

UNIVERSITE THOMAS SANKARA

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

REVUE ECONOMIQUE ET SOCIALE AFRICAINE

SÉRIES ÉCONOMIE

Elicitation of the determinants of Energy Poverty in Côte d'Ivoire

Arouna DIALLO & Richard K. MOUSSA

Changements climatiques et comportement stratégique des pays en présence d'incertitude : une analyse par la théorie des jeux

Thierry NIANOGO & Minkieba Kevin LOMPO

Couverture santé et vulnérabilité des ménages au Togo

Abla AMEGADZE & Esso-Hanam ATAKE

Investissement en infrastructures routières, croissance économique et emploi au BF : une analyse en équilibre général calculable

Ibrahim OUEDRAOGO, Boureima SAWADOGO & Moussa OUEDRAOGO

Impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso

S. Rachel NANA, T. Florent MARE & Pam ZAHONOGO

Efficacité technique des producteurs de maïs au BF : une approche par la frontière de production stochastique

Dénis OUEDRAOGO

www.cedres.bf

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 (77 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 Thomas SANKARA et dans toutes les grandes librairies du Burkina Faso et aussi à travers le site web l'UTS ou par le lien : <https://www.journal.uts.bf/index.php/cedres>

DIRECTEUR DE PUBLICATION

Pr Pam ZAHONOGO, Université Thomas SANKARA (UTS)

COMITE EDITORIAL

Pr Pam ZAHONOGO, UTS Editeur en Chef

Pr Noel THIOMBIANO, UTS

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, UTS

Pr Abdoulaye SECK, Université Cheikh Anta DIOP

Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey Calavi

SECRETARIAT D'EDITION

Dr Yankou DIASSO, UTS

Dr Théodore Jean Oscar KABORE, UTS

Dr Jean Pierre SAWADOGO, UTS

Dr Kassoum ZERBO, UTS

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 Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Youmanli OUOBA, UTS

Pr Kimséyinga SAVADOGO, UTS

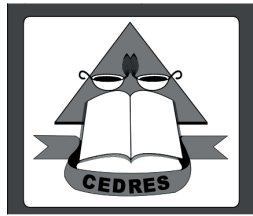
Pr Nasser Ary TANIMOUNE, Université d'Ottawa (Canada)

Pr Noel THIOMBIANO, UTS

Pr Gervasio SEMEDO, Université de Tours

Pr Pam ZAHONOGO, UTS

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°78

Séries économie

2^e Semestre 2024

SOMMAIRE

Elicitation of the determinants of Energy Poverty in Côte d'Ivoire Arouna DIALLO & Richard K. MOUSSA.....	05
Changements climatiques et comportement stratégique des pays en présence d'incertitude : une analyse par la théorie des jeux Thierry NIANOGO & Minkieba Kevin LOMPO.....	45
Couverture santé et vulnérabilité des ménages au Togo Abla AMEGADZE & Eso-Hanam ATAKE.....	79
Investissement en infrastructures routières, croissance économique et emploi au BF : une analyse en équilibre général calculable Ibrahim OUEDRAOGO, Boureima SAWADOGO & Moussa OUEDRAOGO.....	114
Impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso S. Rachel NANA, T. Florent MARE & Pam ZAHONOGO.....	152
Efficacité technique des producteurs de maïs au BF : une approche par la frontière de production stochastique Dénis OUEDRAOGO.....	184

Impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso

Sombéwendé Rachel NANA

Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso,
E-mail : nanarachel705@yahoo.com

Tobignaré Florent MARE

Centre Universitaire de Kaya – Université Joseph Ki-Zerbo,
Ouagadougou, Burkina Faso, E-mail : florentmare@gmail.com

Pam ZAHONOGO

Université Thomas SANKARA, Ouagadougou, Burkina Faso,
E-mail: pzahonogo@gmail.com

Résumé

La baisse de la fertilité des sols constitue l'un des problèmes majeurs de la productivité agricole au Burkina Faso. Pour faire face à ce problème, l'utilisation de l'engrais organique est une solution potentielle. L'objectif de cet article est d'analyser l'impact de l'utilisation des engrais organiques sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso. La méthode d'appariement par les scores de propension est utilisée avec des données provenant de 1764 ménages ruraux, collectées dans le cadre du PNGT2 pour la campagne agricole 2016/2017. Les résultats montrent que l'utilisation de l'engrais organique a un impact positif sur les rendements céréaliers au Burkina Faso. Le gain net des rendements céréaliers est estimé à environ 235 à 305 kg/ha. La promotion de l'utilisation de l'engrais organique est un moyen d'améliorer les rendements des ménages producteurs céréaliers au Burkina Faso.

Mots clés : Engrais organiques, Rendements céréaliers, Evaluation d'impact, Burkina Faso

JEL Classification : Q1, Q12, Q15, Q16

Introduction

Dans les pays en développement, l'agriculture est le plus souvent caractérisée par une faible utilisation des technologies modernes et une faible productivité (Kassie et al., 2011 ; Ragasa et al., 2015). En effet, le rendement céréalier moyen de l'Afrique Subsaharienne est estimé à 1,6 tonnes/hectare contre 4,1 tonnes à l'hectare au niveau mondial (Banque Mondiale, 2022). La faiblesse de la productivité agricole s'explique en majeure partie par la dégradation des sols et leur faible fertilité et par une mauvaise répartition des pluies. Teno et al. (2018) indiquent que la pauvreté des sols combinée à une pluviométrie relativement faible, rend les pratiques agricoles très difficiles, créant en même temps de fortes incertitudes dans la planification des activités chez les producteurs. Pour Jama et Pizarro (2008), 11% des terres du continent africain possèdent un sol de haute qualité. La plupart des terres arables restantes sont à potentiel moyen ou faible, avec au moins une contrainte majeure pour l'agriculture. Les auteurs tels que Nakhumwa et Hassan (2012), Yirga et Hassan (2010) et Drechsel et al. (2001), indiquent également que la baisse de la fertilité des sols est responsable de la faible productivité agricole et de l'insécurité alimentaire en Afrique.

L'une des alternatives pour faire face à la baisse de la productivité agricole est l'amendement du sol, c'est à dire l'application de l'engrais organique ou de l'engrais chimique. Koné et al. (2011) et Kowaljaw et Mazarrino (2007) soutiennent que l'alternative la mieux indiquée est la production et l'utilisation de l'engrais organique. L'amélioration durable des rendements de certaines cultures telles que le maïs dépend de l'amélioration de la fertilité des sols (Mukendi et al., 2017). L'engrais organique améliore la productivité agricole car il constitue la base de la fertilité des sols (Kouassi et al., 2019 ; Waibena et al., 2019). En effet, il lutte contre les phytoravageurs et augmente l'activité des micro-organismes dans le sol et sa teneur en carbone (Heeb et al., 2006 ; Heeb et al., 2005). Il améliore la structure du sol, contribue à la nutrition des cultures, augmente la capacité du sol à retenir les éléments nutritifs et stimule l'activité biologique (Waibena et al., 2019).

L'engrais organique aide les agriculteurs à rendre leurs fermes plus résilientes face au changement climatique (Ayedegue et al. 2020).

Bikienga (2002) indique que l'utilisation des engrais reste une solution efficace pour accroître les rendements des cultures et l'ensemble de la production agricole. Contrairement aux fertilisants organiques, l'utilisation des engrais chimiques sur l'agriculture entraîne un épuisement des éléments nutritifs et donc constitue l'une des causes de la dégradation des sols (Jama et Pizarro, 2008). En effet, les études de Zsófia et al. (2012) et de Norse (2005) montrent que les cultures ne peuvent absorber que 30 à 50% des engrais chimiques, de sorte qu'une grande partie des composants appliqués se perd dans le sol ou pollue les eaux souterraines.

Il ressort des études antérieures que l'engrais organique a un impact positif sur les rendements agricoles (Sissoko et Lebally, 2019 ; Wang et al., 2018 ; Zhang et al., 2009). Pour Carlen et al. (2017), la fertilisation contribue à un approvisionnement optimal des cultures en éléments nutritifs et permet de produire des denrées de haute qualité. Jobin et petit (2005) indiquent que l'amélioration de la productivité agricole passe par une construction de fertilisation des cultures qui s'élabore en fonction des besoins des différentes plantes.

Au Burkina Faso, le secteur agricole représente le pilier de l'économie car il emploie plus de 70% de la population active et contribue à hauteur de 30% au produit intérieur brut (INSD, 2022). Ce secteur est dominé par la culture des céréales qui occupe près de 70% de la superficie globale et constitue une base énergétique de l'alimentation des populations, avec une production plus ou moins importante selon la localité. Les rendements moyens des principales céréales qui y sont cultivées sont respectivement de 1 980 kg/ha pour le sorgho, 721 kg/ha pour le mil, 1 728 kg/ha pour le maïs et 1 534 kg/ha pour le riz (DGESS/MAAH, 2020). Cependant, la production nationale n'arrive pas à couvrir les besoins alimentaires de la population car la sous-alimentation affecte près de 20% de la population totale, avec des pertes et des retards de croissance chez les enfants de moins de 5 ans (FAO, 2019).

Par ailleurs, le taux d'accroissement de la production céréalière a fortement baissé de 26% à -5% entre les années 2011 et 2019 (DGESS/MAAH, 2020). Cette baisse s'explique par les conditions pédoclimatiques défavorables et les processus continus de dégradation des sols (DGESS/MAAH, 2020).

L'utilisation de l'engrais organique est une solution potentielle pour surmonter la dégradation des sols et améliorer la productivité agricole. L'adoption de l'engrais organique demeure cependant faible au Burkina Faso (taux d'adoption de l'engrais organique estimé à 57% (DGESS/MAAH, 2020)). La littérature ne met pas suffisamment en lumière l'effet de l'engrais organique sur la productivité agricole au Burkina Faso. La plupart des études se sont intéressé à l'effet de la fertilisation organo-minérale (Compaoré et al., 2011 ; Koulibaly et al., 2015 ; Pale et al., 2021). Toutefois, dans la dynamique d'une agriculture plus durable, l'utilisation des engrais minéraux n'est pas recommandée, contrairement aux engrais organiques. Par ailleurs, contrairement aux études portant sur la fertilisation organo-minérale qui montrent majoritairement un impact positif sur la productivité agricole, Meier et al. (2015) indiquent qu'utiliser uniquement l'engrais organique conduit à un faible niveau de la productivité agricole. L'objectif de cette recherche est d'analyser l'impact de l'utilisation des engrais organiques sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso. Les céréales constituent la base de l'alimentation au Burkina Faso (FAO, 2017). Pour atteindre notre objectif, nous supposons que l'utilisation des engrais organiques affecte positivement les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso. Les résultats de cette recherche sont utiles pour mieux éclairer les politiques de promotion d'une agriculture plus productive et durable.

L'impact de l'utilisation des engrais organiques sur les rendements céréalières au Burkina Faso est analysé à partir de la méthode d'appariement par le score de propension pour contrôler les problèmes de biais de sélection associés à la décision d'utilisation de l'engrais organique.

La recherche utilise des données microéconomiques du PNGT2 collectées en 2017 par le Laboratoire d'Analyse Quantitative Appliquée au Développement-Sahel (LAQAD-S) de l'université Ouaga II¹.

La suite de l'article est structurée en quatre sections. La section 2 fait une revue de la littérature de l'effet de l'utilisation des engrais organiques sur les rendements agricoles. La section 3 discute de l'approche méthodologique. La section 4 présente les résultats et leur discussion. La section 5 conclut et tire les implications de politiques économiques.

1. Utilisation des engrais organiques et productivité agricole : une revue de la littérature

Les théoriciens de la croissance économique (Solow, 1956 et Romer, 1986) s'accordent sur le point que le progrès technologique améliore la productivité de la production. Roger (2005) indique que l'essor spectaculaire de la production des céréales en Asie résulte de la diffusion des variétés à haut rendement et à cycle court, du développement de l'irrigation et de l'utilisation des engrais. Toutefois, l'innovation peut viser essentiellement la maximisation du profit sans un souci majeur de la préservation de l'environnement. Il s'agit du modèle conventionnel de production qui a des impacts environnementaux négatifs importants, susceptibles de compromettre un développement durable. Ce modèle conventionnel est réfuté par l'économie verte. Le concept d'éco-innovation ou innovation environnementale introduit les préoccupations liées à la protection de l'environnement dans le processus de développement de nouveaux procédés qui apportent une valeur économique ajoutée (Long et al., 2016). Il permet l'analyse des techniques de gestion de la fertilité des sols qui sont respectueuses de l'environnement telles que l'usage des engrais organiques.

¹ Actuelle Université Thomas SANKARA

Selon Carlen et al. (2017), l'engrais organique joue un rôle important sur les rendements des récoltes. Ce rôle est particulièrement important dans les systèmes de culture durables comme la production intégrée et l'agriculture biologique. La mise à jour régulière des recommandations de fertilisation contribue à un approvisionnement optimal des cultures en éléments nutritifs et permet de produire des denrées de haute qualité, tout en préservant durablement la fertilité du sol. Selon Jobin et Petit (2005), la pratique de la fertilisation des cultures a pour objectif de répondre aux besoins de la plante en nutriments essentiels pour sa croissance. Pour y arriver, une stratégie de fertilisation des cultures se construit par l'agencement d'un ensemble de pratiques de gestion du sol et d'organisation des cultures, auquel s'ajoute la planification des apports. La fertilisation des cultures s'élabore en fonction des besoins des différentes plantes cultivées, de l'estimation de ce qui peut être rendu disponible par la fertilité accumulée au sein du cycle nutritif de la ferme, d'un mode de gestion des apports de fertilisants et d'observations régulières des cultures de manière à vérifier la réponse des plantes aux pratiques adoptées.

Des travaux antérieurs ont montré que l'utilisation de l'engrais organique est positivement associée à l'amélioration de la productivité agricole. En effet, Waibena et al. (2019) révèlent que l'adoption de l'engrais organique et de la jachère améliorent les rendements du maïs au Togo. En outre, les auteurs comme Ngoyi et al. (2020), Mukendi et al. (2017) et Kitabala et al. (2016) estiment que l'engrais organique améliore les rendements au Congo. Il ressort des travaux de Sissoko et Lebailly (2019) et de Sissoko et al. (2018) que l'engrais organique influence positivement les rendements du mil et du sorgho et contribue à améliorer la sécurité alimentaire au Mali. En allant dans le même sens, Mouret et al. (2020), De bon et al. (2019) et Tchabi et al. (2012) indiquent que l'engrais organique améliore respectivement la production du riz, les rendements des cultures maraîchères et la culture de laitue. De même, Kouassi et al. (2019) confirment que l'engrais organique améliore les rendements en comblant le déficit hydrique pendant la phase de production.

Biaou et al. (2017) ont montré que le compost enrichi avec les fientes de volailles induit des niveaux de rendements de carottes significativement élevés aux doses de 30 et 40 t/ha au Bénin.

Au Burkina Faso, Koulibaly et al. (2015) ont montré que les engrais organiques combinés à la fumure minérale ont un impact positif sur les rendements de coton et de maïs. Des résultats similaires ont été trouvés par Pale et al. (2021) qui ont montré que l'utilisation du compost plus les engrais minéraux ont permis des gains en termes de grains de 338 à 502 kg/ha pour le mil dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso.

La littérature au Burkina Faso est essentiellement orientée sur l'effet de la fertilisation organo-minérale. Toutefois, contrairement aux fertilisants organiques qui sont mieux recommandés pour une agriculture durable, les engrais minéraux épuisent des éléments nutritifs des sols, causent leur dégradation et polluent les eaux souterraines (Zsófia et al., 2012 ; Jama et Pizarro, 2008 ; Norse, 2005). Meier et al. (2015) indiquent que les systèmes de cultures utilisant uniquement les engrais organiques ont moins d'impacts environnementaux par unité de surface agricole mais conduisent à de faibles niveaux de productivité agricole.

Cette recherche contribue à la littérature en se focalisant sur l'impact des engrais organiques sur les rendements céréaliers afin de mieux orienter les politiques agricoles visant à améliorer la productivité et à promouvoir une agriculture durable. Par ailleurs, contrairement aux études antérieures, nous prenons en compte le problème de biais de sélection qui peut exister dans l'adoption de la technologie.

2. Approche méthodologique

Pour examiner l'impact de l'adoption des engrais organiques sur les rendements de céréales, nous considérons une relation linéaire entre les rendements céréaliers et la variable d'adoption technologique.

$$Y_i = X_i' \alpha + \gamma EO_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

où Y_i est le rendement céréalier du ménage i , EO est une variable dummy qui prend la valeur 1 si le ménage utilise la fumure organique et 0 sinon, X_i un vecteur de variables explicatives (caractéristiques du ménage et de l'exploitation agricole) et ε_i le terme d'erreur. α et γ sont des paramètres à estimer. Le choix de la technologie n'est pas une assignation aléatoire. Il existe un biais potentiel d'auto-sélection. La décision d'adopter ou de ne pas adopter les engrais organiques dépend des caractéristiques du ménage et de l'exploitation agricole. Dans la littérature, les facteurs expliquant l'adoption de l'engrais organique par les exploitants incluent entre autres l'âge et l'expérience de l'exploitant, l'éducation, la taille du ménage et de l'exploitation, le revenu, l'accès aux ressources et au marché et le nombre d'animaux en élevage possédés par le ménage (Sale et al., 2014 ; Ollabode et al., 2022). Le ménage adopte les engrais organiques si l'utilité espérée y associée est supérieure à la situation de non adoption. Soit EO_i^* une variable latente telle que $EO_i^* = U_i^a - U_i^{na}$, avec U_i^a et U_i^{na} respectivement les niveaux d'utilité associés à l'adoption des engrais organiques et à leur non adoption. Le ménage adopte les engrais organiques si $EO_i^* = U_i^a - U_i^{na} > 0$. L'équation d'adoption des engrais organiques est exprimée comme suit :

$$EO_i^* = X_i' \beta + v_i \quad (2)$$

où v_i est terme d'erreur et β un paramètre à estimer.

D'une manière générale, une évaluation d'impact de l'adoption d'une technologie sur les rendements agricoles se fait dans un cadre contrefactuel car il est impossible d'observer physiquement les résultats qu'auraient atteints les adoptants s'ils n'avaient pas adopté la technologie (Godtland et al., 2004). Différentes méthodes sont utilisées dans la théorie de l'évaluation d'impact pour répondre à la question fondamentale du contrefactuel.

Il s'agit entre autres de la méthode expérimentale ou la randomisation, la méthode d'appariement par les scores de propension, la méthode de la double différence, l'approche d'évaluation par la régression avec variable de contrôle et la méthode des variables instrumentales.

Les approches économétriques telles que la méthode d'appariement par les scores de propension et la méthode des variables instrumentales sont couramment employées pour faire face aux biais de sélection dans les données en coupes instantanées. Cette recherche utilise la méthode des scores de propension car elle permet de réduire les biais de sélection dans les études non randomisées et observationnelles (Wang et al., 2013). La méthode des variables instrumentales n'est pas retenue car suivant Boef et al. (2014), l'analyse par les variables instrumentales requiert l'existence d'une grande base de données. Par ailleurs, la condition d'exclusion n'est pas empiriquement testable. Il est difficile de vérifier que l'effet de l'instrument sur le critère de jugement est exclusivement transmis par le traitement et il est difficile de montrer que l'instrument n'est pas lié à certaines caractéristiques du traitement. Aussi, les résultats dépendent de la qualité des instruments utilisés, ces derniers étant par ailleurs difficile à identifier. La méthode des variables instrumentales peut générer des instabilités.

Le score de propension est la probabilité conditionnelle de recevoir un traitement compte tenu des contrôles pertinents X (Rosenbaum et Rubin, 1984). Il peut être exprimé comme suit :

$$P(X) = Pr[EO = 1 / X] = E[EO / X] = F(.) \quad (3)$$

où $F(.)$ une fonction cumulative de distribution logistique (Ndèye, 2017). Selon McFadden (1973), la régression logistique est l'une des méthodes de modélisation les plus fiables, dont plusieurs indicateurs statistiques permettent d'en contrôler la robustesse. $EO = [0,1]$ est un indice du traitement et X est un vecteur multidimensionnel des caractéristiques avant le traitement avec $EO = 1$ pour les observations traitées (adoptants d'engrais organiques) et $EO = 0$ pour les observations témoins

(non adoptants d'engrais organiques). L'effet moyen de l'utilisation des engrais organiques sur les rendements céréaliers pour les ménages ayant adopté les engrais organiques (ATT) peut alors être estimé comme suit :

$$ATT = E \{ Y_i^1 - Y_i^0 / EO = 1 \} \quad (4)$$

$$ATT = E \left[\{ Y_i^1 - Y_i^0 / EO_i = 1, p(X) \} \right] \quad (5)$$

$$ATT = E \left[\{ Y_i^1 / EO = 1, p(X) \} - E \{ Y_i^0 / EO_i = 0, p(X) \} / EO = 1 \right] \quad (6)$$

Y_i^1 et Y_i^0 représentent respectivement les rendements céréaliers des adoptants et des non adoptants d'engrais organiques. Plusieurs méthodes d'appariement ont été développées pour appairer les adoptants avec les non-adoptants ayant des scores de propension similaires. Il s'agit de la méthode du plus proche voisin, l'appariement avec le radius et le caliper, l'appariement par le noyau ou la méthode de Kernel et la méthode d'appariement par la stratification (Becker et Ichino, 2002 ; Heckman et al., 1998 ; Rosenbaum et Rubin, 1983).

L'appariement par la méthode du plus proche voisin et la méthode de Kernel sont retenus dans cette recherche. La méthode du plus proche voisin consiste à faire une comparaison sur la base du score de propension de chaque individu du groupe de contrôle et de son partenaire traité le plus proche (Caliendo et Kopeinig, 2008). La méthode permet d'éviter les erreurs de mesures (Ravallion, 2005). Contrairement à la méthode du plus proche voisin, la méthode de Kernel est un estimateur non paramétrique qui utilise une moyenne pondérée de tous les individus du groupe de contrôle, fournit des informations beaucoup plus précises et permet de diminuer la variance de l'estimation (Frölich, 2004). Guo et al. (2020) ont montré qu'il n'y a pas de méthode parfaite d'appariement. Suivant King et Nielsen (2019) et Caliendo et Kopeinig (2005) ; nous recourrons à un ensemble d'algorithmes d'appariement pour lui assurer une très bonne qualité. Nous avons utilisé les options « 1 à 1 », « sans remplacement », « caliper 0.001 » tout en imposant la condition de support commun pour un appariement très précis.

Nous nous assurons également que la propriété d'équilibre est satisfaite à travers un test d'équilibrage. Cette démarche nous permet à travers la méthode de Kernel d'avoir un matching plus précis pour corriger le biais de sélection sur les observables mais aussi de tenir compte de l'endogénéité liée aux erreurs de mesure à travers la méthode du plus proche voisin.

3. Données et description des variables

4.1. Données

Les données utilisées dans cette recherche sont issues de l'enquête sur les conditions de vie des ménages ruraux du PNGT2² phase 3 menée par le Laboratoire d'Analyse Quantitative Appliquée au Développement-Sahel (LAQAD-S) de l'université Ouaga II (actuelle UTS). Ce sont des données microéconomiques collectées de juillet à août 2017. La collecte des données a couvert les 45 provinces du Burkina Faso et porte sur plusieurs produits agricoles. L'échantillonnage s'est fait au niveau des villages dans le pays et au niveau des ménages dans le village.

La liste des noms de toutes les localités du Burkina Faso a été dressée avant de procéder à l'élimination des noms des communes urbaines et rurales (les chefs-lieux des communes rurales ont été retenus). Une fois les noms des communes éliminés, des numéros ont été attribués à chaque village et un classement aléatoire de ces numéros a été réalisé grâce au logiciel Excel. Les villages retenus sont ceux dont les numéros sont apparus aux six premières positions du classement aléatoire.

² Programme National de Gestion des Terroirs

Un recensement exhaustif des ménages dans chaque village a été effectué en les attribuant systématiquement un numéro. Ensuite, les ménages ont été tirés de manière aléatoire à travers une stratification des ménages afin de s'assurer de la représentativité des groupes importants du village. Ainsi, les ménages du village sont regroupés en trois catégories selon la possession des types de traction utilisés. Au total 2160 ménages ont été enquêtés. Pour cette recherche, seules les céréales sont retenues car elles occupent une place importante en termes de superficie, de la production et de la consommation au Burkina Faso. L'échantillon retenu est de 1764 ménages ruraux.

4.2. Description des variables

Le choix des variables dans la présente recherche est basé sur des études antérieures portant sur les déterminants des rendements agricoles et sur l'adoption de l'engrais organique. Les définitions des différentes variables de l'analyse sont synthétisées dans le tableau 1.

Tableau 1 : définitions des variables de l'analyse

Variables	Définition et mesure
Variable de résultat	
Rendement céréalier	Le rendement céréalier du ménage, mesuré en Kilogramme par hectare (kg/ha)
Variable explicative d'intérêt	
Engrais organiques	=1 si le ménage a adopté les engrais organiques et 0 sinon
Autres variables explicatives	
Accès au crédit	=1 si le ménage a accès au crédit et 0 sinon
Age du chef de ménage	L'âge du chef de ménage en années révolues
Sexe du chef de ménage	=1 si le chef de ménage est un homme et 0 si le chef de ménage est une femme.
Niveau d'éducation	
<i>Aucun</i>	=1 si le chef de ménage n'a aucun niveau d'éducation formelle et 0 sinon

Tableau 1 : définitions des variables de l'analyse

Variabes	Définition et mesure
<i>Primaire</i>	=1 si le chef de ménage a le niveau d'éducation primaire et 0 sinon
<i>Secondaire</i>	= 1 si le chef de ménage a au moins le niveau d'éducation secondaire et 0 sinon
Cheptel	Nombre d'animaux dont dispose le ménage
Superficie des céréales	La superficie totale emblavée pour les céréales par le ménage en hectares.
Taille du ménage	Nombre de personnes dans le ménage
Revenu hors ferme du ménage	Le revenu total hors ferme du ménage en FCFA

Source : auteurs

Les statistiques descriptives indiquent une faible utilisation de l'engrais organique. En effet, 41,89% des ménages utilisent l'engrais organique. Ce résultat est relativement consistant avec les statistiques nationales qui indiquent que le taux d'utilisation de l'engrais organique est estimé à environ 45% en 2016 (DGESS/MAAH, 2020). Les ménages qui utilisent l'engrais organique ont un rendement céréalier plus élevé par rapport à ceux qui ne l'utilisent pas. Le gain de rendement résultant de l'utilisation des engrais organiques est de 311,1 kg/ha. Cependant, ce résultat ne reflète pas l'impact réel de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements céréaliers car il est biaisé du fait que les utilisateurs et les non utilisateurs des engrais organiques ne sont pas similaires sur toutes les caractéristiques observables.

L'âge moyen des chefs de ménages interrogés est de 47 ans pour les ménages utilisateurs de l'engrais organique et 45 ans pour les non-utilisateurs. La quasi-totalité des ménages sont dirigés par les hommes avec une proportion de 95,27% pour les utilisateurs d'engrais organiques contre 91,78% pour les non utilisateurs. Les ménages utilisant l'engrais organique ont plus de têtes de bétail que les non-utilisateurs soit en moyenne 17 animaux contre 13 animaux. La superficie moyenne cultivée est de 2,57 ha pour les non utilisateurs contre 2,79 ha pour les utilisateurs. Il ressort que 81,57% des non utilisateurs n'ont pas reçu d'éducation formelle contre 79,43% des utilisateurs. En effet, 13% des ménages non-utilisateurs de l'engrais organique ont atteint le niveau primaire et 5,43% ont atteint le secondaire. En ce qui concerne les ménages utilisateurs de l'engrais organique, 15,56% ont atteint le niveau primaire et 5,01% ont atteint le secondaire. On note également un faible taux d'accès au crédit dans les deux groupes. En effet, 42,03% des producteurs utilisateurs de l'engrais organique ont accès au crédit contre 39,26% des non utilisateurs. La taille moyenne du ménage est de 7 personnes pour le groupe des non utilisateurs et 8 personnes pour le groupe des utilisateurs. En ce qui concerne le revenu, les utilisateurs de l'engrais organique ont un revenu moyen plus élevé de 363 995 FCFA par rapport aux non-utilisateurs qui ont en moyenne un revenu de 275 694 FCFA. Les statistiques descriptives sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Test de différence des caractéristiques observables

Variables	Moy/prop Ensemble	Non Utilisateurs (58,11%)	Utilisateurs (41,89%)	Différence des moy/prop
Accès au crédit	40,41	39,2	42,1	-2,9
Age du chef de ménage	45,919 (13,881)	45,213 (13,997)	46,900 (13,668)	-1,687*
Cheptel	14,402 (16,309)	12,667 (15,328)	16,809 (17,306)	-4,142***
Genre du chef de ménage	6,292	7,5	4,6	2,9**
Niveau d'éducation				
<i>Aucun</i>	80,62			
<i>Primaire</i>	14,11	13,1	15,6	-2,5
<i>Secondaire</i>	5,27	5,5	5	0,5
Revenu	313889,8 (380999,8)	277620,10 8 (355073,6 42)	364196,238 (409237,485)	- 86576,130* **
Superficie	2,67 (2,19)	2,593 (2,021)	2,795 (2,422)	-0,202
Taille du ménage	7,78 (3,77)	7,433 (3,492)	8,284 (4,078)	-0,851***
Rendement (kg/ha)	1263,602 (2012,909)	1127,575 (1380,203)	1452,272 (2640,978)	-324,697**
Nombre d'observations	1764	1025	739	1764

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017) ; NB : *** ; ** et * sont respectivement les seuils de significativité de 1%, de 5% et de 10%. ; Les valeurs entre parenthèse représentent les écart-types

4. Résultats et discussion

5.1. Résultats du test de spécification et de la qualité de l'appariement

Le test de spécification de Hosmer-Lemeshow (2000) présenté dans le tableau 3 permet d'apprécier la bonne spécification du modèle logit en comparant les fréquences des modalités prédites et observées de l'engrais organique après regroupement des ménages. Ensuite une distance de khi-deux est calculée entre les fréquences observées et prédites. L'hypothèse nulle testée indique que le modèle est bien spécifié ($prob > 0,05$) contre l'hypothèse alternative qui indique que le modèle n'est pas bien spécifié ($prob < 0,05$). Les résultats indiquent le non rejet de l'hypothèse nulle car la valeur de la probabilité critique (0,1382) est supérieure au seuil de significativité de 5%. Nous pouvons dire que le modèle logit d'estimation des scores de propension est bien spécifié. Le modèle logit est aussi globalement significatif. La log vraisemblance LR $\chi^2(9)$ est supérieure à la statistique de χ^2 lue sur la table au seuil de 1% à 9 degrés de liberté (57,48 > 21,67). Les résultats de l'estimation du modèle logit sont présentés en annexe 1.

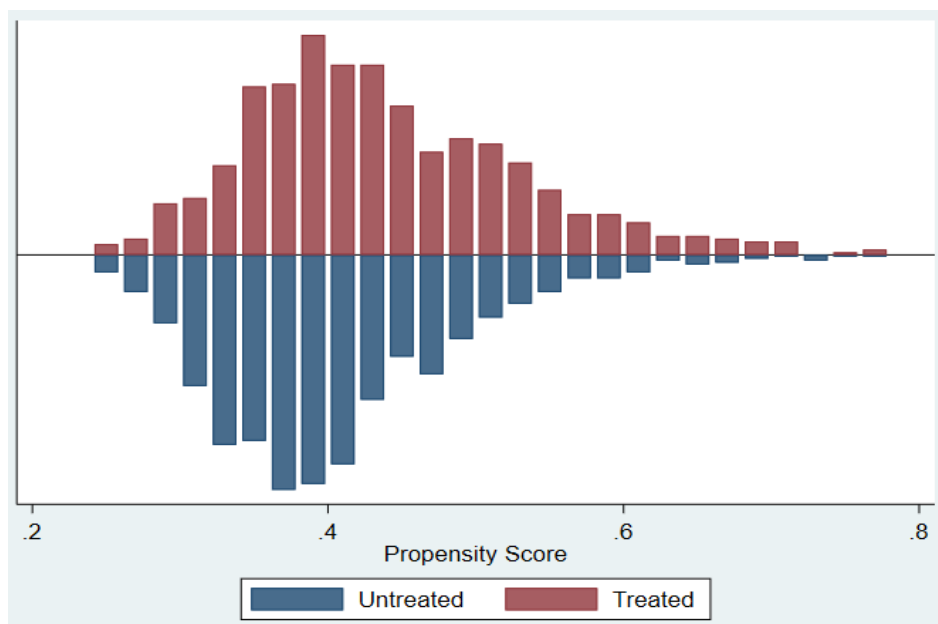
Tableau 3 : Test de Hosmer-Lemeshow de spécification du modèle logit

Nombre d'observation	1764
Nombre de groupes	10
Hosmer-Lemeshow $\chi^2(8)$	12,3
Prob > χ^2	0,1382

Source : auteurs à partir des données du PNGT2(2017)

Le graphique 1 indique une superposition de la distribution des scores de propension dans la région de support commun pour les utilisateurs de l'engrais organique et pour les témoins. La région du support commun est comprise entre 0,24202941 et 0,76714066. Chaque producteur utilisant l'engrais organique peut être apparié à au moins un producteur du groupe de contrôle.

Graphique 1 : Distribution des scores de propension.



Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017).

Les résultats présentés dans le tableau 4 ont mis en évidence 3 blocs optimaux dans lesquels on ne peut pas rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes de toutes les variables observables entre les deux groupes. La propriété d'équilibrage des caractéristiques observables est satisfaite dans tous les blocs. Il existe un support commun qui équilibre les caractéristiques observables entre les utilisateurs de l'engrais organique et les non utilisateurs. Il est donc possible d'évaluer l'impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements.

Tableau 4 : Répartition des ménages en bloc optimaux.

Bornes inférieures des blocs optimaux	Effectifs du groupe de contrôle	Effectifs du groupe traité	Total
0.2	559	289	848
0.4	437	405	842
0.6	29	45	74
Total	1025	739	1764

Source : auteur à partir des données du PNGT2 (2017)

5.2. Impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements céréaliers

Les résultats du tableau 5 montrent que l'engrais organique améliore significativement le rendement céréalier au Burkina Faso. En effet, l'appariement par la méthode de Kernel indique un gain moyen significatif au seuil de 1% du rendement céréalier d'environ 307 kg par hectare. La méthode d'appariement par le plus proche voisin montre que l'engrais organique améliore en moyenne le rendement céréalier au seuil de 10% d'environ 235 kg par hectare. Il n'existe pas de méthode parfaite d'appariement (Guo et al., 2020). La méthode du plus proche voisin permet une prise en compte des erreurs de mesure. Cet aspect est relativement important dans le contexte des pays en développement comme le Burkina Faso. Quant à la méthode de Kernel, elle vise un appariement plus précis en diminuant la variance de l'estimation. Au regard de nos résultats, nous pouvons conclure que le gain net des rendements céréaliers résultant de l'utilisation des engrais organiques est estimé à environ 235 à 305 kg/ha.

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les engrais organiques possèdent de multiples avantages pour restaurer la productivité des sols appauvris grâce à l'amélioration de la matière organique du sol. En effet, ils fournissent de l'azote, de la potasse et du phosphore sous une forme

utilisable et atténuent les émissions de gaz à effet de serre qui aide les plantes à améliorer leur croissance tout en ne provoquant ni la combustion des racines ni la destruction des micro-organismes bénéfiques dans le sol. Les engrais organiques aident à prévenir les maladies en répondant aux besoins nutritionnels des plantes et en améliorant la tolérance des plantes. Ils permettent également de minimiser les pertes liées à la minéralisation induite par le labour et favorisent le bon développement des plantes en enrichissant le sol en matière organique. L'application de l'engrais organique permet d'accroître la capacité d'échange cationique des sols de 50 % et de relever le pH des sols qui ont tendance à s'acidifier. Les auteurs comme Hu et al. (1997) et Cheshire (1979) indiquent que l'engrais organique permet une meilleure pénétration et rétention d'eau, contribue à la limitation du ruissellement et de l'érosion des sols, stimule l'activité biologique qui permet une meilleure aération et un meilleur développement des racines. Les résultats trouvés corroborent ceux de Waibena et al. (2019), où l'utilisation de l'engrais organique et de la jachère améliore le rendement agricole et augmente le revenu des agriculteurs de 27 250 FCFA. Nos résultats sont robustes à un changement de spécification du modèle (Annexe 3).

Tableau 5 : Résultat de l'effet moyen de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements céréaliers.

Méthode utilisée	Groupe de contrôle	Groupe Traité	Effet moyen	Standard Erreur	T statistique
Méthode de Kernel	1025	739	306,791***	109,187	2,810
Méthode du plus proche voisin	459	739	234,263*	127,225	1,841

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017) ; NB : *** ; ** et * sont respectivement les seuils de significativité de 1%, de 5% et de 10%.

Conclusion et implication de politique économique

Dans les pays en développement comme le Burkina Faso, l'agriculture fait face à plusieurs problèmes tels que la baisse de la fertilité des sols et le climat. Face à ces problèmes, l'utilisation de l'engrais organique est une nécessité pour accroître durablement les rendements agricoles. L'objectif de cette recherche est d'analyser l'impact de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements des cultures céréalières au Burkina Faso. Pour ce faire, une méthode d'évaluation d'impact par les scores de propension a permis de capter l'effet moyen de l'utilisation de l'engrais organique sur les rendements en corrigeant les biais de sélection. La méthode de Kernel et la méthode du plus proche voisin sont les algorithmes retenus. Des données secondaires collectées dans le cadre du PNGT2 et provenant de 1764 ménages ruraux ont été utilisées pour les analyses statistiques et économétriques.

Il ressort que l'utilisation de l'engrais organique augmente en moyenne les rendements céréaliers de 306,791 kg/ha et de 234,263 kg/ha respectivement selon la méthode de Kernel et la méthode des plus proches voisins. Les résultats ont permis de confirmer l'hypothèse de base selon laquelle l'engrais organique améliore les rendements céréaliers au Burkina Faso.

Etant donné l'importance des céréales dans la vie socioéconomique des populations rurales et au regard de nos résultats, l'amélioration des rendements céréaliers au Burkina Faso nécessite la valorisation des engrais organiques. Les politiques publiques visant des rendements agricoles durables doivent promouvoir la gestion de la fertilité des sols en favorisant l'acquisition des équipements nécessaires à la production et à l'utilisation efficace de l'engrais organique. Plusieurs politiques de gestion de la fertilité des sols sont mises en œuvre au Burkina Faso dont entre autres le Cadre Stratégique d'Investissement en matière de Gestion des Terres (CSI-GDT) et la Stratégie Nationale de Restauration, Conservation et Récupération des Sols au Burkina Faso (SNRCRS).

Au bilan en 2018 de la mise en œuvre de ces politiques et stratégies, on note une production de 524 968 tonnes de fumure organique soit une production d'environ 85 kg pour un hectare en vue d'améliorer la fertilité des sols. Cela est très insuffisant comparé à la dose optimale de 5 tonnes de fumure par hectare, recommandée par les analyses de Somda et al. (2017). L'amélioration de la fertilité des sols et des rendements agricoles nécessite donc une amélioration significative de la production et de l'utilisation de la fumure organique.

La présente recherche utilise un modèle qui ne tient pas comptes des biais qui peuvent exister sur les inobservables. Le recours à un modèle qui prend en compte les biais de sélection qui peuvent exister sur les observables et les inobservables dans une perspective de recherches futures donnerait des résultats plus intéressants.

Références bibliographiques

- Ayedegue, U. L., Kassim , I., et Yabi, A. J. (2020). Typologie Et Déterminants Des Stratégies D'adaptation Aux Changements Climatiques En Riziculture Au Nord Et Centre Du Bénin. *European Scientific Journal*, 16(6), 1857- 7431 <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p206>
- Banque mondiale, (2022). Les données ouvertes de la Banque mondiale. *Recupérée sur <https://donnees.banquemondiale.org>*
- Becker, S. O., et Ichino, A. (2002). Estimation of Average Treatment Effects Based on Propensity Scores. *The Stata Journal*, 2(4), 358–377. <http://dx.doi.org/10.1177/1536867X0200200403>.
- Biaou, B. O., Saidou, A., Bachabi, F.-X., Padonou, E. G., et Balogoun, I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem.*, 11(5), 1991-8631. Recupéré sur <http://www.ifgdg.org/>.

- Boef, A. G., Dekkers, O. M., Vandenbroucke, J. P., et le Cessie, S. (2014). Sample size importantly limits the usefulness of instrumental variable methods, depending on instrument strength and level of confounding. *J Clin Epidemiol.* 67(11): 1258-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclinepi.2014.05.019>
- Carlen, C., Flisch, R., Gilli, C., Huguenin-Elie, O., Kuster, T., Latsch, A., . . . Spring, J.-L. (2017). Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse. *Recherche Agronomique*, 8(6). Recupéré sur <http://www.prif.ch>.
- Cheshire, M. V. (1979). *Nature and origin of carbohydrates in soils*. London: Academic Press.
- Compaore, E., Cattan, P., et Taonda, J. B. (2011). Effect of Continuous Mineral and Organic Fertilizer Inputs and Plowing on Groundnut Yield and Soil Fertility in a Groundnut–Sorghum Rotation in Central Burkina Faso. In *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts* (pp. 597-603).
- De Bon, H., Brun-Diallo, L., Sène, J.-M., Simon, S., et Sow, M. A. (2019). Rendements et pratiques des cultures maraîchères en agriculture biologique au Sénégal. *Agriculture biologique en Afrique : diversité des trajectoires*, 8(2). <https://doi.org/10.1051/cagri/2019001>.
- Drechsel, P., Gyiele, L., Kunze, D., et Olufunke, C. (2001). Densité de population, épuisement des éléments nutritifs du sol et croissance en Afrique subsaharienne. *Ecological economics*, 251-258.
- FAO. (2017). *"The future of food and agriculture - Trends and challenges"*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO. (2019). *Le devenir de l'élevage au Burkina Faso. Défis et opportunités face aux incertitudes*. Rome.
- Godtland, E., Sadoulet, M. E., De Janvry, A., Murgai, R., et Ortiz, O. (2004). The impact of Farmer-Field-Schools on knowledge and productivity: A Study of Potato Farmers in the Peruvian Andes. *Economic Development and Cultural Change*, 53(1) 63-72. doi:10.22004/ag.econ.25093.
- Heckman, J., Ichimura, H., Smith, J., et Todd, P. (1998). Characterizing selection bias using experimental data. *Econometrica*, 5(66), 1017-1098. <https://doi.org/10.2307/2999630>.

- Heeb, A., Lundegardh, B., Ericsson, T., et Savage, G. P. (2005). Effects of nitrate-ammonium and organic-nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *J.Plant Nut.Soil Sci*, 168(1), 123-129. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200420420>.
- Heeb, A., Lundegardh, B., Savage, G. P., et Ericsson, T. (2006). Impact of organic and inorganic fertilizers on yield,taste,and nutritional quality of tomatoes. *J.Plant.Nut.Soil Sci*(169), 535-554. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200520553>.
- Hosmer, D. W., et Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression* (2nd ed.). Canada: Wiley Series in Probability and Statistics.
- Hu , S., Coleman , D. C., Caroll , C. R., Hendrix , P. F., et Beare, M. H. (1997). Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agric.Ecosyst. Environ.*, 65(1) 69 - 78. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00049-2).
- INSD. (2022). *Equête Multisectorielle continue 2018 - Analyse des données*. Ouagadougou: INSD.
- Jama, B., et Pizarro, G. (2008). Agriculture in Africa: Strategies to Improve and Sustain Smallholder Production Systems. *United Nations Development Programme, New York, New York, USA*, 218-232.
- Jobin, P., et Petit, J. (2005). *La fertilisation organique des cultures*. Québec: Fédération d’agriculture biologique du Québec.
- Kassie, M., Shiferaw, B., et Geoffrey, M. (2011). Agricultural technology, crop income, and poverty alleviation in Uganda. *World Development*, 39(10): 1784–1795. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.04.023>.
- Kitabala , M. A., Tshala , U. J., Kalenda , M. A., Tshijika , I. M., et Mufind , K. M. (2016). Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo) . *Journal of Applied Biosciences* ,vol(102): 9669 – 9679.Recupéré sur <http://www.m.elewa.org/>.

- Koné, B., Oikeh, S., Diatta, S., Somado, E., Kotchi, V., et Sahrawat, K. L. (2011). Response of interspecifics and sativa upland rice to Mali phosphate rock and soluble phosphate fertilizer. *Arch Agro Soil Sci*, 4(57), 421-434. <https://doi.org/10.1080/03650340903563382>.
- Kouassi, Y. F., Gbogouri, G. A., N'guessan, K. A., Bilgo, A., Pascalangu, K. T., et Ama, T. J. (2019). Effets de fertilisants organiques et organo-minéral à base de déchets végétaux et animaux sur la croissance et le rendement du soja (*Glycinemax (L.)*) en zone de savane de Cote d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 31(1): 1-12.
- Koulibaly, B., D. Dakuo, D., Ouattara, A., Traoré, O., Lompo, F., Zombré, P., N., et Yao Kouamé A. (2015). Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicultura*, 33(2): 125-134
- Kowaljow, E., et Mazarrino, M. J. (2007). Soil restoration in semiarid patagonia: Chemical and Biological response to different compost quality. *Soil Biological and Biological*, 39(7): 1580-1588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.01.008>.
- Long, T. B., Blok, V., et Coninx, I. (2016). Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 112, 9-21.
- McFadden, D. (1973). In *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior* (p. Chapter four). Berkeley, California: University of California at Berkeley.
- Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., et Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of environmental management*, 149, 193-208, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>.
- Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-Agricole. (2020). *Tableau de bord statistique de l'agriculture 2018*. Ouagadougou: Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles.

- Mouret, J.-C., Hammond, R., Bayot, M., Fabre, D., et Thomas, C. (2020). Production de références pour optimiser la fertilisation organique en riziculture biologique camarguaise. *HAL INRAE*. <https://hal.inrae.fr/hal-02816263v1>.
- Mukendi, T. R., Mutamba, T. B., Kabongo, M. D., Longanza, B. L., et Munyuli, M. T. (2017). Amélioration du sol dégradé par l'apport d'engrais inorganique, organiques et évaluation de rendement du maïs (*Zea mays* L.) dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2): 816-827. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.23>.
- Nakhumwa, T. O., et Hassan, R. M. (2012). Optimal management of soil quality stocks and long-term consequences of land degradation for smallholder farmers in Malawi . *Environmental and Resource Economics*, 52: 415-433. <https://doi.org/10.1007/s10640-011-9536-0>.
- Ndèye , F. F.-M. (2017). *Les déterminants et l'impact de l'adoption des semences certifiées de mil et de sorgho dans le bassin arachidier du Sénégal*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- Ngoyi, N. A., Masanga, K. G., Bila, M. H., Yashima, Y. A., Milambo, M. M., Ndjibu, N. L., et Baboy, L. L. (2020). Effet des amendements organiques sur la croissance et le rendement de lapomme de terre (*Solanum tuberosum*) cultivée sur un sol dégradé dans la région de Kabinda, République Démocratique du Congo. *Int. J. Biol. Chem.*, 14(5): 1812-1819. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.24>.
- Norse, D. (2005). Non-point pollution from crop production: global, regional and national issues. *Pedosphere*, 15(4):499-508.
- Ollabode, N., Tovihoudji, G. P., Yegbemey, R. N., Aihounton, D., Edja, H., Akponikpè, P., et Yabi, A. J. (2022). Facteurs déterminant l'utilisation des engrais minéraux et organiques par les producteurs de maïs en zones soudanienne et soudano-sahélienne du Nord-Bénin. *Agronomie Africaine*, 34 (2) : 229 - 242.

- Ouédraogo, M., Dembélé, Y., et Somé, L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations . *Science et Changements Planétaires -Secheresse* 21(2):87-96.
<https://www.jle.com/10.1684/sec.2010.0244>.
- Ragasa, C., Ulimwengu, J., Randriamamonjy, J., et Badibanga, T. (2015). Factors affecting performance of agricultural extension : Evidence from Democratic Republic of Congo. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 22(2):1-31.
<http://dx.doi.org/10.1080/1389224X.2015.1026363>
- Roger, D. N. (2005). *Politiques de developpement agricole concepts et expérience*. Organisation des Nation Unies pour l'alimentation, FAO.
- Rosenbaum, B., et Rubin, P. R. (1984). Reducing bias in observational studies using subclassification on the propensity score. *Journal of American Statistical Association*. 79, (387): 516-524.
<https://doi.org/10.2307/2288398>.
- Rosenbaum, P. R., et Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70, (1): 41-55.
<https://doi.org/10.2307/2335942>.
- Sale, A., Folefack, D. P., Obwoyere, G. O., Lenah Wati, N., Lenzemo, W. V., et Wakpono, A. (2014). Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(2): 680-694.
- Sissoko, P., et Lebailly, P. (2019). Les déterminants des rendements du mil et du sorgho avec la technique du microdosage d'engrais. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 7 (2): 213-222. Récupéré sur www.agrimaroc.org.
- Sissoko, P., Bert, F., Gry, S., et Lebailly, P. (2018). Effets de l'adoption de la technique du microdosage d'engrais sur la disponibilité et l'accessibilité céréalière des exploitations agricoles à base de mil et de sorgho au Mali. *Agronomie Africaine* , 30 (2): 193 - 204.
- Solow, M. R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*,, 70(1), 65-94.

- Somda, B. B., Ouattara, B., Serme, I., Pouya, M. B., Lompo, F., Taonda, S., et Sedogo, P. M. (2017). Détermination des doses optimales de fumures organo-minérales en microdose dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2): 670-683.
- Tchabi, V. I., Azocli, D., et Biauou, G. D. (2012). Effet de différentes doses de bouse de vache sur le rendement de la laitue (*Lactuca sativa* L.) à Tchatchou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(6): 5078-5084. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.26>.
- Teno, G., Lehrer, K., et Koné, A. (2018). Les facteurs de l'adoption des nouvelles technologies en agriculture en Afrique Subsaharienne: une revue de la littérature. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 13(2), 140-151.
- Waibena, D. T.-è., Okey, N. M., et Kao, P. (2019). Effet de l'adoption de la fertilisation organique et de la jachère améliorée sur le revenu des producteurs de maïs de la région maritime au Togo. *Invited paper presented at the 6th African Conference of Agricultural Economists*.
- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S., et Wang, Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199, 882-890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>.
- Yirga, C., et Hassan, R. M. (2010). Social costs and incentives for optimal control of soil nutrient depletion in the Central Highlands of Ethiopia. *Agricultural Systems*, 103(3): 153-160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2009.12.002>.
- Zhang, H., Xu, M., et Zhang, F. (2009). Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China. *Journal of Agricultural Science*, 147(1): 31-42. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008265>.
- Zsófia, M., Andrea, T., et Csutora, M. (2012). Modifying the yield factor based on more efficient use of fertilizer-The environmental impacts of intensive and extensive agricultural practices. *Ecological Indicators*, 16, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.034>.

Annexes

Annexe 1 : résultats du modèle logit de calcul des scores de propension

Variables	Coefficient	Erreurs types	Effets marginaux	Erreurs types
Age	0,009**	0,0037	0,002**	0,0008
Taille du ménage	0,030**	0,014	0,007**	0,003
Genre	-0,329	0,222	-0,077	0,052
Niveau d'éducation (référence : aucun)				
Primaire	0,192	0,141	0,045	0,033
Secondaire	-0,0209	0,225	-0,004	0,052
Accès au crédit	0,076	0,101	0,0181	0,023
Revenu	0,000***	0,000	0,000***	0,000
Superficie en céréales	-0,0009	0,023	-0,0002	,0055859
Cheptel	0,0096 ***	0,003	0,002***	,0007607
Constant	-0,966 ***	0,315		
Nombre d'observation	1764			
LRchi2(9)	57,48			
Prob > chi2	0,0000			

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017) ; NB : *** ; ** et * sont respectivement les seuils de significativité de 1%, de 5% de 10%.

Annexe 2 : résultats (sortie logiciel) du test de propriété d'équilibre de l'appariement

Estimated propensity score

Percentiles		Smallest		
1%	.2627966	.2420294		
5%	.2991014	.2477109		
10%	.3192041	.2484543	Obs	1,764
25%	.3569806	.2506429	Sum of Wgt.	1,764
			Mean	.4189342
50%	.4038251		Std. Dev.	.0888711
		Largest		
75%	.4687987	.7482201		
90%	.5386123	.7641824	Variance	.0078981
95%	.5892596	.766506	Skewness	.8652496
99%	.6893904	.7671407	Kurtosis	3.855508

The balancing property is satisfied

This table shows the inferior bound, the number of treated and the number of controls for each block

Inferior of block of pscore	futures		Total
	Non	Oui	
.2	559	289	848
.4	437	405	842
.6	29	45	74
Total	1,025	739	1,764

Note: the common support option has been selected

 End of the algorithm to estimate the pscore

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017)

Annexe 3 : résultats de l'analyse de robustesse (changement de spécification)

Méthode utilisée	Groupe de contrôle	Groupe Traité	ATT	Standard Erreur	T statistique
Méthode de Kernel	1024	739	304,454	96,671	3,149
Méthode du plus proche voisin	466	739	286,051	131,691	2,172

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017).

Annexe 4 : Test d'autocorrélation

	Rendement	Engrais organiq	Taille du ménage	Education	Accès au crédit	Age	Genre	Revenu	Cheptel
Rendement	1,0000								
Engrais organiq.	0,0796	1,0000							
Taille du ménage	0,0061	0,1114	1,0000						
Education	0,0230	0,0144	-0,0199	1,0000					
Accès au crédit	0,0132	0,0288	0,1048	0,0710	1,0000				
Age	-0,0217	0,0600	0,1589	-0,1982	-0,0752	1,0000			
Genre	0,0393	-0,0592	-0,2041	-0,0881	-0,0660	0,1442	1,0000		
Revenu	0,0187	0,1121	0,1625	0,0906	0,0669	-0,076	-0,084	1,0000	
Cheptel	0,0270	0,1253	0,3092	-0,0164	0,0015	0,0891	-0,131	0,2587	1,0000

Source : auteurs à partir des données du PNGT2 (2017)