

La REVUE CEDRES-ETUDES « séries économiques » publie, semestriellement, en français et en anglais après évaluation, les résultats de différents travaux de recherche sous forme d'articles en économie appliquée proposés par des auteurs appartenant ou non au CEDRES.

Avant toute soumission d'articles à la REVUE CEDRES-ETUDES, les auteurs sont invités à prendre connaissance des « recommandations aux auteurs » (téléchargeable sur www.cedres.bf).

Les articles de cette revue sont publiés sous la responsabilité de la direction du CEDRES. Toutefois, les opinions qui y sont exprimées sont celles des auteurs.

En règle générale, le choix définitif des articles publiables dans la REVUE CEDRES-ETUDES est approuvé par le CEDRES après des commentaires favorables d'au moins deux (sur trois en générale) instructeurs et approbation du Comité Scientifique.

La plupart des numéros précédents (66 numéros) sont disponibles en version électronique sur le site web du CEDRES www.cedres.bf

La REVUE CEDRES-ETUDES est disponible au siège du CEDRES à l'Université de Ouaga II et dans toutes les grandes librairies du Burkina Faso et aussi à travers le site web : www.cedres.bf

DIRECTEUR DE PUBLICATION

Pr Idrissa M. OUEDRAOGO, Université Ouaga II

COMITE EDITORIAL

Pr Pam ZAHONOGO, UO2 Editeur en Chef

Pr Noel THIOMBIANO, Université Ouaga II

Pr Denis ACCLASATO, Université d'Abomey Calavi

Pr Akoété AGBODJI, Université de Lomé

Pr Chérif Sidy KANE, Université Cheikh Anta Diop

Pr Eugénie MAIGA Université Norbert Zongo Burkina Faso

Pr Mathias Marie Adrien NDINGA, Université Marien N'Gouabi

Pr Omer COMBARY, Université Ouaga II

Pr Abdoulaye SECK, Université Cheikh Anta Diop

Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey Calavi

SECRETARIAT D'EDITION

Dr Samuel Tambi KABORE, UO2

Dr Théodore Jean Oscar KABORE, UO2

Dr Jean Pierre SAWADOGO, UO2

Dr Kassoum ZERBO, Université Ouaga II

COMITE SCIENTIFIQUE DE LA REVUE

Pr Abdoulaye DIAGNE, UCAD (Sénégal)

Pr Adama DIAW, Université Gaston Berger de Saint Louis

Pr Gilbert Marie Aké N'GBO Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Albert ONDO OSSA, Université Omar Bongo (Gabon)

Pr Mama OUATTARA, Université Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Idrissa OUEDRAOGO, Université Ouaga II

Pr Kimséyinga SAVADOGO, Université Ouaga II

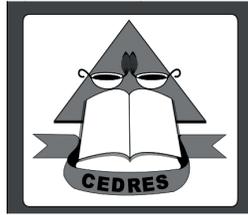
Pr Gnderman SIRPE, Université Ouaga II

Pr Nasser Ary TANIMOUNE, Université d'Ottawa (Canada)

Pr Gervasio SEMEDO, Université de Tours

Pr Pam ZAHONOGO, Université Ouaga II

Centre d'Etudes, de Documentation et de Recherche Economiques et Sociales (CEDRES)



www.cedres.bf

REVUE CEDRES-ETUDES

Revue Economique et Sociale Africaine

REVUE CEDRES-ETUDES N°67

Séries économie

1^{er} Semestre 2019

Effets du changement climatique sur les superficies cultivées et les rendements céréaliers au Mali

Issoufou SOUMAILA MOULEYE

Résumé

Cet article évalue les effets du changement climatique sur les superficies cultivées et les rendements céréaliers au Mali à l'aide d'une fonction de production stochastique avec des données qui couvrent la période de 1966 à 2015. Les résultats montrent qu'au Mali, l'augmentation du coefficient de variation de la pluviométrie est inversement liée au rendement moyen du mil. La température moyenne a un effet positif significatif uniquement sur les rendements espérés du mil, mais pour les autres céréales, les effets sont plutôt négatifs et significatifs pour le maïs et le riz. Enfin, la réponse des superficies face au changement climatique montre que les superficies du maïs et du riz sont positivement sensibles à la température et la pluviométrie tandis que celle du blé l'est négativement par rapport aux températures.

Mots clés : Stochastique, FGLS, rendement, changement climatique

Classification JEL : Q14, Q18, C14

This paper investigates the impact of climate change on cropped areas and cereal yields in Mali, using a stochastic production function was estimated for data covering the period 1966 to 2015. The findings suggest that in Mali the increase in the coefficient of variation of rainfall is inversely related to the average yield of millet. The average temperature has a significantly positive impact only on expected millet yields, but for other crops (wheat, maize and rice) the impacts are rather negative and significant for maize and rice. Finally, the response of areas to climate change suggests that maize and rice areas are positively vulnerable to temperature and rainfall while wheat areas are negatively sensitive to temperature.

Keywords: Stochastic, FGLS, yield, climate change

JEL Classification : Q14, Q18, C14

1. Introduction

Le changement climatique est l'une des menaces sérieuses qui entrave la capacité de production alimentaire afin de répondre à la demande mondiale croissante et plus particulièrement à la demande en Afrique subsaharienne (ASS) où l'insécurité alimentaire est répandue (Parry et al., 2004 ; von Lampe et al., 2014). Dans les pays en développement où l'agriculture est principalement pluviale, le changement climatique a eu des répercussions sur l'agriculture (Tol, 2002 ; Fischer et al., 2005 ; Mendelsohn et al., 2006), réduit la productivité des grandes cultures et affecte grandement l'offre agricole (Roudier et al., 2011 ; Di Falco et al., 2012). Le changement climatique devrait entraîner des températures plus chaudes causant de fortes fluctuations dans les régimes des précipitations, ainsi qu'un accroissement des chocs extrêmes (Wheeler et von Braun 2013). Du fait des fluctuations des précipitations qui affectent à la fois les rendements et les superficies, certaines superficies cultivées ou emblavables peuvent être abandonnées par les agriculteurs en raison de leur faible rendement. Ce phénomène amène les agriculteurs à ajuster l'allocation de leur superficie en fonction du début et des quantités de pluies obtenues durant les campagnes agricoles (Sacks et al., 2010).

Si le changement climatique exacerbe les chocs, une réforme agraire équitable peut apporter des avantages importants aux pauvres et contribuer à une plus grande croissance économique et à une meilleure adaptation au changement climatique (Green, 2008). Du fait que les cultures couvrent un quart de la superficie terrestre mondiale, le climat régional peut être très sensible aux changements à grande échelle des superficies cultivées tout en entraînant de graves conséquences sur les changements des conditions économiques ou climatiques (Osborne et al., 2004). Malgré que les changements dans l'allocation des superficies des terres et des cultures avec des rendements décroissants, sont supposées être cultivées dans les mêmes régions, la réponse rationnelle de la part des agriculteurs serait de passer à des cultures dont le rendement diminue moins rapidement et qui présentent un avantage comparatif par rapport à d'autres cultures.

Roberts et Schlenker (2009) soulignent dans ce contexte l'intérêt des agriculteurs à s'adapter au changement climatique en ajustant l'allocation des superficies, l'utilisation des intrants, le choix des cultures et d'autres pratiques agronomiques, dans la mesure où la production agricole est considérée comme une relation technique entre le rendement à l'hectare et les variables du changement climatique. Des études ont montré l'effet de ces variables climatiques à travers l'analyse de l'impact non seulement du climat, mais aussi des indicateurs économiques sur la production agricole (Weersink et al. 2010, Huang et Khanna. 2010 ; Hertel et al. 2010, et Miao et al. 2016). Pour sa part, en utilisant des modèles ricardiens qui intègrent le changement des superficies, Chine (2007) a examiné la différence de résultats qui pourrait survenir si de tels changements sont envisagés. Les effets néfastes du changement climatique sont estimés à 16% des terres productives dégradées dans le monde (WFP, 2009). A ces effets s'ajoutent également les difficultés des petits agriculteurs à accéder à la terre, contraints notamment par l'insécurité des droits de propriété et les saisies illégales des terres (Banque mondiale, 2008).

Au Mali, la part du secteur agricole est en baisse et sa contribution à la croissance du produit intérieur brut est de -1,6 % (INSTAT, 2015). L'agriculture malienne subit des fluctuations importantes liées à la mauvaise répartition des pluies dans le temps et s'exerce dans des conditions climatiques aléatoires avec des risques importants de sécheresse au cours des 20 dernières années (Sissoko, et al., 2018). Si les céréales les plus produites et consommées sont le riz, le mil, le sorgho et le maïs de même le blé dans la partie septentrionale, leurs rendements respectifs de ces céréales sont généralement faibles du fait des aléas climatiques. Cependant, à la suite à une augmentation des superficies ces dernières années, la production céréalière, estimée à 8 millions de tonnes en 2016a connu une augmentation comparativement à 2014. Cette augmentation des superficies a été aussi suivie par un accroissement du rendement du riz contrairement à celui du sorgho, dont les superficies baissent au profit du maïs dans la zone du sud (CPS-SDR, 2016). Toutefois, le déficit céréalier malien ne s'est pas complétement

résorbé puisque 25 % des maliens sont toujours en insécurité alimentaire dont 3% en insécurité sévère (PoINSAN, 2017). Au vu de ces constats, la question de recherche fondamentale qui se pose est la suivante : comment le changement climatique affecte-t-il les superficies cultivées et les rendements céréaliers au Mali ? La réponse à cette question nous permettra de dire s'il existe ou non un réel effet des variables climatiques sur les rendements et les superficies agricoles.

L'objectif de cet article est d'évaluer les effets du changement climatique sur des superficies cultivées et les rendements céréaliers au Mali. Il s'agit, d'une part, d'évaluer les effets des précipitations et des températures sur les rendements de quatre céréales (mil, maïs, blé et riz), et d'autre part ; les effets du changement climatique sur l'allocation des superficies cultivées. Notre apport consiste à isoler les effets des variables climatiques et économiques sur les productions de céréales. Nous utilisons à cet effet un modèle de réponse de l'offre d'une culture formulé en termes de rendement, de superficie ou de réponse au rendement estimées à partir d'une fonction de production stochastique. La suite de notre travail est organisée de manière suivante. La section 2 présente les éléments théoriques et empiriques des effets des chocs exogènes sur les rendements et les superficies. La section 3 expose les approches méthodologiques de la fonction de production stochastique qui sont utilisées dans la recherche. Les résultats ainsi que leurs discussions sont donnés à la section 4. La section 5 est réservée à la conclusion.

2. Fondements des effets des chocs exogènes sur les rendements et les superficies

Les débats économiques sur la fonction de production se sont orientés essentiellement autour de deux problématiques majeures notamment celle du risque de production (Moschini & Hennessy, 2001) et celle de la frontière de la production (Murillo-Zamorano, 2004 ; Fried et al., 2008). En effet, le producteur agricole subit en permanence des chocs exogènes qui, s'ils ne sont pas intégrés dans sa fonction de production, risqueraient d'induire des biais dans l'estimation économétrique de la fonction de production. L'approche standard a consisté à ajouter une

erreur aléatoire stochastique à la relation intrants-extrants (Saastamoinen, 2013). Les travaux sur le risque de production ont prévalu dans l'économie agricole puisque l'incertitude sur la production est particulièrement présente dans l'agriculture en raison des conditions météorologiques, des parasites et autres (Just et Pope, 2001 ; Moschini et Hennessy, 2001).

2.1 Effets théoriques des chocs climatiques sur le rendement et les superficies

Dans la littérature, les recherches des effets du changement climatique et la production agricole ont été menées autour des variables dont la température, les précipitations, les fluctuations des prix, les rendements et les superficies. D'après les travaux antérieurs, une température élevée peut affecter la croissance ainsi que le rendement agricole (CCSP 2008, Jones et Yosef 2015). En effet, lorsque les températures deviennent très élevées, jusqu'à dépasser un certain seuil, elles peuvent endommager les tissus reproducteurs des plantes et augmenter la stérilité du pollen (Roberts et Schlenker 2009, Thornton et Cramer 2012). De plus, la fluctuation de la température peut avoir un effet négatif sur la production agricole en raison des baisses de rendement (McCarl et al. 2008). Selon Tack, et al. (2015) l'effet de l'exposition à la température varie pendant les saisons et les principaux facteurs de perte de rendement sont les températures glaciales et les chaleurs extrêmes. Néanmoins, Tack, et al. (2015) indiquent que les effets du réchauffement seraient partiellement compensés par l'augmentation des précipitations. Certaines recherches estiment qu'à long terme, la variabilité des précipitations importe plus que celle de la température sur la production agricole (Lobell et Burke 2008). Ce constat rappelle que les situations extrêmes liées aux faibles ou fortes précipitations peuvent affecter à la fois la production à travers la baisse des rendements et les pertes de superficie cultivables. De ce fait, les agriculteurs ajustent l'allocation de leur superficie en fonction du début et de l'ampleur de la pluviométrie (Sacks et al. 2010). Il est donc important de contrôler à la fois la précipitation moyenne et l'indice de précipitation standardisé (Haile, et al., 2017).

Dans la littérature économique, il est évident selon la loi de l'offre qu'il existe une relation positive entre les prix et la fonction d'offre. En effet, des prix plus élevés, sur le plan conceptuel peuvent aussi mener à l'expansion des superficies consacrées à la culture de terres moins fertiles réduisant ainsi les rendements (Weersink, et al., 2010, Haile et al. 2016). D'autre part, la volatilité des prix des cultures agit comme un frein à la production car elle introduit un risque de prix de production (Haile, et al., 2017). Les agriculteurs doivent prendre leurs décisions optimales en matière de production agricole en fonction des prix de production, qui ne sont pas connus au moment où les décisions de production et d'utilisation des intrants sont prises (Haile, et al., 2017). L'approche d'estimation des fonctions de réponse des cultures a également évolué au fil du temps, passant d'une équation unique à un système d'équations d'approvisionnement en superficie (Bewley et al 1987, Coyle 1993, Barten et Vanloot 1996). Par conséquent, selon Weersink, et al. (2010), les superficies cultivées seront influencées par le changement climatique prévu, et ce, même en l'absence de fluctuation du prix des cultures.

2.2 Débats empiriques sur la fonction de production et les rendements agricoles

Les débats empiriques sur la fonction de production se sont aussi orientés essentiellement autour de deux problématiques majeures notamment celle du risque de production (Moschini et Hennessy, 2001) et celle de la frontière de la production (Murillo-Zamorano, 2004 ; Fried et al., 2008). Selon Saastamoinen, (2013), le risque de production en agriculture peut être considéré comme la volatilité du rendement associé à des facteurs de production en mettant l'accent sur les caractéristiques distributives des rendements des cultures et en examinant les moments de distribution des rendements. Dans des travaux antérieurs, Day (1965) a proposé que la distribution des rendements agricoles soit positivement biaisée au lieu d'être symétriquement normale. Ce n'est que dans des conditions climatiques idéales que des rendements extraordinaires peuvent être obtenus. Selon Saastamoinen (2013), la distribution asymétrique est un signe de risque. Il a également examiné comment différents niveaux d'utilisation d'engrais (azote) influeraient l'asymétrie du rendement d'une

culture. Ceci contraste avec Fuller (1965) et Anderson, (1973) qui, en se basant sur la variance plutôt que sur l'asymétrie comme mesure du risque, ont constaté que la variabilité des rendements augmentait avec l'utilisation de l'engrais.

Du point de vue de l'économie de la production, le travail de Just et Pope (1978, 1979), davantage axé sur la fonction de production, est généralement considéré comme le point de départ de la littérature sur les risques de production dans sa forme actuelle. Le travail de Just et Pope (1978, 1979), souvent considéré comme l'un des modèles caractéristiques du risque de production (Saastamoinen, 2013), est basé autour de la critique des réponses stochastiques traditionnelles telles que la fonction de production de Cobb-Douglas, car elles imposent des contraintes strictes sur la façon dont les inputs affectent la variance de production observée, c'est-à-dire le risque de production. Just et Pope (1979) présentent également une procédure d'estimation du maximum de vraisemblance (ML) cohérente et asymptotiquement efficace pour estimer les paramètres. Ces auteurs ont présenté ensuite un estimateur des moindres carrés généralisés (FGLS) réalisable en trois étapes pour obtenir les estimations paramétriques de la fonction du risque. Selon Saastamoinen (2013), ce dernier estimateur a ensuite été l'outil le plus utilisé dans les travaux empiriques comme ceux de Saha et al. (1997). Les deux approches d'estimation s'inspirent beaucoup de l'estimation traditionnelle des modèles de régression hétéroscédastiques tels que Harvey (1976) et Amemiya (1977), car le modèle est en fait un modèle avec des erreurs hétéroscédastiques. Plusieurs travaux empiriques, comme ceux de Asche et Tveterås (1999) et de Kumbhakar et Tveterås (2003), ont utilisé l'approche de Just et Pope en estimant la fonction de production et la fonction de risque avec les moindres carrés ordinaires (MCO) en deux étapes distinctes et en exploitant le fait que l'incertitude de production peut être traitée comme une hétéroscédasticité. L'approche d'Asche et Tveterås (1999) évite d'utiliser les moindres carrés non linéaires nécessaires mais ils perdent une partie de leur efficacité d'estimation (Saastamoinen, 2013).

3. Méthodologie

3.1 Modèle théorique

Pour comprendre d'une façon générale l'impact du climat sur l'économie, Dellet al. (2014) proposent la forme générale de la relation entre le rendement et le climat de la façon suivante :

$$y_t = f(X_t, C_t)$$

Cette équation relie les vecteurs de variables climatiques (C_t) et d'autres variables (X_t), aux rendements céréaliers (y_t) et la variable (X_t) inclut toutes les caractéristiques qui sont en corrélation avec C_t et affecte également les résultats d'intérêt, éventuellement en conditionnant la réponse climatique. La variable C_t , peut inclure la température, les précipitations, etc. En ce qui concerne cette recherche, nous utilisons une fonction de production stochastique suggérée par Just et Pope (1978, 1979). Cette fonction a été utilisée dans certains travaux antérieurs (McCarl et al. 2008 ; Arnade et Kelch, 2007 ; Weersink et al., 2010). La forme de la fonction de rendement est représentée dans l'équation (2).

$$y_t = f((X_t, Z_t), \beta) + \mu_t = f((X_t, Z_t), \beta) + h^{\frac{1}{2}}((X_t, Z_t), \theta) \varepsilon_t \quad (2)$$

Où y_t est le rendement des cultures; X_t et Z_t sont des variables explicatives; $f((X_t, Z_t), \beta)$ est la fonction moyenne reliant (X_t, Z_t) au rendement moyen avec β le vecteur associé des paramètres estimés; μ_t est un terme de perturbation hétéroscédastique avec une moyenne de zéro. De plus, $h((X_t, Z_t), \theta)$ est une fonction qui rend compte de l'hétéroscédasticité, en estimant la variabilité du rendement en fonction des facteurs explicatifs avec θ comme vecteur correspondant des paramètres estimés. Sous l'hypothèse que le terme d'erreur ε est distribué avec la moyenne nulle et la variance unitaire, $h^2(\cdot)$ donne la variance de rendement en fonction de (X_t, Z_t) . Pour l'estimation, l'article utilise une approche des moindres carrés généralisés (FGLS) réalisable en trois étapes, comme suggéré par Just et Pope (1978, 1979, Saha et al. 1997 ; Arnade et Kelch, 2007) avec les erreurs standard de Huber-White.

3.2 Le modèle empirique

La première étape de la détermination des effets du temps sur la distribution des rendements consiste à régresser les variables par rapport à la composante de rendement moyen de la fonction de production stochastique. L'équation de rendement estimée pour chaque culture est la suivante :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{co2} + \beta_2 \text{prag} + \beta_3 T + \beta_4 P + \beta_5 T^2 + \beta_6 P^2 + \beta_7 (T * P) + \beta_8 Tcv + \beta_9 Pcv + \beta_{10} \text{temps} + e \quad (3)$$

avec $i = 1, \dots, 4$ si $i \in]y_1 (\text{ble}), y_2 (\text{maïs}), y_3 (\text{mil}) \text{ et } y_4 (\text{Riz})]$

La deuxième étape consiste à estimer la composante de variance de la fonction de production stochastique. L'équation peut être réécrite comme $\ln \sigma_i^2 = Z_i' \alpha$. Les σ_i^2 ne sont pas connus, mais les résidus des MCO de l'équation (3), e^* , peuvent être utilisés pour estimer les effets marginaux des variables explicatives sur la variance du rendement. Par conséquent

$$\ln e^{*2} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{co2} + \alpha_2 \text{prag} + \alpha_3 T + \alpha_4 P + \alpha_5 T^2 + \alpha_6 P^2 + \alpha_7 (T * P) + \alpha_8 Tcv + \alpha_9 Pcv + \alpha_{10} \text{temps} + \mu \quad (4)$$

où $\mu = \ln \left(\frac{e^2}{\sigma^2} \right)$. Au stade final, l'équation de rendement moyen est réestimée par les moindres carrés pondérés par la variance en utilisant les logarithmes des valeurs prédites de l'équation (4) comme poids pour générer des estimateurs généraux des moindres carrés dans l'équation (3).

3.3. Les données d'analyse

Cette recherche utilise des séries chronologiques sur la période de 1966 à 2015 soit 50 années d'observation (cf. tableau 1). Les données relatives aux superficies et aux rendements des cultures ont été obtenues de la base FAOSTAT (2018). Les données sur les précipitations et les températures ont été recueillies auprès du Climate Change Knowledge Portal (CCKP). Les données de CO₂ ont été recueillies de la base de la Banque Mondiale (WDI, 2017).

Tableau 1. Statistiques descriptives des variables

Variable	Description	Obs	Mean	Std, Dev,	Min	Max
<i>co2</i>	quantité de CO2 en (kilotonnes)	50	571,56	305,60	161,35	1411,80
<i>T</i>	température moyenne en (°C)	50	28,61	0,50	27,43	29,75
<i>Tcv</i>	variation de température en (°C)	50	0,04	0,01	0,02	0,06
<i>P</i>	variation de pluviométrie en (mm/m ³)	50	306,37	38,29	226,65	398,10
<i>Pcv</i>	pluviométrie moyenne en (mm/m ³)	50	0,53	0,09	0,35	0,75
<i>rag</i>	revenu initial agricole (en \$ US)	48	44,65	11,14	33,02	69,06
<i>S₁</i>	superficie cultivée de blé (en ha)	50	0,27	0,24	0,07	1,03
<i>S₂</i>	superficie cultivée de maïs (en ha)	50	24,47	21,83	4,09	92,49
<i>S₃</i>	superficie cultivée de mil (en ha)	50	108,16	45,44	52,5	230
<i>S₄</i>	superficie cultivée de riz (en ha)	50	30,28	16,44	11,17	76,21
<i>Y₁</i>	rendement blé(en tonnes/ha)	50	1,95	0,89	0,68	4,44
<i>Y₂</i>	rendement maïs (en tonnes/ha)	50	1,43	0,58	0,68	3,33
<i>Y₃</i>	rendement mil (en tonnes/ha)	50	0,76	0,15	0,51	1,09
<i>Y₄</i>	rendement riz) (en tonnes/ha)	50	1,72	0,79	0,66	3,45
<i>temps</i>	trend	50	1990.5	14.57738	1966	2015
<i>prag</i>	productivité main d'œuvre agricole	50	10.86272	1.631091	7.788158	14.71947

Source : Construction de l'auteur

4. Résultats et discussions

Les modèles sont été estimés sous forme de systèmes d'équations à l'aide de la méthode des seemingly unrelated regression (SUR). L'ajustement global des modèles résultants est très bon, avec des valeurs R^2 ajustées de 97,2% pour le blé, 92,9% pour le maïs, 97,8% pour le mil et 97,4% pour le riz. Les statistiques des Chi2 pour l'ensembles des quatre équations (blé, maïs, mil et riz) sont toutes globalement significatives. Les paramètres estimés des équations de rendement espérés (cf. Tableau 2) pour le maïs, le blé, le mil et le riz impliquent que les variables climatiques et de la productivité du travail agricole sont en mesure d'expliquer conjointement les valeurs de rendement attendues. L'analyse des effets liés aux variables climatiques montre que les quantités de CO2 et la pluviométrie moyenne agissent positivement sur les cultures céréalières de blé, de mil et du riz. Toutefois, la pluviométrie a un effet seuil sur ces cultures en ce sens que la quantité de pluie peut être bénéfique pour les céréales jusqu'au un certain seuil de tolérance à partir duquel l'effet s'estompe et devient négatif. Le résultat a également été trouvé par Segerson et Dixon (1999) et concorde avec les évaluations des agronomes selon lesquelles c'est le moment des précipitations qui est plus important pour le rendement du maïs plutôt que la quantité totale. Cette recherche montre que l'augmentation de l'écart de la variable climatique comme la pluviométrie par rapport à la moyenne correspondante est inversement liée au rendement moyen pour le mil entraînant ainsi un effet négatif significatif sur les rendements du mil et ce faisant pour toute variation d'un mm/m3 le rendement du mil chutes d'environ 7,7 tonnes /ha.

Tableau 2 : Effets des conditions météorologiques sur la distribution du rendement des cultures

Rendement	BLE (y_1)	MAIS (y_2)	MIL (y_3)	RIZ (y_4)
<i>co2</i>	0.002*** (0.000)	-0.001 (0.000)	0.0003* (0.000)	0.001*** (0.000)
<i>prag</i>	0.004 (0.052)	0.079* (0.048)	0.094*** (0.020)	-0.054 (0.032)
<i>T</i>	-0.722 (1.504)	-3.308* (1.860)	2.097*** (0.661)	-5.237*** (0.976)
<i>T²</i>	0.020 (0.029)	0.044 (0.043)	-0.036*** (0.014)	0.097*** (0.023)
<i>P</i>	0.063* (0.040)	-0.051 (0.072)	0.0004 (0.025)	0.095*** (0.040)
<i>P²</i>	-6.30e-05*** (1.68e-05)	-6.56e-05*** (2.33e-05)	0.094 (0.225)	-0.107 (0.340)
<i>(T * P)</i>	-0.0007 (0.001)	0.003 (0.003)	-1.96e-05* (1.11e-05)	-8.51e-05*** (1.37e-05)
<i>Tcv</i>	1.669 (8.165)	-2.628 (12.31)	0.0006 (0.001)	-0.001 (0.001)
<i>Pcv</i>	0.906 (0.827)	-0.842 (1.131)	-7.702** (3.015)	7.464 (4.644)

<i>temps</i>	-0.001 (0.011)	0.026** (0.011)	-0.017*** (0.005)	0.031*** (0.005)
<i>Constant</i>	0.112 (0.546)	-0.134 (1.502)	2.258* (1.348)	1.465*** (0.729)
<i>chi2</i>	1725.77***	760.69 ***	2732.58 ***	1961.77***
<i>R – squared</i>	0.972	0.929	0.978	0.974

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Source : Construction de l'auteur à partir des résultats de l'estimation économétrique

Par ailleurs, l'on remarque que la température moyenne a un effet positif significatif uniquement les rendements espérés du mil, mais pour les autres cultures (blé, maïs et riz) les effets sont plutôt négatifs quoique significatifs pour le maïs et le riz. Dans les pays tropicaux, les radiations excessives et les températures élevées sont un autre facteur majeur, limitant de la croissance et du développement des plantes (Fahad, et al., 2017). Des températures élevées peuvent provoquer des brûlures des rameaux et des feuilles ainsi que des symptômes visuels de coups de soleil, de sénescence, d'inhibition de la croissance et de décoloration des fruits et des feuilles (Ismail et Hall, 1999 ; Vollenweider et Gunthardt-Goerg, 2005). Les effets négatifs des températures élevées sur les cultures céréalières varient selon le moment, la durée et l'intensité du stress thermique (Fahad et al., 2016). Aussi, il est important de souligner que l'interaction entre température et pluviométrie au Mali, a un effet négatif significatif sur le mil et riz.

La tendance temporelle du modèle qui est statistiquement significative pour trois cultures céréalières (maïs, mil et riz) mais avec des effets négatifs sur les rendements espérés du mil et du riz. Néanmoins, son effet reste positif pour les rendements du maïs du fait qu'il est cultivé en association d'une culture de rente comme le coton qui bénéficie de subvention et d'encadrement technique.

Les résultats des estimations liées à la fonction de réponse de l'allocation des superficies sont énumérés dans tableau 3. Le modèle a été estimé à l'aide d'une régression SUR. L'ajustement global des modèles résultants est très bon, avec des valeurs R^2 de 94,7% pour le blé, 94,4% pour le maïs, 92,8% pour le mil et enfin 95,4% pour le riz. Les statistiques des Chi2 pour l'ensembles des quatre équations de céréales sont toutes globalement significatives parce que l'hypothèse nulle selon laquelle les résidus des quatre équations de céréales sont indépendants a été rejetée à l'aide du test de Breusch-Pagan [$\text{Chi}2(6) = 15.649$, $\text{Pr} = 0.0158$]. Les éléments diagonaux indiquent l'effet d'une augmentation des rendements escomptés d'une culture sur la superficieensemencée pour cette culture. Tous les signes de ces coefficients sont positifs (à l'exception du riz), ce

qui confirme l'hypothèse d'une réaction positive des prix. Les profits espérés sont statistiquement significatifs que pour le blé tandis qu'ils ne le sont pas pour les céréales (maïs, mil et riz) dans chaque équation de répartition des cultures. En effet, les profits espérés sont positifs pour le blé, le maïs et le mil tandis qu'ils sont négatifs pour le riz. Les termes croisés sont également cohérents avec les attentes a priori. Le blé, le maïs et le riz sont considérés comme des substituts du mil, tandis que le riz, le maïs et le blé sont des compléments.

Au Mali, le blé est généralement cultivé dans la zone sahélienne principalement dans la zone lacustre et la Région de Dire. Il est une culture de céréales d'origine tempérée qui supporte mal les températures élevées et sa vitesse de croissance augmente jusqu'à la température optimale comprise entre 24,4 °C et 32,2 °C au-delà de laquelle il n'y a plus de croissance.

La variance et les covariances des profits sont non significatives pour le blé, mil et le riz, à l'exception de l'équation du maïs dans laquelle elles sont significatives à moins de 1%. L'augmentation de la variance des profits espérés par rapport aux rendements nets a un effet négatif sur les superficies ensemencées pour les céréales comme le blé, le maïs et le mil. L'importance relative de la variance des rendements des cultures sur la réponse de la superficie du maïs sont significatives à moins de 1% compatible avec le degré plus élevé de variabilité des rendements nets. La superficie ensemencée retardée n'est cependant pas statistiquement significative pour toutes les cultures avec des coefficients négatifs pour le maïs et le riz. La valeur relativement élevée du coefficient de superficie retardée pour le maïs suggère que la décision de d'allocation des superficies s'ajuste rapidement pour tenir compte des changements dans les profits espérés.

Tableau3. Paramètres estimés de la répartition des superficies cultivées

Superficies	BLE (S_1)	MAIS (S_1)	MIL (S_1)	RIZ (S_1)
<i>rag</i>	-8.195 (21.29)	1,384 -1,898	3,798 -4,676	389.5 -1,442
<i>pr</i>	0.002*** (0.0006)	0.194*** (0.047)	0.0901 (0.112)	0.171*** (0.033)
Profits espérés				
Blé (y_1)	7.024*** (1.348)	353.6*** (122.6)	67.27 (294.9)	109.5 (86.26)
Mais (y_1)	0.922 (2.572)	5.784 (228.3)	-1,931*** (637.5)	339.4** (159.6)
Mil (y_1)	-11.60** (4.925)	-569.7 (435.4)	1,011 (1,16)	-431.8 (298.9)
Riz (y_1)	1.617 (1.816)	357.3** (143.2)	1,280*** (352.0)	-77.73 (103.4)
Variances des profits espérés				
Blé (y_1)	-0.0041 (0.017)	1.822 (1.576)	2.682 (3.671)	0.995 (1.035)
Mais (y_1)	-0.234** (0.100)	-25.65*** (8.867)	-37.84* (22.47)	3.121 (6.310)
Mil (y_1)	-0.434 (0.303)	-22.40 (26.53)	-0.125 (65.56)	-15.60 (18.19)
Riz (y_1)	0.0267 (0.0408)	13.80*** (3.679)	35.80*** (8.886)	3.780 (2.573)
Covariances des profits espérés				
Blé (y_1)-Mais (y_2)	0.00164 (0.042)	4.420 (3.386)	8.082 (8.573)	-0.554 (2.378)
Blé (y_1)-Mil (y_3)	-0.174** (0.079)	-6.960 (6.529)	-24.73 (15.61)	-0.319 (4.582)
Blé (y_1)-Riz (y_4)	0.0971* (0.0547)	-8.850* (4.846)	-1.960 (12.19)	-4.488 (3.363)
Mais (y_2)-Mil (y_3)	0.842*** (0.295)	77.57*** (26.22)	177.4*** (64.28)	5.735 (18.14)
Mais (y_2)-Riz (y_4)	0.0722 (0.0737)	1.437 (6.521)	-16.63 (16.39)	-7.972* (4.526)

Superficies	BLE (S_1)	MAIS (S_1)	MIL (S_1)	RIZ (S_1)
Mi (y_3)l-Riz (y_4)	-0.433** (0.213)	-38.45** (18.88)	-151.9*** (46.42)	16.28 (13.10)
<i>temps</i>	-226.9*** (73.43)	-15,248** (6,249)	8,240 (16,240)	-11,627*** (4,309)
$S_{i(t-1)}$	0.0475 (0.182)	-0.257 (0.165)	0.108 (0.122)	-0.0350 (0.155)
Constant	439,553*** -143,128	2.904e+07** (1.221e+07)	-1.644e+07 (3.172e+07)	2.218e+07*** (8.437e+06)
chi2	811.09***	769.02 ***	582.62***	940.40***
R-squared	0.947	0.944	0.928	0.954

Standard errors in parentheses *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Source: Construction de l'auteur à partir des résultats de l'estimation économétrique

Toutefois, l'utilisation de la main d'œuvre agricole rurale a des effets positifs et très significatifs (à l'exception du mil) sur l'allocation des superficies pour l'ensemble des cultures. Les changements dans les superficies des cultures (blé, maïs, mil et riz) en réponse aux rendements impliquent que la main d'œuvre agricole rurale a des effets dans la distribution des revenus agricoles. Les résultats empiriques présentés dans le tableau 3 montrent également des effets de richesse initiale positifs pour les céréales à l'exception du blé. Dans le cas d'un seul produit, Sandmo(1971) a montré qu'un effet de richesse positif dans la réponse de l'offre implique une diminution de l'aversion absolue pour le risque. Dans la mesure où les résultats de Samdmo (1971) sont valables dans le cas des produits multiples, notre analyse indique que les agriculteurs maliens sont de moins en moins frileux à l'égard du risque absolu. Bien qu'il soit bien accepté que les producteurs agricoles puissent présenter une aversion absolue pour le risque, cela semble être une recherche empirique des effets de richesse positifs (mais non significatifs) dans un modèle d'offre agricole agrégée au Mali. Par ailleurs, l'analyse de l'effet de la variable de tendance, une mesure du changement technologique, est négative et significative pour les superficies de l'ensemble des cultures à l'exception du mil.

Tableau 4 Effets des variables climatiques sur la répartition des superficies cultivées

Superficiés	BLE (S_1)	MAIS (S_1)	MIL (S_1)	RIZ (S_1)
T	-8.248* (5.005)	8.413* (5.021)	-1.132 (2.971)	4.710* (2.610)
P	0.809 (0.767)	2.009*** (0.769)	0.166 (0.455)	1.513*** (0.400)
Tcv	-0.695* (0.394)	-0.727* (0.395)	-0.238 (0.234)	-0.983*** (0.206)
Pcv	-0.485 (0.424)	0.412 (0.425)	0.177 (0.252)	0.199 (0.221)
Constante	24.98 (19.61)	-32.71* (19.67)	14.72 (11.64)	-16.52 (10.22)
$Chi2$	342.39***	506.21 ***	308.21 ***	631.57***
$R - squared$	0.895	0.927	0.885	0.940

Standard errors in parentheses*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Source : Construction de l'auteur à partir des résultats de l'estimation économétrique

Les résultats du tableau 4 mettent en exergue l'effet des variables climatiques sur la distribution des superficies cultivées pour l'ensemble des quatre céréales (blé, maïs, mil et riz). En effet, les distributions de la superficie sont positivement sensibles à la température moyenne avec un effet significatif sur le maïs et le riz tandis qu'elle est négativement significative pour le blé. L'allocation des superficies cultivées pour le maïs et le riz est fortement sensible à la pluviométrie moyenne annuelle. Quant à la pluviométrie, son effet est plutôt positif sur l'ensemble des cultures (blé, maïs, mil et riz) avec un effet surtout significatif sur le maïs et le riz. Toutefois, les variables climatiques telle que le coefficient de variation de la température ont des effets négatifs et significatifs sur les superficies cultivées du blé), du maïs et du riz.

5. Conclusion

Cette recherche est une tentative de donner une réponse à la question fondamentale de recherche suivante : comment le changement climatique affecte-t-il les superficies cultivées et les rendements céréaliers au Mali ? Les résultats révèlent que les facteurs climatiques comme les quantités de CO₂ et la pluviométrie agissent positivement sur les cultures avec un effet seuil pour la pluviométrie. De même, l'augmentation des variations pluviométrique est inversement liée au rendement du mil avec un effet négatif significatif. Ainsi, la température moyenne a un effet positif significatif uniquement les rendements espérés du mil, mais la variation des températures est plutôt négative pour les rendements céréaliers et significatives pour le maïs et le mil.

Par ailleurs l'allocation des superficies sont sensibles à la température moyenne avec un effet significatif sur le maïs et le riz et négativement significatif pour le blé. La distribution des superficies cultivées pour le maïs et le riz est fortement sensible par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle avec un effet positif sur l'ensemble des céréales, mais plutôt significatif sur le maïs et le riz. Toutefois, les variations de la température ont des effets négatifs et significatifs sur les superficies cultivées du blé, du maïs et du riz. Enfin des recherches futures peuvent utiliser l'approche de la frontière de production afin d'isoler les effets potentiels du changement climatique sur l'allocation des superficies.

6. Références

- Adesina, A. & Brorsen, B., 1986. A risk responsive acreage response function formillet in Niger.. *Agricultural Economics*, p. 229–238.
- Amemiya, T., 1977. A note on a heteroscedastic mode. *Journal of Econometrics*, 6(3), pp. 365-370.
- Arnade, C. & Kelch, D., 2007. Estimation of Area Elasticities from a Standard Profit Function. *American Journal of Agricultural Economics*, 89(3), p. 727–737.
- Asche, F. & Tveterås, R., 1999. Modeling Production Risk with a Two-Step Procedure. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 24(2), pp. 424-439.
- Attavanich, W. & McCarl, B. A., 2014. How is CO2 affecting yields and technological progress? A statistical analysis. *Climatic Change*, 124(4), p. 747–762.
- Barten, A. P. & Vanloot, C., 1996. Price dynamics in agriculture: An exercise in historical econometrics. *Economic Modelling*, 13(3), pp. 315-331.
- Bewley, R., Young, T. & Colman, D., 1987. A system approach to modeling supply equations in agriculture. *Journal of agricultural economics*, 38(3), pp. 151-166.
- CCSP, 2008. *The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States.*, Washington, DC, USA: A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Department of Agriculture.
- Chavas, J.-P. & Holt, M. T., 1990. Acreage Decisions Under Risk: The Case of Corn and Soybeans. *American Journal of Agricultural Economics*, 72(3), p. 529–538.
- Chavas, J. P. & Holt, M. T., 1996. Economic behaviour under uncertainty A joint analysis of Risk Preferences and Technology. *Review of Economics and Statistics*, 78(2), pp. 329-335.

Coyle, B. T., 1993. On Modeling Systems of Crop Acreage Demands. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 18(1), pp. 57-69.

CPS-SDR, 2016. *Résultats définitifs de la campagne agro pastorale Situation alimentaire et nutritionnelle 2015/2016*, Bamako-Mali: CPS/SDR.

Day, R. H., 1965. Probability Distributions of Field Crop Yields. *American Journal of Agricultural Economics*, 47(3), p. 713–741.

Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A., 2014. What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature†. *Journal of Economic Literature*, 52(3), p. 740–798.

Douillet, M. & Girard, P., 2013. *Productivité agricole : des motifs d'inquiétude ? (I) Les concepts*, Paris: FARM, Note n° 7 .

Dury, S., Éric, V. & Jacques, I., 2017. Production agricole et sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, p. 4.

Fahad, S. et al., 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in Plant Science*, Volume 8.

Fahad, S. et al., 2016. Exogenously Applied Plant Growth Regulators Affect Heat-Stressed Rice Pollens. *Journal of Agronomy and Crop Science*, p. 139–150.

Falco, D., S, M. Y., Kohlin, G. & Ringler, C., 2012. Estimating the impact of climate change on agriculture in low-income countries: Household level evidence from the Nile Basin, Ethiopia. *Environmental and Resource Economics*, Volume 52, p. 457–478.

FAO, 1996. *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*, s.l.: World Food Summit.

Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. & Velhuizen, H. v., 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: An integrated assessment, 1990–2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Volume 360(1463), p. 067–2083.

Fried, H. O., Lovel, C. A. K. & Schmidt, S. S., 2008. *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. New York: : Oxford University Press Inc..

Fuller, W. A., 1965. Stochastic fertilizer production-functions for continuous corn. *American Journal of Agricultural Economics*, 47(1), p. 105–119.

Green, D., 2008. *From Poverty to Power: How Active Citizens and Effective States can Change the World*, UK: Oxford, UK, Oxfam.

Haile, M. G., Kalkuhl, M. & von Braun, J., 2014. Inter- and intra-seasonal crop acreage response to international food prices and implications of volatility. *Agricultural Economics*, 45(6), p. 693–710.

Haile, M. G., Wossen, T., Tesfaye, K. & von Braun, J., 2017. Impact of Climate Change, Weather Extremes, and Price Risk on Global Food Supply. *Economics of Disasters and Climate Change*, Volume 1, p. 55–75.

Harvey, A., 1976. Estimating Regression Models with Multiplicative Heteroscedasticity. *Econometrica*, 44(3), p. 461–465.

Holt, T., 1999. A classification of ambient climatic conditions during extreme surge events off Western Europe. *International journal of climatology*, Volume 19, pp. 725-744.

Huang, H. & Khanna, M., 2010. An Econometric Analysis of U.S. Crop Yield and Cropland Acreage: Implications for the Impact of Climate Change. *Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association 2010 AAEA, CAES, & WAEA Joint Annual Meeting, Denver, Colorado, July 25-27, 2010*, p. 34.

INSTAT, 2015. *Comptes économiques du Mali de 1999 à 2013*, Bamako-Mali: INSTAT.

Ismail, A. M. & Hall, A. E., 1999. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. *Crop Science*, 39(6), pp. 1762-1768.

J., A., 1974. Sparse data, climatic variability, and yield uncertainty in response analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 55(1), p. 77–82.

Jones, A. D. & Yosef, S., 2015. *The Fight Against Hunger & Malnutrition: The implications of a changing climate on global nutrition security*, Oxford: Oxford University press.

Just, R. E. & Pope, R. D., 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics*, 7(1), p. 67–86.

Just, R. E. & Pope, R. D., 1979. Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(2), p. 276–284.

Just, R. E. & Pope, R. D., 2001. Chapter 12 The agricultural producer: Theory and statistical measurement. *Handbook of Agricultural Economics*, 1(Part A), pp. 629-741.

Kumbhakar, S. C. & Tveterås, R., 2003. Risk Preferences, Production Risk and Firm Heterogeneity. *The Scandinavian Journal of Economics*, 105(2), pp. 275-293.

Lampe, M., v. et al., 2014. Why do global long-term scenarios for agriculture differ? An overview of the AgMIP Global Economic Model Intercomparison. *Agricultural Economics*, Volume 45, pp. 3-20.

Lin, W. & Dismukes, R., 2007. Supply Response under Risk: Implications for Counter-Cyclical Payments' Production Impact. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 29(1), p. 64–86.

Lobell, D. B. & Burke, M. B., 2008. Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environmental Research Letters*, Volume 3 034007, pp. 1-8.

Mazoyer, M. & Roudart, L., 2009. *Des agricultures manuelles à la motorisation lourde : des écarts de productivité considérables.* s.l.:Grain de sel n° 48, septembre–décembre 2009.

McCarl, B. A., Villavicencio, X. & Wu, X., 2008. Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying?. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(5), p. 1241–1247.

Mendelsohn, R., Dinar, A. & Williams, L., 2006. The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics*, 11 (2), pp. 159-178.

Miranda, M. J. & Helmerger, P. G., 1988. The Effects of Commodity Price Stabilization Programs. *American Economic Review*, 78(1), pp. 46-58.

mondiale, B., 2008a. *World Development Report 2008*, Washington DC: World Bank.

Moschini, G. & Hennessy, D. A., 2001. Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. *Handbook of Agricultural Economics*, Volume 1, pp. 87-153.

Murillo-Zamorano, L. R., 2004. Economic efficiency and frontier techniques. *Journal of Economic Surveys*, 18(1), p. 33–77.

Osborne, T. M. et al., 2004. Influence of Vegetation on Local Climate and Hydrology in the Tropics: Sensitivity to Soil Parameters. *Climate Dynamics*, Volume 23, p. 45–61.

Parry, L. et al., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, Volume 14, p. 53–67.

Parry, M., Alex, E., Mark, W. R. & Tim, W., 2009. *climate Change and hunger Responding to the challenge*, Rome: s.n.

POINSAN, 2017. *Politique Nationale de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle au Mali*, Bamako-Mali: Commissariat à la Sécurité Alimentaire.

Roberts, M. J. & Schlenker, W., 2009. World Supply and Demand of Food Commodity Calories. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(5), p. 1235–1242.

Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P. & Berg, A., 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?. *Global Environmental Change*, 21(3), p. 1073–1083.

Saastamoinen, A., 2013. Heteroscedasticity or Production risk? a synthetic view. *Journal of Economic Surveys*, pp. 1-20.

Sacks, W. J., Deryng, D., Foley, J. A. & Ramankutty, N., 2010. Crop planting dates: an analysis of global patterns. *Global Ecology and Biogeography*, Volume 19, p. 607–620.

Saha, A., Havenner, A. & Talpaz, H., 1997. Stochastic production function estimation: small sample properties of ML versus FGLS. *Applied Economics* , pp. 459-469.

Saha, A., Havenner, A. & Talpaz, H., 1997. Stochastic production function estimation: small sample properties of ML versus FGLS. *Applied Economics*, 29(4), pp. 459-469.

Sandmo, A., 1971. On the Theory of the Competitive Firm Under Price Uncertainty. *American Economic Review*, 61(1), pp. 65-73.

Schlenker, W. & Roberts, M. J., 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *PNAS*, & septembre, 106(37), p. 15594–15598.

Shaw, L. H., 1964. The Effect of Weather on Agricultural Output: A Look at Methodology. *American Journal of Agricultural Economics*, 46(1), p. 218–230.

Sissoko, F., Coulibaly, D., Ousmane, C. & Patrick, D., 2015. Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali. *Cirad-Agritrop*, pp. 149-160.

Sissoko, K., Savadogo, K., Vaksmann, M. & iTemtoré, A., 2018. Cereal crops choices and economic resilience face to climate variability in southern Mali. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 7(1), pp. 1-12.

Tack, J., Barkley, A. & LNalley, a. L., 2015. Effect of warming temperatures on US wheat yields. *PNAS*, pp. 1-6.

Thornton, P. & Cramer, L., 2012. Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within the CGIAR's mandate. *CGIAR Research Program on Climate Change Agriculture and Food Security (CCAFS) Working Paper No. 23*, p. 201.

Tol, R., 2002. Estimates of the damage costs of climate change. Part 1: Benchmark estimates. *Environmental and Resource Economics*, Volume 21, p. 47–73.

Traore, S. B. et al., 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 11(4), pp. 227-237.

Vollenweider, P. & Gunthardt-Goerg, M. S., 2005. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution*, 137(3), p. 455e465.

von Massow, M. & Weersink Alfons, 1993. Acreage Response to Government Stabilization Programs in Ontario. *Canadian journal of agricultural economics*, 41(1), pp. 13-26.

Weersink, A., Cabas, J. H. & Olale, E., 2010. Acreage response to weather, yield, and price. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 58(1), p. 57–72.

WFP, 2009. *Climate Change and Hunger: Responding to the Challenge*, Via C.G. Viola, 68-70, Rome 00148, Italy: World Food Programme.

Wheeler, T. & von Braun, J., 2013. Climate Change Impacts on food on Global Food Security. *Science*, pp. 509-513.