



HAL
open science

Les grandes cultures et le changement climatique : les cas des filières riz, sorgho, canne à sucre et coton

Alexia Prades, Patricio Mendez del Villar, Didier Tharreau, Edward Gérardiaux, Raphaëlle Ducrot, Aude Ripoche, David Pot, Mohamed Lamine Tékété, Cyril Diatta, Laurent Laplaze, et al.

► To cite this version:

Alexia Prades, Patricio Mendez del Villar, Didier Tharreau, Edward Gérardiaux, Raphaëlle Ducrot, et al.. Les grandes cultures et le changement climatique : les cas des filières riz, sorgho, canne à sucre et coton. Blanfort Vincent (ed.); Demenois Julien (ed.); Hrabanski Marie (ed.). L'agriculture et les systèmes alimentaires du monde face au changement climatique. Enjeux pour les Suds, Ed. Quae, pp.221-240, 2025, 978-2-7592-4009-8. <hal-05287419>

HAL Id: hal-05287419

<https://hal.science/hal-05287419v1>

Submitted on 29 Sep 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License



L'AGRICULTURE ET LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES DU MONDE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Enjeux pour les Suds

Vincent Blanfort, Julien Demenois,
Marie Hrabanski, coord.

éditions
Quæ

Chapitre 13

Les grandes cultures et le changement climatique : les cas des filières riz, sorgho, canne à sucre et coton

Alexia Prades¹, Patricio Mendez del Villar², Didier Tharreau², Edward Gérardiaux^{2,5}, Raphaëlle Ducrot², Aude Ripoche², David Pot³, Mohamed Lamine Tekete³, Cyril Diatta³, Laurent Laplaze³, Boris Parent³, Isabelle Basile-Doelsch³, Christine Granier³, Myriam Adam³, Julie Dusserre³, Michel Vaksman³, Mathias Christina⁴, Christophe Poser⁴, Bruno Bachelier⁵, Romain Loison⁵

¹ Introduction et conclusion ; ² Filière riz ; ³ Filière sorgho ; ⁴ Filière canne à sucre ; ⁵ Filière coton.

1. Introduction : les filières tropicales face au changement climatique, de grands défis pour des agricultures majoritairement familiales

Alexia Prades

Dans certaines parties du globe, il est aujourd'hui admis que les grandes cultures contribuent significativement au dérèglement climatique, car elles sont conduites, depuis les années 1945-1950, selon des processus massifs d'intensification, consommateurs d'intrants chimiques, d'énergie issue de ressources fossiles et générateurs de gaz à effet de serre (GES). Dans l'ensemble des pays de l'OCDE, les émissions totales de GES d'origine agricole ont augmenté en moyenne de 3,8 % entre 2005 et 2021.

La dénomination *grandes cultures*, utilisée pour ce chapitre et appliquée aux pays en développement des zones tropicales et subtropicales peut paraître inadaptée, car les céréales (riz, sorgho) ou les cultures à visée commerciale (canne à sucre, coton) présentées ci-après sont cultivées, en majorité, de manière extensive sur des exploitations familiales de petite taille. Elles contribuent soit directement comme aliment soit indirectement comme source de revenus à la sécurité alimentaire de millions de familles et participent à la souveraineté alimentaire et énergétique de ces pays (Sourisseau *et al.*, 2014). Certes, les cultures du riz, du sorgho, de la canne à sucre et du coton contribuent aussi, à des degrés divers, au changement climatique. Mais s'il est avéré que les rizières inondées émettent du méthane et que la pratique du brûlis pour la canne à sucre produit des GES, il est aussi prouvé que ces cultures seront fortement affectées par le changement climatique. Dans l'état actuel des connaissances, cela semble un peu moins vrai pour le coton, mais la dépendance de cette culture vis-à-vis des ressources en eau et sa sensibilité à la pression des ravageurs sont des réalités dont les agriculteurs devront tenir compte.

Ce chapitre présente un panorama de quatre cultures des zones tropicales : le riz, le sorgho, la canne à sucre et le coton. Pour chacune d'entre elles, on y trouve la description

de la filière et son contexte international, puis la présentation des impacts provoqués et subis en lien avec le changement climatique, et enfin des propositions de solutions d'adaptation et d'atténuation.

2. Pour une riziculture adaptée aux changements globaux

Patricio Mendez del Villar, Didier Tharreau, Edward Gérardeaux, Raphaëlle Ducrot, Aude Ripoche

2.1. Le riz nourrit la moitié de l'humanité

Le riz est l'aliment de base de plus de la moitié de la population mondiale, en particulier les plus démunis. Dans de nombreux pays du Sud, la sécurité alimentaire et la stabilité sociale et politique dépendent de la disponibilité en riz à des prix « abordables ». Le riz est aussi une source de revenus des ménages dans de nombreux pays. Il est également une denrée indispensable à l'aide d'urgence lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins des populations après des événements climatiques extrêmes, dont la fréquence et l'amplitude sont en augmentation.

L'exploitation plus que millénaire de nombreuses plaines rizicoles de manière continue (sans rotation de culture et parfois en double ou triple culture annuelle) témoigne de la résilience des écosystèmes rizicoles aquatiques qui assurent plus des trois quarts de la production mondiale. Dans de nombreuses régions du monde, y compris en Europe et en France, la riziculture joue aussi un rôle important dans la mise en valeur durable et dans la conservation de la biodiversité des zones deltaïques. Le riz est aussi cultivé dans des écosystèmes plus fragiles de mangrove et de terres non inondées (riziculture pluviale stricte), en particulier en Afrique et en Amérique latine.

2.2. Des systèmes rizicoles diversifiés

Une des caractéristiques de la filière riz est probablement la grande diversité de situations agro-socio-économiques existantes. Cette diversité comprend l'intégration de la riziculture dans des systèmes agricoles complexes (par exemple la rizipisciculture), incluant l'élevage, et l'interaction avec d'autres filières (par exemple le maraîchage). Tout en gardant à l'esprit cette diversité, il est toutefois possible d'identifier des caractéristiques de la filière assez tranchées : trois agrosystèmes principaux (riziculture irriguée, de bas-fonds et pluviale stricte), culture vivrière *vs* production commercialisée, y compris à l'export, intensive en intrants *vs* intensive en main-d'œuvre, petits producteurs *vs* gros producteurs. Certaines combinaisons de ces caractéristiques correspondent à des situations agro-socio-économiques très représentatives à l'échelle mondiale : petits producteurs mais en culture intensive en Asie, petits producteurs avec faible utilisation d'intrants en Afrique subsaharienne, grands producteurs en culture intensive en Amérique du Sud, en particulier dans le sud du Brésil, en Uruguay et en Argentine. Ces situations peuvent être assimilées à différentes chaînes de valeur, chacune étant confrontée à des défis différents et définissant un contexte initial différent à prendre en compte pour opérer des changements.

2.3. Un marché mondial du riz confronté à des chocs globaux

En 2023, selon la FAO (2025), la production mondiale de riz paddy a atteint 805 Mt (ou 535 Mt en équivalent riz blanc), dont près de 90 % sont produits et consommés en

Asie. Le continent asiatique est aussi le principal pôle excédentaire et fournisseur de riz pour le reste du monde, en particulier l'Afrique subsaharienne, principale zone déficitaire en riz et premier pôle d'importation avec un tiers des importations mondiales. Malgré un potentiel de production élevé en terres arables, l'Afrique subsaharienne doit ainsi importer entre 30% et 50% du riz consommé. Cette dépendance extérieure l'expose fortement à l'instabilité des marchés internationaux et augmente l'insécurité alimentaire (disponibilité et accès), surtout en zone urbaine.

La crise de 2008, illustrée par la flambée des prix mondiaux, a constitué un choc important, surtout pour les populations les plus démunies. Pour répondre à cette crise, les gouvernements africains, avec leurs partenaires internationaux, ont mis en œuvre de nouvelles politiques de soutien aux filières locales en vue d'atteindre l'autosuffisance en riz. Cependant, les programmes de soutien n'arrivent pas à atteindre les objectifs escomptés de réduction significative de la dépendance rizicole vis-à-vis du marché international. Les crises de tous types, à l'instar de la pandémie de la Covid-19 ou de la guerre en Ukraine, combinées au changement climatique, soulignent la nécessité de développer des systèmes rizicoles plus résilients. Or, sur certains marchés nationaux des pays du Sud, les filières de production locales sont confrontées à la globalisation des échanges et subissent la concurrence des filières d'importation. La faible plus-value des filières valorisant la qualité à l'export (filières bio ou *sustainable rice*) est un élément de contexte à prendre en compte.

Les filières rizicoles globales doivent faire face à des défis multiples et d'ordres différents (biophysiques et environnementaux, techniques, socio-économiques et politiques), qui ajoutent des contraintes supplémentaires à la gestion du changement climatique. Le premier d'entre eux est de générer de la valeur, de la répartir équitablement entre acteurs, et d'améliorer le niveau de vie de 400 millions de riziculteurs pauvres pour réduire les inégalités, sans préjudice pour les 500 millions de consommateurs vivant en dessous du seuil de pauvreté pour une majorité d'entre eux.

2.4. Répondre aux besoins des consommateurs

Un autre défi d'importance est de répondre à la diversification des demandes en matière de qualité organoleptique et industrielle du riz, et aux exigences accrues quant à la qualité nutritionnelle et sanitaire. La qualité est un enjeu tout au long de la chaîne de valeur, de la production à la consommation du riz. Il s'agit non seulement de traiter la question technologique (recherche sur le fonctionnement de la plante, qualités organoleptiques, etc.), mais aussi de s'appuyer sur cette qualité pour mieux valoriser le riz sur le plan commercial, ce qui demande en même temps des innovations organisationnelles.

2.5. Des systèmes rizicoles, des espaces de vie

Au-delà des considérations liées à la commercialisation du riz, les zones rizicoles irriguées sont des territoires dans lesquels des populations sont installées et vivent. La présence permanente de l'eau confère une grande spécificité à ces zones avec, en particulier, des conséquences sur la santé humaine, des enjeux sur les usages de l'eau, une vulnérabilité particulière face au changement climatique. La riziculture irriguée est aussi une source de GES (méthane, protoxyde d'azote) significative en agriculture et donc au cœur des questions liées au changement climatique (IPCC, 2021 ; Sinha *et al.*, 2020).

2.6. Répondre à la sécurité alimentaire future face aux changements globaux

Sur le plan mondial, les défis à relever en matière de production peuvent être résumés ainsi : pour chaque milliard de personnes supplémentaire dans la population mondiale, il faudrait produire 100 Mt supplémentaires de riz paddy (13% de la production totale en 2024) par an (Trébuil et Hossain, 2004) ; et cela avec moins de terres, moins d'eau et moins de main-d'œuvre, avec des systèmes de production plus respectueux de l'environnement, plus résilients face au changement climatique et émettant moins de GES. En 2025, 10-15% des rizières irriguées seront soumises, à des degrés divers, à une contrainte hydrique résultant de demandes urbaines et industrielles accrues et aux effets du changement climatique (Tuong et Bouman, 2003).

La riziculture doit donc, plus que toute autre culture, faire face à l'instabilité du climat et à ses conséquences : l'augmentation des températures diurnes et nocturnes peut nuire à la floraison donc à la production ; l'augmentation du CO₂ atmosphérique augmente la biomasse et si la disponibilité en éléments nutritifs ne peut pas répondre à l'augmentation de la demande, le gain de biomasse ne se traduira pas par des gains de rendements en grains. Cette situation peut même altérer la qualité. La sécheresse, la salinité des sols et les inondations sont des contraintes abiotiques de plus en plus fréquentes qui réduisent les rendements (Lafarge *et al.*, 2015 ; Ahmadi *et al.*, 2015). Le changement climatique peut également favoriser l'émergence ou la réémergence de maladies du riz qui affectent fortement les rendements et la qualité.

Dans un contexte de changement climatique, dont les impacts s'accroissent, l'eau, nécessaire à la majorité des systèmes rizicoles, est en voie de raréfaction et la multiplication de ses usages renforce la compétition entre les utilisateurs sur un même territoire. La filière riz va ainsi devoir gérer la forte consommation d'une ressource en eau sous tension dans les systèmes irrigués en Asie, en Afrique et en Amérique latine. Il va falloir produire avec moins d'eau et codévelopper (jusqu'à l'appropriation durable) des innovations organisationnelles et institutionnelles pour une meilleure gestion des conflits autour de cette précieuse ressource. Une meilleure gestion de l'eau peut aussi contribuer à favoriser des systèmes efficaces émettant moins de GES. La riziculture est en effet responsable d'une part importante des émissions anthropiques de GES (22% des émissions mondiales de méthane d'origine agricole) (IPCC, 2021).

2.7. La transition agroécologique en riziculture, un défi technique

La riziculture mondiale va également devoir faire face à des défis techniques liés au changement climatique. Comment stabiliser ou augmenter la production en limitant les impacts négatifs sur l'humain et l'environnement ? La demande en riz va continuer d'augmenter en raison de l'accroissement de la population mondiale de deux milliards supplémentaires d'ici 2050, dont un milliard en Afrique¹. Dans les systèmes intensifs en intrants, en Asie en particulier, l'objectif sera de produire plus en réduisant l'usage d'intrants chimiques (fertilisants, pesticides) et en accompagnant la réduction potentielle de main-d'œuvre (mécanisation). Réduire l'usage de certains intrants de synthèse, c'est améliorer le bilan carbone, mais c'est aussi réduire la dépendance des riziculteurs vis-à-vis de produits souvent importés, pas toujours disponibles ni accessibles, et dépendants de la stabilité géopolitique mondiale. Enfin, la réduction des

1. ONU, 2024. Population. <https://www.un.org/fr/global-issues/population>.

intrants contribue à réduire les coûts de production compte tenu de l'augmentation des prix. En Afrique, le contexte est assez différent dans la mesure où les quantités d'engrais chimiques sont relativement réduites (entre 100 et 200 kg/ha), cela étant dû en grande partie à la contrainte financière et à leur disponibilité réduite; une situation qui tend à s'aggraver avec le quadruplement des prix des engrais entre 2020 et 2022, du fait de la pandémie, et avec de nouvelles augmentations depuis la guerre en Ukraine en 2022 et ses répercussions sur les échanges internationaux.

Certains agrosystèmes riziocoles (deltas, zones protégées, riziculture pluviale) sont particulièrement fragiles et doivent bénéficier d'une attention particulière. Les solutions agroécologiques sont une voie pour les protéger. L'augmentation de la diversité végétale dans les systèmes riziocoles est nécessaire pour limiter la perte de fertilité des sols et pour augmenter la résilience face au changement climatique, mais elle reste un défi technique important en riziculture irriguée ou inondée.

3. Sorgho et changement climatique : des besoins d'adaptation, mais aussi un vecteur d'atténuation

David Pot, Mohamed Lamine Tekete, Cyril Diatta, Laurent Laplaze, Boris Parent, Isabelle Basile-Doelsch, Christine Granier, Myriam Adam, Julie Dusserre, Michel Vaksman

Le sorgho, espèce originaire du nord-est de l'Afrique, combine deux visages. Il constitue en premier lieu un des piliers de la sécurité alimentaire dans les zones semi-arides du globe, et il représente un vecteur de la transition agroécologique pour les systèmes de production des pays du Nord. Dans ces deux contextes, le sorgho va devoir s'adapter aux évolutions induites par le changement climatique, mais il jouera aussi un rôle dans l'atténuation de ce dernier.

3.1. Le sorgho : une espèce clé pour la sécurité alimentaire et un levier potentiel pour la transition agroécologique

Le sorgho est la cinquième céréale la plus produite dans le monde et il constitue l'alimentation de base de plus de 500 millions de personnes dans les zones semi-arides. Il est cultivé de façon significative (surface supérieure à 5 000 ha/pays) dans 72 pays et il occupe au niveau mondial une superficie de 40,2 Mha (période considérée de 2018 à 2022) pour une production annuelle moyenne de 59,1 Mt. Les plus importantes surfaces sont situées en Afrique subsaharienne (Soudan et Soudan du Sud : 7,6 Mha; Nigeria : 5,69 Mha; Niger : 3,72 Mha), en Inde (4,42 Mha) et aux États-Unis (2,09 Mha). En Europe, en moyenne 277 000 ha de sorgho ont été mis en production entre 2018 et 2022. Les cinq plus grands pays producteurs sur la période 2018-2022 sont les États-Unis (8,71 Mt/an), le Nigeria (6,71 Mt/an), l'Éthiopie (4,79 Mt/an), le Mexique (4,54 Mt/an) et l'Inde (4,4 Mt/an).

Les rendements en Afrique de l'Ouest ont peu évolué entre 1998-2002 et 2018-2022 (+ 6,4 %) et les augmentations de production ont donc majoritairement dépendu, dans cette région, d'un accroissement des surfaces.

En Afrique, la consommation humaine, correspondant à une très large gamme de produits, représente près des trois quarts de l'utilisation du sorgho. Actuellement, dans les pays du Nord et les pays émergents, le sorgho est essentiellement utilisé

pour l'alimentation animale. En complément, il s'affirme comme une espèce phare pour la production énergétique (Thomas *et al.*, 2021) et il présente des atouts pour la production de biomatériaux.

Pour soutenir ces filières de valorisation, le sorgho s'appuie sur des propriétés biologiques spécifiques. C'est une plante à photosynthèse en C4, ce qui lui assure une assimilation efficace du carbone à haute température. Sa forte tolérance aux stress abiotiques et notamment aux stress hydriques et à la faible disponibilité en nutriments a été abondamment documentée (Schlegel *et al.*, 2018), ce qui en fait donc une culture avec une empreinte environnementale relativement faible. Enfin, même si plusieurs ravageurs et maladies peuvent l'affecter, cette espèce peut tout de même être considérée comme rustique et relativement peu sensible aux stress biotiques, nécessitant donc peu de traitements phytosanitaires.

3.2. Impacts du changement climatique sur la production de sorgho

En Afrique de l'Ouest, le changement climatique est déjà à l'œuvre. Entre 2000 et 2009, une hausse de 1 °C par rapport à l'ère préindustrielle a entraîné des pertes de rendement de 5 % à 15 % pour le sorgho (Sultan *et al.*, 2019).

Des projections montrent diverses réductions de rendement pour le futur. En Afrique de l'Ouest (hors Niger), des scénarios à +1,5 °C et +2 °C indiquent des baisses de rendement de 2 % et 5 % respectivement, indépendamment des niveaux de fertilisation (Faye *et al.*, 2018). Les projections les plus récentes effectuées en 2020 pour les cinq principaux pays producteurs d'Afrique de l'Ouest ont mis en évidence des pertes de l'ordre de 15 % à 28 % (Defrance *et al.*, 2020). Le Niger bénéficiant là encore d'un effet favorable des évolutions climatiques.

Des réductions de rendement, plus ou moins importantes, sont donc à attendre, mais ces données ne peuvent à elles seules prédire si les besoins des populations seront couverts. La prise en compte des évolutions des besoins des populations en Afrique de l'Ouest (+300 % sur la base des évolutions démographiques) anticipe un très large différentiel négatif entre ceux-ci et les capacités de production futures (Defrance *et al.*, 2020).

Les conditions environnementales en évolution affecteront également la qualité des productions. En ce qui concerne la qualité du grain, des augmentations de la dureté des grains, des teneurs en protéines accompagnées par une diminution de la digestibilité des protéines et une modification des équilibres en micronutriments ont été mises en évidence en condition de déficit hydrique (Impa *et al.*, 2019). En condition de stress thermique chaud, des diminutions des teneurs en protéines, de leur digestibilité ainsi qu'une augmentation de la dureté des grains ont été observées. Ces deux contraintes environnementales sont aussi associées à une réduction globale des teneurs en micronutriments (Impa *et al.*, 2019).

La qualité de la biomasse, essentielle pour l'alimentation animale et les bioénergies, sera également affectée. Le déficit hydrique augmente les sucres solubles et diminue les teneurs en lignines et cellulose des tiges (Luquet *et al.*, 2019).

Néanmoins, il est important de souligner, tant pour le grain que pour la biomasse, que les impacts sur les produits finis qui sont consommés ou utilisés n'ont pas encore été précisément analysés.

3.3. Le sorgho : un contributeur à l'atténuation du changement climatique

L'aptitude des cultures à atténuer le changement climatique repose principalement sur deux leviers : leur capacité à stocker le carbone atmosphérique dans le sol et à réduire les émissions de GES (CO_2 , CH_4 , N_2O).

En ce qui concerne la séquestration du carbone dans le sol, le sorgho bénéficie d'un système racinaire profond. Une vue globale de la biomasse pouvant contribuer à la séquestration du carbone (notamment au travers de l'enfouissement de résidus de cultures dans le sol) pour les céréales et les légumineuses en Afrique et en Asie a été fournie récemment (Kuyah *et al.*, 2023). Cette étude met en évidence que le sorgho présente les quantités de carbone potentiellement stockables parmi les plus importantes tant au niveau de l'appareil aérien que de l'appareil racinaire et elle souligne l'importance du carbone disponible au travers de la rhizodéposition.

L'estimation des émissions de CO_2 , basée sur la plus large étude réalisée jusqu'à présent (périmètre géographique et durée analysés), indique des niveaux d'émissions de 250 g de CO_2 /kg de sorgho-grain produit². Cette valeur est à comparer, en prenant toutes les précautions nécessaires, à celle obtenue sur le maïs-grains, pour le même périmètre géographique, qui est de 390 g de CO_2 /kg (Adom *et al.*, 2012). Au niveau de l'Afrique subsaharienne, il a été montré que l'utilisation de pailles de sorgho à hauteur de 25 % pour compléter les fourrages très pauvres des pâturages naturels de fin de saison sèche permet de faire diminuer la production de méthane entérique des ruminants (zébus fulani) de 21 % (Gbenou *et al.*, 2024).

Au niveau des émissions de N_2O , la capacité du sorgho à inhiber la nitrification dans les sols grâce au contenu de ses exsudats racinaires devrait aussi lui permettre de réduire ses émissions par rapport à d'autres grandes cultures (Subbarao *et al.*, 2013).

3.4. Changement climatique : adapter la filière sorgho et optimiser son potentiel d'atténuation

Malgré les propriétés intrinsèques du sorgho, ses systèmes de culture devront s'adapter pour être en mesure de répondre aux besoins futurs des producteurs et des consommateurs. Il est important de noter que les agriculteurs mettent déjà en œuvre des stratégies d'adaptation aux évolutions climatiques basées sur leurs savoirs traditionnels en modifiant les dates de semis et les variétés, en déplaçant leurs cultures dans des milieux plus favorables et en mettant en œuvre des stratégies d'économie d'eau (Amadou *et al.*, 2022) et d'association de culture (Traore *et al.*, 2023). Cette constatation souligne la nécessité de dialogues étroits entre les agriculteurs et les chercheurs pour développer des solutions compensant les effets négatifs attendus du changement climatique.

L'optimisation des systèmes mettant en œuvre des associations du sorgho avec des légumineuses (niébé et autres) (voir chapitre 21) constituera un des vecteurs clés d'adaptation. Les possibilités d'accès à des fertilisants seront aussi des leviers de maintien, voire d'augmentation des rendements, même si le système deviendra plus vulnérable au changement climatique (Adam *et al.*, 2020). Le levier variétal sera aussi essentiel. Au-delà de l'adaptation de la phénologie et de l'utilisation du caractère *stay-green* qui constituent déjà des cibles pour les programmes de sélection

2. SGS North America, 2015. The-Carbon-Footprint-of-Sorghum.pdf.

(voir chapitre 21), d'autres caractères devront être ciblés. En effet, même si le sorgho est connu comme étant tolérant au stress hydrique, une large variabilité existe au sein de sa diversité et les mécanismes physiologiques et génétiques sous-jacents n'ont pas encore été identifiés. Il est crucial d'explorer plus finement la variabilité de l'efficacité d'utilisation de l'eau en s'intéressant aux caractéristiques hydrauliques des plantes, tant au niveau de l'appareil aérien (efficacité de transpiration, cavitation du xylème, etc.) que de l'appareil racinaire (anatomie, architecture et rhizodéposition). La compréhension fine du système racinaire sur le plan de l'anatomie, production d'exsudats et capacité de recrutement de partenaires du microbiome, permettra aussi d'optimiser les capacités de stockage de carbone dans le sol. Enfin, les développements de variétés pertinentes et de systèmes de cultures durables devront être menés dans des contextes de stress combinés (sécheresse, température) et récurrents auxquels les plantes seront exposées dans le futur.

3.5. Évolution des systèmes de production de sorgho : vers une approche multiespèce prenant en compte et tirant parti des différents contextes de production

Les évolutions des systèmes de production impliquant le sorgho devront se faire en reconnaissant les intérêts des cultures associées, ce qui amènera sans aucun doute à une évolution d'une part des pratiques culturales, mais aussi des caractères à sélectionner pour les nouvelles variétés. Les besoins des consommateurs devront être systématiquement (mieux) pris en compte pour définir les évolutions souhaitées des systèmes de cultures et des nouvelles variétés. L'identification des idéotypes (combinaison de caractères) pertinents à développer bénéficiera sans aucun doute des connaissances de la biologie comparative et translationnelle. En effet, au lieu d'opposer de manière simpliste le sorgho et le maïs — le sorgho étant traditionnellement considéré comme une espèce plus tolérante au déficit hydrique que le maïs, alors que ces résultats sont remis en question (Rotundo *et al.*, 2024) —, des synergies entre les recherches menées sur ces deux espèces seront à développer pour le bénéfice des producteurs et des consommateurs. Enfin, il est important de rappeler ici que l'adaptation des systèmes de cultures aux conditions futures ne reposera pas uniquement sur des aspects de pilotage agronomique (rendement et qualité des produits), mais aussi sur des approches intégrant les aspects socio-économiques, notamment la disponibilité de la main-d'œuvre et les possibilités d'intensification (disponibilité et qualité des intrants, gestion des flux de biomasse, etc.).

4. La canne à sucre face au changement climatique

Mathias Christina, Christophe Poser

4.1. Impacts et enjeux liés au changement climatique pour la culture de la canne à sucre

La culture de la canne à sucre est un pilier économique pour de nombreux pays tropicaux et subtropicaux, fournissant non seulement du sucre pour la consommation humaine, mais aussi des biocarburants, des aliments et des litières pour animaux, et des produits dérivés industriels. La canne à sucre est actuellement cultivée sur environ 26 Mha de terres agricoles à l'échelle mondiale, employant des millions de personnes

dans les secteurs de la culture, du transport, de la transformation et de la distribution. Les plus grands producteurs mondiaux se trouvent au Brésil, en Asie du Sud-Est (Inde, Chine, Thaïlande), mais la canne est également présente dans l'ensemble des zones tropicales et subtropicales (États-Unis, Afrique du Sud et de l'Ouest, Australie). Face à une demande croissante, les zones de culture sont en extension.

Au même titre que d'autres grandes cultures comme le maïs ou le blé, la culture de canne contribue significativement aux émissions de GES (Tongwane *et al.*, 2016). La conduite de la culture représente la majorité des émissions en comparaison du processus de transformation industriel (Macedo *et al.*, 2008), en raison de la mécanisation, de l'utilisation d'intrants chimiques ou encore de la pratique du brûlage encore courante dans certains pays, bien que son arrêt soit largement promu pour limiter les GES. À titre d'exemple, une étude, réalisée au Brésil entre 2005 et 2006, a montré que le transport des cannes après la coupe ne représentait que 7 % des émissions de GES, contre 11 % pour la production de fertilisants et 19 % résultant de la pratique du brûlage (Macedo *et al.*, 2008).

Le changement climatique constitue également une menace sérieuse pour cette filière, mais les conséquences attendues varient fortement en fonction des zones concernées (Linnenluecke *et al.*, 2018). Les enjeux sont nombreux : les variations des régimes de précipitations, l'augmentation des températures, la hausse du niveau de la mer dans les zones côtières et la fréquence accrue des événements climatiques extrêmes comme les cyclones et les inondations (Warren *et al.*, 2024).

Les études ont montré des projections contrastées selon les zones climatiques, en raison de la combinaison de conditions favorables pour les cultures C4³ (augmentation de la température et du CO₂) et de régimes de précipitations défavorables (figure 13.1). En effet, la canne à sucre nécessite des conditions climatiques spécifiques pour croître de manière optimale. Elle prospère dans des régions où les précipitations sont abondantes, idéalement supérieures à 1500 mm par an, et où les températures moyennes journalières se situent entre 22 °C et 30 °C⁴. Les sols bien drainés et fertiles sont également essentiels pour des rendements élevés. Toutefois, l'augmentation des températures moyennes et la variabilité accrue des précipitations rendent plus difficile la gestion des cultures et compromettent la stabilité des rendements.

Les impacts du changement climatique sur la canne à sucre sont multiples et variés. La modification des régimes de précipitations peut entraîner des périodes de sécheresse plus fréquentes et plus sévères (Carvalho *et al.*, 2015), affectant la croissance de la canne à sucre qui nécessite des apports d'eau réguliers pour maximiser les rendements (Jones *et al.*, 2015). Une bonne gestion de l'irrigation pourrait d'ailleurs permettre d'augmenter les rendements dans de nombreuses régions (Linnenluecke *et al.*, 2018). Néanmoins, la diminution des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration due à des températures plus élevées réduisent la disponibilité de l'eau douce, aggravant la concurrence pour cette ressource entre l'agriculture, les usages domestiques et industriels et encore plus dans le cadre d'une demande d'amélioration de la qualité des eaux.

3. Culture C4 : culture dont la photosynthèse est de type C4, signifiant que le premier glucide formé possède quatre atomes de carbone. Les plantes en C4 se caractérisent par un meilleur rendement photosynthétique et une meilleure utilisation de l'eau que les plantes en C3.

4. <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sugarcane/en/>.

L'augmentation des températures pose également un défi de taille. La maturation de la canne (accumulation du sucre dans les tiges) est perturbée par une chaleur excessive, notamment par l'augmentation des minimales nocturnes. De plus, des températures et des humidités plus élevées favorisent la prolifération de parasites et de maladies, comme la rouille brune de la canne à sucre ou les adventives, qui peuvent nuire à la production (Goebel et Sallam, 2011). Néanmoins, l'augmentation des températures est davantage vue comme bénéfique pour la culture de canne dans de nombreuses régions, sous condition de disponibilité en eau satisfaisante.

L'augmentation du niveau de la mer pourrait également exercer une pression croissante sur les surfaces de production de canne à sucre (Warren *et al.*, 2024). Les zones côtières, où la canne à sucre est souvent cultivée en raison de leurs sols fertiles et de leur climat favorable, sont particulièrement vulnérables aux inondations favorisées par la montée des eaux. La canne à sucre est une culture sensible aux inondations, entraînant la pourriture des racines et une réduction de la qualité et de la quantité des récoltes (Gomathi *et al.*, 2015). Une élévation du niveau de la mer peut également entraîner une salinisation accrue des sols, rendant les terres agricoles moins productives ou même infertiles. Par conséquent, certaines des principales régions productrices, comme celles situées dans les deltas et les plaines côtières, pourraient voir leur production diminuer significativement.

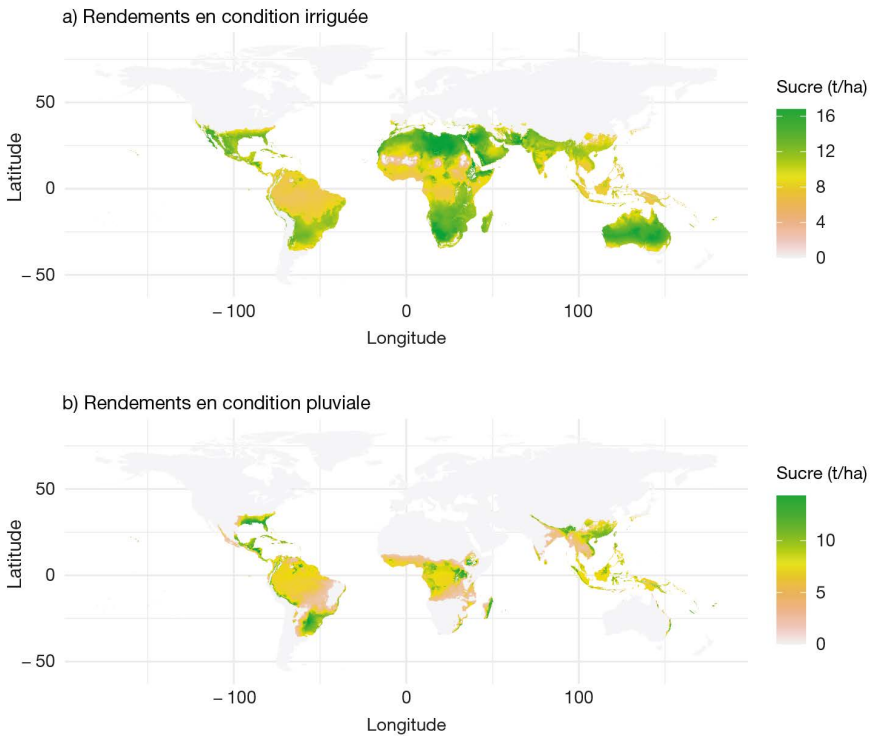


Figure 13.1. Exemple de gradient de potentiel de rendements de canne à sucre dans le cadre du changement climatique : période 2041-2070. Source : données gaez-services.fao.org.

Rendement en sucre (t/ha) en condition irriguée (a) ou pluviale (b), modèle climatique GFDL-ESM2M, scénario RCP4.5.

4.2. Voies d'adaptation et potentiel d'atténuation de la culture de la canne à sucre

Pour faire face au changement climatique, les agriculteurs devront adopter des stratégies d'adaptation technique et d'atténuation efficaces, mais également revoir la répartition géographique des zones cultivées. L'une des principales voies d'adaptation technique est la sélection et la culture de variétés de canne à sucre plus résistantes à la sécheresse, à la chaleur et aux maladies (Goebel et Sallam, 2011 ; Grandis *et al.*, 2024). En particulier, la résistance à la sécheresse est perçue comme une caractéristique essentielle à développer pour les futures variétés. Une augmentation de la profondeur d'enracinement et de l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés est un atout recherché pour ces variétés tolérantes à la sécheresse. Les programmes de création et de sélection variétales, longs (dix à quinze ans) et coûteux, associés aux travaux d'amélioration des pratiques agronomiques sur ces variétés améliorées, jouent un rôle crucial.

L'optimisation de l'irrigation est également essentielle dans de nombreuses régions du monde. Les techniques d'irrigation goutte-à-goutte, par exemple, permettent une utilisation plus efficace de l'eau, réduisant les pertes par évaporation et assurant que les plantes reçoivent l'humidité nécessaire en période de sécheresse. De plus, les pratiques limitant l'évaporation telles que le paillage peuvent améliorer la rétention d'eau, augmentant ainsi la résilience des cultures face aux variations climatiques.

Une autre voie d'adaptation, plus spécifique à certaines régions, consiste à transférer les cultures vers des régions devenues plus favorables à la culture de canne en lien avec l'augmentation des températures ou l'adaptation des variétés (Poser *et al.*, 2020). Par exemple, les zones de haute altitude dans les îles tropicales de l'océan Indien seront plus favorables à la culture de canne même en conditions non irriguées (Christina *et al.*, 2024). Aussi un décalage de la période de coupe dans certaines régions comme le nord de l'Afrique du Sud a montré du potentiel pour améliorer le rendement dans le futur (Park *et al.*, 2007). Par conséquent, on commence déjà à observer un intérêt accru pour la canne à sucre dans de nouvelles régions historiquement peu productrices, comme le sud de l'Europe par exemple.

La diversification des cultures constitue une autre stratégie d'adaptation, en particulier pour les petits exploitants agricoles. En intégrant des cultures complémentaires, les agriculteurs peuvent réduire leur dépendance à une seule culture, diversifiant ainsi leurs sources de revenus et améliorant la résilience de leurs exploitations agricoles face aux aléas climatiques (Aurand *et al.*, 2022). En outre, le développement de pratiques agroécologiques durables, comme les associations de cultures, peut aider à maintenir la productivité des terres à long terme en améliorant la structure du sol, en augmentant la biodiversité et en réduisant l'érosion, tout en diminuant l'usage de pesticides (Soulé *et al.*, 2024) contribuant ainsi à la réduction des GES.

Par ailleurs, les cultures de canne à sucre peuvent jouer un rôle significatif dans l'atténuation du changement climatique grâce à plusieurs mécanismes, notamment le stockage de carbone dans le sol, mais également à travers un impact direct sur le climat local (Loarie *et al.*, 2011). La canne à sucre possède un système racinaire dense et profond, qui permet de séquestrer du carbone dans le sol (voir chapitre 17) de manière efficace, en comparaison d'autres cultures (La Scala Junior *et al.*, 2012). À titre d'exemple, une étude au Brésil a estimé à 2,4t/ha le CO₂ émis lors d'un cycle de culture d'un an de canne (de Figueiredo *et al.*, 2010), ce qui est inférieur à la quantité de carbone présente

dans les racines de canne à la coupe (2 à 6 t/ha de carbone organique) (Chevalier *et al.*, 2023). De plus, la canne à sucre est souvent utilisée pour produire de la biomasse et du bioéthanol (voir chapitre 19), des solutions remplaçant les combustibles fossiles qui contribuent à réduire les émissions de GES. Des initiatives visant à réduire les émissions de GES provenant de la production de canne à sucre peuvent également contribuer à l'atténuation du changement climatique. En particulier, l'utilisation de résidus de canne à sucre pour la production de bioénergie, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les processus de transformation sont des exemples de mesures pouvant réduire l'empreinte carbone de la filière (Cherubin *et al.*, 2021). Il en est de même pour les économies d'eau réalisées dans l'usine et aux champs.

En conclusion, le changement climatique pose des défis significatifs pour la culture de la canne à sucre, mais des stratégies d'adaptation existent et cette culture présente un fort potentiel d'atténuation à travers le stockage de carbone *via* son système racinaire profond. En combinant innovation agronomique, pratiques agricoles durables et soutien politique nécessaire à la transition, il est possible de renforcer la résilience de la canne à sucre face aux impacts climatiques et de garantir la pérennité de cette filière essentielle pour de nombreuses économies nationales. Néanmoins, les petits exploitants agricoles, qui représentent une grande partie de la production mondiale de canne à sucre, sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique. Par conséquent, les politiques gouvernementales et les investissements dans les infrastructures agricoles, comme les systèmes de gestion de l'eau et les programmes de soutien aux petits exploitants, sont essentiels pour renforcer la résilience de la culture.

5. Le coton face au changement climatique

Edward Gérarddeaux, Bruno Bachelier, Romain Loison

5.1. La filière coton dans le monde : une répartition sur les cinq continents avec de grandes disparités

Avec une production annuelle de plus de 24 Mt, le coton est depuis plusieurs décennies la première fibre naturelle et la deuxième fibre textile en volume, derrière les fibres synthétiques. En 2022-2023, les deux tiers de la production mondiale de fibre de coton provenaient de la zone Asie-Océanie, un quart était produit sur le continent américain et moins d'un dixième en Afrique.

Le rendement moyen mondial de 800 kg de fibre par hectare cache de grandes disparités entre les zones de production. Ainsi, quand l'Australie obtient plus de 2 000 kg/ha, l'Afrique n'en produit en moyenne que 400 kg/ha. Cet écart traduit la diversité des conditions abiotiques, biotiques, techniques et organisationnelles de la production cotonnière. Concrètement, le spectre va d'une petite agriculture familiale faiblement mécanisée pour les pays du Sud à une agriculture intensive pour les pays développés.

Dans les pays cotonniers où la culture est peu intensive, le cotonnier est cultivé principalement dans de petites exploitations familiales, sur une surface de quelques hectares, de façon quasi exclusivement pluviale, en petite mécanisation attelée, rarement motorisée. La récolte est encore largement manuelle, ce qui constitue un frein lié à la pénurie de main-d'œuvre. Des cultures alimentaires (légumineuses, céréales, etc.) entrent en rotation dans le système de culture et bénéficient pour certaines de

l'arrière-effet de la fertilisation du cotonnier. Selon les zones de production, soit les producteurs se fournissent en intrants sur le marché local et vendent leur récolte à des collecteurs (Asie) soit les producteurs contractualisent avec une société cotonnière, publique ou privée, qui leur fournit à crédit les intrants en début de campagne et leur garantit l'achat de leur récolte à un prix fixé en début de campagne (Afrique). Bien que fournissant dans ces conditions une faible marge aux producteurs, la culture cotonnière y est considérée comme une culture de rente, contribuant pour une part importante aux revenus monétaires de plusieurs millions de familles. Il s'y ajoute plusieurs dizaines de millions de personnes impliquées dans les différentes étapes de la filière, de la production à la transformation.

Dans les pays les plus avancés (États-Unis, Australie), la culture cotonnière est pratiquée par de grandes exploitations, motorisée du semis à la récolte, irriguée et intensive selon les principes de l'agriculture de précision, et conduite à base de variétés performantes, souvent transgéniques. Lorsqu'ils ne sont pas eux-mêmes égreneurs⁵, les producteurs sous-traitent la transformation primaire de leur récolte à des entreprises privées et restent propriétaires de la fibre et des graines obtenus, qu'ils vendent ensuite à des intermédiaires commerciaux.

La transformation secondaire de la fibre de coton en textile a beaucoup de difficultés à se développer localement en Afrique, qui exporte près de 90 % de sa production et perd ainsi la quasi-totalité de la plus-value associée aux produits textiles (fil, étoffe, vêtement, etc.). En un siècle, elle a fortement régressé sur les autres continents, essentiellement au profit de quelques pays asiatiques, dont les industries transforment plus de 80 % de la production mondiale. Cette forte concentration dans des pays à faible coût de main-d'œuvre permet de mettre sur le marché mondial des textiles dont une partie alimente la fast-fashion.

Si la fibre représente les trois quarts de la valeur de la récolte, la graine contribue également à l'économie de la filière. Il s'agit d'une source oléoprotéagineuse importante, le plus souvent valorisée localement dans l'alimentation humaine (huile) et animale (tourteau), mais aussi en cosmétique.

5.2. Impacts du changement climatique sur les grandes zones de production cotonnières

Comme pour toutes les cultures, le changement climatique va avoir un effet sur les conditions de croissance, donc sur les rendements et la durabilité des filières cotonnières. Grâce à plusieurs de ses traits, le cotonnier réagira différemment par rapport à d'autres cultures. C'est une plante résistante à la sécheresse et aux fortes chaleurs, principalement grâce à ses caractéristiques physiologiques.

– Premièrement, sa température de base⁶ de 12 °C en fait une plante dont les plages de croissance et de fonctionnement sont élevées : entre 27 °C et 32 °C pour la croissance végétative et entre 24 °C et 27 °C pour le développement fructifère.

5. Un égreneur est un entrepreneur public ou privé chargé de réaliser l'égreinage (ou transformation primaire) du coton-graine (produit de la récolte du cotonnier, composé de graines portant des fibres) pour séparer la fibre de la graine.

6. Température de base (ou zéro de végétation) : température en dessous de laquelle une culture ne peut croître et se développer.

- Deuxièmement, la croissance indéterminée du cotonnier, qui produit des organes fructifères et des organes végétatifs de façon concomitante durant tout son cycle et qui a la capacité de faire chuter les organes fructifères peu développés, lui confère une certaine plasticité. Ainsi, une période de forte chaleur ou de sécheresse de durée modérée n'affecte pas la production de façon irrémédiable, car la plante va compenser en produisant à nouveau des organes fructifères à la levée du stress.
- Troisièmement, le système racinaire du cotonnier est pivotant, permettant une exploration profonde des sols et un accès à l'eau jusqu'à 1,5 m de profondeur.
- Quatrièmement, le cotonnier est une plante anisohydrique : il ne ferme pas ses stomates lors de déficits hydriques modérés. Cette caractéristique lui permet ainsi de maintenir la photosynthèse pour produire plus de racines, explorer plus de sol et accéder à des ressources hydriques plus profondes, en relation avec la caractéristique précédente.

C'est aussi une plante dite en C3⁷, moins performante vis-à-vis du CO₂ que les plantes en C4, nombreuses en régions tropicales (maïs, sorgho, canne à sucre, etc.). Un enrichissement en carbone de l'atmosphère va donc leur être très favorable (Mauney *et al.*, 1994).

Pour toutes ces raisons, les changements climatiques auront des effets moins négatifs sur le cotonnier que sur d'autres plantes, surtout si la ressource en eau est disponible par l'irrigation, une pluviométrie abondante ou des nappes profondes. En revanche, dans des conditions de cultures pluviales strictes et limitantes, comme dans les zones cotonnières d'Afrique semi-aride et subhumide, des effets négatifs des fortes températures sont à craindre. Ils ne seront contrebalancés par l'enrichissement en CO₂ de l'atmosphère que si la pluviométrie est suffisante.

En Chine, actuel premier producteur mondial, les effets du changement climatique seront en moyenne négatifs, avec toutefois des disparités régionales : négatifs dans la vallée du Yangtze et neutres ou positifs dans les régions du nord-ouest et du fleuve Jaune (Chen *et al.*, 2015).

Aux États-Unis, le coton est cultivé dans les États du Sud. Les prévisions des effets du changement climatique y sont contrastées entre les pertes et les gains de rendements (Sharma *et al.*, 2022), en raison d'un effet négatif d'une augmentation des fréquences des événements extrêmes et d'un effet positif de l'élévation du CO₂ et des précipitations.

Les études scientifiques des effets du changement climatique en Afrique subsaharienne ne sont pas nombreuses. Les grands bassins de production du coton sont les zones soudanaises et soudano-sahéliennes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Les prévisions du Giec montrent des situations contrastées entre l'ouest et l'est. Des déficits pluviométriques au Sénégal, au Mali et au Burkina Faso provoqueront des baisses de rendement. En revanche, des augmentations de pluies au Nigeria, au Cameroun et au Tchad, et des situations incertaines intermédiaires entre ces deux zones (Côte d'Ivoire, Ghana, Bénin, Togo) pourraient permettre des augmentations de rendements. Au Bénin, Amouzou (2018) prévoit des effets variables plutôt positifs compris entre -7% et +41% sur les rendements, tout en attirant l'attention

7. Plante en C3 : plante dont le mécanisme photosynthétique est basé sur la production de glucides à trois atomes de carbone.

sur des difficultés de disponibilité du sol en azote en cas de forte demande liée à l'augmentation des biomasses. Au Cameroun, des effets positifs sont aussi prévus (Gérardeaux *et al.*, 2013).

En Europe, le coton est cultivé en Espagne et surtout en Grèce avec des rendements élevés grâce à l'irrigation et à la mécanisation. Les températures basses de printemps sont un facteur limitant important de la croissance de la culture et le réchauffement climatique pourrait ici apporter des changements favorables. L'adaptation des systèmes de culture sera possible pour en profiter (Engonopoulos *et al.*, 2021). De plus, la ressource en eau y est en compétition avec les besoins des populations. La culture pourrait se développer dans des pays plus au nord comme la France, l'Italie ou la Bulgarie.

En Australie, les études ont montré des effets contrastés sur les rendements et sur la qualité des fibres, même pour les systèmes de cultures pluviaux (Luo *et al.*, 2016; Williams *et al.*, 2015). Les événements extrêmes (sécheresses, inondations, vagues caniculaires) seront plus nombreux avec des impacts négatifs plus importants.

En Asie centrale, le coton est cultivé dans des plaines soumises à des hivers très froids et des étés très chauds. Les cultures sont irriguées, mais les ressources en eau sont déjà très exploitées. Les prévisions des effets du réchauffement climatique sont une augmentation de la demande en eau et donc une diminution des rendements et des superficies en coton qui pourraient disparaître de certaines zones (Schlubach, 2021).

Enfin, le coton est également produit en Inde : il y est prévu un déclin des rendements dans le Nord et des effets neutres à positifs dans la partie centrale et sud (Hebbar *et al.*, 2013). Il est probable que les rendements augmentent, mais que la pression des ravageurs aussi.

En conclusion, sans même considérer les adaptations possibles, les changements climatiques ne vont pas bouleverser la carte et les conditions de culture du coton. Quelques régions du monde vont se trouver gagnantes comme le sud de l'Europe, l'Afrique centrale, le sud de l'Inde, et d'autres, perdantes comme l'Afrique de l'Ouest, l'Asie centrale, le nord de l'Inde, la vallée du Yangtze en Chine.

5.3. Les voies d'adaptation et d'atténuation de la culture du coton dans un contexte de changement climatique

La sélection variétale associée aux choix des dates de semis optimales est une activité de recherche adaptative qui consiste notamment à faire correspondre les phases de croissance d'une culture à celles de disponibilité en ressources (Zimmermann *et al.*, 2017). De plus, une augmentation de température de 2,5°C va provoquer une accélération du développement de la culture et mécaniquement un raccourcissement du cycle des variétés de cinq jours pour la floraison et dix jours pour la maturité. Ce qui peut fortement dérégler le synchronisme entre les périodes où les besoins en eau sont couverts par la pluviométrie. Pour pallier cet effet, la sélection combinée à la recherche de dates de semis optimales peut s'adapter en choisissant des variétés au cycle plus ou moins long, afin de ramener la floraison et la maturité aux dates souhaitées (Wu *et al.*, 2023).

Dans certaines zones cotonnières, les changements climatiques provoqueront des conditions favorables à la croissance du cotonnier. Mais pour que ces conditions favorables produisent une amélioration des rendements, il faudra assurer une bonne nutrition des plantes pour espérer des gains de productivité. Les gains de biomasse

permis par les conditions favorables doivent être couverts par une amélioration de l'offre du sol en éléments nutritifs. Dans les systèmes de cultures familiaux d'Afrique, où l'accès au marché des intrants est limité et où les sols sont fragiles, il est fort probable que ces gains potentiels soient réduits à néant. Une des voies prometteuses pour améliorer la fertilité des sols sans recourir uniquement aux intrants extérieurs est de pratiquer des systèmes de cultures agroécologiques, faisant intervenir des rotations ou des associations avec des légumineuses, enfouies ou laissées sur le sol pour constituer un mulch de couverts végétaux. Là encore, les capacités des petites exploitations familiales à modifier leurs systèmes de culture, à avoir accès aux marchés de semences et d'équipements agricoles restent limitées. La mise en œuvre de ces voies d'adaptation dépendra des politiques publiques d'appui.

Comme pour la plupart des cultures, la culture du coton est émettrice de gaz à effet de serre à travers les intrants azotés, le carburant et l'électricité des tracteurs, de l'irrigation, des récolteuses et celui des usines d'égrenage. On estime à 1,6 t la quantité de GES émise pour produire une tonne de fibres (Hedayati *et al.*, 2019). Toutefois, si l'on arrête son bilan à l'année de production, le carbone stocké dans les fibres et dans les racines est supérieur à celui émis pour le produire. Malheureusement, avec le temps, le carbone stocké dans les fibres se relâche dans l'atmosphère à travers le cycle de vie des tissus (Cotton Incorporated, 2009). Les recherches en agroforesterie ou en agroécologie qui visent à améliorer la résilience des systèmes de culture face aux changements climatiques en améliorant la fertilité du sol et en diminuant la dépendance aux intrants azotés de synthèse contribuent également à améliorer les bilans des GES. Des expériences sont en cours un peu partout dans le monde, on citera celles conduites dans le projet Desira-UE Innovac au Nord-Cameroun, qui visent à qualifier les effets des parcs agroforestiers sur la durabilité des cultures.

6. Conclusion : les filières tropicales face au changement climatique, des connaissances à partager, des temporalités à gérer, une gouvernance à repenser

Alexia Prades

Les solutions préconisées pour les cultures vivrières ou commerciales présentées dans ce chapitre sont de trois ordres. Le premier regroupe des solutions à court terme, dont de nombreuses exploitations se sont déjà emparées : optimisation de la gestion de la ressource en eau, valorisation de la biodiversité cultivée locale, changement de pratiques culturales incluant souvent un virage agroécologique des systèmes, comme les essais de combinaisons culturales innovantes. Le deuxième type de solution inclut des mesures plus radicales, réalisables à moyen terme, comme les déplacements de zones de production. Enfin, les solutions à long terme reposent, entre autres, sur l'amélioration variétale associée à une compréhension de plus en plus fine des mécanismes de fonctionnement de la plante dans un environnement complexe (plantes de services, agroforesterie, etc.) et contraint par l'instabilité climatique.

Ces trois types de solutions se déploient à des échelles de temps différentes (voir chapitre 20), mais ont cependant un point commun. Elles sont encore toutes insuffisamment étudiées, alors qu'elles présentent des résultats encourageants (Côte *et al.*, 2019); résultats qui nécessitent, dès à présent, de mobiliser une gouvernance

multiéchelle coordonnée et un réel soutien des politiques publiques pour accompagner le changement et la prise de risque. Certaines de ces solutions vont bouleverser les trajectoires de territoires entiers et, en particulier, leurs populations. Elles vont également nécessiter un effort de recherche multidisciplinaire et transfilière (lorsqu'il s'agira par exemple d'étudier certaines formes d'associations culturelles ou de remplacer une culture par une autre). Elles devront aussi mobiliser des pratiques de la recherche en partenariat, faisant de plus en plus appel à des approches participatives. Les solutions existent et les acteurs de la recherche, notamment ceux des filières, sont prêts à accompagner la transformation de ces territoires. « S'ils jouent un rôle central dans l'alimentation de la planète, les petits producteurs n'ont pourtant accès qu'à 1,7 % du financement de l'action climatique », rappelle le Fonds mondial de transformation de l'agriculture (Fida), dans un article publié sur son site le 4 avril 2022. Il y a urgence à changer de posture, à modifier nos regards, nos pratiques, nos institutions et à faire enfin confiance à ces productrices et producteurs qui ont un rôle clé dans la résilience de leurs territoires vis-à-vis du changement climatique.

7. Références bibliographiques

- Adam M., MacCarthy D.S., Traoré P.C.S., Nenkam A., Freduah B.S., Ly M., Adiku S.G.K., 2020. Which is more important to sorghum production systems in the Sudano-Sahelian zone of West Africa: Climate change or improved management practices? *Agric. Syst.* 185, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102920>
- Adom F., Maes A., Workman C., Clayton-Nierderman Z., Thoma G., Shonnard D., 2012. Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 520-534. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0386-y>
- Ahmadi N., Baroiller J-F., D'Cotta H., Morillon R., 2015. Adaptation à la salinité. In : Torquebieau E., coord., *Changement climatique et agricultures du monde*, Versailles, éditions Quæ, 50-62.
- Amadou T., Falconnier G.N., Mamoutou K., Georges S., Alassane B.A., François A., et al., 2022. Farmers' Perception and Adaptation Strategies to Climate Change in Central Mali. *Weather Clim. Soc.* 14, 95-112. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0003.1>
- Amouzou K.A., Naab J.B., Lamers J.P.A., Borgemeister C., Becker M., Vlek P.L.G., 2018. CROPGRO-Cotton model for determining climate change impacts on yield, water- and N- use efficiencies of cotton in the Dry Savanna of West Africa. *Agricultural Systems*, 165, 85-96.
- Aurand T.C., Sunthornvarabhas J., Sriroth K., 2022. Value Addition Through Diversification of the Sugar Industry from Farm to Mill, *Sugar Tech*, 24(4): 1155-1166.
- Carvalho A.L. de, Menezes R.S.C., Nóbrega R.S., Pinto A. de S., Ometto J.P.H.B., von Randow C., Giarolla A., 2015. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, north-eastern region of Brazil, *Renewable Energy*, 78, 26-34.
- Chen C., Pang Y., Pan X., Zhang L., 2015. Impacts of climate change on cotton yield in China from 1961 to 2010 based on provincial data. *Journal of Meteorological Research*, 29, 515-524.
- Cherubin M.R., Carvalho J.L.N., Cerri C.E.P., Nogueira L.A.H., Souza G.M., Cantarella H., 2021. Land Use and Management Effects on Sustainable Sugarcane-Derived Bioenergy, *Land*, 10(1): 72.
- Chevalier L., Christina M., Février A., Jourdan C., Ramos M., Poultney D., Versini A., 2023. Sugarcane responds to nitrogen fertilization by reducing root biomass without modifying root accumulation, Présenté à xxxi International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) Congress, Hyderabad, India.
- Christina M., Mézino M., Le Mézo L., Todoroff P., 2024. Modeled impact of climate change on sugarcane yield in Réunion, a tropical island, *Sugar Tech*, 8 p.
- Côte F.-X., Poirier-Magona E., Perret S., Roudier P., Rapidel B., Thirion M.-C., 2018. *La transition agro-écologique des agricultures du Sud*. Versailles, éditions Quæ, 368 p. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2824-9>

Cotton Incorporated, 2009. Summary of Life Cycle Inventory Data for Cotton (Field to Bale – version 1.1 – 2 July 2009). Cotton Incorporated, USA.

de Figueiredo E.B., Panosso A.R., Romão R., La Scala N., 2010. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil, *Carbon Balance and Management*, 53.

Defrance D., Sultan B., Castets M., Famién A.M., Baron C., 2020. Impact of Climate Change in West Africa on Cereal Production Per Capita in 2050. *Sustainability*, 12, 7585. <https://doi.org/10.3390/su12187585>

Engonopoulos V., Kouneli V., Mavroeidis A., Karydogianni S., Beslemes D., Kakabouki I., *et al.*, 2021. Cotton versus climate change: the case of Greek cotton production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49, 12547.

FAO, 2025. FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Faye B., Webber H., Naab J.B., MacCarthy D.S., Adam M., Ewert F., *et al.*, 2018. Impacts of 1.5 versus 2.0°C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environ. Res. Lett.* 13, 034014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40>

Gbenou G.X., Assouma M.H., Bastianelli D., Kiendrebeogo T., Bonnal L., Zampaligre N., *et al.*, 2024. Supplementing zebu cattle with crop co-products helps to reduce enteric emissions in West Africa. *Arch. Anim. Nutr.*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2024.2356326>

Gérardeaux E., Sultan B., Palai O., Guiziou C., Oetli P., Naudin K., 2013. Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 485-495.

Giec, 2021. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis.

Goebel F.-R., Sallam N., 2011. New pest threats for sugarcane in the new bioeconomy and how to manage them, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(1-2) : 81-89.

Gomathi R., Rao P.N.G., Chandran K., Selvi A., 2015. Adaptive Responses of Sugarcane to Waterlogging Stress: An Over View, *Sugar Tech*, 17(4): 325-338.

Grandis A., Fortirer J.S., Navarro B.V., de Oliveira L.P., Buckeridge M.S., 2024. Biotechnologies to Improve Sugarcane Productivity in a Climate Change Scenario, *Bioenergy Research*, 17(1): 1-26.

Hebbar K.B., Venugopalan M.V., Prakash A.H., Aggarwal P.K., 2013. Simulating the impacts of climate change on cotton production in India. *Climatic Change*, 118, 701-713.

Hedayati M., Brock P.M., Nachimuthu G., Schwenke G., 2019. Farm-level strategies to reduce the life cycle greenhouse gas emissions of cotton production: An Australian perspective. *Journal of Cleaner Production*, 212: 974-985.

Impa S.M., Perumal R., Bean S.R., John Sunoj V.S., Jagadish S.V.K., 2019. Water deficit and heat stress induced alterations in grain physico-chemical characteristics and micronutrient composition in field grown grain sorghum. *J. Cereal Sci.* 86, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.013>

IPCC, 2021. Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I. <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2021-the-physical-science-basis/415F29233B8BD19FB55F65E3DC67272B>

Jones M.R., Singels A., Ruane A.C., 2015. Simulated impacts of climate change on water use and yield of irrigated sugarcane in South Africa, *Agricultural Systems*, 139, 260-270.

Kuyah S., Muoni T., Bayala J., Chopin P., Dahlin A.S., Hughes K., *et al.*, 2023. Grain legumes and dryland cereals contribute to carbon sequestration in the drylands of Africa and South Asia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 355, 108583. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108583>

Lafarge T., Julia C., Baldé A., Ahmadi N., Muller B., Dingkuhn M., 2015. Stratégie d'adaptation du riz en réponse à la chaleur au stade de la floraison. In : Torquebieu E., coord., *Changement climatique et agricultures du monde*, Versailles, éditions Quæ, 37-49.

La Scala Junior N., De Figueiredo E.B., Panosso A.R., 2012. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities, *Brazilian Journal of Biology*, 72(3): 775-785.

Linnenluecke M.K., Nucifora N., Thompson N., 2018. Implications of climate change for the sugarcane industry, *WIREs Climate Change*, 9(1): e498.

- Loarie S.R., Lobell D.B., Asner G.P., Mu Q., Field C.B., 2011. Direct impacts on local climate of sugarcane expansion in Brazil, *Nature Climate Change*, 1(2): 105-109.
- Luo Q., Bange M., Johnston D., 2016. Environment and cotton fibre quality. *Climatic Change*, 138, 207-221.
- Luquet D., Perrier L., Clément-Vidal A., Jaffuel S., Verdeil J.-L., Roques S., *et al.*, 2019. Genotypic covariations of traits underlying sorghum stem biomass production and quality and their regulations by water availability: Insight from studies at organ and tissue levels. *GCB Bioenergy*, 11, 444-462. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12571>
- Macedo I.C., Seabra J.E., Silva J.E., 2008. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020, *Biomass and bioenergy*, 32(7): 582-595.
- Mauney J.R., Kimball B.A., Pinter P.J., LaMorte R.L., Lewin K.F., Nagy J., Hendrey G.R., 1994. Growth and yield of cotton in response to a free-air carbon dioxide enrichment (FACE) environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 70, 49-67.
- Park S., Howden M., Horan H., 2007. Evaluating the impact of and capacity for adaptation to climate change on sectors in the sugar industry value chain in Australia., in XXVI Congress, International Society of Sugar Cane Technologists, ICC, Durban, South Africa, 29 July-2 August 2007, 312-326.
- Poser C., Barau L., Mézino M., Goebel F.-R., Ruget F., 2020. Effect of the germination threshold temperature on the geographical distribution of the variety R583 in Reunion Island., *International Sugar Journal*, 122(1461): 640-657.
- Rotundo J.L., Salinas A., Gomara N., Borrás L., Messina C., 2024. Maize outyielding sorghum under drought conditions helps explain land use changes in the US. *Field Crops Res.* 308, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109298>
- Schlegel A.J., Lamm F.R., Assefa Y., Stone L.R., 2018. Dryland Corn and Grain Sorghum Yield Response to Available Soil Water at Planting. *Agron. J.* 110, 236-245. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0398>
- Schlubach J., 2021. Downscaling model in agriculture in Western Uzbekistan climatic trends and growth potential along field crops physiological tolerance to low and high temperatures. *Heliyon*, 7, e07028.
- Sharma R.K., Kumar S., Vatta K., Dhillon J., Reddy K.N., 2022. Impact of recent climate change on cotton and soybean yields in the southeastern United States. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100348.
- Sinha R., Soni P., Perret S., 2020. Environmental and economic assessment of paddy based cropping systems in Middle Indo-Gangetic plains, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8:100067. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100067>
- Soulé M., Mansuy A., Chetty J., Auzoux S., Viaud P., Schwartz M., *et al.*, 2024. Effect of crop management and climatic factors on weed control in sugarcane intercropping systems, *Field Crops Research*, 306, 109234.
- Sourisseau J.-M., 2014. *Agricultures familiales et mondes à venir*. Versailles, éditions Quæ, 364 p.
- Subbarao G.V., Nakahara K., Ishikawa T., Ono H., Yoshida M., Yoshihashi T., *et al.*, 2013. Biological nitrification inhibition (BNI) activity in sorghum and its characterization. *Plant Soil*, 366, 243-259. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1419-9>
- Sultan B., Defrance D., Iizumi T., 2019. Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Sci. Rep.* 9, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>
- Thomas H.L., Pot D., Jaffuel S., Verdeil J.-L., Baptiste C., Bonnal L., *et al.*, 2021. Mobilizing sorghum genetic diversity: Biochemical and histological-assisted design of a stem ideotype for biomethane production. *GCB Bioenergy*, 13, 1874-1893. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12886>
- Tongwane M., Mdlambuzi T., Moeletsi M., Tsubo M., Mliswa V., Grootboom L., 2016. Greenhouse gas emissions from different crop production and management practices in South Africa, *Environmental Development*, 19, 23-35.
- Traore A., Falconnier G.N., Couëdel A., Sultan B., Chimonyo V.G.P., Adam M., Affholder F., 2023. Sustainable intensification of sorghum-based cropping systems in semi-arid sub-Saharan Africa: The role of improved varieties, mineral fertilizer, and legume integration. *Field Crops Res.* 304, 109180. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109180>

- Trébuil G., Hossain M., 2004. *Le Riz, enjeux écologiques et économiques*, Belin, Paris, 263 p.
- Tuong T.P., Bouman B.A.M., 2003. Rice production in water-scarce environments. In: Kijne J.W., Barker R., Molden D. (eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing, 53-67. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.1079/9780851996691.0053>
- Warren R., Price J., Forstenhäusler N., Andrews O., Brown S., Ebi K., et al., 2024. Risks associated with global warming of 1.5 to 4°C above pre-industrial levels in human and natural systems in six countries, *Climatic Change*, 177(3): 48.
- Williams A., White N., Mushtaq S., Cockfield G., Power B., Kouadio L., 2015. Quantifying the response of cotton production in eastern Australia to climate change. *Climatic Change*, 129, 183-196.
- Wu F., Guo S., Huang W., Han Y., Wang Z., Feng L., et al., 2023. Adaptation of cotton production to climate change by sowing date optimization and precision resource management. *Industrial Crops and Products*, 203, 117167.
- Zimmermann A., Webber H., Zhao G., Ewert F., Kros J., Wolf J., et al., 2017. Climate change impacts on crop yields, land use and environment in response to crop sowing dates and thermal time requirements. *Agricultural Systems*, 157, 81-92.