorghum mutant lines for resistance to Striga hermonthica (Del.) Benth. in Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 2. https://revuesciences-techniquesburkina.org/index.php/sciences_naturelles_et_appliquee/article/view/883

- Scott, R., Nzeka, U., & Taylor, J. (2017). Nigeria grain and feed annual. *Global Agriculture Information Network; USDA Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA*.
- Smale, M., Assima, A., Kergna, A., Thériault, V., & Weltzien, E. (2018). Farm family effects of adopting improved and hybrid sorghum seed in the Sudan Savanna of West Africa. *Food Policy*, 74, 162–171. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919216301518>
- Smale, M., Kergna, A., Amidou Assima, Weltzien, E., & Rattunde, F. (2019). *An Overview and Economic Assessment of Sorghum Improvement in Mali*. Gates Open Research. <https://doi.org/10.21955/GATESOPENRES.1115309.1>
- Songre-Ouattara, L. T., Gorga, K., Bationo, F., Savadogo, A., & Diawara, B. (2016). Utilisation du moringa, de la spiruline, de la patate douce à chair orange et d'un complexe minéral et vitaminique dans la fabrication de biscuits de sorgho enrichis destinés aux jeunes enfants. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4), 1651–1665. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/153724>
- Sperling, L., Katungi, E., Team, A. M. U. R., & Council, D. R. (2011). *Seed system security assessment: Southern Sudan: November-December 2010*. <https://www.sidalc.net/search/Record/digspace-10568-71652/Description>
- Stuch, B., Alcamo, J., & Schaldach, R. (2021). Projected climate change impacts on mean and year-to-year variability of yield of key smallholder crops in Sub-Saharan Africa. *Climate and Development*, 13(3), 268–282. <https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1760771>
- Sultan, B., Defrance, D., & Iizumi, T. (2019). Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports*, 9(1), 12834. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>
- Sultan, B., & Gaetani, M. (2016). Agriculture in West Africa in the Twenty-First Century: Climate Change and Impacts Scenarios, and Potential for Adaptation. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>
- Sultan, B., Guan, K., Kouressy, M., Biasutti, M., Piani, C., Hammer, G. L., McLean, G., & Lobell, D. B. (2014). Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104006>
- Sylla, M. B., Nikiema, P. M., Gibba, P., Kebe, I., & Klutse, N. A. B. (2016). Climate Change over West Africa: Recent Trends and Future Projections. In J. A. Yaro & J. Hesselberg (Eds.), *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa* (pp. 25–40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31499-0_3
- Timu, A. G., Mulwa, R., Okello, J., & Kamau, M. (2014). The role of varietal attributes on adoption of improved seed varieties: The case of sorghum in Kenya. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-9>
- Traore, A. (2022). *Changement climatique et agriculture en Afrique subsaharienne. Perception des agriculteurs et impact de l'association entre une céréale et une légumineuse sur les rendements des deux espèces et leur variabilité inter-annuelle sous climat actuel et futur. Cas du sorgho et du niébé dans l'environnement soudano-sahélien* [PhD Thesis, Sorbonne université]. <https://theses.hal.science/tel-03847646/>
- Traore, K., Sidibe, D. K., Coulibaly, H., & Bayala, J. (2017). Optimizing yield of improved varieties of millet and sorghum under highly variable rainfall conditions using contour ridges in Cinzana, Mali. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0086-0>
- Vázquez-Araújo, L., Chambers Iv, E., & Cherdchu, P. (2012). Consumer Input for Developing Human Food Products Made with Sorghum Grain. *Journal of Food Science*, 77(10). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02917.x>
- Wambugu, F., & Kamanga, D. (Eds.). (2014). *Biotechnology in Africa: Emergence, Initiatives and Future* (Vol. 7). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04001-1>
- Yahaya, M. A., & Shimelis, H. (2022). Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and technologies—A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(2), 127–142. <https://doi.org/10.1111/jac.12573>
- Yohannes, T., Abraha, T., Kiambi, D., Folkertsma, R., Tom Hash, C., Ngugi, K., Mutitu, E., Abraha, N., Weldetsion, M., Mugoya, C., Masiga, C. W., & De Villiers, S. (2015). Marker-assisted introgression improves Striga resistance in an Eritrean Farmer-Preferred Sorghum Variety. *Field Crops Research*, 173, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.008>
- Zhang, R., Zhou, Y., Yue, Z., Chen, X., Cao, X., Ai, X., Jiang, B., & Xing, Y. (2019). The leaf-air temperature difference reflects the variation in water status and photosynthesis of sorghum under waterlogged conditions. *PLOS ONE*, 14(7), e0219209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219209>
- Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., Ericksen, P., Said, M., & Jalloh, A. (2016). Toward climate-smart agriculture in West Africa: A review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0075-3>