Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2025 ; 8(4), 124-133
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Adoption des variétés améliorées de sorgho *(Sorghum bicolor)* résistantes à la sécheresse comme stratégie d'adaptation au changement climatique : Analyse des impacts sur la production par des femmes agricultrices au Mali

Barazi Tagalifi Maiga[1], Kadia Cisse[*2], Mahamadou Bassirou Tangara[3]

(1)Association pour la lutte contre l'Insécurité Alimentaire et la Résilience aux changements Climatiques. BP 01 (Mali). E-mail : mbarazitagalifi@yahoo.fr
(2)Université des Sciences Sociales et Gestion de Bamako (USSGB). Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Bamako (Mal0i). E-mail : kadiacisse009@gmail.com
(3)Université des Sciences Sociales et Gestion de Bamako (USSGB). Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Bamako. Groupe de recherche Zabantu : Economie, Conflit et Etat. BP 2196 Sc Kô Ni/Au cœur du Sujet (Mali)

Reçu le 20 novembre 2025, **accepté** le 23 décembre 2025, **publié en ligne** le 27 décembre 2025
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i4.11

RESUME

Description du sujet. Dans le centre rural de Kavumu, l'occupation non planifiée de l'espace accentue la **Description du sujet.** Le changement climatique affecte la production agricole des femmes au Mali, et les stratégies d'adaptation à travers l'adoption des variétés améliorées de sorgho résistantes à la sécheresse sont appliquées.
Objectif. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo » résistantes à la sécheresse sur la production du sorgho chez les femmes au Mali.
Méthodes. Les données ont été collectées à l'aide d'une enquête agricole auprès de 384 productrices de sorgho dans les régions de Kayes, Sikasso et Koulikoro. La méthode d'analyse utilisée est l'appariement par les scores de propensions (Propensity Score Matching) pour estimer l'effet moyen du traitement.
Résultats. Les résultats révèlent que l'utilisation des variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo » résistantes à la sécheresse augmente le rendement du sorgho chez les femmes au Mali. La variété améliorée de Tiandougou-Coura a augmenté la production du sorgho à l'hectare d'environ 212,97 kg/ha. Concernant la variété améliorée de Pablo, elle a également augmenté la production du sorgho à l'hectare de 542,43 kg/ha chez les femmes.
Conclusion. Pour accroître la production du sorgho, les productrices doivent adopter davantage des variétés améliorées pour s'adapter aux aléas climatiques au Mali.

Mots-clés : Sècheresse, variétés améliorés, sorgho, femmes, Mali.

ABSTRACT

Adoption of improved drought-resistant sorghum *(Sorghum bicolor)* varieties as a climate change adaptation strategy: Analysis of impacts on the production of women farmers in Mali
Description of the subject. Climate change is affecting women's agricultural production in Mali, and adaptation strategies are being implemented through the adoption of improved drought-resistant sorghum varieties.
Objective. The objective of this study is to evaluate the effect of drought-resistant improved sorghum varieties "Tiandougou Coura and Pablo" on sorghum production among women in Mali.
Methods. Data were collected using an agricultural survey of 384 sorghum producers in the Kayes, Sikasso, and Koulikoro regions. The analysis method used was propensity score matching to estimate the average effect of the treatment.
Results. The results reveal that the use of drought-resistant improved sorghum varieties "Tiandougou-Coura and Pablo" increases sorghum yields among women in Mali. The improved Tiandougou-Coura variety increased sorghum production per hectare by approximately 212.97 kg/ha. The improved Pablo variety also increased sorghum production per hectare by 542.43 kg/ha among women.
Conclusion. To increase sorghum production, women farmers need to adopt more improved varieties that are better suited to Mali's unpredictable climate.

Keywords: Drought, improved varieties, sorghum, women, Mali.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte de changement climatique, l'adaptation est un changement de procédures, de pratiques et de structures visant à limiter ou à effacer les dommages potentiels, ou à tirer bénéfice des opportunités créées par la variabilité et les changements climatiques (Dimon, 2008). Pour atténuer, les impacts des changements climatiques sur l'agriculture, l'adaptation est souvent préconisée (Abdul-jalil *et al.*, 2023). Cette adaptation correspond à un ensemble de réajustements opérés ou auto-opérés au sein des systèmes naturels et humains, en réponse curative ou préventive aux stimuli climatiques actuels et futurs, afin d'atténuer leurs nuisances ou d'en tirer profit (Ogouwalé, 2006). Cependant, l'adoption des variées de semences améliorées aux effets du changement reste peu pratiquée au Mali surtout concernant les céréales comme le sorgho. Dans ce contexte, très peu d'informations sont connues sur l'adoption des variétés Tiandougou-Coura sur les changements climatiques au Mali.

L'augmentation de la productivité des terres agricoles existantes est un moteur essentiel de la transformation agricole durable en Afrique subsaharienne (Akpo *et al.*, 2021). Au Mali, l'agriculture occupe environ 80 % de la population active, emploie 36 % de la population et représente environ 36,26 % du Produit Intérieur Brut dont 15 % de son budget national (CREDD, 2021). Dans l'optique d'augmenter la productivité agricole, l'adoption et l'utilisation des nouvelles technologies agricoles à travers la production des variétés améliorées des céréales sont des solutions pour l'atteinte de la sécurité alimentaire et la résilience aux changements climatiques. Kouakou *et al.* (2024), ont mené une étude documentaire sur les nouvelles variétés développées par la recherche sur le maïs (*Zea mays*), le mil (*Panicum miliaceum*) et le fonio (Digitaria exilis) dans le nord de la Côte d'Ivoire en 2024 . A l'issue de cette étude, les résultats ont montré que l'introduction des ces nouvelles variétés améliore significativement le rendement pour les spéculations de maïs, mil et sorgho (*Sorghum bicolor*) (Kouakou *et al.*,2024).

Une étude similaire menée au Burkina Faso par Gnoumou *et al.* (2017) sur l'adaptation du zaï et des semences améliorées pour le sorgho montre que le traitement « zaï compost + semence améliorée » s'adapte aux changements climatiques et a permis un meilleur développement du sorgho avec une augmentation des rendements en grains de trois fois par rapport aux témoins. Pour identifier des variétés améliorées de sorgho à double usage adaptées aux conditions climatiques dans les hautes savanes guinéennes du Cameroun, Djida *et al.* (2024), ont introduit quatre variétés améliorées du sorgho pluvial (S-35, Zouye, Grinkan et Damogari) dans un un dispositif en bloc complétement randomisé à trois répétitions. Les résultats ont montré que toutes les variétés ont exprimé des rendements positifs. D'autres études ont obtenu des résultats similaires et contraires sur le blé (Triticum durum) (Chehili *et al.*, 2017 ; Fatima *et al.*, 2017).

Des méthodes sont utilisées pour évaluer les effets des changements climatiques sur la production agricole. La majorité des études emploient l'approche de fonction de production ou modélisation des cultures (approche agronomique), l'approche ricardienne ou Hédonique. Chacune présente des avantages et des limites en termes d'analyse climatique. Selon Mendelsohn et Seo (2007), la limite d'une approche est souvent l'avantage de l'autre. Celle de la fonction de production utilise les modèles interdisciplinaires pour capter la réponse agronomique des cultures et simuler les changements de production à travers les effets estimés. Son avantage est d'offrir des informations détaillées sur les réponses physiques, biologiques et économiques des cultures, ainsi que sur les ajustements possibles. Cependant, elle ne permet pas d'intégrer les mesures d'adaptation (Schimmelpfennig *et al.*, 1996)

L'approche ricardienne basée sur des relations statistiques entre les variables climatiques et les indicateurs socioéconomiques, permet d'intégrer implicitement des mesures d'adaptation locales. Cette mesure se décline en deux approches opposées. L'une micro-économique, reposant sur l'hypothèse de rationalité des acteurs et considérée comme déductive. L'autre macro-économique, qui analyse les phénomènes économiques par le haut, s'intéressant par exemple à l'investissement général ou au revenu global des ménages agricoles (Dedehouanou *et al.*, 2011) et au rendement agricole des ménages (Mendelsohn *et al.*, 1994 ; Darwin, 1999 ; Mendelsohn et Nordhaus, 1999). Pour garantir la validité des mesures d'adaptation, Ostrom (2009) suggère de considérer plusieurs échelles et niveaux d'analyse en partant de la rationnalité de l'exploitation agricole pour intégrer son capital social aux niveaux local, régional et national.

Le sorgho est la cinquième céréale cultivée dans le monde avec une production estimée à 1 060 000 de tonnes par an pour une superficie totale 41 800 hectares sur la période 2010-2022 (CIRAD, 2025). Au Mali, on note une évolution en dent de scie de la production du sorgho durant ces cinq dernière années, passant de 1 423 358 tonnes lors de la campagne 2017/2018 à 1 582 403 tonnes en 2021/2022 (CPS/SDR, 2022). En termes de disparités régionales selon la même source, Kayes (350 268 tonnes), Koulikoro (490 156 tonnes) et

Sikasso (431 515 tonnes) disposent des productions les plus importantes au Mali.

Par ailleurs, la persistance de la sécheresse modifie les paysages via la désertification, le débit de certains cours d'eau et le niveau des nappes phréatiques. Ces dynamiques fragilisent particulièrement les groupes sociaux vulnérables, notamment les femmes agricultrices (Lambrou et Piana, 2006 ; Chindarkar, 2012 ; Aberman *et al*., 2015 ; Eastin, 2018 ; Mitra et Rao, 2019 ; Alhassan *et al*., 2019 ; Sawadogo et Fofana, 2021), qui jouent un rôle crucial dans la sécurité alimentaire des ménages et la production céréalière. Des études soulignent que les femmes sont affectées de manière disproportionnée par rapport aux hommes (Adzawla *et al*., 2019 ; Rao, *et al.*, 2021). Pour relever ces défis, le Mali a adopté en 2006, la Loi d'Orientation Agricole, cadre juridique et stratégique de long terme qui vise à introduire des nouvelles variétés améliorées pour s'adapter et augmenter la productivité des agriculteurs. En parallèle, la Politique du Développement Agricole de 2013, met en avant l'importance de l'innovation agricole, notamment l'adoption de variétés végétales améliorées capables d'accroître le rendement, de résister aux aléas climatiques et de contribuer à la sécurité alimentaire.

Face à ce constat, cette étude interroge comment le changement climatique agit sur la production céréalière, en particulier l'adoption d'innovations agricoles résilientes au climat, telles que les variétés améliorées de sorgho résistantes à la sécheresse. L'adoption de ces variétés est une stratégie d'adaptation cruciale pour les productrices, permettant de renforcer la productivité tout en réduisant les risques liés aux aléas climatiques (Gnoumou *et al*., 2017; Kayoté, 2018; Sangare *et al.*, 2023; Kouakou *et al.*, 2024). Ainsi, L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo » résistantes à la sècheresse sur la production chez les femmes au Mali.

L'intérêt de cette étude permet d'orienter les décideurs dans leur politique de lutte contre l'insécurité alimentaire et l'adaptation aux effets du changement climatique. Elle vise également à améliorer la production du sorgho des femmes à travers l'utilisation des variétés améliorées de sorgho résistantes à la sécheresse.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Cadre théorique et conceptuel de la variété Tiandougou-Coura et Pablo

Au Mali, les differents problèmes et contraintes qui affectent l'adoption des variétés ameliorées sont l'incertitude liée aux variabilités climatiques, la baisse de la fertilité des sols, le prix élévé des intrants agricoles (semences et engrais), l'absence de systèmes de distribution de semences améliorées appropriées et le manque d'informations sur leurs caractéristiques agronomiques et leur rentabilité agro-economique (Traoré *et al.*, 2017). Une autre contrainte majeure est le prix exorbitant des semences certifiées et d'autres intrants de base tels que les engrais chimiques qui sont essentiels pour la production (Smale *et al*., 2016 ; Akpo *et al*., 2021 ; Coulibaly *et al*., 2025). Dans le but d'augmenter la productivité agricole et la résilience aux changements climatiques, l'adoption de variétés améliorées de céréales résistantes au climat joue un rôle curcial dans la production agricole. Cette affirmation est également soutenue par Akpo *et al.* (2021), qui affirment que la productivité agricole dépend fortement de la qualité des intrants, et plus particulièrement de la qualité des semences de cultures modernes à haut rendement.

Dans le cadre de cette recherche, l'analyse conceptuelle se base sur l'adoption et l'utilisation des variétés améliorées des céréales plus précisément les variétés améliorées de sorgho Tiandougou-Coura et Pablo. La variété Tiandougou-Coura, développée par l'Institut d'Économie Rurale (IER) du Mali, est une variété à double usage (grain et fourrage), sélectionnée pour sa résistance au striga, sa tolérance à la sécheresse et ses bonnes performances culinaires. Quant à la variété Pablo, elle a été introduite pour ses caractéristiques précoces et son rendement stable en zone sahélienne. Elle présente un cycle court (environ 90 jours) et s'adapte bien aux zones à faible pluviométrie. L'utilisation de ces variétés améliorées de sorgho vise à augmenter la productivité (rendement en grains et fourrages), à améliorer la résilience aux stress climatiques (sécheresse, striga et sols pauvres), à répondre aux préférences des agriculteurs (cycle court, goût et transformation) et à renforcer la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Leur adoption, notamment par les femmes, est un levier fort pour renforcer la résilience des systèmes agricoles sahéliens. Les femmes jouent un rôle crucial dans la culture du sorgho, surtout dans les zones arides et semi-arides d'Afrique subsaharienne. Elles sont souvent responsables de la production, de la transformation et de la commercialisation du sorgho. Par exemple, au Kenya, 72,5 % des producteurs de sorgho sont des femmes (Curran *et al*., 2009).

La figure 1 schématise l'adoption et l'utilisation des variétés améliorées de sorgho Tiandougou-Coura et Pablo par les femmes. En tenant compte des différentes recherches par les institutions de recherche et des scientifiques de l'IER affirmant que les variétés améliorées de sorgho Tiandougou-Coura et Pablo à travers la résistance à la sècheresse, l'adoption et l'utilisation de ces variétés par les femmes vont contribuer à améliorer la

production agricole et la résilience aux changements climatiques.

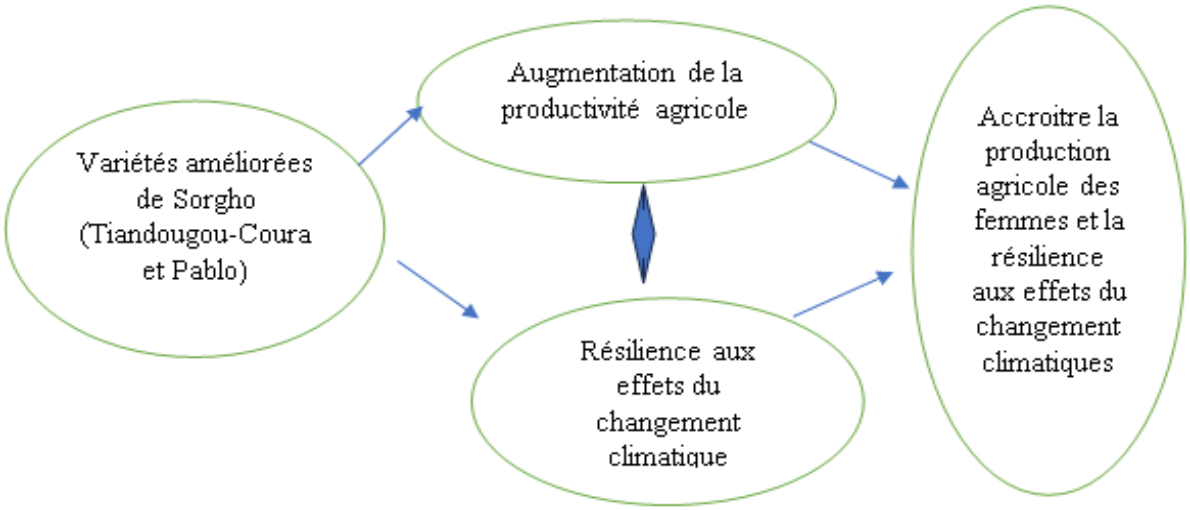

Figure 1. Cadre conceptuel

2.2. Zone d'étude

La zone d'étude retenue dans le cadre de cette recherche est constituée des régions de Kayes, Sikasso et Koulikoro. Les activités économiques y sont l'agriculture, l'élevage, la pêche, le commerce, l'artisanat, l'extraction de sable et de graviers. Cette zone dispose d'une pluviosité annuelle moyenne supérieure à 1000 mm (IER, 2020). D'après les scénarios climatiques, on assisterait à une diminution de la pluviosité qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le Sud et les températures seraient par contre en hausse dans toutes les localités du Mali. Les risques climatiques restent très importants avec la persistance de la sécheresse et les impacts seront davantage perceptibles sur la majorité des activités socio-économiques avec une réduction significative de plus de 30 % du niveau d'eau des fleuves, surtout pour le fleuve Niger à Koulikoro (IER, 2020)

2.3. Méthode d'échantillonnage

La technique d'échantillonnage probabiliste, reposant sur les lois du calcul des probabilités a été adoptée afin que chaque élément de la population mère ait une chance égale d'être choisi. Le choix s'est fait aléatoirement à l'aide d'un logiciel statistique. La formule de Cochran a été utilisée pour déterminer la taille de l'échantillon des productrices de sorgho repartis dans les régions de Kayes, Sikasso et Koulikoro. La taille totale de l'échantillon était de 384 productrices de sorgho, réparties entre les bénéficiaires ou non-bénéficiaires des variétés améliorées. Cette distribution de la taille de l'échantillon est de 40 % des bénéficiaires des variétés améliorées de sorgho et 60 % pour les non-bénéficiaires des variétés améliorées de sorgho.
La formule de Cochran :

$$N_0 = \frac{(Z^2 pq)}{e^2}$$

(1)

avec $N_0 = 384$ productrices de sorgho où N_0 = taille de l'échantillon ; $p =$ Probabilité de la réalisation positive de l'évènement dans la population, exprimée en fraction de 1 ; (0,5) ; $q = 1 - p$, probabilité de la réalisation négative de l'évènement dans la population, exprimée en fraction de 1 (0,5) ; Z est une Z -value : 1,96, une valeur standart basée sur le niveau de confiance qui est 95%, ce qui est un intervalle standart de confiance ; e, est le niveau de précision (marge d'erreur), 5%.
Ainsi, la taille de l'échantillon est repartie en 150 productrices utilisant des variétés améliorées et 234 utilisant des variétés locales dans les régions concernées.

2.4. Méthode d'estimation de l'impact des variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo » résistantes à la sècheresse sur la production des femmes

La technique d'appariement par score de propension a été utilisée pour estimer l'effet des variétés améliorées résistantes à la sécheresse sur la production des femmes. L'évaluation vise à répondre à des questions de causalité : quel est l'effet d'un programme/projet ou d'une politique sur un résultat donné ? Il s'agit d'estimer ce qu'aurait été la situation des productrices si elles n'avaient pas adopté les variétés améliorées, en comparant les productrices bénéficiaires à un groupe similaire non bénéficiaire.

Il est question ici d'estimer ce qu'aurait été en moyenne la situation des productrices de sorgho, si

elles n'avaient pas choisi de produire les variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo ». Une démarche plus simple consistait à considérer la différence, par exemple, la différence de productivité moyenne entre les productrices de sorgho avec ou sans les variétés améliorées. Aussi, il s'agit d'évaluer l'effet des variétés améliorées résistantes à la sècheresse sur la production des femmes, à savoir les changements de résultats causés directement par l'effet des variétés améliorées. L'évaluation d'effet se distingue par sa focalisation sur la causalité et l'attribution des changements, deux concepts qui définissent aussi l'approche méthodologique. Pour pouvoir estimer l'effet causal ou l'effet des variétés améliorées de sorgho sur les résultats, la méthode choisie doit permettre de définir le contrefactuel, c'est-à-dire le résultat qui aurait été obtenu pour un groupe de bénéficiaires si des variétés améliorées de sorgho n'avait pas existé ou un groupe de personnes ne bénéficie pas des variétés améliorées de sorgho. Dans le présent travail, l'évaluation ex-post a été utilisée pour estimer l'effet des variétés améliorées résistantes à la sècheresse sur la production des femmes au Mali.

Principe d'évaluation

Le principe d'une évaluation est d'estimer un contrefactuel, la situation qui aurait prévalu en l'absence du programme, projet ou politique que l'on souhaite évaluer (Givord, 2014). Le modèle statistique de base des évaluations est le modèle causal de Rubin (1974). Les unités sont par exemple des individus, repérés par un indice *i*. Le traitement T est administré de manière binaire : $T_i = 1$ signifie que l'individu *i* appartient au groupe qui reçoit le traitement, $T_i = 0$ signifie qu'il ne reçoit pas le traitement. On s'intéresse à des variables de résultat, sur lesquelles le traitement est supposé avoir un effet. Le modèle causal de Rubin (1974) considère que pour une variable de résultat donné, il y a en fait deux variables dites d'outputs potentiels ou latents, correspondant à ce que serait la situation d'un individu sous chacune des alternatives, c'est-à-dire, si l'individu bénéficie du traitement y_i (1) et s'il n'en bénéficie pas, y_i (0).

Afin de mesurer exactement l'effet d'un programme, d'un projet ou d'une politique, il est nécessaire de connaître la situation potentielle des bénéficiaires du programme, projet ou politique si jamais ceux-ci n'y avaient pas participé. L'effet du traitement se résume donc à :

$$E(y_i(1)) - E(y_i(0))$$

(2)

Cet effet est donc individuel et peut être, tel que défini, hétérogène au sein de la population. Il est aussi inobservable, puisque pour chaque individu, soit on observe $y_i(1)$ lorsqu'il dispose du programme, $T_i = 1$, soit on observe $y_i(0)$ lorsqu'il n'en dispose pas $T_i = 0$, mais jamais simultanément les deux. Dans une population donnée, on dispose en fait d'observations avec $T_i = 1$ et des observations avec $T_i = 1$ mais elles ne concernent pas les mêmes individus :

$$E\left(\frac{y_i}{T}=1\right) - E\left(\frac{y_i}{T}=0\right) = E\left(\frac{y_i(1)}{T}=1\right) - E\left(\frac{y_i(0)}{T}=0\right) =$$

$$E\left(\frac{y_i(1)-y_i(0)}{T}=1\right) + E\left(\frac{y_i(0)}{T}=1\right) - E\left(\frac{y_i(0)}{T}=0\right)$$

(3)

L'effet moyen du traitement est compris dans la première composante de la troisième équation :

$$E\left(\frac{y_i(1)-y_i(0)}{T}=1\right)$$

(4)

Alors que la troisième composante : $E\left(\frac{y_i(1)}{T}=1\right) - E\left(\frac{y_i(0)}{T}=0\right)$ comprend le biais de sélectivité ou l'effet population.

L'objectif d'une évaluation d'impact est de réduire le plus possible ce biais de sélectivité en comparant le groupe de bénéficiaires du programme, projet ou politique à un groupe de non bénéficiaires ayant exactement les mêmes caractéristiques exceptée la participation au programme.

Robustesse des résultats

L'une des difficultés aux études de méthode est de disposer d'un groupe ou échantillon de contrôle qui permet de décrire la situation des individus traités avant qu'ils aient reçu le programme, le projet, la politique ou le traitement. Dans le but de fixer des idées, les éléments de formalisation se présentent ci-dessous :

Soit D, une variable binaire égale à 1 si l'individu reçoit le traitement ou participant au programme, 0 si non et Y la variable sur laquelle est censée agir le traitement. Y_0 capte l'état des individus avant l'administration du traitement et Y_1 traduit leur état après qu'ils ont été traités ou participés au programme, projet ou politique. L'effet du traitement s'exprime comme suit :

$$\Delta\overline{Y} = E\left(\frac{Y_1 - Y_0}{D} = 1\right)$$

(5)

Et donc en décomposant, on obtient :

$$\Delta\overline{Y} = E\left(\frac{Y_1 - Y_0}{D} = 1\right) - E\left(\frac{Y_0}{D} = 1\right)$$

(6)

Le deuxième terme du membre de droite représente l'échantillon contrefactuel ou le groupe de comparaison et décrit l'état des individus traités avant qu'ils reçoivent le traitement. La composante $E\left(\frac{Y_0}{D}=1\right)$ est inobservée.

Techniques d'appariement par le score de propension ou « propensity score matching »

L'idée générale sous-jacente à cette méthode d'analyse est de déterminer un groupe de comparaison à partir d'un échantillon de non participants qui ressemblent aux participants, sur la base des caractéristiques observables. La différence entre un échantillon de comparaison pur et un échantillon de comparaison déterminé à partir des techniques de '*propensity score Matching'* se situe au niveau du premier cas où l'échantillon d'individus traités et l'échantillon de contrôle sont comparables en termes de caractéristiques observables mais également en termes de caractéristiques non observables (Sangaré *et al.*, 2021).

L'appariement par le score de propension repose sur l'hypothèse d'indépendance conditionnelle selon laquelle, les résultats observés sont indépendants de la participation à un traitement, participation conditionnelle à certaines caractéristiques observables. Formellement, cette hypothèse s'exprime ainsi :

$$(Y_0, Y_1) \perp DX$$

(7)

En conditionnant le fait de recevoir ou de ne pas recevoir un traitement à un vecteur de caractéristiques observables X, il est possible d'obtenir une estimation de la composante non observée :

$$E\left(\frac{Y_0}{D}=1, X\right) = E\left(\frac{Y_0}{D}=0, X\right)$$

(8)

On en déduit alors l'effet du traitement :

$$\Delta\overline{Y} = E\left(\frac{Y_1}{D}=1, X\right) - E\left(\frac{Y_0}{D}=0, X\right)$$

(9)

Rosenbaum et Rubin (1983) ont par ailleurs montré que si l'hypothèse d'indépendance conditionnelle était valable, alors plutôt que de conditionner sur les caractéristiques observables, il est possible de conditionner sur le score de propension P(X) avec :

$$P(X) = \Pr\{D=1, X\}$$

(10)

$P(X)$, représente la probabilité de recevoir le traitement, probabilité conditionnelle à un ensemble de caractéristiques observables X. Le score de propension est en fait le résumé unidimensionnel de l'ensemble des caractéristiques observées. L'hypothèse d'indépendance conditionnelle est donc reformulée comme suit :

$$(Y_0, Y_1) \perp \frac{D}{PX}$$

(12)

$(Y_1, Y_0) \perp D / P(X)$

(13)

On en déduit une estimation de la composante non observée :

$$E\left[\frac{Y_0}{D}=1, P(X)\right] = E\left[\frac{Y_0}{D}=0, P(X)\right]$$

(14)

Finalement, l'effet du traitement est mesuré par :

$$\Delta\overline{Y} = E\left(\frac{Y_1}{D}=1, P(X)\right) - E\left(\frac{Y_0}{D}=0, P(X)\right)$$

(15)

Variables retenues pour l'estimation

Le Tableau 1 montre les variables retenues qui sont utilisées pour mesurer l'effet.

Tableau 1. Description des variables retenues pour l'estimation

Caractéristiques	Unités de Mesures	Modalités	Types de variable
Sexe		Masculin Féminin	Qualitative
Niveau d'éducation		Alphabétisée Fondamentale Secondaire Universitaire Aucun	Qualitative
Contact avec une Institution /Organisation		Oui Non	Qualitative
Type de variétés utilisée		Améliorée Locale	Qualitative
Nom de la variété produite		Ecrire le nom	Qualitative

Nombre d'années d'expérience à l'école	Année	Quantitative
Superficie cultivée	Hectare	Quantitative
Rendement/ha	Kilogramme	Quantitative
Nombre d'années d'expérience dans la production agricole	Année	Quantitative
Nombre d'années d'expérience de la culture du sorgho	Année	Quantitative
Quantité de semence	Kilogramme	Quantitative
Quantité d'engrais organique	Kilogramme	Quantitative
Quantité d'engrais chimique	Kilogramme	Quantitative

3. RESULTATS

Les résultats issus des estimations de cette étude indiquent que l'introduction des variétés améliorées de sorgho Tiandougou-Coura et Pablo résistantes à la sécheresse, a eu un effet positif sur la productivité du sorgho chez les femmes. Elles ont permis d'accroître la productivité moyenne du sorgho par rapport aux variétés locales dans les exploitations gérées par les femmes au Mali. La variété améliorée de Tiandougou Coura a augmenté la production du sorgho à l'hectare d'environ 212,97 kg/ha. Concernant la variété améliorée de Pablo, elle a également augmenté la production du sorgho à l'hectare de 542,43 kg/ha chez les femmes statistiquement significatives au seuil de 5 %. Les variétés améliorées de sorgho « Tiandougou Coura et Pablo » constituent une réponse technique efficace aux défis de la productivité, du climat et de la sécurité alimentaire (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2. Effet de la variété amélioré de sorgho Tiandougou-Coura résistantes à la sècheresse sur la production des femmes au Mali.

Treatment-effects estimation	**Number of obs = 384**
Estimator : propensity-score matching	Matches : requested = 1
Outcome model : matching	Min = 1
Treatment model : logit	Max = 62
Rendement (kg/ha)	**Coefficient**
ATE (Ameliorée vs Locale)	373,89
ATET (Ameliorée)	212,97***

****Significatif à 1 % ; **significatif à 5 % and *significatif à 10 %*

Tableau 3. Effet de la variété amélioré de sorgho Pablo résistantes à la sècheresse sur la production des femmes au Mali

Treatment-effects estimation	**Number of obs = 384**
Estimator : propensity-score matching	Matches : requested = 1
Outcome model : matching	Min = 1
Treatment model : logit	Max = 62
Rendement (Kg/ha)	**Coefficient**
ATE (Ameliorée vs Locale)	633,56*
ATET (Ameliorée)	542,43**

****Significatif à 1 % ; **significatif à 5 % and *significatif à 10 %*

4. DISCUSSION

Les résultats de cette recherche corroborent avec ceux de Rattunde *et al.* (2013), Leroy *et al*. (2014), Kayodé (2018) qui affirment que les variétés améliorées de sorgho résistantes à la sécheresse ont un effet positif et augmentent le rendement de la culture. Les résultats de cette recherche sont cohérents avec les travaux de Kanté *et al*. (2017), qui ont montré que l'hybride Pablo présentait un

avantage de rendement moyen de 0,28 t/ha (280 kg/ha) par rapport à la variété locale Tieble dans les environnements à faible productivité. De même, des essais participatifs de sélection variétale (PPB) menés au Mali par Kanté *et al*. (2017), ont révélé que les femmes productrices obtenaient des gains encore plus élevés avec les hybrides, atteignant en moyenne +684 kg/ha par rapport aux variétés traditionnelles, alors que l'avantage était plus limité chez les hommes (+273 kg/ha).

Concernant Tiandougou-Coura**,** plusieurs travaux en zone soudano-sahélienne (Leroy *et al*., 2014 ; Diop *et al*., 2023) ont confirmé son potentiel agronomique, notamment grâce à une meilleure tolérance à la sécheresse et une forte production de grains et de paille, ce qui en fait une variété particulièrement adaptée aux systèmes intégrés agriculture-élevage. Une étude récente en a montré la performance économique en conditions paysannes, avec des marges nettes supérieures aux variétés locales (Coulibaly *et al.*, 2025). Ainsi, l'impact observé dans cette étude **(**+212,97 kg/ha) s'inscrit dans une tendance confirmée par la littérature : les variétés améliorées comme Pablo et Tiandougou-Coura augmentent significativement les rendements du sorgho au Mali, tout en offrant une meilleure résilience climatique. Ces gains, même s'ils varient selon les contextes agroécologiques et les pratiques culturales, constituent un levier essentiel pour renforcer la sécurité alimentaire et les revenus des productrices rurales.

5. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet des variétés améliorés de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo » résistantes à la sècheresse sur la production chez les femmes au Mali. Les résultats obtenus ont montré que l'introduction des variétés améliorées de sorgho Tiandougou-coura et Pablo, résistantes à la sécheresse, a permis d'accroître la production moyenne du sorgho respectivement de 212 kg/ha et 542,43 kg/ha par rapport aux variétés locales dans les exploitations gérées par les femmes au Mali. A la lumière de ces résultats, on peut orienter les exploitantes agricoles vers les variétés améliorées de sorgho « Tiandougou-Coura et Pablo ». Par ailleurs, l'étude présente certaines limites qu'il convient de souligner telles que l'augmentation de la production agricole observée ne se traduit pas automatiquement par une amélioration significative du revenu ou du bien-être nutritionnel des ménages. Cette limite peut être exploitée pour des projets des recherches futures.

Références

Abdul-Jalil, S., Kinkpe, AT, Elnour, Z., Grethe, H., Aballo, CS, Acakpo, CC, ... & Yorou, FV (2023). Impacts du changement climatique sur l'agriculture et l'ensemble de l'économie du Bénin avec différenciation des Pôles de Développement Agricole (PDA). 14 pages.

Aberman N., Ali, S., Behrman J. A., Bryan E., Davis P., Donnelly A. *et al*., 2015. Climate Change Adaptation Assets and Group-Based Approaches. *International Food Policy Research Institute*, Paper 01412.

Adzawla W., Azumah S. B., Anani P. Y. & Donkoh S. A., 2019. Gender perspectives of climate change adaptation in two selected districts of Ghana. *Heliyon*, *5*(11), e02854. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02854. Récupéré sur www.heliyon.com.

Akpo E., Ojiewo C. O., Kapran I., Kapran I., Diama A. & Varshney R. K., 2021. *Enhancing smallholder farmers' access to seed of improved legume varieties through multistakeholder platforms*. Springer: Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore, pp. 978-981. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8014-7.

Alhassan S. I., Kuwornu J. K. & Osei-Asare Y. B., 2019. Gender dimension of vulnerability to climate change and variability : Empirical evidence of smallholder farming households in Ghana. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11(2), 195-214. doi:10.1108/IJCCSM-10-2016-0156.

Chehili F., Boudour L. & Bouchtab K., 2017. Etude de la variabilité agronomique et biochimique des quatres génotypes d'une variété de blé dur cultivé en Algérie (Triticum durum Desf.). *Eur Sci J.*, 13(19), 409-425.

Chindarkar N., 2012. Gender and climate change-induced migration: proposing a framework for analysis. *Environmental Research Letters*, 7(2), 025601. doi:10.1088/1748-9326/7/2/025601

CIRAD (Centre International de Recherche Agronomique pour le Developpement), 2025. *Synthèse de la feuiile de route sorgho et mil: Vers une culture durable du sorgho et du mil (2024-2023).* L'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes, 8 p.

Coulibaly A. B., Badolo F., Yila J. O., Koné B., Nebié B., Woro N. *et al*., 2025. A cost benefit analysis of the production system with improved and climate-resilient sorghum varieties in southern Mali. *Front. Clim.*, 6, 1477039. doi: 10.3389/fclim.2024.1477039.

CPS/SDR (Cellule de Planification et de Statistique du Secteur du Développement Rural), 2022. *Annuaire Statistique.* Ministère de l'Agriculture du Mali, 34 pages .

CREDD (Cadre Stratégique pour la Relance Economique et le Deloppement Durable), 2021. *Rapport de mise en oeuvre du cadre stratégique pour la relance économique et le dévelopemment durable 2019-2023.* Cellule Technique du Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CT/CSLP). Ministère de l' Economie et des Finances du Mali, 70 p.

Curran S., Leigh-Anderson C., Gugerty M. K., Cook J., Yorgey G. & Gockel R., 2009. Gender and cropping: Cassava in sub-Saharan Africa. *Evans School Policy Analysis and Research (EPAR). Brief prepared for the Agricultural Policy and Statistics Division of the Bill and Melinda Gates Foundation*, 6p.

Darwin R., 1999. The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: Comment. *American Economic Review, 89*(4), pp. 1049-1052. doi:10.1257/aer.89.4.1049

Dedehouanou H., Agbossou E. K., Guibert H., Vissoh P. V., Abidji M. W. & Ahounde Q. A., 2011. Evaluation d'Impact des Changements Climatiques sur les pratiques agricoles : durabilité des mesures d'adaptation au Bénin / Evaluating Impact of Climate changes on agricultural practices: sustainability of adapting measures in Benin. *African Sociological Review / Revue Africaine de Sociologie*, 15(2), 44-58.

Dimon R., 2008. *Adaptation to the climate changes : perceptions, endogenous knowledges and strategies of adaptation developped by farmers of townships of kandi et de banikoara, in the north of Beni.* Department of Economy, Socio-Anthropology and Communication (DESAC), Thèse de doctorat , University Abomey-Calavi (Benin), Agronomics Sciences Faculty, 209 p.

Diop A. T., Dagnon K., Vaksmann M., Doumbia M. & Bellis F. D., 2023. Introgression of QTLs for anthracnose resistance (Colletotrichum sublineolum) in an elite sorghum variety from Mali. *Sorghum in the 21st Century, Global Sorghum Conference, CIRAD/Kansas State University; Sorghum International Development; IRD; CERAAS*, 274 p. ⟨hal-05181974⟩.

Djida A. K., Wassouo F. A., Gnapou H.Y. & Djaowe A., 2024. Adaptabilité de quatre variétés améliorées de sorgho pluvial [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] à double usage aux conditions climatiques de la zone des hautes savanes guinéennes du Cameroun. *Afrique SCIENCE, 25*(1), 131-140. http://www.afriquescience.net

Eastin J., 2018. Climate change and gender equality in developing states. *World Development*, 107, pp. 289-305.

Fatima C., Leila B. & Karima B., 2017. Etude de la variabilité agronomique et biochimique des quatre génotypes d'une variété de blé dur cultivé en Algérie (Triticum durum Desf.). *European Scientific Journal*, 13(9), 409-425. doi: 10.19044/esj.2017.v13n9p409

Givord P., 2014. Méthodes économétriques pour l'évaluation de politiques publiques. *Economie de prévision*, 1, 1-28.

Gnoumou X. N., Yaméogo J., Traoré M., Bazongo G. & Bazongo P., 2017. Adaptation aux changements climatiques en Afrique sub-saharienne: impact du zaï et des semences améliorées sur le rendement du sorgho dans les villages de Loaga et Sika (province du Bam), Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 19(1), 166- 174. http://www.ijias.issr-journals.org/.

IER (Institut Economie Rurale)-Mali, 2021. *Fiches techniques sur les variétés de sorgho amélioré: Tiandougou-coura & Pablo.* Institut d'Economie Rurale, 21 pages.INSTAT (Institut National de la Statistique), 2021. *Rapport sur les principaux du résultats définitifs du module agriculture intégré dans la phase carthographie du recensement général de la population et l'habitat.* Edition, 97 p.

Kanté M., Rattunde H. F., Leiser W. L., Nebié B., Diallo B., Diallo A. *et al*., 2017. Can Tall Guinea-Race Sorghum Hybrids Deliver Yield Advantage to Smallholder Farmers in West and Central Africa? *Crop Science*, 57(2), 833-842.

Kayoté P., 2018. *Adoption de variétés de sorgho résilientes aux changements climatiques au Benin*. Centre Technique de Coopération Agricole et rurales, Wageningen, les Pays-Bas, pp. 4-5.

Kouakou K. R., N'da H. A. & N'cho A. L., 2024. Revue de littérature des céréales cultivées et produites dans le Nord de la Côte d'Ivoire : Cas des spéculations Maïs (*Zea mays* L.), Mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.), Sorgho (Sorghum bicolor L. Moench). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 60(2), 11015-11034. doi:https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v60-2.2

Lambrou Y. & Piana G., 2006. *Gender: The missing component of the response to climate.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp.1-58.

Leroy T., Coumaré O., Kouressy M., Trouche G. & Sidibé A., 2014. Inscription d'une variété de sorgho obtenue par sélection participative au Mali dans des projets multiacteurs. Agronomie, Environnement et Sociétés. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 4(2), 143-152. www.agronomie.asso.fr

Mendelsohn R., Nordhaus W. D. & Shaw, D., 1994. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American economic review*, 84(4), 753-771.

Mendelsohn R. N., 1999. *The impact of climate variation on US agriculture* . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, pp. 55-76.

Mendelsohn R. & Seo N., 2007. Changing farm types and Irrigation as an adaptation to climate change in *Latin American agriculture.* (4161), 2-44.

Mitra A. & Rao N., 2019. Gender, water, and nutrition in India: an intersectional. *Water Alternatives*, 12(3), 930-952.

Ogouwalé E., 2006. Changements climatiques dans le Bénin méridional et central: indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. *Cotonou, Thèse de Doctorat, LECREDE/FLASH/EDP/UAC*, 302 pages.

Ostrom E., 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422.

Rao N., Prakash A., Hans A. & Patel A., 2021. Gender, climate change an the politics of vulnerability. *Engending climate change. Routledge India*, pp. 1-16.

Rattunde F. H., Weltzien F. W., Loin E. & Diallo B., 2013. *Opportunities to enhance productivity of sorghum through hybrid varieties*. ICRISAT, 15 p.

Rosenbaum P. B. & Rubin D. B., 1983. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika* 70(1), 41-55. https://doi.org/10.1093/biomet/70.1.41.

Rubin D., 1974. Estimating causal effects of tratments in randomized and nonrandomized studies. *Journal of Educational Psychology*, 66(5), 688-701.

Sangare Y., Ndiaye A. &Tangara M. B., 2023. Impacts du riz gambiaka suruni sur les revenus et les rendements en zone office du niger . *Revue International Donni (RID)*, 1, 107-118. https://revuedonni.wordpress.com.sV

Sangaré Y., Tangara M. B., diallo F. & sidibe Y., 2023. Determinants of the adoption of improved Gambiaka Suruni rice seed varieties in the Office du Niger zone. *African Scientific Journal*, 3(17), 546-546. https://doi.org/10.5281/zenodo.7948336.

Sawadogo B. & Fofana I., 2021. Perspective genre de l'impact économique du changement climatique au Burkina Faso. *Partnership for economic policy Working Papper Series*, 34 p.

Schimmelpfennig D., Lewandrowski J., Reilly J., Tsigas M. & Parry I., 1996. Agricultural adaptation to climate: Issues of Longrun Sustainability. *Research in Agricultural & Applied Economics*, 57p. http://ageconsearch.umn.edu.

Smale M., Kergnan A. & Diakité L., 2016. *An economic assessment of sorghum improvement in Mali*. Telagana, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (2), viii-41. http://oar.icrisat.org/10030/.

Traoré K., Sidibé D. K., Coulibaly H. & Bayala J., 2017. Optimizing yield of improved varieties of millet and sorghum under highly variable rainfall conditions using contour ridges in Cinzana, Mali. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 11 p. doi:10.1186/s40066-016-0086-0.