



# Contraintes et perspectives de la culture du coton en Afrique de l'Ouest dans un contexte de changement climatique : cas du Sénégal

## Synthèse bibliographique

Abdou Traoré<sup>1,2\*</sup>, Mokho Sarr<sup>1</sup>, Romain Loison<sup>2</sup>, Latyr Diouf<sup>3</sup> et Saliou Ndiaye<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Société de Développement et des Fibres Textiles (SODEFITEX)/Cellule Recherche Développement (CRD) de Tambacounda

<sup>2</sup> Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) Montpellier/AIDA

<sup>3</sup> Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Centre de Recherches Agricoles de Tambacounda (ISRA/CRA-Tambacounda)

<sup>4</sup> Université de Thiès, École Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA-UT), Sénégalais

\*Auteur correspondant : (\*) [trahoore@gmail.com](mailto:trahoore@gmail.com)

Submitted on 6<sup>th</sup> July 2021. Published online at [www.m.elewa.org/journals/](http://www.m.elewa.org/journals/) on 31<sup>st</sup> October 2021

<https://doi.org/10.35759/JABs.166.2>

### RESUME

*Objectif* : Le présent article de revue fait ressortir les principales contraintes de la culture du coton au Sénégal dans un contexte de changement climatique afin de proposer une solution comme contribution.

*Méthodologie et Résultats* : une revue de littérature de plusieurs travaux scientifiques publiés et leur synthèse ont été faites dans cette étude. L'examen des résultats de recherche a montré que le déficit hydrique, la baisse de la fertilité des sols, la pression des bio agresseurs, la rareté de la main d'œuvre font partir des principales contraintes qui freinent le développement de la culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. Au Sénégal, le déficit hydrique est l'un des facteurs impactant le plus sur la productivité du coton.

*Conclusion et application des résultats* : l'une des solutions pour faire face à ces contraintes pourrait être l'utilisation de variétés adaptées aux conditions agro climatiques de la zone cotonnière sénégalaise. Pour ce faire, les programmes de sélection variétale gagneraient à s'appuyer sur la modélisation des cultures afin de mieux renseigner les cahiers des charges des variétés adaptées. Des modèles de culture déjà utilisés en Afrique et sur le coton méritent d'être tester au Sénégal.

**Mots-clés** : coton, variété, changement climatique, contraintes, modélisation

### ABSTRACT

*Objectives*: This review article highlights the main constraints of cotton cultivation in Senegal in a context of climate change in order to propose a solution as a contribution.

*Methodology and Results*: A literature review of several published scientific works and their synthesis were made. The review of research results showed that water deficit, declining soil fertility, pressure from bio-aggressors, and ploughing scarcity are among the main constraints to cotton development in

West Africa. In Senegal, water deficit is one of the factors that have the greatest impact on cotton productivity.

*Conclusions and application of findings:* One of the solutions to these constraints could be use of varieties adapted to the agro-climatic conditions of the Senegalese cotton zone. To do this, varietal selection programs would benefit from relying on crop modelling in order to better inform the specifications of suitable varieties. Crop models already used in Africa and on cotton deserve to be tested in Senegal.

**Keywords:** Cotton, variety, climate change, constraints, modelling

## INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, le changement climatique a globalement un impact négatif sur la production de coton (CCI, 2011). Au Sénégal, l'effet du changement climatique se fait ressentir par une baisse drastique des rendements en coton graine (Diouf *et al.*, 2017). La création d'une carte variétale précise en fonction des zones agro-climatiques n'est toujours pas d'actualité (Diouf *et al.*, 2017 ; Ndour, 2018). Les variétés vulgarisées ne se distinguent donc pas sur le plan de la productivité, elles sont génétiquement trop apparentées et les producteurs doutent de leur adaptabilité dans les différents environnements de la zone cotonnière (Ndour, 2018). Une bonne résilience face aux aléas climatiques doit passer par un choix judicieux de la variété (Gérardeaux *et al.*, 2016). Les moyens actuels de choix variétal n'ont pas permis d'obtenir la résilience face aux aléas climatiques. Ainsi certaines questions méritent d'être posées à savoir :

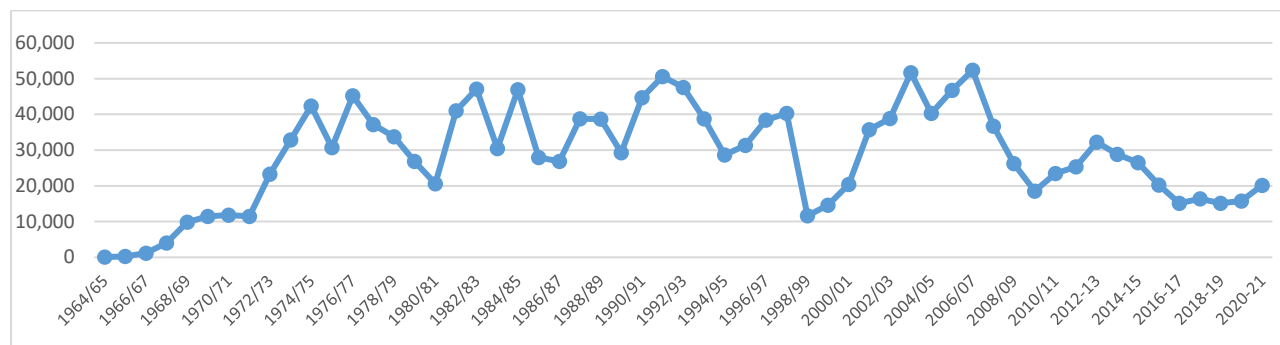
- Quels sont les principales contraintes hydriques à la production cotonnière pour chaque environnement de la zone cotonnière sénégalaise ?
- Est-ce que des modèles de système de cultures permettent de bien classer les rendements des variétés dans différents environnements ?
- Quels sont les caractéristiques des idéotypes adaptés aux groupes d'environnements de la zone cotonnière sénégalaise ?

Cette présente revue de littérature scientifique permettra de ressortir les principales contraintes de la culture du coton au Sénégal dans un contexte de changement climatique afin de proposer une solution comme contribution. Ainsi, nous allons parler de l'origine et de l'importance économique de la culture du coton dans le monde, ensuite nous développons les contraintes majeures de la culture du coton et enfin une solution sera proposée pour contribuer à lever certaines contraintes.

## IMPORTANCE ÉCONOMIQUE DU COTON EN AFRIQUE

Moteur du développement économique en Afrique sub-saharienne (Levrat, 2009), la culture cotonnière a induit d'importants changements dans le monde rural par la création d'économies nationales et des moyens de subsistance à travers l'organisation des producteurs, le commerce, l'emploi, le transport, l'éducation, la santé... (Amouzou *et al.*, 2018; Crétenet and Gourlot, 2016). Au Sénégal, dans le tiers sud du pays, (Sénégal Oriental et Haute Casamance) le coton

est la principale source de revenus (5 à 7 milliards de Francs CFA) et d'emplois (Ndour, 2018). En 2019-2020, les superficies emblavées étaient de 15 843 hectares pour une production de 15 737 tonnes de coton graine. Le Sénégal a connu une production record de 52 422 tonnes de coton graine en 2006-2007 et sa pire production (à part les années d'introduction de la culture du coton : 1964 à 1975) a été obtenue en 1998-1999 avec 11 628 tonnes de coton graine (Figure 1).



**Figure 1** : Evolution de la production de coton graine au Sénégal de 1965 à 2021 : Source SODEFITEX, 2021

## CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DE COTON

Les contraintes liées à la production de coton sont nombreuses et varient d'une zone de production à une autre. En Afrique sub-saharienne, les facteurs limitants à la production de coton sont d'ordre climatique (déficit hydrique, inondation, mauvaise répartition des pluies), agronomique (baisse de la fertilité et/ou acidification des sols, pression des bio agresseurs) et socio-économique (non disponibilité de la main d'œuvre, coût élevé des intrants, le détournement des intrants, la divagation du bétail et la concurrence de l'orpaillage et du trafic du bois) (PR PICA, 2019).

**Techniques de gestion optimale des ressources en eau pour la culture du coton :** En Afrique subsaharienne, la culture du coton est pluviale (Lacape *et al.*, 2015; UEMOA, 2013). La culture du coton irrigué dans l'espace UEMOA, démarrée au Niger et au Sénégal n'a pas prospéré car les résultats n'étaient pas satisfaisants. En effet la culture du coton irrigué nécessite un investissement conséquent et il est plus facile d'augmenter les superficies en culture pluviale (Fok, 2006).

Pour une bonne gestion du déficit hydrique des semis tardifs en culture pluvial, la haute densité pourrait être une alternative dans la production de coton (Dong *et al.*, 2006). Cette haute densité est souvent combinée à l'application de régulateurs de croissance (Gwathmey and Clement, 2010). Des biostimulants sont également utilisés pour augmenter le rendement en coton graine et améliorer la qualité de la fibre (Silva *et al.*, 2016). Alors qu'en Afrique subsaharienne, l'accès aux financements pour l'investissement est très

difficile, il est plus facile pour les agriculteurs de changer de variétés que d'intervenir sur les aspects de l'itinéraire ce qui peuvent être coûteux (Gérardeaux *et al.*, 2018). Au Sénégal, les semis précoces (levées du 1<sup>er</sup> au 30 juin) et apports d'engrais précoces permettent d'améliorer l'alimentation hydrique des cotonniers (Deguine *et al.*, 1998; Lacape, 1998). En culture pluviale, l'efficacité des techniques culturales dépend fortement de la régularité des pluies (Sekloka, 2006). Aussi toujours dans l'optique d'une gestion optimale de l'eau, les semis directs, sous couvert végétal, permettent une meilleure conservation de l'humidité du sol pendant les périodes de sécheresse (Daniel, 1997).

**Impact du changement climatique sur la production de coton :** En 2050, à l'échelle mondiale, il est prévu une augmentation des températures minimales et maximales (Field *et al.*, 2014). Déjà, entre 1979 et 2010, on note en Afrique une augmentation significative des températures de 0,16°C par décennie (Collins, 2011). Ces hausses de température en Afrique de l'Ouest et du Centre seront plus élevées que l'augmentation de la température moyenne mondiale (à 1,5°C et à 2°C) (Diedhiou *et al.*, 2018). Cependant un réchauffement climatique de 1,5 à 2°C en Afrique de l'Ouest entraînerait un raccourcissement des saisons de pluies caractérisé par un démarrage tardif et un arrêt précoce (Kumi and Abiodun, 2018). A cela s'ajoute une alternance très hétérogène de saisons sèches et humides causée par la variabilité climatique (Paturel *et al.*, 1998). De plus, les cultures

annuelles tropicales, généralement pluviales, sont très sensibles au climat (Gérardeaux *et al.*, 2016). Ainsi, l'Afrique a des contraintes spécifiques liées aux changements climatiques avec des conséquences sur le rendement en coton (Bachelier *et al.*, 2018). Ces impacts seront globalement négatifs sur la production de coton (CCI, 2011). Par exemple, au Niger et au Sénégal, les hivernages sont de plus en plus caractérisés par des pauses pluviométriques c'est-à-dire un démarrage tardif et un arrêt précoce (Salack *et al.*, 2012). Au Sénégal, le changement climatique a entraîné une diminution des pluies, une augmentation de la température et des vents plus forts se traduisant par des effets négatifs sur les rendements agricoles (Metz *et al.*, 2009). Ce déficit hydrique a entraîné une perturbation de la diffusion de variétés en fonction des zones agro-climatiques d'où une diminution des récoltes (CSE, 2015). Sur la production de coton au Sénégal, la stratégie de diffusion des variétés mérite d'être améliorée (Ndour *et al.*, 2017). Des événements inattendus tels que les conditions de déficit hydrique après la floraison se traduisent souvent par une réduction du nombre de sites fructifères et une augmentation des avortements et abscissions d'organes reproducteurs (Lacape, 1998). C'est ainsi que d'importants écarts sont notés entre les prévisions de récolte et les réalisations si ces événements ont eu lieu après les prévisions (Ndour, 2018).

**Impact du stress hydrique sur le coton :** Les plantes sont confrontées à de nombreuses contraintes environnementales encore appelées stress. Il existe deux types de stress :

- Biotique : les facteurs des agents pathogènes tels que les champignons, les bactéries, les nématodes et les animaux herbivores ;
- Abiotique : les facteurs sont une faible disponibilité en eau (sécheresse ou stress hydrique), un excès d'eau (inondation), des températures extrêmes (froid, gel, chaleur), la salinité, la carence et/ou la toxicité en minéraux (Calatayud *et al.*, 2013; Gull *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2014).

Chez le cotonnier, les poches de sécheresse peuvent être défavorables à la croissance végétative, au rendement en coton graine et à la qualité de la fibre, selon la phase de croissance où elles se manifestent (Snowden *et al.*, 2014). En effet, elles entraînent une diminution de la teneur totale en chlorophylle, caroténoïdes, protéines et amidon et une augmentation des acides aminés libres totaux, proline, sucre et polyphénol (Parida *et al.*, 2007). En Afrique sub-saharienne, les effets du déficit hydrique sur les rendements s'expliquent par un retard phénologique de la culture et un développement insuffisant de la surface foliaire (Sekloka, 2006). Au Togo, un déficit hydrique sur le cotonnier entre les 45<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> jour après la levée a entraîné une chute du rendement en coton graine de 56 % (Gnofam *et al.*, 2014). Au Sénégal, on note une variabilité de la production selon la pluviométrie, les zones les plus pluvieuses affichent les meilleurs rendements (1 à 1,2 t ha<sup>-1</sup>) et les zones les moins pluvieuses, les rendements les plus faibles (< à 1 t ha<sup>-1</sup>) (Ndour, 2018).

Il n'est pas du tout aisé de produire du coton dans des conditions de stress. C'est pourquoi il est nécessaire de voir quelles sont les solutions d'optimisation de la production de coton dans des conditions de stress hydrique. Dans la section suivante, des solutions sont répertoriées.

**L'Itinéraire technique de la culture du coton actuellement vulgarisé au Sénégal :** Il s'agit de l'ensemble des bonnes pratiques agricoles (BPA) définies par ordre chronologique et permettant d'avoir une bonne productivité en coton graine. Ces BPA constituent un ensemble de recommandations techniques formulées par la recherche-développement de la filière cotonnière sénégalaise. Elles regroupent les opérations culturales relatives à la préparation du sol (nettoyage et travail du sol), technique de semis (type de semis, écartement de semis nombre graines par poquet...), la fertilisation du sol, la gestion des nuisibles et les techniques de récolte et de stockage du coton graine. Toutefois le respect de ces BPA cause souvent problème en milieu paysan alors que l'amélioration de la

production en coton graine passe certes par une amélioration des itinéraires techniques mais aussi de respecter leurs applications.

**Le coton et les variétés :** L'amélioration de la production agricole pluviale passe aussi par l'utilisation de variétés adaptées (Lacape, 1998). C'est ainsi que des variétés à cycle court sont souvent recommandées comme solution à des conditions limitantes de pluies (Sekloka, 2006). Les programmes de sélection variétale sont en général basés sur "l'élimination des défauts" ou "la sélection pour le rendement" (Donald, 1968). La sélection variétale du coton basée sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques a permis l'évolution du rendement, de la qualité des fibres et de résistance à certains ravageurs et maladies (Iqbal *et al.*, 1997). Le choix de la variété devra contribuer à améliorer l'adaptation de la production agricole face aux aléas climatiques (Gérardeaux *et al.*, 2016; Lacape, 1998). Les travaux de sélection devraient aussi satisfaire simultanément les producteurs par la fourniture de variétés qui donnent des rendements en coton graine élevés et les industriels avec un rendement fibre à l'égrenage élevé. Pour atteindre ces objectifs, les travaux doivent être basés sur des caractères agronomiques (Sekloka, 2006). De nos jours, les objectifs de sélection sont nombreux et il est de plus en plus difficile de les atteindre (Gauffreteau, 2016). Ainsi, pour fournir des variétés adaptées, de nouvelles approches de sélection sont donc nécessaires. La sélection basée sur la notion d'idéotypes définie comme « la combinaison optimale des caractères morphologiques et physiologiques (traits) ou de leurs déterminants génétiques conférant à un matériel végétal, une adéquation satisfaisante à un environnement, à un mode de production et d'utilisation pourrait donc être une solution (Donald, 1968).

**Adaptation face au changement climatique :** Pour l'Afrique, il existe plusieurs possibilités d'adaptation aux changements climatiques basées sur des systèmes de culture du coton durables (Bachelier *et al.*, 2018). Parmi ces possibilités on peut en citer :

- La conduite pérenne des terres ;
- La gestion de la matière organique du sol ;
- La conduite agro-écologique des ravageurs et des maladies ;
- Le choix variétal : sélection de variétés avec des critères tels que la précocité, l'adaptabilité, la résistance à la sécheresse.

La sélection variétale et la diffusion auprès des producteurs de variétés améliorées plus adaptées est une solution appropriée, simple à mettre en œuvre, pour réduire l'impact de la sécheresse (Lacape *et al.*, 2015). Au Cameroun, les idéotypes de cotonniers auraient un intérêt potentiel pour l'élargissement de la fenêtre optimale des semis (Loison *et al.*, 2017). De ce fait leur utilisation dans le processus de sélection variétale pourrait permettre aux sélectionneurs de trouver des variétés plus résilientes afin de faire face au changement climatique (Gérardeaux *et al.*, 2018; Loison *et al.*, 2017). Au Sénégal, l'une des solutions face au changement climatique est l'utilisation de variétés de coton rustiques, adaptées à l'irrégularité de la pluie (Ndour, 2018).

**Améliorer la production de coton dans des conditions de déficit hydrique :** En général, l'amélioration de la production de coton dans les zones à faible pluviométrie est basée sur l'amélioration variétale ou l'amélioration des itinéraires techniques (Lacape, 1998; Sekloka, 2006). Il est donc nécessaire de trouver des variétés tolérantes à la sécheresse tout en maintenant la productivité et la qualité de la fibre (Ullah *et al.*, 2017). Parmi les nombreuses recherches qui sont menées sur le coton, nous nous intéressons à l'aspect variétal. Beaucoup d'activités de recherche visant à accroître la production de coton sont menées sur l'amélioration variétale (classique ou basée sur les biotechnologies) et sur l'utilisation substances chimiques particulières telles que les régulateurs de croissance, les osmoprotecteurs et les minéraux nécessaires (Ullah *et al.*, 2017). Chez le cotonnier, les locus de traits quantitatifs (QTL), qui confèrent à la plante sa tolérance à la sécheresse, pourraient être exploités pour la sélection assistée par marqueurs (Saeed *et al.*, 2011; Saleem *et al.*,

2018). Ainsi, pour trouver les futures variétés de cotonnier tolérantes au stress hydrique, la pyramide des gènes pourrait jouer un rôle essentiel. Cette technique consiste à empiler des gènes importants liés à un caractère particulier, provenant de différentes sources, en un seul génotype. L'expression simultanée de gènes

empilés peut fournir une résilience suffisante contre des conditions défavorables (Saleem *et al.*, 2020).

Face à la complexité de trouver des variétés adaptées aux conditions de stress hydrique, de nouveaux outils peuvent être utilisés dans les processus de sélection variétale.

## EXEMPLE DE PERSPECTIVE D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTION COTONNIÈRE : LA MODÉLISATION

**La modélisation en culture cotonnière :** Un modèle est défini comme une représentation mathématique d'un système, et la modélisation est le processus d'élaboration de cette représentation (Peart and Curry, 1998). Les modèles de culture représentent le fonctionnement dynamique du système sol-plante qui interagit avec le climat et les pratiques agricoles (Brisson *et al.*, 2006). On distingue deux catégories de modèles (Sambakhé, 2018):

- Les modèles mécanistes basés sur les processus de la croissance et du développement de la plante.
- Les modèles empiriques basés sur l'utilisation de données expérimentales ajustées. L'utilisation des modèles économiques en agriculture a démarré vers les années 1955 (Boussard *et al.*, 1979). Les modèles ont été utilisés pour la première fois dans les systèmes de production agricole en 1960 par des chercheurs de l'université de Wageningen (Jones *et al.*, 2016). Les modèles de culture sont surtout utilisés dans les domaines de la recherche, de l'enseignement, des prévisions de récolte et comme outil d'aide à la décision (Jeuffroy *et al.*, 2014; Sambakhé, 2018). Sur la production de coton, aux Etats-Unis, un modèle de culture fut testé en 1972 (Stapleton *et al.*, 1972). La modélisation des cultures pourrait soutenir les programmes de sélection variétale dans la recherche de variétés adaptées aux futurs scénarios dans un contexte de changement climatique. Les modèles de simulation des cultures peuvent être utilisés des outils d'aide à la décision pour aider les sélectionneurs à concevoir et tester de nouveaux idéotypes pour les environnements cibles et dans

des conditions climatiques futures (Loison, 2015). Une telle approche nécessite la combinaison d'essais multiloaux avec des modèles de cultures permettant de faire des simulations à travers des échelles spatio-temporelles. Ceci permet d'éviter: (i) de "tout tester partout" et (ii) la sélection de cultures lors d'années anormales qui ne représentent pas suffisamment les scénarios environnementaux les plus fréquents (Kholova, 2020). Cette démarche augmente donc les chances de trouver le matériel et les pratiques culturelles les mieux adaptés pour un environnement donné. Autrement dit, la modélisation peut être utilisée en sélection variétale pour raccourcir ainsi la durée du processus c'est-à-dire en réduisant le nombre de sites et de saisons d'expérimentation (Oteng-Darko *et al.*, 2013). Elle peut être intégrée au programme de sélection afin de contribuer à l'identification des marqueurs moléculaires qui devraient augmenter la productivité d'une culture dans un environnement donné (Chenu *et al.*, 2020). Les modèles de cultures qui permettent de comprendre les interactions sol-plante-conditions météorologiques peuvent aider les sélectionneurs en contribuant à l'évaluation de caractères particuliers sur le rendement dans divers climats, types de sol et saisons (Asseng *et al.*, 2002; Casadebaig *et al.*, 2020; Gérardaux *et al.*, 2018). De nos jours, en plus du niveau individu, le niveau gène peut être pris en compte dans le paramétrage des modèles de croissance des cultures pour prédire les interactions Génotype-Environnement-Itinéraire technique (Cooper, 2020). Cependant, pour faire progresser l'adaptation et l'amélioration des cultures, les modèles de cultures et les modélisateurs doivent

être crédibles : les modélisateurs doivent connaître ce que les modèles de cultures peuvent et ne peuvent pas faire de manière raisonnable car toute utilisation naïve des modèles peut remettre en cause leur rôle (Hammer, 2020). Les modèles à différentes échelles, ainsi que les modèles statistiques doivent conserver leur rôle dans le futur car il n'existe pas un modèle unique qui permet de faire toutes les échelles (Tardieu *et al.*, 2020). La modélisation peut simuler la réponse des cultures à l'azote et à l'eau mais ne peut pas encore simuler le phosphore, le potassium, les parasites et les maladies (Giller, 2020). Les modèles de culture sont utilisés à différentes fins. C'est pourquoi un choix judicieux s'impose avant une quelconque utilisation.

**Choix du modèle de cultures :** Le coton est l'une des premières cultures à être modélisée (Loison, 2015). On dénombre environ une quinzaine de modèles développés pour le coton (Gérardeaux, 2009). Toutefois, avant de procéder au choix d'un modèle, l'utilisateur doit d'abord s'assurer de la prise en compte de tous les objectifs de simulation par le modèle ciblé (Loison, 2015). Thorp *et al.* (2014) ont comparé GOSSYM, Cotton2K, COTCO2, OZCOT, et CSM-CROPGRO-Cotton qui sont les principaux modèles de culture utilisés pour le coton. Cotton2K et COTCO2 nécessitent des données horaires et ne sont pas rattachés à des outils d'aide à la décision alors que GOSSYM, OZCOT (devenu APSIM-Cotton), et CSM-CROPGRO-Cotton utilisent des données journalières et sont rattachés à des outils d'aide à la décision (Thorp *et al.*, 2014). Les processus de croissance et de développement qui sont simulés par les cinq modèles sont comparés. A partir de mesures effectuées sur des plantes individuelles (jugées représentatives des autres plantes sur le terrain), certains modèles permettent de faire des cartes (images) qu'on peut utiliser pour vérifier que la simulation correspond le plus possible aux conditions réelles sur le terrain (Jallas *et al.*,

1999). Ces cartes des plantes ne sont faisables qu'avec GOSSYM, Cotton2K et COTCO2. Seul OZCOT ne peut pas simuler la hauteur de la plante. Sur la comparaison des processus atmosphériques et pédologiques simulés, on constate que : (i) les effets du CO<sub>2</sub> sur la photosynthèse et sur la transpiration sont pris en compte par quelques-uns de ces modèles comme CSM-CROPGRO-Cotton, (ii) la salinité du sol, le phosphore du sol, les inondations et la saturation en eau du sol ne sont pas intégrés. Toutes les simulations qu'on peut faire avec les cinq modèles sur le coton sont répertoriées (Thorp *et al.*, 2014). Il montre que tous les cinq modèles peuvent représenter l'impact de la date de semis, du choix du cultivar, de l'écartement entre les lignes de semis, de la densité de plantation, de l'irrigation et des dommages causés par les insectes. COTCO2 et CSM-CROPGRO-Cotton ne simulent pas l'impact des pratiques de saut de lignes. COTCO2 ne simule pas l'impact des engrais sur la culture. Seuls Cotton2K et CSM-CROPGRO-Cotton peuvent simuler l'impact du travail du sol. Seul CSM-CROPGRO-Cotton tient compte de l'effet des résidus de culture. L'impact des régulateurs de croissance ne peut être simulé qu'avec GOSSYM et Cotton2K. Sauf COTCO2 ne représente pas la défoliation. L'impact des maladies n'est représenté que dans Cotton2K et CSM-CROPGRO-Cotton. L'étude du changement climatique ne peut faire qu'avec GOSSYM, COTCO2, et CSM-CROPGRO-Cotton. Les séquences de culture ne peuvent être étudiées qu'avec OZCOT et CSM-CROPGRO-Cotton. Le modèle CSM-CROPGRO-Cotton est le seul modèle qui représente l'impact des résidus de sol sur le système. De plus CSM-CROPGRO-Cotton a déjà été utilisé en Afrique (Gérardeaux *et al.*, 2018; Loison *et al.*, 2017; Ndour *et al.*, 2017). C'est un modèle de simulation des cultures qu'on trouve dans le logiciel DSSAT (Alderman, 2020).

## CONCLUSION

La question de l'adaptabilité des variétés vulgarisées au Sénégal est toujours d'actualité dans le contexte actuel de changement climatique. Cependant, les programmes de sélection classique ont toujours une longue durée. C'est pourquoi l'intégration de la modélisation des cultures permettrait non seulement de mieux renseigner les cahiers des charges des variétés adaptées à des environnements donnés mais aussi de réduire la

durée des programmes de sélection grâce à la réalisation d'essais virtuels par des simulations avec des outils informatiques. Le choix du modèle est très déterminant car tous les modèles ne permettent pas de faire toutes les simulations. D'où la pertinence de la question suivante : Est-ce que des modèles de système de cultures permettent de bien classer les rendements des variétés dans différents environnements ?

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alderman PD, 2020. A comprehensive R interface for the DSSAT Cropping Systems Model. *Comput. Electron. Agric.* 172, 105325. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105325>
- Amouzou KA, Naab JB, Lamers J.P.A, Borgemeister C, Becker M, Vlek PLG, 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. *Agric. Syst.* 165, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.005>
- Asseng S, Turner NNC, Ray JD, 2002. A simulation analysis that predicts the influence of physiological traits on the potential yield of wheat. *Elsevier* 17, 123–141.
- Bachelier B, Balarabé O, Boulakia S, Demenois J, Goebel F, Loison R, 2018. Which ways forward for sustainable cotton production in Africa in the context of climate change? 3–6.
- Boussard, J.-M., Heady, E.O., Srivastava, U.K., 1979. Earl O. Heady & Una K. Srivastava, eds., *Spatial Sector Programming. Models in Agriculture. Etud. Rurales* 73, 162–165.
- Brisson N, Wéry J, Boote K, 2006. Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach. *Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization, and applications*, Elsevier, 2006, ISBN-13: 978-0-444-52135-4 ISBN-10: 0-444-52135-6. (hal-02819989).
- Calatayud PA, Garrec J, Nicole M, 2013. *Adaptation des plantes aux stress environnementaux In : Interactions insectes-plantes [en ligne]. Marseille : IRD, Éditions, 2013. Disponiblesur<http://books.openedition.org/irdeditions/22422>.ISBN : 9782709918633.doi : https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.22422.*
- Casadebaig P, Sarron J, Trépos R, Mestries E, Langlade NB, Debaeke P, 2020. Optimized cultivar deployment improves the efficiency and stability of sunflower crop production at national scale.
- Chenu K, Harris C, Ababaei B, 2020. Integrating crop modelling, physiology and genetics to aid crop improvement in changing environments.
- Collins JM, 2011. Temperature Variability over Africa. *J. Clim.* 24, 3649–3666. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3753.1>
- Cooper M, 2020. Connecting quantitative genetics with crop models to enhance prediction of long-term grain yield trends.
- Crétenet M, Gourlot JP, 2016. *Le cotonnier. Versailles : Ed. Quae ; CTA (Agricultures tropicales), 232p. doi : 10.35690/978-2-7592-2380-0*
- CSE (Centre de Suivi Écologique), 2015. Rapport



- sur l'État de l'environnement au Sénégal. Ministère de l'environnement et du développement durable. Edition 2015, 201 p.
- Daniel JB, 1997. Using Winter Annual Cover Crops in a Virginia No-till Cotton Production System. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 91 p.
- Deguine JP, Vaissayre M, Hau B, 1998. Bemisia tabaci sur cotonnier au Sénégal : analyse de la situation et recommandations.
- Diedhiou A, Bichet A, Wartenburger R, Seneviratne SI, Rowell PD, Sylla MB, Diallo I, Todzo S, Touré NE, Camara M, Ngatchah BN, Kane NA, Tall L, Affholder F, 2018. Changes in climate extremes over West and Central Africa at 1.5 °C and 2 °C global warming, Res. Lett. 13, 065020. doi: 10.1088/1748-9326/aac3e5
- Diouf FBH, Sall M, Dia D, Gueye M, Sy MR, Sarr M, 2017. État des lieux de l'amélioration du cotonnier au Sénégal et perspectives de recherches. Les zones cotonnières africaines. Dynamiques durabilité. Actes du Colloque. Bamako. Novembre 2017 24–26.
- Donald CM, 1968. The breeding of crop ideotypes, Euphytica 17, 385–403. <https://doi.org/10.1007/BF00056241>
- Dong H, Li W, Tang W, Li Z, 2006. Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China 98, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.008>
- Field CB, Barros VR, Jon D, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Yuka KLE, Estrada O, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL, 2014. Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 222p.
- Fok M, 2006. Libéralisation, distorsion de concurrence et évolution technologique : portée et limites du succès du coton en Afrique Zone Franc. In: Championing Agricultural Successes for Africa's Future: A Parliamentarians' Dialogue on NEPAD, Omerset West, South Africa, 14-18 May 2006. s.l.: s.n., 41 p.
- Gauffreteau, A., 2016. New ideotypes of oil & protein crops nouveaux idéotypes d'oléoprotéagineux Using ideotypes to support selection and recommendation of varieties. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018042>
- Gérardeaux E, 2009. Ajustement de la phenologie, de la croissance et de la production de biomasse du cotonnier (Gossypium Hirsutum L.) face à des carences en potassium.
- Gérardeaux E, Affholder F, Bernoux M, Muller B, 2016. Relationships between tropical annual cropping systems and climate change, in: climate change and agriculture worldwide. Springer Netherlands, pp. 109–124. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7462-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7462-8_9)
- Gérardeaux E, Loison R, Palai O, Sultan B, 2018. Adaptation strategies to climate change using cotton (Gossypium hirsutum L.) ideotypes in rainfed tropical cropping systems in Sub-Saharan Africa. A modeling approach. F. Crop. Res. 226, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.007>
- Giller K, 2020. Grand challenges for the 21st Century- What crop models can and can't (yet) do. Keynote to the Second International Crop Modelling Symposium, Montpellier, France.
- Gnofam N, Tozo K, Bonfoh B, Akantetou K, Kolani L, Amouzouvi K, Ampouzouvi K, 2014. Effets D'un deficit Hydrique sur certains parametres morphologiques, physiologiques. Agron. Africaine 26, 113–125.

- <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2005.12.002>
- Gull A, Ahmad Lone A, Ul Islam Wani N, 2019. Biotic and Abiotic Stresses in Plants. Abiotic Biot. Stress Plants 1–6. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85832>
- Gwathmey CO, Clement JD, 2010. Alteration of cotton source-sink relations with plant population density and mepiquat chloride. *F. Crop. Res.* 116, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.019>
- Hammer G, 2020. On the nature of crop models (and modellers) needed to advance crop adaptation and improvement. Keynote to the Second International Crop Modelling Symposium, Montpellier, France.
- Iqbal MJ, Aziz N, Saeed NA, Zafar Y, Malik KA, 1997. Genetic diversity evaluation of some elite cotton varieties by RAPD analysis. *Theor. Appl. Genet.* 94, 139–144. <https://doi.org/10.1007/s001220050392>
- CCI (Centre du Commerce International), 2011. Coton et changement climatique. Impacts et options de réduction et d'adaptation 36 p.
- Jallas E, Cretenet M, Sequeira R, Turner S, Gérardeaux E, Martin P, Jean J, Clouvel P, 1999. COTONS, une nouvelle génération de modèles de simulation des cultures. *Agric. développement* 22, 35–46.
- Jeuffroy MH, Casadebaig P, Debaeke P, Loyce C, Meynard JM, 2014. Agronomic model uses to predict cultivar performance in various environments and cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 121–137. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0170-9>.
- Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Godfray HCJ, Herrero M, Howitt RE, Janssen S, Keating BA, Munoz-Carpena R, Porter CH, Rosenzweig C, Wheeler TR, 2016. Brief history of agricultural systems modeling. *Agric. Syst.* 155, 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.014>.
- Khan PSSV, Nagamallaiah GV, Rao MD, Sergeant K, Hausman JF, 2014. Abiotic Stress Tolerance in Plants. In: Second Edition, Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance. Elsevier Inc. p. 23–68. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800875-1.00002-8>
- Kholova J, 2020. Utilization of crop modelling tools as a guiding principles in crop improvement programs- current status at CG-system.
- Kumi N, Abiodun BJ, 2018. Potential impacts of 1.5 °c and 2 °c global warming on rainfall onset, cessation and length of rainy season in West Africa. *Environ. Res. Lett.* 13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab89e>
- Lacape 1998. Analyse ecophysiologique de la reponse de varietes de cotonnier au deficit hydrique. ENSA [en ligne] Disponible sur "http://www.theses.fr. Montpellier",
- Lacape Loison R, Foncéka D, 2015. Amélioration de l'adaptation des cultures à la sécheresse en zone de savane africaine. 12 p.
- Levrat R, 2009. Le coton dans la zone franc depuis 1950. Un succès remis en cause. Editions l'Harmattan, 272 p.
- Loison R, 2015. Ecophysiological analysis and modeling of genotype by environment by crop management interactions on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Cameroon for the design of ideotypes, PhD Thesis Plant breeding. Université de Montpellier, 156p.
- Loison R, Audebert, A., Debaeke, P., Hoogenboom, G., Leroux, L., Oumarou, P., Gérardeaux, E., 2017. Designing cotton ideotypes for the future: Reducing risk of crop failure for low input rainfed conditions in Northern Cameroon. *Eur. J. Agron.* 90, 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.08.003>
- Metz O, Mbow C, Reenberg A, Diouf A, 2009. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et

- Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Environ. Manage.* 43, 804–816. <https://doi.org/10.1080/02626669809492188>
- Ndour, A., 2018. Estimation de la production cotonnière dans un contexte de changement climatique: cas du bassin cotonnier du Sénégal. Mémoire de Thèse. ED 2DS Université de Thiès. ED 2DS Université de Thiès.
- Ndour A, Loison R, Gourlot JP, Seydi Ba, Dieng A, Clouvel P, 2017. Changement climatique et production cotonnière au Sénégal: Concevoir autrement les stratégies de diffusion des variétés. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21, 22–35.
- Oteng-Darko P, Yeboah S, Addy SNT, Amponsah S, Danquah EO, 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research – A review. *J. Agric. Res. Dev.* 2, 1–6. <https://doi.org/10.1177/0266666994239967>
- Parida AK, Dagaonkar VS, Phalak MS, Umalkar GV, Aurangabadkar LP, 2007. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnol. Rep.* 1, 37–48. <https://doi.org/10.1007/s11816-006-0004-1>
- Paturel JE, Servat E, Delattre MO, Lubes-niel H, Metz O, Mbow C, Reenberg A, Diouf A, 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrol. Sci. J.* 43, 937–946. <https://doi.org/10.1080/02626669809492188>
- Peart RM, Curry RB, 1998. Agricultural systems modeling and simulation. Books soils, plants *Environ.* 696 p.
- PR PICA 2019. Douzième réunion bilan annuelle du Programme Régional de Production Intégrée du Coton en Afrique (PR-PICA), Coton (Bénin) du 10 au 12 avril 2019.
- Saeed M, Guo W, Ullah I, Tabbasam N, Zafar Y, Mehboob-ur-Rahman, Zhang T, 2011. QTL mapping for physiology, yield and plant architecture traits in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown under well-watered versus water-stress conditions. *Electron. J. Biotechnol.* 1-13. <https://doi.org/10.2225/vol14-issue3-fulltext-3>
- Salack S, Muller B, Gaye AT, Hourdin F, Cisse N, 2012. Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal. *Sci. Chang. Planétaires - Secher.* 23, 3–13. <https://doi.org/10.1684/sec.2012.0335>.
- Saleem MA, Amjid MV, Ahmad MQ, Noor E, Qayyum A, Awan MI, Asif M, Nauman M, 2018. Marker Assisted Selection for Relative Water Content, Excised leaf Water Loss and Cell Membrane Stability in Cotton. *Adv. Life Sci.* 5, 56–60.
- Saleem MA, Qayyum A, Malik W, Amjid MW, 2020. Molecular breeding of cotton for drought stress tolerance, in: *Cotton Production and Uses: Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies*. Springer Singapore, pp. 495–508. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_24)
- Sambakhé D, 2018. Recherche de carte d'idéotypes de sorgho d'après un modèle de culture : optimisation conditionnelle à l'aide d'un métamodèle de krigeage. Thèse de doctorat : Biostatistique. Montpellier: Université de Montpellier, 128 p.
- Sekloka E, 2006. Amélioration de l'efficacité de la sélection pour le rendement en coton graine du cotonnier *Gossypium hirsutum* L. dans un contexte de nouveaux itinéraires techniques. Thèse de doctorat : Biologie et agronomie. Rennes : École nationale supérieure agronomique de

- Rennes (ENSAR) 142 p.
- Silva RDA, Santos JL, Oliveira LS, Soares MRS, Santos SMS, 2016. Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop Bioestimulantes na nutrição mineral e qualidade de fibra na cultura do algodão 1062–1066. *Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.* 20, 1062–1066
- Snowden M, Ritchie GL, Simao FR, Bordovsky JPB, 2014. Timing of episodic drought can be critical in cotton. *Agron. J.* 106, 452–458.  
<https://doi.org/10.2134/agronj2013.0325>
- Stapleton HN, Buxton DR, Watson FL, Noiting DJ, 1972. Cotton: A Computer Simulation of Cotton Growth. College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ), Technical Bulletin (University of Arizona, Agricultural Experiment Station), n°206.
- Tardieu F, Granato ISC, Van Oosterom EJ, Parent B, Hammer GL, 2020. Are crop and detailed physiological models equally “mechanistic” for predicting the genetic variability of whole-plant behaviour? The nexus between mechanisms and adaptive strategies. *Silico Plants* 2: diaa011. doi: 10.1093/insilicoplants/diaa011
- Thorp S, Ale MPB, Barnes EM, Hoogenboom G, Lascano RJ, McCarthy AC, Nair S, Paz JO, Rajan N, Reddy KR, Wall GW, White JW, 2014. Development and Application of Process-based Simulation Models for Cotton Production: A Review of Past, Present, and Future Directions 47, 10–47.
- UEMOA, 2013. Coton de l'UEMOA., l'or blanc d'Afrique de l'Ouest à la conquête du marché mondial. Ouagadougou (Burkina Faso): UEMOA- ITC (Centre du Commerce International), 15 p
- Ullah A, Sun H, Yang X, Zhang X, 2017. Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. *Plant Biotechnol. J.* 15, 271–284.  
<https://doi.org/10.1111/pbi.12688>