

LES FACTEURS DETERMINANTS DE LA PRODUCTION DE CEREALES SECHES EN ZONE SUDANO-SAHELIENNE DU BURKINA FASO

[THE DRIVING FACTORS OF DRY CEREALS PRODUCTION IN THE SUDANO-SAHELIAN ZONE OF BURKINA FASO]

Narcise Pamalba KABORE¹, Amadé OUEDRAOGO², Léopold SOME¹, and Jeanne MILLOGO-RASOLODIMBY²

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA),
Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé (CREAF),
01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

²Université de Ouagadougou,
Unité de Formation et de Recherches en Sciences de la Vie et de la Terre (UFR/SVT),
Département de Biologie et Physiologie Végétales,
Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales,
09 BP 848 Ouagadougou 09, Burkina Faso

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The food cereals production increased strongly in the North-Central region of Burkina Faso between 1984 and 2013. However, the driving factors of this trend are not well known. This work aims to identify and analyze the main environmental and human factors that favor the cereals production increase. The hypothesis of this study states that the rainfall, the extent of cultivated areas and the yields influence strongly the cereals production. The methodological approach consisted to collect and analyze data of monthly rainfall from eleven stations and agricultural statistics of sorghum, millet and maize from the region. Statistical analysis consisted in trends assessment, ruptures detection and simple correlations performing between factors. The results showed that the annual cultivated area of sorghum and maize increased ; whereas the annual area of millet declined. The annual productions of sorghum, millet and maize increased. The annual yields of three cereals increased. The rainfall (63,4%), yields (83%) and cultivated areas (77,5%) were the strong driving factors of the annual production increase of sorghum. However, the annual production increase of millet were favored by rainfall (69,3%) and yields (77,2%). Similarly, rainfall (69,5%) and yields (82,5%) have strongly influenced the annual production increase of maize. These results encourage promoting and developing further sustainable agriculture in the North-central region of Burkina Faso.

KEYWORDS: Factors of production, dry cereals, ruptures, rainfall, yields, Burkina Faso.

RESUME: Dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso, la production des céréales sèches a connu une forte augmentation entre 1984 et 2013. Mais, les facteurs qui ont favorisé cette hausse ne sont pas bien connus et nécessitent une étude. Ce travail a pour but d'identifier et analyser les facteurs environnementaux et humains qui expliquent la hausse de la production de ces céréales. L'étude part de l'hypothèse que la pluviométrie, les superficies cultivées et les rendements influencent fortement la production céréalière. L'approche méthodologique a consisté à utiliser les données pluviométriques mensuelles de onze stations de la région et les statistiques agricoles des cultures du sorgho, du mil et du maïs. Le traitement des données a concerné l'analyse des tendances, la détection de ruptures et de corrélations simples entre les facteurs. Les résultats montrent que les superficies annuelles du sorgho et du maïs ont évolué à la hausse pendant que celle du mil a baissé. Les productions annuelles du sorgho, du mil et du maïs ont augmenté. Les rendements annuels des trois céréales

sèches ont progressé. La pluviométrie (63,4%), les rendements (83%) et la superficie (77,5%) expliquent fortement la hausse de la production annuelle du sorgho. En revanche, l'augmentation de la production annuelle du mil a été favorisée par la pluviométrie (69,3%) et les rendements (77,2%). De même, la pluviométrie (69,5%) et les rendements (82,5%) ont fortement influencé la hausse de la production annuelle du maïs. Ces résultats encouragent à promouvoir et développer d'avantage une agriculture durable dans la région du Centre-Nord.

MOTS-CLEFS: Facteurs de production, céréales sèches, ruptures, pluviométrie, rendements, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

L'agriculture demeure la principale activité qui soutient l'économie des pays de la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Au Burkina Faso, l'agriculture de type pluvial, est quasi exclusivement extensive et se pratique sur de petites exploitations familiales de trois à six hectares [1]. Les cultures du sorgho, du mil et du maïs dominant l'agriculture vivrière dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso [2]. Ces trois céréales sèches constituent la base de l'alimentation des populations, surtout en milieu rural [3]. Les contraintes majeures limitant la production du mil et du sorgho au Burkina Faso sont les irrégularités pluviométriques, la pauvreté naturelle des sols, la faible utilisation des intrants, la faible productivité des cultivars traditionnels et l'action néfaste des prédateurs [4]. Par ailleurs, le coût élevé des intrants agricoles, la faible disponibilité de la fumure organique que le maïs exige [2], les déficits hydriques imputables à des séquences sèches dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso [5] constituent quelques contraintes majeures de la production du maïs pluvial dans la région.

Malgré ces contraintes diverses, la production totale des trois céréales sèches a enregistré une forte progression durant les trois dernières décennies, passant de 89064 tonnes en 1984 à 243778 tonnes en 2013, soit une hausse remarquable de 174%. L'augmentation de la production agricole est souvent expliquée par l'extension des surfaces cultivées que par la pluviométrie ou les rendements. En effet, en Afrique de l'Ouest, il est avancé que l'augmentation de la production céréalière résulte surtout de l'extension des surfaces cultivées ([6] ; [7] ; [8] ; [3] ; [9]). Cette thèse se focalise plus sur les surfaces cultivées que les rendements qui ont pourtant progressé durant ces dernières décennies. En effet, les rendements des principales céréales (sorgho, mil, maïs et riz) d'Afrique de l'Ouest ont augmenté entre 1961 et 2009 [9]. Cette progression se chiffre à 51% entre 1980 et 2006 [8]. Au Burkina Faso, les rendements des principales cultures (sorgho, mil, maïs, riz, arachide) ont enregistré une augmentation entre 1961 et 1998 ([10] ; [11]). De nombreuses études évoquent une augmentation de la pluviométrie au Sahel depuis les années 1990 ([12] ; [13] ; [14] ; [15] ; [16] ; [17]). Cette augmentation de la pluviométrie et les progressions de rendements enregistrées ont du contribuer à faire croître la production agricole en Afrique de l'Ouest. La production des céréales sèches a fortement progressé durant les dix dernières années dans les pays du Sahel [3]. Dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso, les facteurs ayant favorisé cette dynamique de la production céréalière méritent d'être identifiés et étudiés. Cette région tend vers une saturation de son espace agricole du fait de la forte pression exercée sur les terres cultivables [2]. Dans le contexte de l'amenuisement des ressources naturelles et de l'explosion démographique, une telle expansion des surfaces agricoles a des conséquences évidentes sur l'environnement et ne garantit pas une agriculture durable. Le but de ce travail est de déterminer les facteurs explicatifs clés de l'augmentation de la production des différentes céréales sèches dans le Centre-Nord du Burkina Faso. Il s'agit d'évaluer les niveaux d'influence de l'évolution de la pluviométrie, des superficies cultivées et des rendements sur les productions du sorgho, du mil et du maïs dans cette région durant la période de 1984 à 2013. Le choix de ces trois facteurs tient compte de l'hypothèse qu'ils influencent fortement le niveau de la production céréalière. Cette étude permettra également de vérifier dans le contexte culturel de la région du Centre-Nord du Burkina Faso, l'assertion selon laquelle : « L'augmentation de la production des céréales sèches est due essentiellement à l'extension des surfaces cultivées ».

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région du Centre-Nord fait partie du Plateau Central du Burkina Faso. Elle couvre une superficie totale de 19508 km². Située entre les parallèles 12°40' et 14°00' N et les méridiens 0°15' et 2°5' W, elle regroupe trois provinces que sont le Bam, le Namentenga et le Sanmatenga (Fig. 1). Cette région est à cheval entre la zone soudano-sahélienne et la zone sahélienne du Burkina Faso. La zone soudano-sahélienne est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 600 et 900 mm. Dans la zone sahélienne, la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 600 mm. Le relief général est une plaine avec par endroit des collines à pente forte et des affleurements de cuirasse notamment très présents à Kongoussi (Bam). Le

Centre-Nord présente des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes qui sont souvent nus (*zipella*) [18]. Selon la référence [19], la densité moyenne de la population en 2006 est de 61,67 habitants au km², ce qui est supérieure à la moyenne nationale qui est de 51,8 habitants au km². Le rythme moyen de croissance de cette population est de 3,09% par an similaire à la moyenne nationale qui est de 3,1%. La population active est de 44,6%, composée en majorité de jeunes. Les ménages agricoles représentent 94,7% de la population totale. Ils sont constitués en moyenne de neuf personnes par famille [2]. Dans le système d'agriculture extensive, la taille du ménage contribue à la satisfaction des besoins en main d'œuvre [1]. Le Centre-Nord était autrefois une zone cotonnière. En effet, le secteur cotonnier de Kongoussi figurait parmi les plus performants de la Compagnie Française de Développement des Textiles (CFDT) [20]. Selon la référence [21], les techniques de Conservation des Eaux et des Sols/Défense et Restauration des Sols (CES/DRS) sont très répandues dans cette région (26,5% contre 17,5% pour la moyenne nationale). La référence [21] mentionne également une bonne pratique de l'agroforesterie (55,8% contre 62,3% au niveau national) et une forte utilisation du phosphate (20,8%) par les exploitants agricoles sur leurs parcelles. En 2006, le degré d'adoption des techniques de CES était de 35% dans le Bam et 36% dans le Sanmatenga [22]. Les pratiques de CES/DRS les plus courantes dans cette région sont le zaï, les demi-lunes, les fosses fumières, les cordons pierreux, les cordons d'*Andropogon gayanus* ou d'*Euphorbia balsamifera*, le paillage, etc. [23]. La végétation naturelle se caractérise par la dominance de la steppe et de la savane arbustive. Les principales espèces rencontrées sont *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Bombax costatum*, *Khaya senegalensis*, *Faidherbia albida*, *Diospyros mespiliformis*, *Sclerocarya birrea*, *Lannea microcarpa*, *Balanites aegyptiaca*, *Piliostigma reticulatum* ([24] ; [23]). La référence [25] évoque une extension des sols nus et une réduction des formations naturelles qui se dégradent.

2.2 COLLECTE DE DONNÉES

Les données pluviométriques ont été collectées auprès de la Direction Générale de la Météorologie et proviennent de onze postes pluviométriques de la région du Centre-Nord (Fig. 1). Elles concernent les valeurs mensuelles de la période de 1984 à 2013. Les données agricoles concernent uniquement l'agriculture pluviale et proviennent de la Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles (DGESS). Elles couvrent également la même période. Il s'agit des superficies emblavées annuellement, la production et les rendements du sorgho, du mil et du maïs par province. Ces données sont collectées annuellement par la DGESS dans le cadre des enquêtes permanentes agricoles (EPA). L'approche utilisée pour l'acquisition des données est la suivante : 1°) L'estimation des superficies selon la méthode des sondages par la mesure objective des parcelles des ménages échantillons effectivement emblavées à la date du 15 septembre de chaque année. 2°) Les rendements sont évalués par pesées des carrés de rendements à l'issue des récoltes effectives. Ce sont des rendements moyens simples obtenus sur des carrés de 25 m² de superficie posés de façon aléatoire dans les parcelles de culture 3°) La production en culture pure, en culture principale et secondaire de chaque spéculiation est obtenue en multipliant les superficies par les rendements moyens de chaque type d'association. La production totale d'une spéculiation est obtenue en additionnant les trois types de production. Nous avons calculé un rendement moyen pondéré pour l'ensemble des trois provinces en utilisant la formule suivante :

Rendement moyen pondéré (kg/ha) = $(Rp_1 \times Sp_1) + (Rp_2 \times Sp_2) + (Rp_3 \times Sp_3) / (Sp_1 + Sp_2 + Sp_3)$; Avec Rp_1 : Rendement de la province 1, Rp_2 : Rendement de la province 2 et Rp_3 le Rendement de la province 3 ; Sp_1 la Superficie de la province 1 ; Sp_2 la Superficie de la province 2 et Sp_3 la Superficie de la province 3.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans cette étude, la superficie, le rendement et la pluviométrie sont considérées comme des variables explicatives du niveau de la production de chaque céréale sèche. La superficie est une variable spatiale qui influence la production. Le rendement est une variable qui entre dans l'estimation de la production. La pluviométrie est une variable exogène qui influence aussi la production et qui peut expliquer les deux autres variables. Le cumul pluviométrique moyen de la période de juin à septembre a été utilisé car il donne des résultats plus significatifs par rapport au cumul annuel. Nous avons d'abord fait une analyse graphique de la pluviométrie, des superficies, des productions et des rendements des trois céréales afin d'identifier les tendances. Ensuite, nous avons soumis toutes ces variables à des tests statistiques portant sur la recherche de tendance et de ruptures en moyenne. Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées [26]. Ces différents tests se présentent comme suit :

Le test de corrélation sur le rang ([27] ; [28]), non paramétrique, teste l'homogénéité d'une série temporelle avec pour hypothèse alternative celle d'une tendance. Le test de la référence [29], également non paramétrique, examine l'existence d'une rupture à un instant inconnu de la série à partir d'une formulation dérivée de celle du test de Mann-Whitney [30]. Ce

test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne dans la série et propose une estimation de la date de rupture. Les résultats de ce test sont basés sur trois seuils de significativité selon l'échelle utilisée par [31]. Ainsi, une rupture est très significative si la probabilité associée est $< 1\%$; significative si elle est comprise dans l'intervalle $[1-5\%[$; peu significative si elle est comprise dans l'intervalle $[5-20\%[$. Au-delà de cette limite, la série est dite homogène. La méthode de la référence [32] est une approche paramétrique qui requiert une distribution normale des variables étudiées. Elle s'assimile à une démarche de prise de décision qui, en l'occurrence, consiste à déclarer la série stationnaire ou non par analyse de la densité de probabilité *a posteriori* de la position du point de rupture. Enfin, la procédure de segmentation non paramétrique de séries hydrométéorologiques ([33] ; [34]) est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne dans la série. Son principe est de "découper" la série en plusieurs segments de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s) par application du test de Scheffé [27] qui repose sur le concept de contraste [30]. Ces tests sont intégrés dans le logiciel Khronostat réalisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Université de Montpellier [35]. Le choix des dates de rupture est basé sur les résultats des tests et les niveaux de significativité et de probabilité. Lorsqu'une rupture est détectée, on calcule alors la valeur de la hausse ou la baisse de la variable correspondant à :

$$\text{Hausse (\%)} = \frac{(\text{moyenne après rupture} - \text{moyenne avant rupture})}{\text{moyenne avant rupture}} \times 100.$$

Enfin, nous avons fait des tests de corrélations simples pour voir l'influence respective de l'évolution de la pluviométrie, des surfaces cultivées et des rendements sur l'augmentation de la production de chaque céréale sèche. Le logiciel XLSTAT, version 2014 a servi à faire cette analyse. Des droites de tendance avec des équations et des coefficients de détermination (R^2) figurent sur les graphiques construits avec le logiciel EXCEL.

3 RESULTATS

3.1 EVOLUTION DU CUMUL PLUVIOMETRIQUE SAISONNIER

Le cumul pluviométrique saisonnier a évolué autour d'une moyenne de 535 mm entre 1984 et 2013, avec un écart-type de 92 mm. On note des périodes de hausse et de baisse remarquables de la pluviométrie par rapport à la moyenne interannuelle (535 mm) (Fig. 2). Les années 1988, 1994, 2003 et 2010 sont fortement pluvieuses avec des pluies annuelles qui sont respectivement de 676 mm, 732 mm, 719 mm et 682 mm. En revanche, les années 1984, 1990 et 1997 sont fortement sèches avec des cumuls pluviométriques annuels respectifs de 380 mm, 422 mm et 407 mm. La figure 2 montre une faible tendance à la hausse de la pluviométrie saisonnière. L'application du test de corrélation sur le rang confirme cette tendance à la hausse de la pluviométrie saisonnière au seuil de confiance de 95% (Tableau 1).

3.2 EVOLUTION DES SUPERFICIES CULTIVEES DES CEREALES SECHES

Les superficies annuelles emblavées en céréales entre 1984 et 2013 sont en moyenne de 158232, 104040 et 9929 hectares, respectivement pour le sorgho, le mil et le maïs. Le sorgho constitue la principale céréale de base. Le mil est moins cultivé par rapport au sorgho alors que le maïs est considéré comme une céréale de soudure. La figure 3 montre une tendance à la hausse des superficies du sorgho et du maïs et une baisse pour le mil. L'analyse statistique par le test de corrélation sur le rang confirme cette tendance à la hausse de la superficie du sorgho au seuil de confiance de 99% (Tableau 1). Les résultats des tests statistiques indiquent majoritairement la présence d'une rupture en 2002 traduisant une hausse de la superficie du sorgho ; alors que pour le maïs, la rupture est apparue en 2008 (Tableau 2). La méthode de la référence [32] identifie cette dernière date avec une forte densité de probabilité de 0,68. A l'opposé des résultats obtenus avec le sorgho et le maïs, une rupture traduisant une baisse de la superficie du mil est apparue en 2003. Cette date de rupture est peu significative (seuil de probabilité $\alpha=0,08$) selon le résultat du test de la référence [29]. Ces résultats montrent que les superficies annuelles du sorgho et du maïs ont enregistré une extension à des taux respectifs de 29% entre 2002 et 2013 et 65% entre 2008 et 2013. La superficie annuelle du mil a connu une baisse peu significative de 20% entre 2003 et 2013.

3.3 EVOLUTION DE LA PRODUCTION DES CEREALES SECHES

Le sorgho a enregistré une production moyenne de 118050 tonnes, le mil 67582 tonnes et le maïs 7927 tonnes. Le sorgho a enregistré un tonnage plus important par rapport au mil et au maïs. Les productions annuelles des trois céréales sèches affichent une tendance à la hausse (Fig. 4). L'application du test de corrélation sur le rang confirme cette tendance à la hausse des productions du sorgho et du maïs au seuil de confiance de 99% (Tableau 1). Les résultats des tests statistiques indiquent la présence de ruptures en 2002 et 1997 traduisant une hausse respectivement pour les productions du sorgho et du mil (Tableau 2). Selon les résultats du test de la référence [29], le point de rupture à la hausse de la production du sorgho

est très significatif ($\alpha=0,00078$) ; celui du mil est significatif au seuil $\alpha=0,065$. Nous considérons dans cette étude l'année 2002 comme date de rupture à la hausse de la production du maïs. En effet, le résultat du test de la référence [29] montre que cette rupture est significative au seuil de probabilité $\alpha=0,035$. La production annuelle du sorgho a enregistré une hausse très significative de 78% entre 2002 et 2013. Les productions annuelles du maïs et du mil ont connu des augmentations significatives qui sont respectivement de 65% entre 2002 et 2013 et 39% entre 1997 et 2013.

3.4 EVOLUTION DES RENDEMENTS DES CEREALES SECHES

Les rendements moyens des céréales sèches sont de $734 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $660 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ et de $789 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivement pour le sorgho, le mil et le maïs. Les rendements des trois céréales affichent tous une tendance à la hausse entre 1984 et 2013, illustrée par la figure 5 qui présente l'évolution des valeurs au cours du temps. Le test de corrélation sur le rang confirme cette tendance à la hausse des rendements du sorgho et du mil au seuil de confiance de 99%. Pour les rendements du maïs, ce seuil est de 95% (Tableau 1). Des points de ruptures à la hausse des rendements du maïs, du sorgho et du mil sont apparus respectivement en 1987, 1990 et 2002 (Tableau 2). Selon les résultats du test de la référence [29], la date de rupture des rendements du mil est très significative au seuil de probabilité $\alpha=0,0063$. Ces résultats montrent que les rendements annuels du maïs ont connu une augmentation de 131% entre 1987 et 2013. Ceux du sorgho ont progressé de 66% entre 1990 et 2013. Les rendements annuels du mil ont enregistré une progression très significative de 51% entre 2002 et 2013.

3.5 ANALYSE COMPARATIVE DE L'EVOLUTION DES SUPERFICIES ET DES RENDEMENTS DES CEREALES SECHES

Les analyses précédentes ont montré que la superficie annuelle du sorgho a augmenté de 29%, soit à un rythme moyen annuel d'environ 1% durant la période de 1984 à 2013 ; alors que les rendements ont progressé de 66%, soit 2,2% l'an. Par ailleurs, les surfaces annuelles cultivées en mil ont baissé de 20%, soit un taux annuel de 0,67% ; par contre les rendements annuels ont progressé de 51%, au rythme moyen annuel de 1,7%. La superficie annuelle du maïs a augmenté de 65%, au rythme moyen annuel de 2,16% ; ce qui est inférieur aux rendements annuels qui se sont accrus de 131%, soit 4,36% l'an. Les taux moyens de croissance annuelle des rendements des trois céréales sèches dépassent les taux moyens de croissance annuelle des superficies. Ces résultats montrent que la progression des rendements a fortement contribué à la hausse de la production de chaque céréale sèche.

3.6 ANALYSE DES CORRÉLATIONS SIMPLES

Les résultats des tests de régression sont consignés dans les tableaux 3, 4 et 5. Le tableau 3 montre que les variations interannuelles de la superficie du sorgho sont expliquées à 48,5% par les variations annuelles des précipitations. Ce résultat significatif au seuil de 5% montre un lien évident entre la pluviométrie et l'extension ou la réduction de la superficie du sorgho. Les années pluvieuses ou sèches sont déterminées à partir des quantités d'eau précipitées annuellement. Ainsi, pendant les années pluvieuses où les quantités de pluie sont énormes, les superficies emblavées en sorgho sont très importantes. Par contre, durant les années sèches où les cumuls sont faibles, les surfaces cultivées sont réduites. La corrélation entre les rendements et la production du sorgho est forte ($R=0,83$). La production du sorgho est fortement dépendante des rendements. Cela reste une évidence puisque le rendement étant la production par unité de surface. Les variations annuelles de la superficie cultivée expliquent à 77,5% la variance de la production du sorgho. La corrélation entre la pluviométrie et la production du sorgho est égale à 0,63. Ces résultats sont très hautement significatifs au seuil de 5%. Les variations interannuelles des rendements du sorgho sont expliquées à 54% par les variations annuelles de la pluviométrie. Cette corrélation est hautement significative au seuil de 5%. Cette analyse montre que la pluviométrie, les rendements et la superficie cultivée expliquent fortement la production du sorgho.

Les variations annuelles des rendements expliquent à 77,2% la variance de la production annuelle du mil (Tableau 4). La corrélation entre la pluviométrie et la production du mil est forte ($R=0,69$). Ces résultats sont très hautement significatifs au seuil de 5%. On constate une corrélation faible ($R=0,38$) mais significative entre la superficie et la production du mil. La corrélation entre la pluviométrie et les rendements du mil est significative et égale à 0,57. On note cependant une corrélation négative ($R=-0,25$) et non significative entre la superficie et les rendements du mil. Ces deux variables n'évoluent pas dans le même sens. Pendant que les rendements du mil progressent, les surfaces cultivées sont en baisse. Ces résultats montrent que la production du mil est fortement dépendante de la pluviométrie et des rendements.

Le tableau 5 montre une forte corrélation entre les rendements et la production du maïs ($R=0,82$). On constate que la pluviométrie annuelle contrôle à 69,5% la production annuelle du maïs. Les variations interannuelles de la pluviométrie expliquent 73,8% de la variance des rendements annuels du maïs. Ces résultats sont très hautement significatifs au seuil de

5%. La corrélation entre la production et la superficie du maïs ($R=0,56$) donne un résultat hautement significatif. La corrélation entre la pluie et la superficie du maïs ($R=0,21$) et celle des rendements et la superficie ($0,04$) donnent des résultats non significatifs au seuil de 5%. Tout comme le mil, la production du maïs est plus expliquée par la pluviométrie et les rendements.

4 DISCUSSION

Les résultats de la présente étude révèlent que l'augmentation de la production céréalière enregistrée dans le Centre-Nord est principalement liée à l'amélioration de la pluviométrie et l'accroissement des rendements. En effet, la tendance de la pluviométrie saisonnière était à la hausse entre 1984 et 2013. Au Sahel, de nombreuses études évoquent une augmentation de la pluviométrie depuis les années 1990 ([12] ; [13] ; [14] ; [15] ; [16] ; [17]). Celle-ci a significativement affecté les productions des trois céréales sèches dans la région du Centre-Nord. Ainsi, la pluviométrie contrôle les productions annuelles du mil, du maïs et du sorgho à des taux respectifs de 69,3%, 69,5% et 63,4%. Au Burkina Faso, la pluviométrie explique près de 50% des variations du volume total des productions de mil-sorgho [36]. En zone tropicale humide, elle contrôle à 64% la production de café et de cacao [37]. La pluviométrie affecte la production des céréales sèches à travers ses effets directs sur les rendements.

Les rendements des trois céréales sèches ont progressé entre 1984 et 2013. Les rendements du mil ont connu une hausse très significative de 51% entre 2002 et 2013. Au Burkina Faso, les rendements du mil se sont accrus de 87% entre 1961 et 2004 selon les données de la FAO [15]. Ces progressions sont liées en plus de la pluviométrie, à l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes à la sécheresse et les pratiques CES/DRS en cours. Il s'agit entre autres pour le sorgho et le mil des pratiques du zaï et des demi-lunes qui améliorent la collecte des eaux de ruissellement et la fertilité des sols [38]. Dans le Plateau Central, les paysans tendent à adopter des variétés de céréales (sorgho, mil, maïs) à cycle court (50-70 jours) et résistantes à la sécheresse ([39] ; [40] ; [41]). Au Burkina Faso, le cycle des variétés de sorgho utilisées par les paysans serait même passé de 120-150 jours à 70-90 jours durant les 15 dernières années [42].

Par ailleurs, il est à noter que des politiques agricoles ont été mises en place par le gouvernement depuis les années 1990 pour organiser la filière des céréales sèches, la promotion de la petite irrigation et l'amélioration des variétés [3]. C'est ainsi que des variétés de semences améliorées de mil, de sorgho et de maïs ont été introduites dans le Centre-Nord en 2001 [43]. La région a également bénéficié de l'intervention de nombreux projets et programmes de développement rural qui ont contribué à diffuser les variétés de semences améliorées, promouvoir les techniques de CES/DRS, etc. Notre étude montre que la progression des rendements explique l'augmentation du niveau des productions annuelles du maïs, du mil et du sorgho à des taux respectifs de 82,5%, 77,2% et 83%.

Les réponses des rendements à la pluviométrie semblent différer d'une céréale à une autre. Les taux de corrélation sont de 73,8%, 57,4% et 54% respectivement pour le maïs, le mil et le sorgho. Le résultat très significatif avec le maïs traduit le fait que les rendements de cette céréale sont fortement dépendants de la satisfaction de ses besoins en eau. Mais, elle est très sensible au stress hydrique. Le sorgho et le mil sont au contraire des plantes rustiques [3] ; le mil étant encore plus résistant que le sorgho [44]. Au Burkina Faso, la référence [36] ont montré que les variations pluviométriques expliquent 60% de la variance des rendements des mils et sorghos. Dans le Maroc du Centre-Ouest, la référence [45] ont obtenu des taux de corrélation variant entre 51 et 87% pour le blé dur et 61 à 80% pour l'orge en fonction des directions provinciales de l'agriculture. Nos résultats peuvent se justifier par l'utilisation de variétés moins exigeantes en eau par les paysans. En effet, les variétés traditionnelles de mil et de sorgho sont rarement cultivées à cause de leur cycle long et de leur exigence en eau [41]. L'extension des surfaces cultivées explique également le niveau de production des céréales sèches.

La superficie annuelle emblavée en sorgho est en extension, soit 29% entre 2002 et 2013. Plusieurs facteurs peuvent justifier cela parmi lesquels des facteurs climatiques et socio-économiques. En effet, notre étude montre que les variations pluviométriques annuelles expliquent significativement à 48,5% l'extension de la superficie du sorgho. Ainsi, les années pluvieuses comme celles de 1994, 2003 et 2010 ont connu une forte extension des surfaces cultivées en sorgho. Cela peut être lié à la régularité des pluies, notamment en début de saison pluvieuse, qui incite les paysans à labourer et semer de grandes superficies. A l'opposé de cela, les superficies réduites lors des années sèches de 1984, 1985, 1987 et 2000 pourraient se justifier par les irrégularités pluviométriques qui ne permettent pas aux paysans d'étendre leur superficie de sorgho. L'extension de la superficie du sorgho pourrait être aussi liée à la forte régression de la culture du coton dans la zone d'étude. En effet, la superficie emblavée en coton a baissé de 88% entre 1984 et 2010 dans le Centre-Nord. Selon la référence [20], la culture du coton est en régression à Kongoussi depuis les années 1974. De nos jours, les agriculteurs de Bonam (Namentenga) cultivent encore le coton uniquement sur de petites parcelles dans les basses terres [41]. Au fil des ans, il y a eu une substitution des superficies consacrées au coton par celles cultivées en sorgho. Au Sahel, la référence [46] évoque de façon générale un abandon ou un recul des cultures traditionnelles de rente au profit des céréales (mil, sorgho)

suite aux sécheresses. En effet, les sécheresses dramatiques des années 1970 et 80 ont provoqué des famines dans le Bam [41] et le Namentenga ([39] ; [41]). Cette situation calamiteuse aurait incité les paysans à augmenter leurs surfaces cultivées en sorgho afin d'accroître leur production. Au Burkina Faso, le sorgho constitue un aliment de base des ménages [47]. Dans le Plateau Central du pays, la variété traditionnelle de sorgho *guinea* est appréciée par les paysans pour son goût et son adaptation au stress climatique [48]. Selon les résultats de notre étude, la hausse de la superficie emblavée explique à 77,5% l'augmentation de la production du sorgho.

Tout comme le sorgho, la superficie annuelle du maïs pluvial est en progression, soit 65% entre 2008 et 2013. Cette importante hausse peut se justifier par les interventions de la FAO dans la région depuis 2008 notamment à travers son volet distribution d'intrants (semences certifiées de maïs, sorgho, mil, riz, niébé, engrais NPK et Urée) au profit des ménages des communes rurales. A titre d'exemple, selon la FAO, en 2012, au total 79360 kg de semences dont 40000 kg de sorgho et 39360 kg de maïs ont été distribuées au profit de 4000 bénéficiaires des provinces du Sanmatenga et du Namentenga. Par ailleurs, il est à noter que depuis cette même année, l'état burkinabé subventionne les intrants et le matériel agricole octroyés aux paysans dans toutes les régions du pays. Tous ces appuis ont certainement contribué à relancer la culture du maïs dans la région dont la superficie semble avoir stagné entre 1993 et 2007. Il se pourrait aussi que certains paysans réduisent leur superficie de sorgho au profit de celle du maïs du fait des appuis techniques dont ils bénéficient et de la rentabilité économique de cette culture par rapport au sorgho. L'étude montre que l'expansion des surfaces cultivées explique à 56,5% la hausse de la production annuelle du maïs.

Contrairement au sorgho et au maïs, la superficie annuelle du mil est en régression, soit une baisse peu significative de 20% entre 2003 et 2013. Cela peut être lié aux irrégularités pluviométriques, la pauvreté naturelle des sols de la région ([25] ; [38]), aux habitudes alimentaires des ménages ruraux, etc. Les principaux facteurs limitant la production du mil au Mali sont l'irrégularité des pluies et la pauvreté des sols [49]. Cette baisse peut aussi s'expliquer par l'évolution des systèmes de culture céréales-légumineuses. En effet, le niébé est cultivé, le plus souvent en association avec le sorgho et le mil [24]. Mais, de plus en plus, les paysans ont tendance à pratiquer la culture pure du niébé. Ainsi, au cours des cinq dernières années, plus de 33% des ménages ont introduit la culture pure du niébé dans leur exploitation agricole [2]. Selon notre étude, la superficie emblavée justifie à 38,9% la hausse de la production annuelle du mil.

L'ensemble de nos résultats montre que l'amélioration de la pluviométrie et la hausse des rendements expliquent fortement les productions du sorgho, du mil et du maïs. Les surfaces cultivées influencent faiblement le niveau de la production de ces céréales. D'autres auteurs soutiennent que l'augmentation de la production céréalière en Afrique de l'Ouest est plus liée à une extension des surfaces cultivées qu'à un accroissement des rendements ([6] ; [7] ; [8] ; [3] ; [9]). Cette thèse pourrait se justifier dans un contexte global et ne tient pas compte des spécificités de certaines zones. En effet, notre étude qui est limitée au Centre-Nord du Burkina Faso présente un contexte environnemental spécifique caractérisé par un taux de croissance élevé et une forte densité de la population [19], une population essentiellement agricole, active, composée en majorité de jeunes et constituant de ce fait une importante main d'œuvre [2]. Cette force de travail considérable a certainement contribué à l'extension des surfaces cultivées, mais également à innover les pratiques culturales qui ont permis de relever significativement le niveau des rendements et d'accroître la production céréalière.

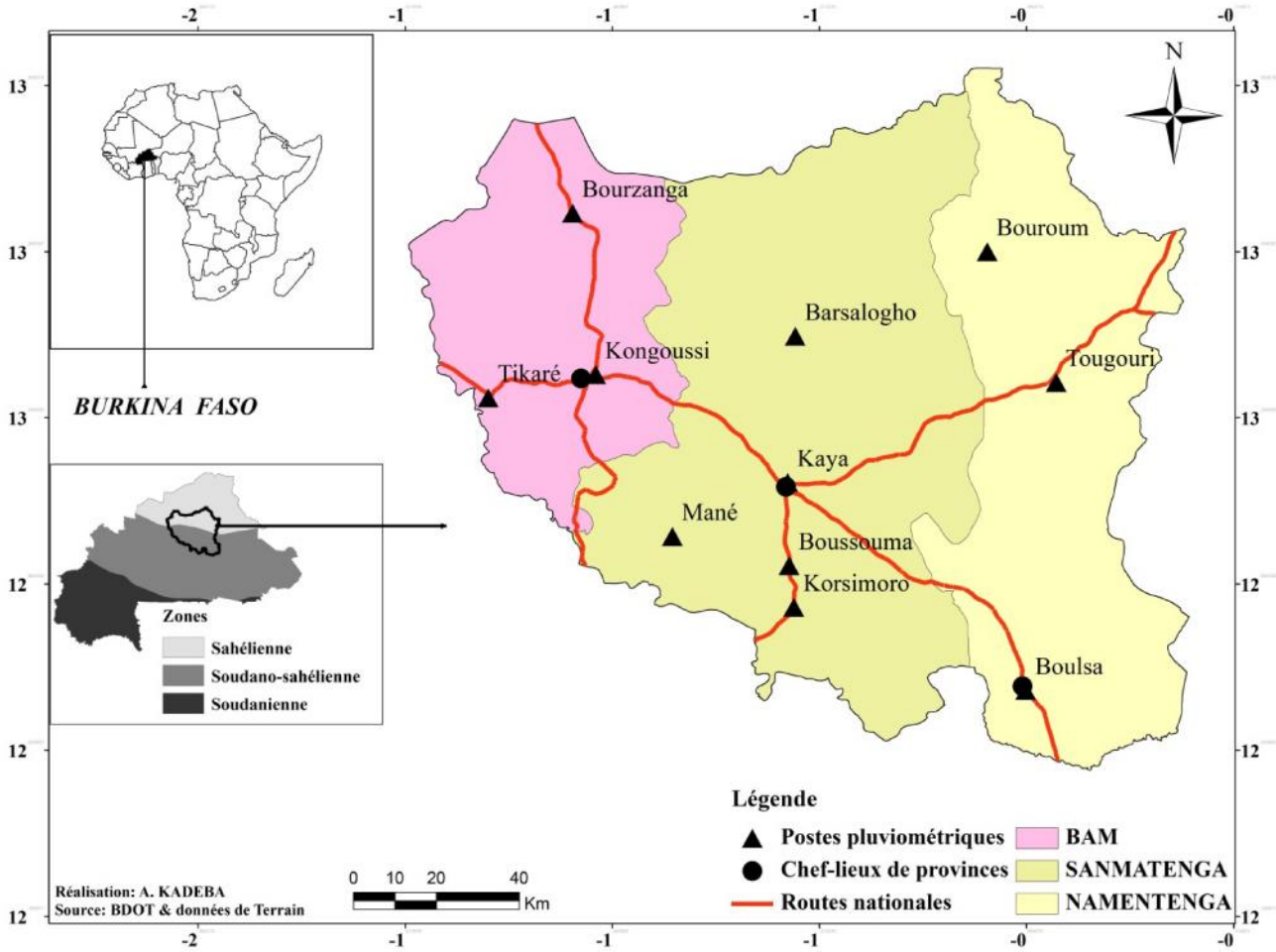


Fig. 1. La zone d'étude, région du Centre-Nord, présentant les postes pluviométriques

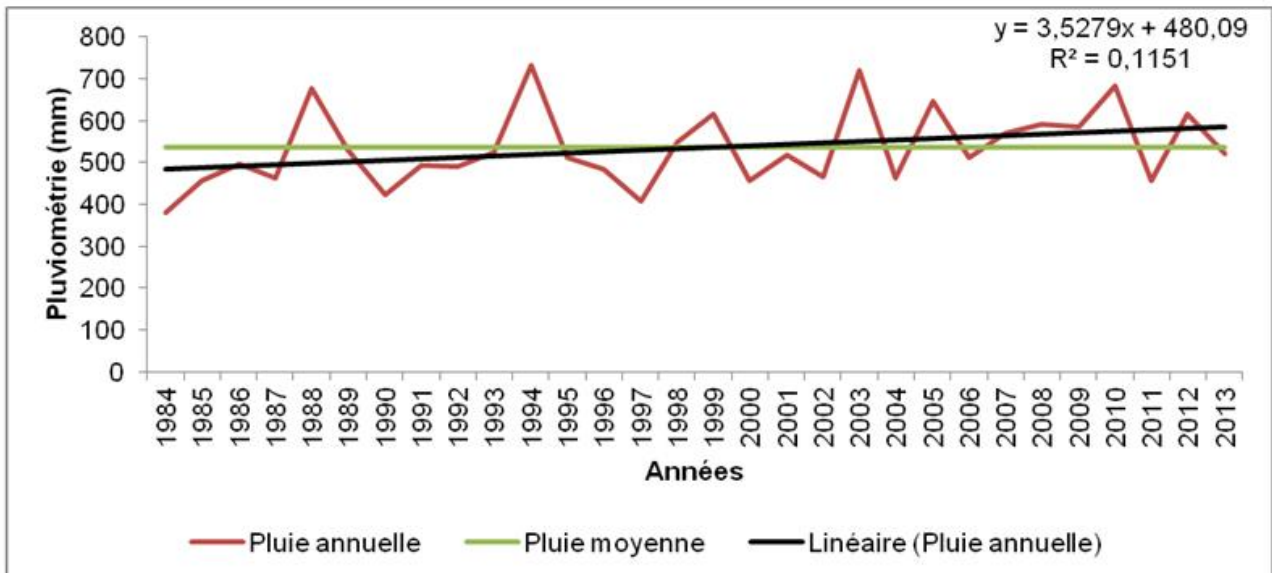
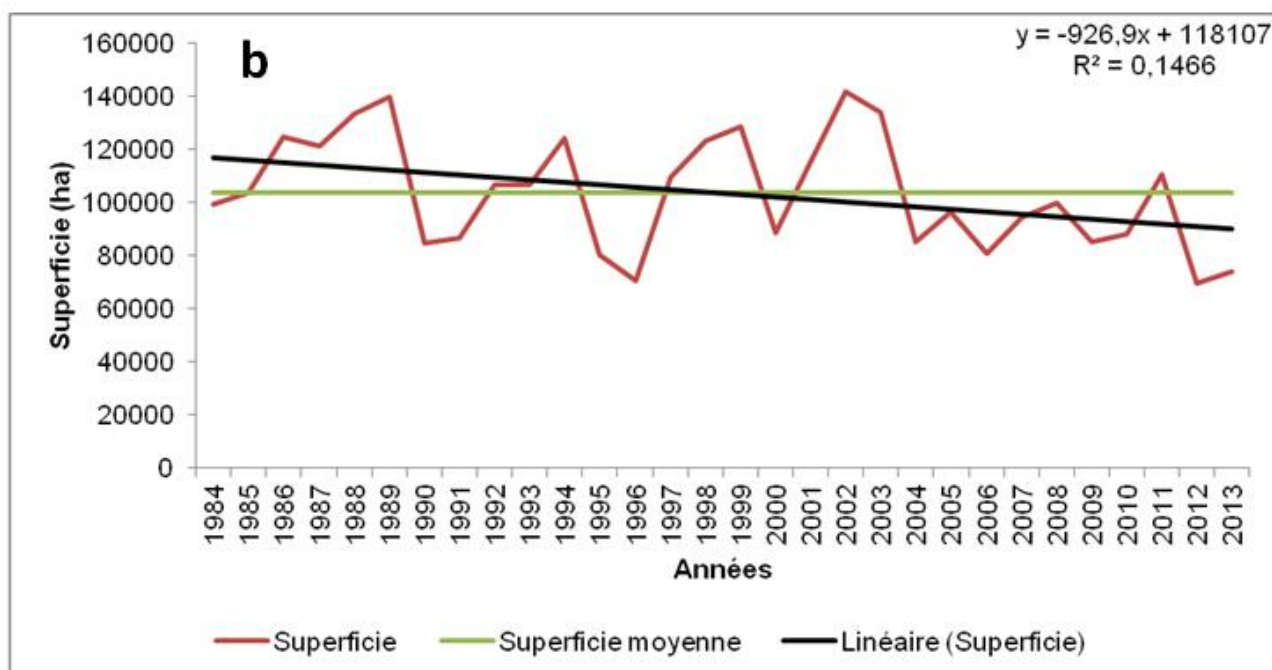
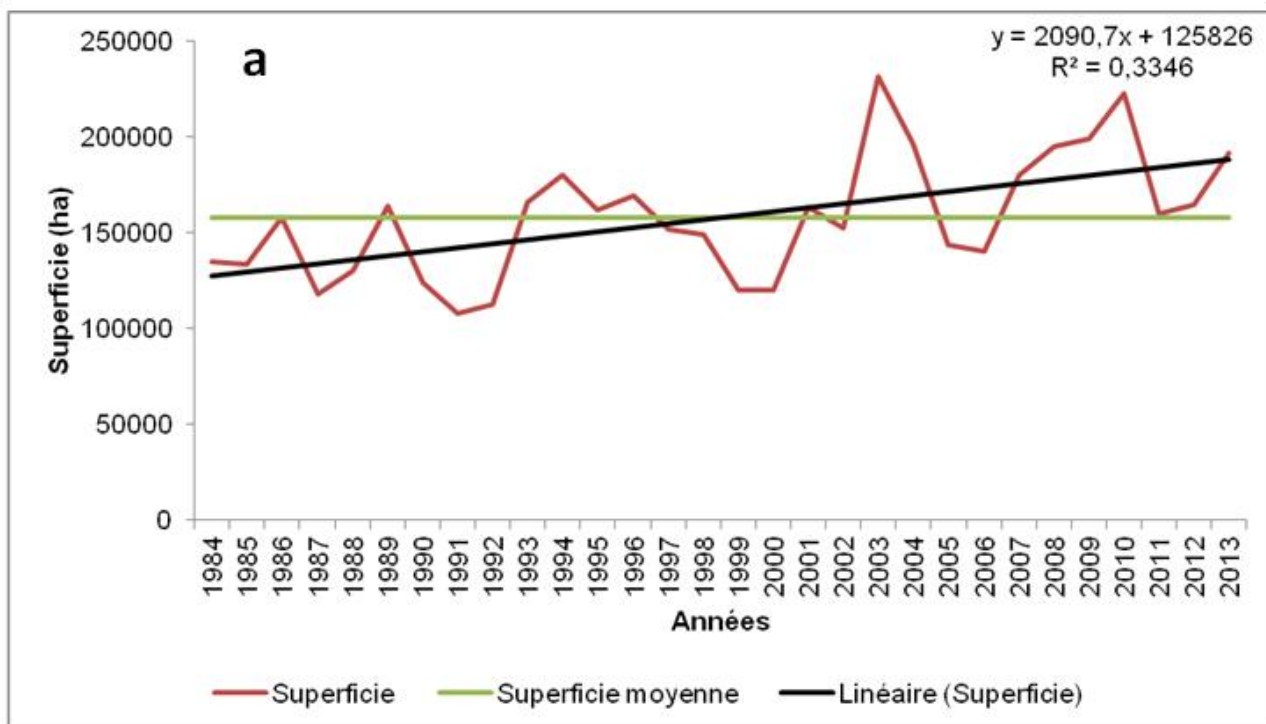


Fig. 2. Tendence évolutive de la pluviométrie annuelle entre 1984 et 2013 dans la région du Centre-Nord



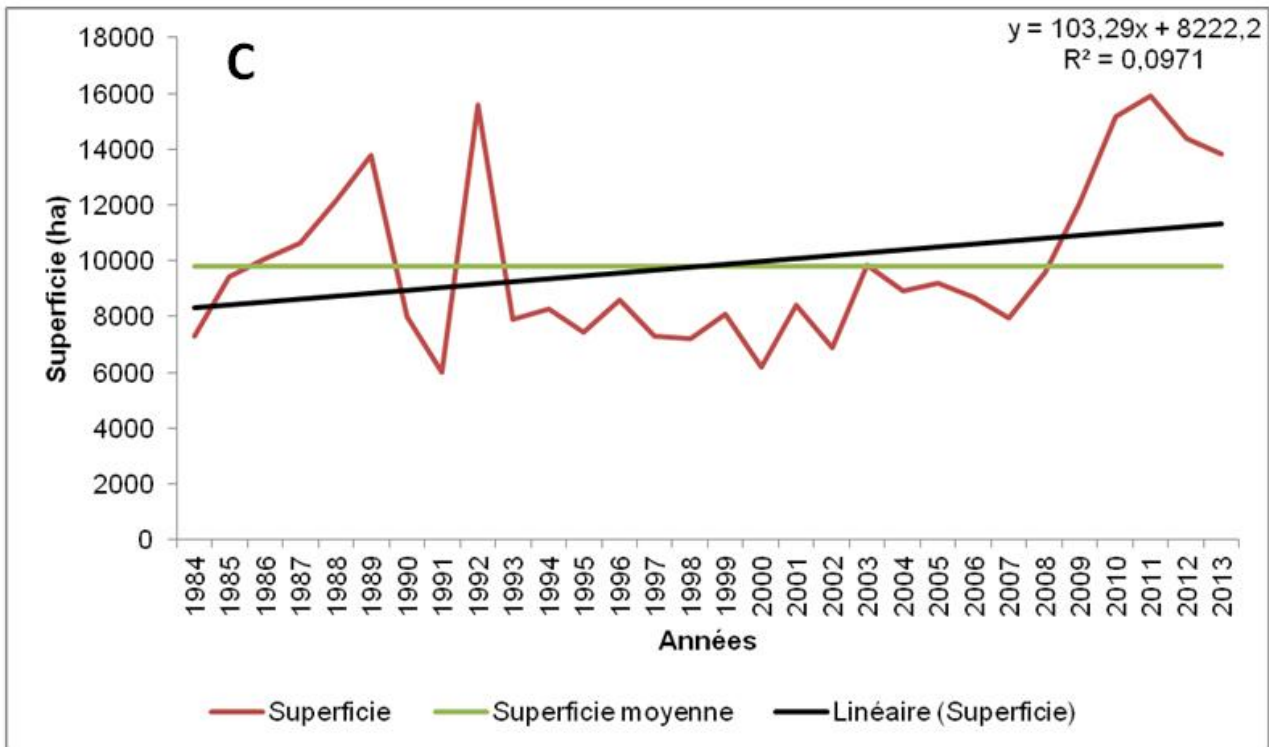
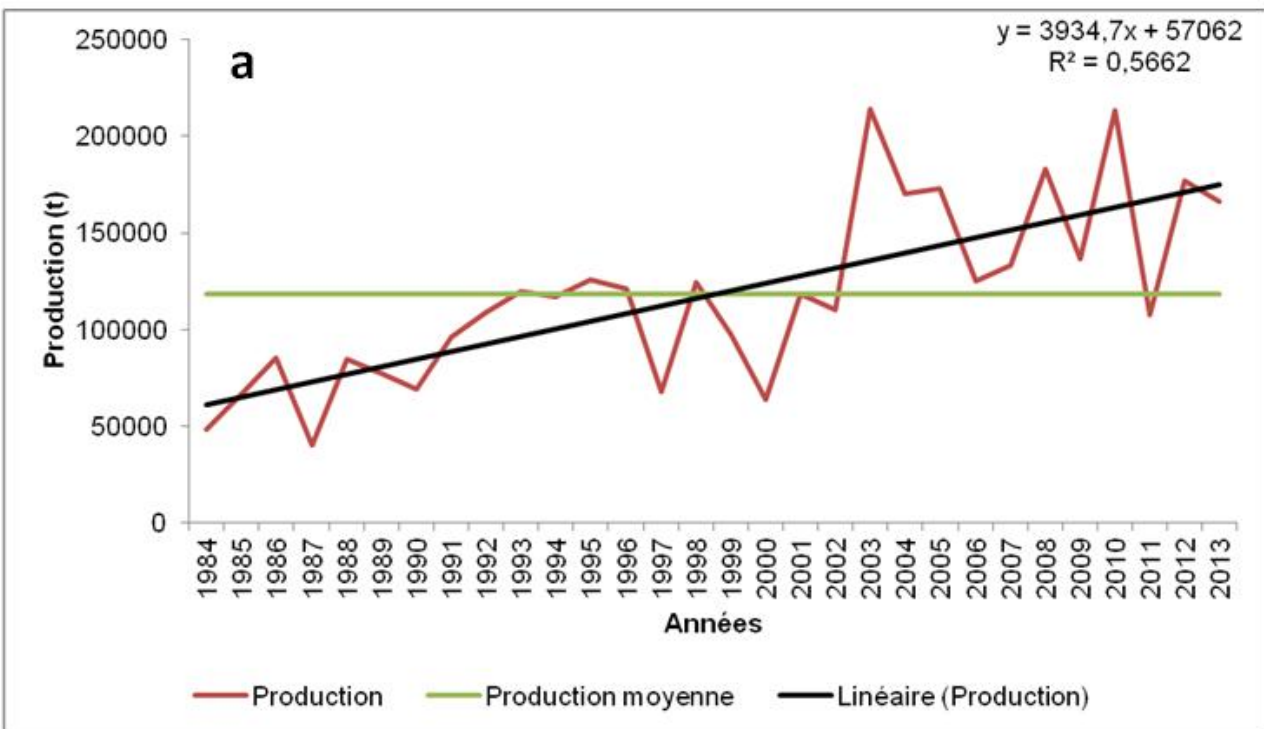


Fig. 3. *Tendance évolutive des superficies du sorgho (a), du mil (b) et du maïs (c) entre 1984 et 2013 dans la région du Centre-Nord*



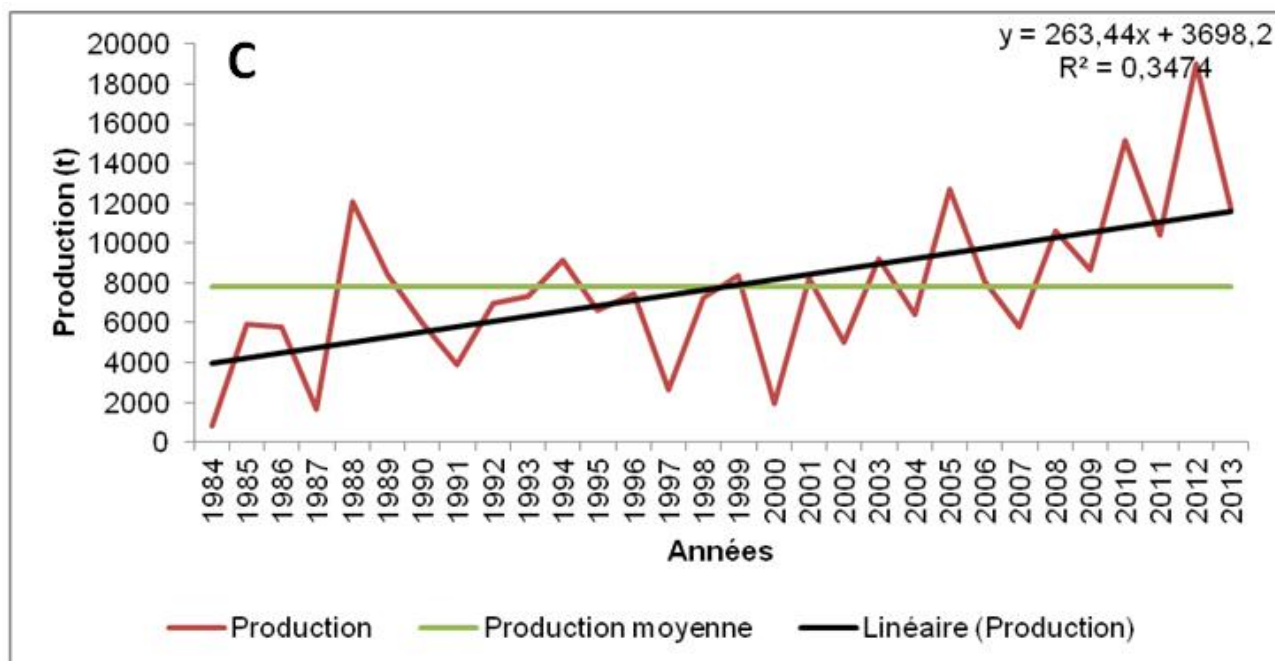
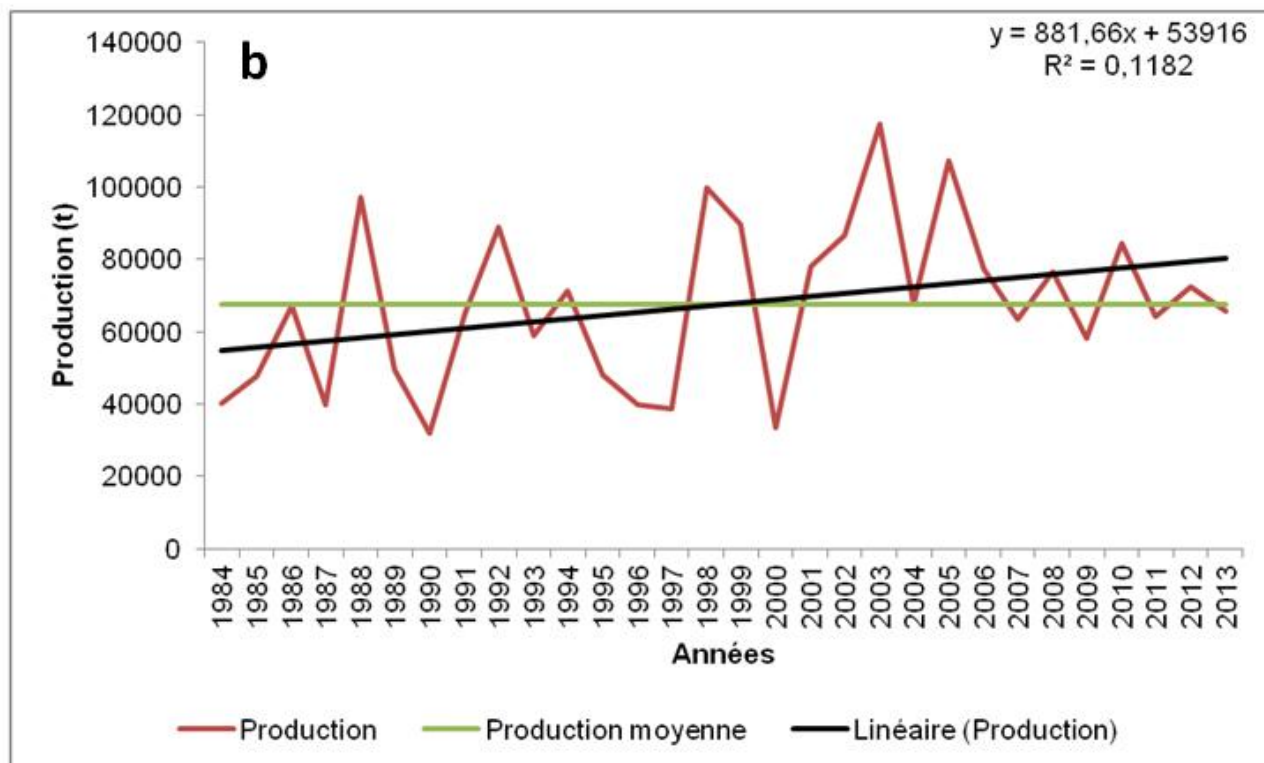
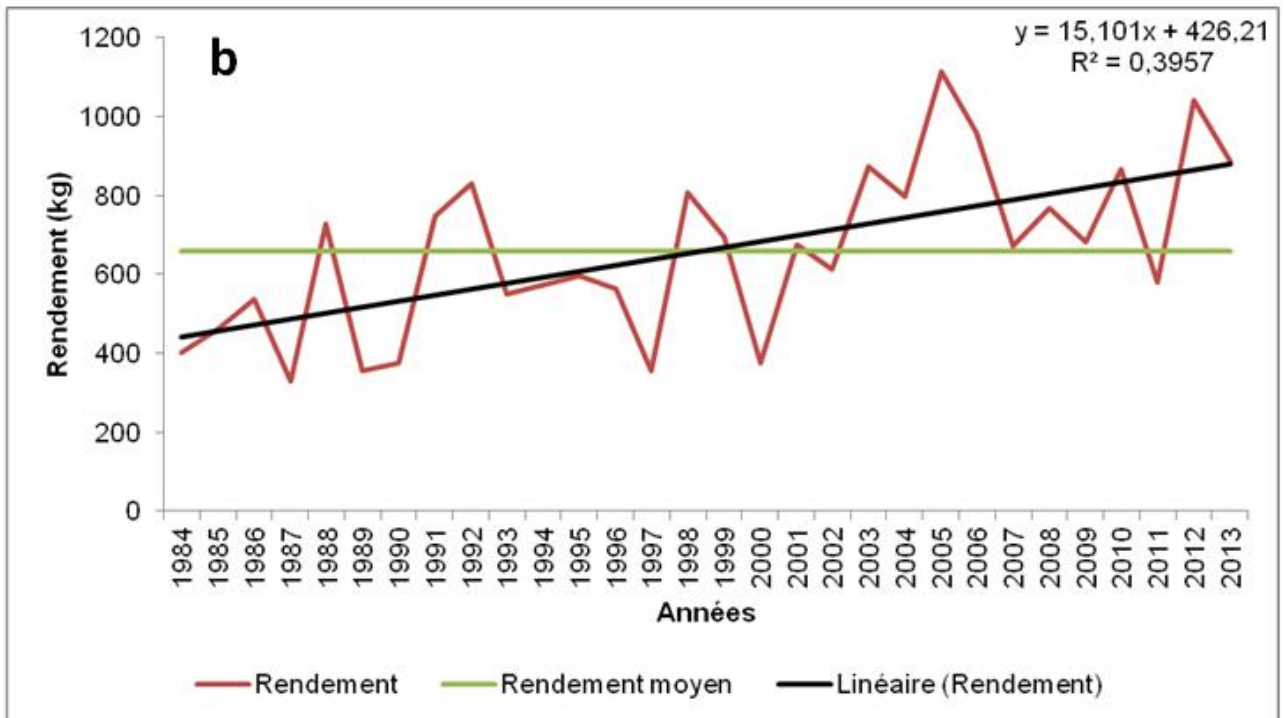
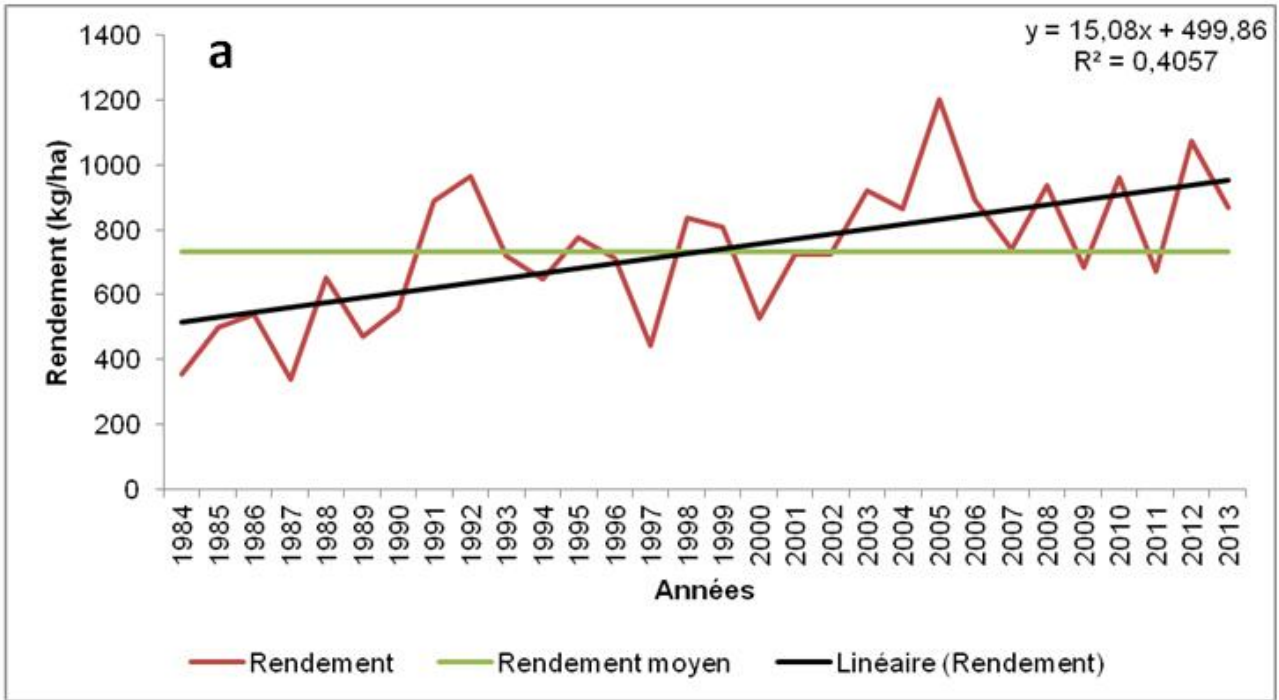


Fig. 4. Tendence évolutive des productions du sorgho (a), du mil (b) et du maïs (c) entre 1984 et 2013 dans la région du Centre-Nord



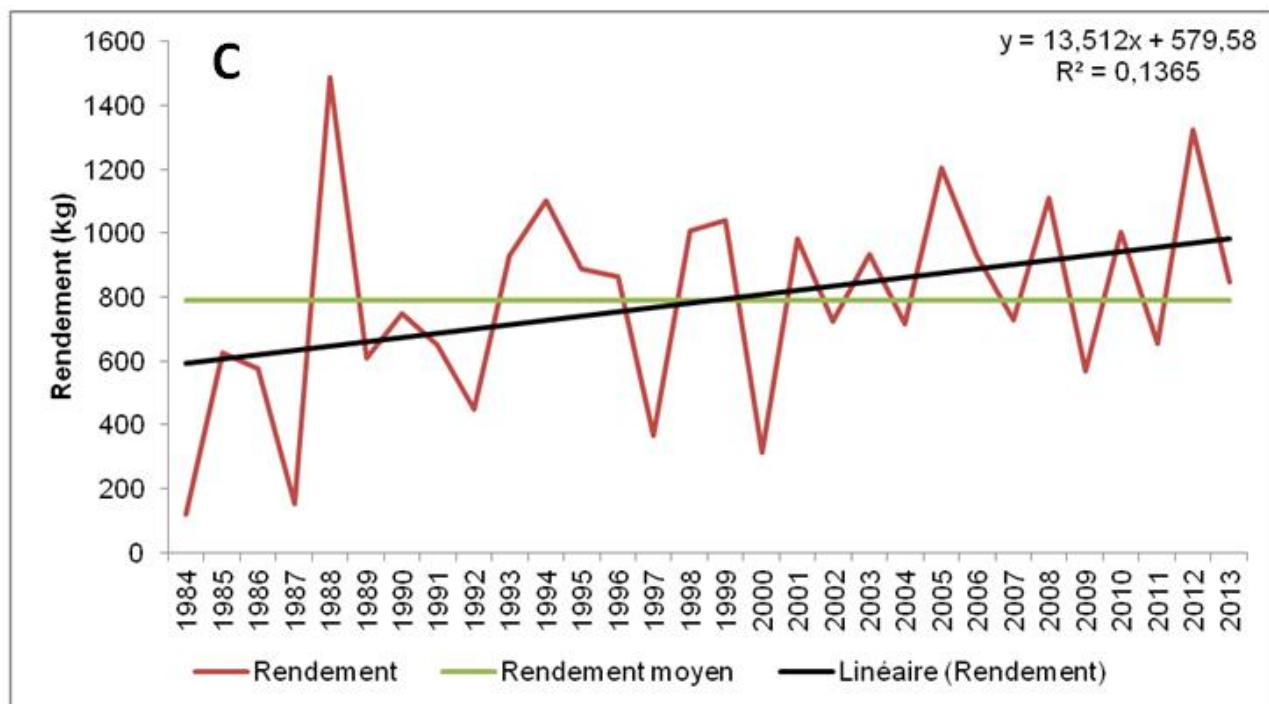


Fig. 5. Tendance évolutive des rendements du sorgho (a), du mil (b) et du maïs (c) entre 1984 et 2013 dans la région du Centre-Nord

Tableau 1 : Résultats du test de corrélation sur le rang appliqué sur les variables pluviométrie, superficie, production et rendements du sorgho, du mil et du maïs entre 1984 et 2013.

Variables	Seuil du rejet/acceptation de l'hypothèse nulle (H_0)	Signification du test	Valeurs de la variable de calcul
Pluie	H_0 rejetée au seuil de 95%	Tendance	1,9804
Sup sorgho	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	2,8367
Sup mil	H_0 acceptée au seuil de 99%	Absence de tendance	-1,5879
Sup maïs	H_0 acceptée au seuil de 99%	Absence de tendance	1,1597
Pro sorgho	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	4,4781
Pro mil	H_0 acceptée au seuil de 99%	Absence de tendance	1,4451
Pro maïs	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	3,2649
Rdt sorgho	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	3,5504
Rdt mil	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	3,5504
Rdt maïs	H_0 rejetée au seuil de 99%	Tendance	2,0160

Sup : superficie ; Pro : production ; Rdt : rendement

Tableau 2 : Résultats des tests de détection de ruptures appliqués sur les variables superficie, production et rendements du sorgho, du mil et du maïs entre 1984 et 2013.

Tests statistiques	Pettitt	Lee et Heghinian	Hubert et Carbonnel	Hausse/Baisse (%)
Sup sorgho	2000	2002	2002	+29
Sup mil	2003	2003	2003	-20
Sup maïs	2007	2008	2008	+65
Pro sorgho	2002	2002	2002	+78
Pro mil	1997	1997	1997	+39
Pro maïs	2002	2009	2009	+65
Rdt sorgho	2002	1990	1990	+66
Rdt mil	2002	2002	2002	+51
Rdt maïs	-	1987	1987	+131

Sup : superficie ; Pro : production ; Rdt : rendement

Tableau 3 : Matrice de corrélation (Pearson) entre la pluviométrie, la superficie, la production et les rendements du sorgho.

Variables	Pluie	Sup	Pro	Rdt
Pluie	1			
Sup	0,485***	1		
Pro	0,634*	0,775*	1	
Rdt	0,540**	0,308	0,830*	1

Sup : superficie ; Pro : production ; Rdt : rendement

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 5\%$

* Très hautement significatif au seuil de 5%

** Hautement significatif au seuil de 5%

*** Significatif au seuil de 5%

Tableau 4 : Matrice de corrélation (Pearson) entre la pluviométrie, la superficie, la production et les rendements du mil.

Variables	Pluie	Sup	Pro	Rdt
Pluie	1			
Sup	0,226	1		
Pro	0,693*	0,389***	1	
Rdt	0,574**	-0,258	0,772*	1

Sup : superficie ; Pro : production ; Rdt : rendement

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 5\%$

* Très hautement significatif au seuil de 5%

** Hautement significatif au seuil de 5%

*** Significatif au seuil de 5%

Tableau 5 : Matrice de corrélation (Pearson) entre la pluviométrie, la superficie, la production et les rendements du maïs.

Variables	Pluie	Sup	Pro	Rdt
Pluie	1			
Sup	0,216	1		
Pro	0,695*	0,565**	1	
Rdt	0,738*	0,044	0,825*	1

Sup : superficie ; Pro : production ; Rdt : rendement

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 5\%$

* Très hautement significatif au seuil de 5%

** Hautement significatif au seuil de 5%

5 CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer le niveau d'influence de la pluviométrie, des superficies emblavées et des rendements sur la production des céréales sèches dans le Centre-Nord. Il ressort de cette étude que les superficies annuelles emblavées pour le sorgho et le maïs ont augmenté, tandis que celle du mil a baissé. Les productions annuelles du sorgho, du mil et du maïs ont enregistré une augmentation. Les rendements annuels des trois céréales sèches ont aussi progressé. Les rendements ont évolué à un rythme moyen annuel qui dépasse celui des surfaces cultivées. L'augmentation de la production annuelle du sorgho est fortement liée à l'amélioration de la pluviométrie, l'accroissement des rendements et à l'extension des surfaces emblavées. En revanche, la hausse de la production annuelle du mil et du maïs a été favorisée par l'amélioration de la pluviométrie et des rendements. Ces résultats encouragent à promouvoir et développer d'avantage une agriculture durable dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à la Direction Générale de la Météorologie, la Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles (DGESS) du Ministère de l'Agriculture et la représentation nationale de la FAO au Burkina Faso pour avoir mis à notre disposition leurs bases de données. Nos remerciements vont également à l'endroit des lecteurs anonymes pour leurs suggestions et remarques constructives ayant permis d'améliorer la qualité de ce travail.

REFERENCES

- [1] M. Ouédraogo, "Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso," *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, vol. 106, n°1, pp. 3-21, 2012.
- [2] SP/CPSA (Secrétariat Permanent de la Coordination des Politiques Sectorielles Agricoles), "Programme de Spécialisation Régionale du Centre-Nord," Ministère de l'Agriculture, de l'Hydrauliques et des Ressources Halieutiques, Ouagadougou, Burkina Faso, 108 p, 2008.
- [3] R. Zangré, "Maïs, mil, sorgho : des cultures d'avenir ou les laissés pour compte de la crise ? Des impacts très divers," *Grain de sel*, n°43, p. 19, 2008.
- [4] Fonds International de Développement Agricole (FIDA), "Bilan sur les techniques de production, la transformation et commercialisation des mils et sorghos au Burkina Faso," Fédération Nationale des Industries Agro-alimentaires et de Transformation du Burkina, Initiative Mil-Sorgho, Ouagadougou, 149 p, 2001.
- [5] B. Sarr, L. Kafando et S. Atta, "Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 5, n°4, pp. 1659-1675, 2011.
- [6] D. Basile et M. Soumaré, "Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique : le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali," *Cahiers Agricultures*, n°13, pp. 480-7, 2004.
- [7] J. Egg et I. Wade, "Bilan et perspectives des cultures vivrières dans les pays du Sahel," *Cahiers Santé*, vol.16, n°4, pp. 271-278, 2006.
- [8] R. Blein, B.G. Soulé, B.F. Dupaigne et B. Yérîma, "Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO)," Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde, 116 p, 2008.
- [9] P. Roudier, "Climat et agriculture en Afrique de l'Ouest : Quantification de l'impact du changement climatique sur les rendements et évaluation de l'utilité des prévisions saisonnières," *Thèse de Doctorat de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales de Paris*, 189 p, 2012.
- [10] V. Mazzucato et D. Neimeijer, "Rethinking soil and water conservation in a changing society," *Tropical Resource Management Papers 32*, Wageningen (Pays-Bas), 2000.
- [11] V. Mazzucato et al., "Social networks and the dynamics of soil and water conservation in the Sahel," *Gatekeeper Series n°101*, IIED, Londres, 2001.
- [12] A. Dai, P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones et P. Xie, "Comment the Recent Sahel draught is real," *International Journal of Climatology*, n°24, pp. 1323-1331, 2004.
- [13] S. Nicholson, "On the question of the " recovery" of the rains in the West African Sahel," *Journal of Arid Environments*, n°63, pp. 615-641, 2005.
- [14] P. Ozer, C. Bodart et B. Tychon, "L'analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux," *Cybergeo*, n°308, pp. 1-24, 2005.
- [15] A. Ozer et P. Ozer, "Désertification au sahel : crise climatique ou anthropique ?," *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer*, vol. 51, n°4, pp. 395-423, 2005.

- [16] S. Garraud et L. Mahamane, "Evolution des pratiques d'adaptation des communautés agropastorales de la zone de Tillabéry-Nord et de Tahoua au Niger dans un contexte de changements climatiques," *Sécheresse*, vol. 23 n°1, pp. 24-30, 2012.
- [17] G. Panthou, T. Vischel et T. Lebel, "Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel, Short communication," *International Journal of Climatology*, 2014.
- [18] P.N. Zombré, "Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsaharienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets)," *Biotechnologie, Agronomie, Sociologie et Environnement*, vol. 10, n°2, pp. 139-148, 2006.
- [19] INSD (Institut National de la Statistique et de la Démographie), "Résultats définitifs du Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2006 du Burkina Faso," Ouagadougou, 52 p, 2008.
- [20] A. Schwartz, "Des temps anciens à la dévaluation du franc CFA : les tribulations de la culture du coton au Burkina Faso," *Annales de Géographie*, vol. 106, n°595, pp. 288-312, 1997.
- [21] RGA (Recensement Général de l'Agriculture), "Rapport d'analyse du module pluvial," Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale, Ouagadougou, Burkina Faso, 223 p, 2011.
- [22] J. Morris et J. Barron, "Agricultural water management technology expansion and impact of crops yields in Northern Burkina Faso (1980-2010) " : Review. CGIAR Challenge Program on WATER & FOOD, Research for Development Series n°10, 44 p, 2014.
- [23] D.E.C. Da, "Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au Centre-Nord du Burkina Faso", *Cahiers d'Outre-Mer*, vol. 61, n°241-242, pp. 99-110, 2008.
- [24] B. Belem, C. S. Olsen, I. Theilade, R. Bellefontaine, S. Guinko, A. Mette Lykke, A. Diallo et J.I. Boussim, "Identification des arbres hors forêts préférés des populations du Sanmatenga (Burkina Faso)", *Bois et forêts des tropiques*, vol. 4, n°298, pp. 53-64, 2008.
- [25] P.N. Zombré, "Evolution de l'occupation des terres et localisation des sols nus dans le Centre-Nord du Burkina Faso," *Télétection*, vol. 6, n°4, pp. 285-297, 2006.
- [26] H. Lubés, J.M. Massom, E. Servat, J.E. Paturel, B. Kouame et J.F. Boyer, "Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques", Etude bibliographique, Programme ICCARE, Rapport n°3, ORSTOM, Montpellier, 1994.
- [27] Kendall, S. M. and Stuart, A., *The advanced theory of statistics*, Charles Griffin, London, UK, vol. 1, 2 et 3, 1943.
- [28] WMO (World Meteorological Organization), *Climatic change by a working group of the Commission for Climatology*, WMO 195, TP 100, Technical Note n°79, WMO Geneva, Switzerland, 1966.
- [29] A.N. Pettitt, "A non-parametric approach to the change-point problem", *Applied statistics*, vol. 28, n°2, pp. 126-135, 1979.
- [30] P. Dagnélie, *Théories et méthodes statistiques*, vol. 1 et 2, Duculot (éds.), Gembloux, 1970.
- [31] J.E. Paturel, E. Servat et M.O. Delattre, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahéenne dans un contexte de variabilité climatique," *Hydrological Sciences*, vol. 43, n°6, pp. 937-946, 1998.
- [32] A.F.S. Lee et S.M. Heghinian, "A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables : a Bayesian approach," *Technometrics*, vol. 19, n°4, pp. 503-506, 1977.
- [33] P. Hubert et J.P. Carbonnel, "Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest", *Journal of Hydrology*, n°95, pp. 165-183, 1987.
- [34] P. Hubert, J.P. Carbonnel et A. Chaouche, "Segmentation des séries hydrométéorologiques : Application à des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'Ouest", *Journal of Hydrology*, n°110, pp. 349-67, 1989.
- [35] J.F. Boyer, *Khronostat-Statistical time series analyses software*, Montpellier : UMR 5569 Hydrosiences, IRD-Maison des Sciences de l'eau, 1998.
- [36] Lecaillon, J. et Morrisson, C., *Politiques macroéconomiques et performances agricoles : Le cas du Burkina Faso (1960-1983)*, Centre de Développement de l'OCDE, Paris, 137 p, 1985.
- [37] K.F.E. Otchoumou, S.M. Bachir, A.G. Etienne et S. Issiaka, "Variabilité climatique et production de café et cacao en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro (Centre-est de la Côte d'Ivoire)," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 1, n°2, pp. 194-215, 2012.
- [38] D.E.C. Da, H. Yacouba et S. Yonkeu, "Unités morphopédologiques et gestion de la fertilité des sols dans le Centre-Nord du Burkina Faso par les populations locales", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 2, n°3, pp. 306-315, 2008.
- [39] C. Roncoli, K. Ingram et P. Kirshen, "The costs and risks of coping with drought : livelihood impacts and farmers' responses in Burkina Faso," *Climat Research*, vol. 4, n°19, pp. 119-132, 2001.

- [40] C. Roncoli, C. Jost, P. Kirshen, M. Sanon, K.T. Ingram, M. Woodin, L. Somé, F. Ouattara, B.J. Sanfo, C. Sia, P. Yaka and G. Hoogenboom, "From accessing to assessing forecasts : and end-to-end study of participatory climat forecast dissemination in Burkina Faso (West Africa), " *Climatic Change*, n°28, pp. 9445-6, 2008.
- [41] C.T. West, C. Roncoli and F. Ouattara, "Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso," *Land degradation & Development*, 11 p, 2008.
- [42] K.T. Ingram, M.C. Roncoli et P.H. Kirshen, "Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study," *Agricultural Systems*, n°74, pp. 331-349, 2002.
- [43] S.R. Ouédraogo, *Adoption et intensité d'utilisation de la culture attelée, des engrais et des semences améliorées dans le Centre-Nord du Burkina Faso*, 2009. In : Innovations technologiques et production agricole en Afrique de l'Ouest : Exemple du Burkina Faso, du Ghana et du Togo, KARTHALA (Eds.) : [http://: www.google.com/](http://www.google.com/), pp. 74-75.
- [44] M. Soumaré, D. Bazile, M. Vaksman, M. Kouressy, K. Diallo et C.H. Diakité, "Diversité agrosystémique et devenir des céréales traditionnelles au sud du Mali," *Cahiers Agricultures*, vol. 17, n°2, pp. 79-85, 2008.
- [45] A. Douguedroit, C. Durbanio, A. Messaoudi et M. A. Hamza, "Précipitations et rendements du blé dur et de l'orge en culture « bour » dans le Maroc du Centre-ouest," *Méditerranée*, Tome 88, 1-1998. Précipitations et cultures céréalières dans le Centre-ouest du Maroc, pp. 39-44.
- [46] P. Jouve, "Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes", *Sécheresse*, vol. 2 n°1, pp. 61-69, 1991.
- [47] B. Clerget, "Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest," *Thèse de l'Ecole Doctorale ABIES, Institut National Agronomique Paris-Grignon*, 96 p, 2004.
- [48] M. Harsmar, "Relations key to innovations-Peasants, Institutions of Technical Changes on the Mossi Plateau in Burkina Faso," *African Journal of Science, Technology Innovation and Development*, vol. 5, n°1, pp. 5-18, 2013.
- [49] S. Sissoko, S. Doumbia, M. Vaksman, H. Hocdé, D. Bazile, B. Sogoba, M. Kouressy, K. Vom Brocke, M.M. Coulibaly, A. Touré et B.G. Dicko, "Prise en compte des savoirs paysans en matière de choix variétal dans un programme de sélection," *Cahiers Agricultures*, vol. 17, n°2, pp. 128-133, 2008.