

Economie

EFFETS COMPARÉS DE L'UTILISATION DE NPK SUR LE SORGHO ENTRE ZONES PLUVIEUSE ET ARIDE AU BURKINA FASO

PAR BWIZA RUTIKANGA FLORENCE*¹ ET MUNYANTWARI NDUWAYO

YVES**²

Résumé

L'objet principal de ce travail est de comparer les effets de l'utilisation du NPK dans la culture du sorgho entre zones pluvieuse et aride au Burkina Faso. Cet article a utilisé les modèles Probit et Heckman à deux étapes pour analyser les déterminants des décisions d'adoption et d'intensification de l'utilisation de NPK dans la production du sorgho dans la zone pluvieuse et aride au Burkina Faso. Les résultats issus du modèle Probit révèlent que la traction animale, le revenu non agricole, la distance par rapport à une route bitumée et la quantité des semences expliquent l'adoption de NPK dans la zone pluvieuse ; l'âge du chef de ménage influence l'adoption de NPK dans la zone aride ; la taille de champ et l'appartenance à une organisation de producteurs affectent l'adoption de NPK dans les deux zones. Les résultats du modèle de Heckman à deux étapes indiquent que la taille de champs, le fait d'être homme et le TLU influencent l'intensité de NPK dans la zone pluvieuse ; la traction animale, la possession d'une radio et le pourcentage de travailleuses femmes dans le ménage expliquent l'intensité de NPK dans la zone aride. Ces résultats impliquent que les politiques d'incitation à l'adoption devraient songer aux prêts directs de la traction animale dans la zone pluvieuse alors que dans la zone aride, les autorités pourraient appliquer un système de prix non linéaire croissant pour la vente de NPK.

Mots-clés : *Modèle probit, modèle de Heckman à deux étapes, adoption, intensité, NPK, sorgho, zone pluvieuse, zone aride.*

Abstract

The main objective of this work is to compare the effect of NPK adoption in sorghum cultivation between the rainy and arid zone in Burkina Faso. This article used the Probit and the two-step Heckman models to analyze the determinants of decisions to adopt and intensify the use of NPK in sorghum production in the rainy and arid zone of Burkina Faso. Results from the Probit model show that animal traction, non-agricultural income, distance from a paved road and seed quantity explain the adoption of NPK in the rainy zone; the age of the head of the household influences the adoption of NPK in the arid zone; size of field and membership in a producer organization affect the adoption of NPK in both zones. Results from the two-step Heckman model indicate that field size, the fact of being man and TLU influence NPK intensity in the rainy zone; animal traction, possession of a radio and the percentage of women working

* Enseignante - Chercheuse, Sciences Economiques et Gestion, Université de Goma, B.P. 204, Goma (République Démocratique du Congo). E-mail : bwizaflorence0909@gmail.com

** Enseignant - Chercheur, Sciences Économiques et Gestion, Université de Goma, B.P. 204, Goma (République Démocratique du Congo). E-mail : yvesmuntwari6@gmail.com

in the household explain the intensity of NPK in the arid zone. These results imply that Policies to encourage adoption should consider direct loans for animal traction in the rainy zone, while in the arid zone the authorities could apply a growing non-linear price system for the sale of NPK.

Keywords: *Probit model, two-stage Heckman model, adoption, intensity, NPK, sorghum, rainfall, arid zone.*

1. INTRODUCTION

L'agriculture tient une place prépondérante dans l'économie du Burkina Faso. Sicarex (2006) souligne qu'elle occupe plus de 80% de la population, contribue pour 40% à la formation du Produit Intérieur Brut (PIB) et procure 50% des recettes d'exportation. Les principales cultures sont : le mil, avec 40% des superficies cultivées, le sorgho blanc, avec 39% des superficies cultivées, le sorgho rouge, avec 10% et le maïs, avec 7%.

Sicarex (2006) énonce qu'avec une production céréalière de 2,5 millions de tonnes par an, le Burkina Faso est l'un des grands pays céréaliers de l'Afrique de l'Ouest, après le Nigeria (plus de 20 millions de tonnes), à l'instar de ses voisins, le Mali et le Niger. C'est un des rares pays sahéliens à avoir amélioré sa production, passant d'à peine 150 kilogrammes par an et par habitant au début des années 60 à plus de 190 kilogrammes depuis une dizaine d'années. Cette croissance est non seulement due à l'extension des surfaces, mais aussi à une hausse des rendements, quelle que soit la céréale considérée et la région agricole.

Le Burkina Faso étant parmi les gros producteurs de coton en Afrique de l'Ouest (en quasi association avec les céréales), souffre de la baisse de la fertilité de sols à cause de l'agriculture extensive pratiquée. L'intensification agricole est donc requise pour améliorer la productivité agricole et accroître durablement les disponibilités alimentaires mais aussi pour induire la croissance économique souhaitée.

Henao et Baanante (2006) soulignent que dans plusieurs pays de la sous-région, les résultats d'essais de fertilisation, avec diverses sortes d'engrais et de variétés de cultures, ont montré que plus de 50% de l'augmentation des rendements proviennent des engrais minéraux. Neuf cent quatre vingt deux exemples (essais multifactoriels – NPK (Azote Phosphore et Potassium) et divers amendements – de courte et longue durée) au Togo, au Nigéria, au Niger et au Burkina Faso montrent l'effet bénéfique des engrais sur les rendements de maïs, mil et sorgho.

L'étude de Breman et al. (2001) montre que l'utilisation efficace des engrais minéraux est incontournable pour améliorer la productivité agricole et faire face aux défis alimentaires et de réduction de la pauvreté en Afrique de l'Ouest. Ainsi, sans engrais

minéraux les rendements de mil fluctuent entre 500 et 800 kg/ha aux environs d'Ouagadougou au Burkina Faso (avec une pluviométrie de 600-1000 mm/an), alors qu'ils peuvent atteindre 2000 kg/ha lorsque les nutriments sont disponibles. Shapiro et Sanders (1997) soulignent qu'on ne peut pas nier l'importance des intrants complémentaires prônée par la Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS), les engrais minéraux constituent à l'heure actuelle la seule voie techniquement efficace et économiquement rentable pour vaincre les contraintes liées à l'amélioration de la fertilité des sols cultivés par la plupart des agriculteurs des zones soudaniennes et sahélo-soudaniennes d'Afrique. C'est pour toutes ces raisons que la faible utilisation des engrais minéraux est considérée comme l'une des principales causes de la faible performance de l'agriculture en Afrique de l'Ouest.

Bikienga (2002) trouve que les résultats obtenus sur le sorgho montrent clairement une bonne réponse de cette culture à l'engrais minéral sur chaque année. L'augmentation de rendement due au NPK est en moyenne de 55 % par rapport au témoin absolu ; en valeur absolue, cette augmentation de rendement correspond à 448 kg de grains. L'enseignement qu'on peut tirer est que malgré les conditions climatiques difficiles que connaît le Burkina Faso, l'utilisation des engrais reste une solution efficace pour accroître les rendements des cultures et l'ensemble de sa production agricole. Même dans le plateau central et l'Est du pays où l'on pratique surtout la culture du sorgho et du mil, l'efficacité des engrais minéraux se confirme.

L'adoption d'une nouvelle technologie est motivée par le profit espéré par les producteurs et la disponibilité de l'information sur sa mise en œuvre et son efficacité. À cet effet, en Éthiopie, Yirga et Hassan (2013) montrent en utilisant le modèle de Heckman à deux étapes que le niveau d'étude du chef de ménage, le nombre de bétail possédé, le nombre de parcelles possédées, la possession de terre, l'accès au crédit et les services de vulgarisation, l'utilisation agro-écologique et la fumure organique influencent l'adoption et l'intensité de l'utilisation des engrais inorganiques. Wozniak, 1984 ; Feder et al. 1985, Doss et al. 2003 et Zegeye et al. 2001 ont mis en évidence les facteurs socio-économiques, démographiques et agro-écologiques institutionnels comme les principaux déterminants de la décision d'adoption de nouvelles technologies.

Il en est de même de Zegeye et al. 2001, Knepper (2002), Feder et al. 1985, Moreno et Sunding (2005), Adesina (1996), Alene et al. (2000), Asfaw et Admassie (2004), Bacha et al. 2001, Chianu et Tsujii (2004), Chirwa (2005), Croppenstedt et Demeke (1996), Elsado et al. 2004, Hathie et al. (2011), Kherallah et al. (2000), Lee (2005), Maiga et Boyer (2004), Maltas et al. (2012), Nowak (2013), Olwande et al. (2009), Samie et al. (2009), Yesuf et Kohlin (2009) et Combarry (2013).

Gebremedhin et Swinton (2002) montrent que les caractéristiques d'ordre démographique et social relatives au ménage telles que l'âge du chef de ménage et la

taille du ménage ont été abordées et stipulent qu'ils sont essentiels pour comprendre l'adoption de nouvelles technologies. Ces deux auteurs soulignent que l'âge affecte significativement l'adoption de nouvelles technologies en Éthiopie.

Genanew et Alemu (2010) trouvent qu'en ce qui concerne le genre, les travaux effectués en Éthiopie montrent que les femmes s'adonnent plus que les hommes aux techniques de conservation de sols. Le genre est trouvé aussi significatif dans l'adoption de nouvelles technologies avec les travaux empiriques de Kazianga et Masters (2002) effectué au Burkina Faso.

Freeman et Omiti (2003) ; Chianu, (2004) montrent que les producteurs localisés dans les zones à faible pluviométrie sont moins enclins à adopter les engrais chimiques.

Ces études bien qu'abordant pour la plupart la question des déterminants de l'adoption et de l'intensification de l'utilisation des nouvelles technologies, ne renseignent pas sur ces aspects selon les zones agro-climatiques. L'objectif principal de cet article est de comparer les effets de l'utilisation du NPK dans la culture du sorgho entre zones pluvieuse et aride au Burkina Faso. De manière spécifique, cet objectif revient premièrement à analyser les facteurs qui influencent la décision de l'adoption du NPK sur le sorgho au Burkina Faso et deuxièmement tenter d'isoler les facteurs influençant l'intensité d'utilisation de NPK sur le sorgho selon les zones agro-climatiques. À cet effet, un modèle binaire du type Probit et le modèle de Heckman à deux étapes nous aideront à atteindre ces objectifs.

Ce travail relatif aux effets comparés de l'utilisation des NPK dans la culture du sorgho entre zones aride et pluvieuse du Burkina Faso présente un intérêt en matière de politique agricole pour la prise de décisions rationnelles. Ensuite, sur le plan scientifique, l'originalité du travail est d'avoir comparé deux zones de conditions agro-climatiques différentes en testant des variables telles que le TLU³ pour l'adoption, l'intensité, son effet sur le rendement ainsi que le nombre de personnes à nourrir et le pourcentage de travailleuses femmes pour l'intensité d'utilisation de NPK.

Outre l'introduction, constituant la première section de l'étude, l'article est organisé en quatre autres sections. La section deux expose le cadre théorique de l'adoption et de l'intensification d'une technologie. La section trois est consacrée à la description des variables d'analyse et de la méthode de collecte des données. La section quatre traite

³ Selon Mohamed et al. (2007), Tropical Livestock Unit (TLU) est un nombre de bétail converti dans une unité commune en (2005). Les facteurs de conversion varient selon la région du monde. Par exemple, le facteur de conversion pour l'Afrique sub-saharienne est: le bétail = 0,5, le mouton = 0,1, les chèvres = 0,5, les porcs = 0,2, les poulets = 0,01. Par conséquent, si une prise de maison détient 10 bétails, 50moutons, 25chèvres, 10porcs, 200poulets, alors la maison détient la dotation en valeur de TLU égal à : $10 * 0.5 + 50 * 0.1 + 25 * 0.1 + 10 * 0.2 + 200 * 0.01 = 16.5$ TLU.

des déterminants de l'adoption et de l'intensification de l'utilisation de NPK. Enfin, la section 5 tire les conclusions et les implications des politiques économiques de l'étude.

2. FONDEMENTS THÉORIQUE ET EMPIRIQUE DE L'UTILISATION DES INTRANTS DANS LA PRODUCTION AGRICOLE

Nous présenterons dans un premier temps, les fondements théoriques de la présente recherche et dans un second temps, faire un aperçu de quelques études empiriques.

2.1. Fondement théorique

Les théoriciens de la croissance économique Solow (1956) ; Romer (1986), cité par Gregory (2012) s'accordent sur le point que le progrès technologique améliore la productivité des facteurs de production. Le progrès technique désigne le développement et le perfectionnement des moyens de production. La théorie économique stipule également que la productivité du travail baisse au fur et à mesure que le nombre de travailleurs agricoles augmente. Dans la plupart de pays en développement, la quantité de travail rapportée à l'unité de surface augmente car la démographie est galopante. Les études d'ISRA (2010) soulignent qu'au Sénégal, comme dans la plupart des pays de l'UEMOA, on enregistre un taux de croissance démographique de 3%. Cette hausse de la main-d'œuvre du secteur agricole qui s'explique par la démographie traduit une absence de rémunération du facteur travail qui se manifeste par une baisse du revenu par tête.

Scheer (2000), un théoricien néoclassique relève que les agriculteurs adoptent des nouvelles technologies si elles leur apportent des avantages économiques nets. Ainsi, la décision d'adoption des nouvelles technologies par les agriculteurs est supposée basée sur la maximisation de leur utilité.

Roger (2005) montre que le progrès agricole en Asie résulte en partie de la « révolution verte » c'est-à-dire que l'essor spectaculaire de la production de céréales (blé et riz) a été rendu possible par la diffusion des variétés à haut rendement et à cycle court ainsi que par le développement de l'irrigation et l'utilisation des engrais.

Dans un pays où le taux de croissance démographique est important et la dégradation des sols très avancée s'ajoutant à une capacité de terres arables très faibles, la réponse constitue une intensification agricole qui conduit à l'utilisation des fertilisants. Notre recherche s'inscrit non seulement dans la logique de progrès technique où l'adoption des engrais et l'intensification sont considérées comme faisant partie du progrès technologiques mais aussi sur la théorie de la maximisation de l'utilité du producteur.

2.2. Fondement empirique

L'adoption des innovations agricoles varie d'un exploitant à un autre et d'une région à une autre. Cette variabilité d'adoption entre petits exploitants est prouvée pour la première fois par deux chercheurs notamment Ryan et Gross (1943). Par la suite, d'autres chercheurs ont soulevé certaines caractéristiques relatives aux exploitants et aux superficies emblavées pour expliquer cette inégalité d'adoption et d'intensification de l'utilisation de la nouvelle technologie.

L'adoption d'une nouvelle technologie est motivée par le profit espéré par les producteurs et la disponibilité de l'information sur sa mise en œuvre et son efficacité. À cet effet, en Éthiopie, Yirgaet Hassan (2013) montrent en utilisant le modèle de Heckman à deux étapes que le niveau d'étude du chef de ménage, le nombre de bétail possédés, le nombre de parcelles possédées, la possession de terre, l'accès au crédit et les services de vulgarisation, l'utilisation agro-écologique et fumure organique influencent l'adoption et l'intensité de l'utilisation des engrais inorganiques. Wozniak, 1984, Feder et al. 1985, Doss et al. 2003, Zegeye et al. 2001 et Federet al. 1985, ont mis en évidence les facteurs socio-économiques, démographiques et agro-écologiques institutionnels comme les principaux déterminants de la décision d'adoption de nouvelles technologies dans les pays en développement.

Selon Bacha et al. 2001, Kherallah et al. 2002 l'accès aux services de vulgarisation agricole incite les producteurs à adopter de nouvelles technologies pour développer leurs activités. Wozniak (1984) et Ersado et al. (2004) trouvent que dans un environnement où le transfert technologique est difficile, le niveau d'éducation formel des actifs est déterminant d'adoption. Par contre, Adesina (1996) montre que les producteurs à faibles revenus ou avec une contrainte de crédit sont moins enclins à adopter de nouvelles technologies plus risquées.

Combary (2013) montre en utilisant le modèle Tobit que la potentialité agricole de la zone, la possession d'une radio, le niveau d'éducation formel des actifs, la proximité avec une route aménagée en terre, le montant de crédit reçu et l'appartenance à un groupement de producteurs augmentent significativement la décision d'adoption et d'intensification dans la culture de céréales au Burkina Faso. Maiga et Boyer (2004) montrent que l'augmentation de la superficie accroît la probabilité qu'un champ reçoive de la fumure organique et des cordons pierreux au Burkina Faso.

Gebremedhin et Swinton (2002) montrent que les caractéristiques d'ordre démographique et social relatives au ménage telles que l'âge du chef de ménage et la taille du ménage ont été abordées et stipulent qu'ils sont essentiels pour comprendre l'adoption de nouvelles technologies. Ces deux auteurs soulignent que l'âge affecte significativement l'adoption de nouvelles technologies en Éthiopie.

Genanew et Alemu (2010) trouvent qu'en ce qui concerne le genre, les travaux effectués en Éthiopie montrent que les femmes s'adonnent plus que les hommes aux techniques

de conservation de sols. Le genre est trouvé aussi significatif dans l'adoption de nouvelles technologies avec les travaux empiriques de Kazianga et Masters (2002) effectué au Burkina Faso.

Des études précédentes de Zegeye et al. (2001) effectuées en Éthiopie dans le cadre de l'adoption du maïs amélioré montrent que la taille du ménage affecte positivement la probabilité d'adoption du maïs amélioré. Alene et al. (2000) en utilisant le modèle de Tobit trouvent que le niveau de l'éducation, la taille du ménage, la superficie emblavée, l'accès aux services, le rendement et la disponibilité à temps de semences améliorées par les petits producteurs de la zone ouest Soa en Éthiopie affectent significativement l'adoption et l'intensité d'utilisation du maïs amélioré. Au Sénégal, Hathie et al. (2001) montrent aussi en utilisant le modèle Tobit et Probit sur les données en coupe transversale que la taille du ménage affecte positivement la décision d'adoption et d'intensification de l'utilisation des engrais chimiques. Force est de reconnaître que la main d'œuvre constitue l'un des facteurs d'ordre démographique le plus important de la production agricole. En outre, l'étude de Lee (2005) montre que la taille du ménage affecte positivement l'adoption de nouvelles technologies. Croppenstedt et Demeke (1996) ; Zegeye et al. 2001; Doss et al. 2003 trouvent que les ménages de plus grandes tailles ont une probabilité d'adoption plus grande des nouvelles technologies. Samie et al. (2009) avancent que l'éducation est un facteur primordial capable d'inciter les producteurs à recourir à des nouvelles technologies.

L'adoption d'une technologie nécessite également l'accès au marché de crédit, de former les agriculteurs et de leurs fournir les services de vulgarisation sur les nouvelles variétés à haut rendement. Ainsi Yirga et al. (2013) montrent que l'accès au service de vulgarisation dans le système mixtes agro-élevages dans les hautes terres du centre de l'Éthiopie favorise l'adoption et l'intensité de l'utilisation de l'engrais inorganiques. Des études menées par Kherallah et al. (2000) au Bénin révèlent également que les facteurs d'ordres institutionnels tel que l'accès aux inputs par crédit expliquent considérablement l'utilisation des engrais par les petits producteurs. Ils ont attirés l'attention sur le revenu non agricole du chef de ménage en effet, ils affirment que la liquidité au niveau du ménage affecte peu l'adoption du ménage au Bénin. Ils expliquent ce résultat par le fait que la majorité des producteurs acquière l'engrais à crédit. Feder et al. (1985) affirment que la disponibilité de revenus non agricoles permet de s'auto financer et d'augmenter les chances d'adopter une nouvelle technologie. Par conséquent, l'étude Olwande et al. (2009) montre qu'il est important de développer les techniques financières adaptées (microfinance) qui sont révélées étant donné les facteurs influençant positivement l'adoption de nouvelles technologies. La distance de la parcelle par rapport au marché détermine aussi les chances d'adopter une nouvelle technologie.

Les meilleures incitations pour l'adoption de nouvelles technologies pourraient provenir d'une définition claire des droits d'accès à la terre ou du régime foncier. La sécurité

foncière constitue un levier essentiel capable d'inciter les petits producteurs à investir dans des techniques de conservation de sols qui pourraient expliquer une augmentation de rendements. Dans cette logique, Feder et al. (1985) ont trouvé que la détention des titres fonciers en Thaïlande est corrélée positivement à une gestion de sols.

Des études effectuées en Éthiopie par Genanaew (2010) trouvent que les effets de la tenure foncière sur l'adoption de techniques de conservation des sols sont non significatifs. Chianu et Tsujii (2004) ; Chirwa (2005) montrent que l'adoption de nouvelles technologies est aussi corrélée positivement avec les caractéristiques liées au périmètre cultivé autre que la tenure foncière. Au Burkina Faso, Maiga (2004) trouve que la localisation de la zone de la fabrication de la fumure organique affecte significativement la probabilité d'adoption de techniques de conservation des sols.

Les résultats de recherche de Chirwa (2005) ont également montré que les conditions agro-écologiques jouent sur la probabilité d'adoption d'une technologie agricole.

En ce qui concerne l'effet des engrais sur le rendement, les études faites par Maltas et al. (2012) en Suisse ont montré que l'année de l'apport et les années suivantes, l'apport d'engrais de ferme, fumier ou lisier, accroît le rendement (+0.4 à +2.2% en moyenne), tandis que l'insertion d'engrais vert à base de moutarde et la restitution systématique de pailles de céréales le diminue (-3.6 et -4.7 respectivement) et que lorsque les cultures sont carencées en N, les engrais organiques ont tous un arrière-effet positif sur le rendement de cultures. Les résultats obtenus par Dembo et al. (2012) ont montré que tous les paramètres agronomiques croissent avec l'augmentation de la dose d'engrais, sauf le nombre d'épi par pied et les deux variétés de maïs testées ont donné des rendements similaires.

La disponibilité du phosphore organique doit être considérée comme étant significative pour la croissance du maïs-grain et que les augmentations des rendements les plus importantes sont survenues sur les sols dont la saturation en phosphore était inférieure à 4% et qui n'avaient reçu aucun épandage d'engrais de ferme.

Après le fondement théorique et empirique de la présente recherche, le cadre méthodologique est mis en exergue.

3. CADRE MÉTHODOLOGIQUE

3.1. Outils d'analyse

Le producteur fonde sa décision d'adoption d'une nouvelle technologie sur l'utilité espérée. Il n'adopte la nouvelle technologie que si l'utilité anticipée est supérieure à celle de la non adoption (Marenya et Barrett, 2007; Nkamleu et Adesina, 2000). Cependant, la procédure retenue dans cette recherche se décline en deux étapes :

Première étape : dans un premier temps, nous analysons les choix des producteurs d'utiliser ou non le NPK dans chacune des deux zones sous examen. À cette étape, nous essayerons de comprendre ce qui pousse les ménages à recourir au NPK. Pour ce faire, nous aurons deux régressions séparées contenant les mêmes variables explicatives. Selon Makokha et al. 2001, les modèles Probit, Logit et Tobit sont les plus couramment utilisés pour identifier les facteurs qui influencent la décision d'adoption d'une nouvelle technologie. Dans cette recherche nous utiliserons le modèle de choix binaire Probit pour la détermination des facteurs qui influencent cette décision. La spécification de ce modèle se présente de la manière suivante :

Soit à analyser le choix d'utiliser ou de ne pas utiliser l'engrais. On peut supposer que l'individu attache une utilité à chacune des modalités : u^1 si l'individu choisit d'utiliser, u^0 sinon. On observe les choix effectués, mais pas u^0 et u^1 . Cependant, on peut supposer que l'alternative 1 est choisie si $u^1 > u^0$ et l'alternative 0 est choisie si $u^0 > u^1$. Considérons la modélisation suivante :

$$u_i^1 = \beta^1 x_i + \varepsilon_i^1 \text{ et } u_i^0 = \beta^0 x_i + \varepsilon_i^0$$

Où x_i est le vecteur de variables indépendantes, représentant les caractéristiques du responsable de parcelle, β un vecteur des paramètres à estimer et ε_i est le terme d'erreur.

$y_i=1$ lorsque le choix porte sur l'alternative 1, alors :

$$\text{Prob}(y_i = 1 | x) = \text{Prob}(u_i^1 > u_i^0)$$

$$= \text{Prob}(\varepsilon_i > -x_i \beta') = F(x_i \beta')$$

Le modèle Probit est obtenu en spécifiant $F(x_i \beta')$ comme la fonction de densité cumulative de la loi normale.

$$F(\beta' x_i) = \int_{-\infty}^{\beta' x_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(\beta' x_i)$$

La fonction $\Phi(\beta' x_i)$ provient de la loi normale, $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$

Pour l'ensemble des observations effectuées auprès des ménages la vraisemblance s'écrit :

$$L(y, \beta) = \prod_{i=1}^N p_i^{y_i} (1 - p_i)^{1-y_i}$$

En introduisant le logarithme nous obtenons:

$$\text{Log } L(y, \beta) = \sum_{y_i=1} y_i \cdot \log. p_i + \sum_{y_i=0} (1 - y_i) \cdot \log. (1 - p_i)$$

Nous savons que $p_i = F(x_i' \beta)$

Cette équation sera alors :

$$\text{Log } L(y, \beta) = \sum_{y_i=1} y_i \cdot \log. F(x_i' \beta) + \sum_{y_i=0} (1 - y_i) \cdot \log. (1 - F(x_i' \beta))$$

La maximisation de $\text{Log } L(y, \beta)$ donne les paramètres β estimés.

Deuxième étape : Nous essayons de comprendre ce qui détermine l'intensité de l'utilisation de NPK. A ce stade, la variable expliquée sera la quantité de NPK utilisée. Le modèle de sélection que nous utiliserons à ce stade est celui de Heckman pour prendre en compte la possibilité de la présence d'un biais de sélection des producteurs utilisant le NPK dans les deux zones. Les estimations se feront par zone.

Selon Greene (2002), la procédure d'estimation du modèle de Heckman comporte deux étapes :

1. Estimer la probabilité d'adoption par un modèle Probit dichotomique:

$$u_i = \begin{cases} 1 & \text{si } u_i > 0 \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \quad \text{Pour tout } i = 1, \dots, N$$

$u_i = \beta X_i + \varepsilon_i$ où X est le vecteur de variables indépendantes, représentant les caractéristiques du responsable de parcelle, β un vecteur de paramètre à estimer et ε_i est le terme d'erreur

L'estimation donne $\hat{\beta}$ le paramètre estimé et σ^2 la variance de ε , obtenir ensuite le ratio $\hat{\delta} = \hat{\beta} / \sigma_\varepsilon$.

2. Régresser ensuite y_i sur x_i et $\lambda(x_i \hat{\delta})$ par une méthode de Moindre carré Ordinaire en ne considérant uniquement que les $N1$ valeurs positives de y_i . On obtient alors :

$y_i = x_i \hat{\beta}_H \hat{\delta} \varepsilon + \lambda(x_i \hat{\delta}) + v_i$ Où x_i représente les variables explicatives, $\lambda(x_i \hat{\delta})$ le ratio de mills, v_i le terme d'erreur et en notant $\hat{\gamma}_H = (\hat{\beta}' \hat{\delta} \varepsilon)$ l'estimateur du modèle Tobit ainsi obtenu.

3.2 Variables d'analyses et méthodes de collecte des données

Afin de mettre en œuvre les modèles d'adoption et d'intensification de l'utilisation de NPK, il est nécessaire de définir de façon appropriée les variables d'analyse empirique et de disposer d'une base de données sur les caractéristiques socioéconomiques des producteurs du sorgho.

3.2.1 Définition des variables du modèle

La décision du producteur d'adopter une innovation technologique dépend de facteurs complexes. Les plus conventionnellement analysés sont les caractéristiques socioéconomiques et démographiques du producteur, ainsi que les facteurs institutionnels et agro-écologiques. Le choix des variables d'analyse des modèles repose sur la littérature théorique et empirique liée à l'adoption technologique, ainsi que sur la disponibilité des données.

Tableau 1: Les symboles du modèle empirique et leurs significations

Symboles	Significations
y_i	variable expliquée
X_1	Taille de champs du sorgho
X_2	Age
X_3	Sexe
X_4	Taille de ménage
X_5	Ratio de dépendance
X_6	Pourcentage de travailleuses femmes dans le ménage
X_7	Traction animal
X_8	Distance à une route bitumée

X ₉	Accès aux informations
X ₁₀	Appartenance à une organisation Paysanne
X ₁₁	Tropical Livestock Unit
X ₁₂	Éducation primaire
X ₁₃	Éducation Secondaire
X ₁₄	Autres cultures sur la superficie emblavée
X ₁₅	Nombre de personnes à nourrir dans la famille
X ₁₆	Revenu non agricole
X ₁₇	La non Contrainte du crédit
X ₁₈	NPKsorgHa
X ₁₉	UreesorgHa
X ₂₀	FumursorgHa
X ₂₁	SemSorghoHa

Source : Construit par les auteurs à partir de l'enquête du PNGT₂(2011)

Ainsi, le modèle empirique correspondant aux deux étapes de notre recherche se présente de la manière suivante :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11} + \beta_{12} X_{12} + \beta_{13} X_{13} + \beta_{14} X_{14} + \beta_{15} X_{15} + \beta_{16} X_{16} + \beta_{17} X_{17} + \beta_{18} X_{18} + \beta_{19} X_{19} + \beta_{20} X_{20} + \beta_{21} X_{21} + \varepsilon$$

Où

y_i représente la variable expliquée du modèle;

$X_1 - X_{21}$ représentent les variables explicatives ;

$\beta_1 - \beta_{21}$ Coefficients de régression pour les variables explicatives.

β_0 la constante

ε : le terme d'erreur

3.2.2 Sources des données de l'étude

Les données utilisées dans cette recherche sont issues de l'enquête agricole de production 2011, menée par le PNGT₂ (Programme National de Gestion des Terroirs-Phase 2) et couvrant 19 provinces du Burkina Faso. L'enquête porte sur toutes les zones agros-climatiques dont deux retenues pour la présente recherche (la zone pluvieuse et la zone aride). Sur base de ces zones, l'échantillon retenu est de 541 ménages dont 417 de la zone pluvieuse et 124 de la zone aride.

Notons que l'enquête porte également sur quatre céréales mais seul le sorgho blanc est la céréale retenue dans cette recherche étant donné que c'est la céréale la plus cultivée dans les deux zones sous examen.

Le tableau ci-dessous visualise les différentes provinces enquêtées correspondants aux deux zones sous examen.

Tableau 2: Les provinces enquêtées par zone

Provinces de la zone pluvieuse	Provinces de la zone aride
Balé	Zoncoma
Léraba	Yatenga
KénéDougou	Sanmentenga
Ioba	Bam
Tuy	Loroum
Houet	Yagha
Comoé	Gnagna
Bougouriba	Namentenga
Poni	
Sissili	
Kompienga	

Source : Construit par les auteurs à partir de l'enquête du PNGT₂(2011)

La lecture de ce tableau nous montre les différentes provinces du Burkina Faso qui ont été enquêtées pour la récolte de données utilisées dans la présente recherche. Ceci étant, 19 provinces ont été enquêtées dont 11 de la zone pluvieuse et 8 de la zone aride. Signalons que Bikienga (2002) relève que la zone pluvieuse du Burkina Faso présente une pluviométrie de 900 à 1200 millimètres d'eau par an et celle de la zone aride de 700 millimètres d'eau par an.

4. DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION ET DE L'INTENSIFICATION DE L'UTILISATION DE NPK

Cette section présente les facteurs socioéconomique, démographique et institutionnel qui influencent les décisions d'adoption et d'intensification de l'utilisation de NPK dans la production du sorgho.

4.1 Analyse descriptive de données de l'enquête

Le tableau ci-dessous montre les résultats de l'analyse des données en faisant recours à la méthode quantitative axée sur des tableaux statistiques.

Tableau 3 : Caractérisation des ménages et des exploitations par zone

VARIABLES	ZONE PLUVIEUSE (1)	ZONE ARIDE (2)	Test de différence de moyenne (t-test) (2)-(1)
Age du chef de ménage	46,9 (12,9)	49,9 (15,1)	
Taille du ménage	10,6 (7,2)	11,2 (7,1)	
Nbre de pers. à nourrir	5,4 (0,2)	6,5 (0,4)	
Adoption NPK			
% adoptants	12,61	27,78	
Sex du chef de ménage			
% hommes	96,2	96,8	
Éducation			
% éduqués	15,1	7,7	
Traction animale			
% utilisation	62,6	78,23	-0,1564*** t= 2,8
Taille de champs du sorgho			
Taille de champs du sorgho	2,3 (2)	3 (2,1)	0,71*** t= 3
DistanceRoute.bitumée.	28,68 (26,8)	33,12 (25)	4,44* t= 1,6443
Revenu Act. non agricole en FCFA	303 381,8 (218 4694)	897 773 (350 4101)	594 391,1** t= 2,3
SemSorgHa	11 (10)	12,8 (14,6)	1,7695* t= 1,3
NPKsorgHa	7,5 (29)	9,2 (26,37)	1,7035 t= 0,51

Les chiffres entre parenthèses représentent les écarts-types

Source : nos calculs à partir de l'enquête PNGT₂(2011)

(*), (**), (***) Significatif respectivement à 10%,5% et 1%.

Les enquêtés sont en moyenne âgés d'environ 47ans dans la zone pluvieuse et 50 ans dans la zone aride. La taille moyenne de ménages enquêtés est de 10,6 personnes en zone pluvieuse et de 11,2 en milieu aride. Dans le milieu pluvieux les ménages ont en moyenne 5,4 personnes à nourrir par ménage alors que dans le milieu aride cette moyenne est de 6,5. Le pourcentage des adoptants est de 12,61 et 27,78 respectivement pour le NPK dans la zone pluvieuse et NPK dans zone aride. Le pourcentage des chefs de ménages hommes dans la zone pluvieuse est de 96,2 alors que celui de la zone aride est de 96,8. En ce qui concerne le niveau d'éducation, en zone pluvieuse, nous remarquons que 15% de la population est éduquée contre 8% en zone aride. Dans la zone pluvieuse 62,6% des ménages utilisent la traction animale tandis que dans la zone aride, le pourcentage est de 78,23. Dans la zone pluvieuse la taille moyenne de champs du sorgho est de 2,3ha alors que dans la zone aride elle est de 3ha. La distance moyenne pour atteindre une route bitumée dans le milieu pluvieux est de 28,68km alors que celle de la zone aride est de 33,12km. En moyenne, le revenu non agricole pour les ménages du milieu pluvieux est de 303 381,8 FCFA/an alors que celui de ménages du milieu aride est de 897773 FCFA/an. En moyenne la quantité de semence du sorgho est de 11 kg/ha dans la zone pluvieuse et de 12,8 kg/ha dans la zone aride. La quantité moyenne de NPK utilisée est de 7,5 kg/ha dans la zone pluvieuse alors que dans la zone aride elle est de 9,2 kg/ha.

4.2. Robustesse des résultats d'estimation du modèle Probit

Les résultats montrent que les probabilités de non significativité de la statistique de Chi2 sont nulles. Ce qui implique qu'il existe au moins une variable significative dans les modèles, par conséquent les modèles sont globalement significatifs.

Tableau 4: Résultats d'estimation du modèle Probit de l'adoption de NPK

VARIABLE	NPK			
	ZONE PLUVIEUSE		ZONE ARIDE	
	Coeff.	Ef. Marg	Coeff.	Ef. Marg
Taille champs du sorgho	0,1051*	0,0119*	0,276***	0,004***
Age	0,0042	0,0005	-0,0192*	-0,0007*
Sexe (1=Homme)	-0,1602	-0,0345	-0,3363	-0,0693
Taille de ménage	0,0100	0,0008	-0,0165	-0,0004
Ratio de dépendance	-0,0879	-0,0059	-0,0411	0,0089

Traction animale	1,03***	0,097***	0,2400	0,0062
(1=poss.tr.ani)				
Distance à une route bitumée	0,0086*	0,0011*	-0,0032	0,0010
Accès aux infos	0,0931	0,0138	0,2196	0,0170
(1=poss.radio)				
App.org. paysane(1=ap.org.pays.)	-0,6098**	-0,0620**	-0,9115*	-0,0203*
La non contrainte du crédit	0,3011	0,0415	0,1163	0,0482
TLU	-0,0305*	-0,0047*	-0,0557	-0,0032
Educ. Primaire	-0,0116	-0,0013	0,0033	0,0008
Educ. Secondaire	-0,0040	-0,0006	-0,0029	0,0012
SemSorghoHa	0,0249**	0,0031**	0,0127	-0,0001
LogRevenu non agricole	0,0370*	0,0046*	0,0064	0,0001
Constante	-20,799		-0,0862	
Nombre d'observations	228		108	
Wald chi2(17)	71,15		60,74	
Prob> chi2	0,0000		0,0007	
Log pseudolikelihood	-190,7		-97,877	

Source : nos calculs à partir de l'enquête PNGT₂ (2011)

(*), (**), (***) Significatif respectivement à 10%, 5% et 1%.

Lorsque la taille de champs augmente d'1ha, la probabilité d'adoption de NPK augmente de 0,01, et de 0,004 respectivement pour la zone pluvieuse et la zone aride.

Lorsque l'âge du chef de ménage augmente d'une année, la probabilité d'adoption diminue de 0,0007 pour le NPK de la zone aride.

L'acquisition de la traction animale augmente la probabilité d'adoption de 0,09 pour le NPK dans la zone pluvieuse.

Lorsque la distance par rapport à une route bitumée augmente d'1km la probabilité d'adoption de NPK augmente de 0,0011 dans la zone pluvieuse.

Lorsque le chef de ménage appartient à une organisation des producteurs, la probabilité d'adoption diminue de 0,062 et de 0,02 respectivement pour le NPK dans la zone pluvieuse et aride.

Le TLU dans le ménage diminue la probabilité d'adoption de NPK de 0,004 dans la zone aride

Lorsque la quantité de semences augmente de 1kg/ha, la probabilité d'adoption de NPK accroît de 0,003 dans la zone pluvieuse.

Lorsque le revenu non agricole augmente de 1%, la probabilité d'adoption de NPK augmente de 0,0046 dans la zone pluvieuse.

4.3. Robustesse des résultats d'estimation du modèle de Heckman à deux étapes

Le modèle de Heckman à deux étapes a été utilisé pour évaluer l'intensité de l'utilisation de NPK dans la culture du sorgho. La variable dépendante pour le modèle de sélection a été spécifiée comme une variable binaire, qui est égale à 1 si le producteur utilise la fumure et 0 si non. La quantité de NPK utilisée par hectare a été considérée comme variable dépendante pour mesurer l'intensité de son utilisation. Les résultats montrent que les modèles concernant l'intensité sont globalement significatifs.

Tableau 5: Résultats d'estimation du modèle de Heckman à deux étapes de l'intensification de NPK

VARIABLES	NPK	
	ZONE PLUVIEUSE	ZONE ARIDE
	Coeff.	Coeff.
Taille champs du sorgho	-4,7857*	-4,6778
Age	-0,7114	-1,105
Genre(1=Homme)	-93,2808**	-
Taille de ménage	1,3329	0,8814
%age de trav. fem.ds men	77,0141	-92,0575*
Traction Animal(1=Poss.tract.anim)	26,3430	46,1857*
Distance à une route bitumée	0,7721	-0,0574
Accès aux infos(1=poss.radio)	1,9799	-37,2471*
Appart. à une organ. (1=app.org.pay)	-	-23,8640
TLU	3,5339**	2,5915

Constante	89,2540	133,2135
Nombre d'observation	228	108
Variables censurées	199	78
Variables non censurées	29	30
Wald chi2(9)	25,57	16,31
Prob> chi2	0,0024	0,0607
lambda(z)	-0,26	-0,33

Source : nos calculs à partir de l'enquête PNGT₂ (2011)

(*), (**), (***) Significatif respectivement à 10%, 5% et 1%.

Lorsque la taille de champ augmente de 1ha, l'intensité diminue de 4,78kg/ha pour le NPK de la zone pluvieuse.

Par rapport à l'effet genre, le fait d'être homme diminue l'intensité d'utilisation de NPK de 93,28kg/ha dans la zone pluvieuse.

Lorsque la participation des femmes dans les activités de production augmente de 1%, l'intensité d'utilisation de NPK diminue de 92,05kg/ha dans la zone aride.

L'acquisition de la traction animale dans le ménage augmente l'intensité d'utilisation de NPK de 46,18kg/ha dans la zone aride.

Le fait d'écouter les émissions concernant les activités agricoles qui se passent à la radio, cela augmente l'intensité de l'utilisation de NPK de 37,24kg/ha dans la zone aride.

Lorsque le TLU augmente d'une unité dans le ménage, l'intensité augmente de 3,53kg/ha pour le NPK dans la zone pluvieuse.

5. CONCLUSION ET IMPLICATION DES POLITIQUES ÉCONOMIQUES

L'étude a utilisé le modèle Probit pour modéliser la décision d'adoption et le modèle de Heckman à deux étapes pour l'intensification de NPK dans la production du sorgho au Burkina Faso. Les paramètres des modèles ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance et les résultats montrent que les modèles sont bien spécifiés.

Les résultats du modèle Probit indiquent que l'âge du chef de ménage influence négativement l'adoption de NPK dans la zone aride ; la taille de champ affectent positivement l'adoption de NPK dans les deux zones ; la traction animale, le revenu non agricole, la distance par rapport à une route bitumée et la quantité des semences influencent positivement l'adoption de NPK dans la zone pluvieuse ; TLU affecte négativement l'adoption de NPK dans la zone pluvieuse ; l'appartenance à une organisation de producteurs influence négativement l'adoption de NPK dans les deux zones (tableau4).

Concernant l'intensification, le modèle de Heckman à deux étapes a montré que la taille de champs et le fait d'être homme influencent négativement l'intensité de NPK dans la zone pluvieuse ; TLU influence positivement l'intensité de NPK dans la zone pluvieuse ; la traction animale influence positivement l'intensité de NPK dans la zone aride ; la possession d'une radio et le pourcentage de travailleuses femmes dans le ménage affectent négativement l'intensité de NPK dans la zone aride (tableau 5).

Ces résultats permettent de tirer quelques implications en termes de politiques agricoles en vue de l'amélioration de la productivité dans la production de la culture du sorgho au Burkina Faso.

Les décideurs politiques devraient songer aux prêts directs pour faciliter l'acquisition de la traction animale dans la zone pluvieuse alors que dans la zone aride, les autorités pourraient appliquer un système de prix non linéaire croissant pour permettre aux producteurs qui ont des petites exploitations et sans moyens de financement suffisant d'accéder au NPK.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADESINA, A. A. (1996), Factors affecting the adoption of fertilizers by rice farmers in Côte d'Ivoire. *Nutrient Cycling in Agro ecosystems*.
- ALENE, A., POONYTH, D., & HASSAN, R. (2000), Determinant of adoption and intensity of use of improved maize varieties in the central Highlands of Ethiopia. *Agrekon, Vol 39/no4*, 633-643.
- ASFAW, A., & ADMASSIE, A. (2004), The role of education on the adoption of chemical fertiliser under different socioeconomic environments in Ethiopia. *Agricultural Economics*, 216-228.
- BACHA, D., ABOMA, G., GEMEDA, A., & DEGROOTE, H. (2001), *The determinants of fertilizer and manure use in maize production in western Oromiya*.Prétoria.
- BIKIENGA, I. M. (2002), Une évaluation de secteur des engrais et des semences au Burkina Faso. *African Trade Investment Program*, 1-26.
- BREMAN, H., GROOT, J., & KEULEN, H. (2001), Resource limitations in Sahelian agriculture. *Global Environmental Change*, 59-68.
- BRUCE, A., DANKOH, S., & AYAMGA, M. (2014), Adoption des variétés améliorées du riz et ces effets sur la production des fermiers au Ghana. *Academic journals*, 242-248.
- CHIANU, J., & TSUJII, H. (2004), Determinants of farmers' decision to adopt or not adopt inorganic fertilizer in the savans of northern of Nigeria. *Nutrient Cycling in Agro ecosystems*, 70 (3), 293-301.
- CHIRWA, E. W. (2005), Adoption of fertiliser and hybrid seed by smallholder maize farmers in Southern Malawi. *Developpement Southern Africa*, 22(I), 24-39.
- COMBARY O.S. (2013), Décision d'adoption et d'intensification de l'utilisation des engrais chimiques dans la production céréalière au Burkina Faso. *Revue CEDRES-Etudes no 56*, 22-35.
- CROPPENSTEDT, A., & DEMEKE, D. (1996), Determinants of adoption and levels of demand for fertilizer for cereal growing farmers in Ethiopia. *Oxford University, UK: Working Papers Series Centre for the study of african economics*.
- DOSS, C., MWANGI, W., HUGO, V., & HUGO DE GROOTE (2003), Adoption of maize and wheat technologies in eastern africa: Synthesis of eastern african adoption studies. *CIMMYT Economics Working Paper No 03-06, Mexico, DF: CIMMYT*.

- ELSADO, L., AMACHE, G., & ALWANG, J. (2004), Productivity and land enhancing technologies in northern Ethiopia: Health, public Investments, and sequential adoption. *American Journal of Agricultural Economics*, 86 (2), 321-331.
- FEDER, G., JUST, R., & SILBERMAN, D. (1985), Adoption of agricultural innovations in developing countries. A survey. *Economics Development and Cultural Change*, 225-298.
- FREEMAN, H., & OMITI, J. (2003), Fertiliser use in semi-Arid areas of Kenya: Analysis of smallholder farmers' adoption behavior under liberalized markets. (ICRISAT, Ed.) *Nutrient cycling in agro ecosystems*, 66(1), 22-31.
- GEBREMEDHIN, B., & SWINTON, S. (2002), Investment in soil conservation in Northern Ethiopia: The role of land tenure security and public programs. *Agricultural Economics*, 29(1), 69-84.
- GENANEW , B., & ALEMU, M. (2010), Investments in land conservation in the Ethiopian Highlands : A household Plot-level analysis of the role of poverty, tenure security and markets incentives. *Environment for development*, 26-28.
- GREENE, W. H. (2002), *Econometric Analysis*. New york: Pearson education, Inc.
- HATHIE, I., TUO , M., BRAVO-URETA , B., & OBENG-ASIEDY (2011), Adoption of chemical fertilizer by smalhoder farmer in the peanut basin of Senegal. *AFJARE*, 10-16.
- HENAO, J., & BAANANTE, C. A. (2006), Agricultural Production and Soil Nutrients Mining in Africa. *Summary of IFDC Technical Bulletin, IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA*.
- KAZIANGA, H., & MASTERS, W. (2002), Investing in soils: Field bunds and microcatchments in Burkina Faso. *Environment and Development Economics*, 7 (3), 571-591.
- KHERALLAH, N., MINOT , M., MINOT , M., & BERRY , P. (2000), Market reform and the determinants of fertilizer use in Benin and Malawi. (I. F. Institute(IFPRI), Ed.).
- KNEPPER, E. T. (2002), Factors affecting the use of fertilizer by small- and medium-sized farming households in Zambia. MSc thesis, Michigan State, 1997-2000.
- KUTI, W. I. (2015), Determinants of adoption of improved maize varieties in Osun State, Nigeria. *International Journal of Agricultural Economics and Extension ISSN: 2329-9797 Vol. 3 (2),*, pp. 115-121, February.
- LEE D.R. (2005), Agricultural sustainability and technology adoption: Issues and policies for developing countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 87 (5), 1325-1334.

- MAIGA , E., & BOYER, T. (2004), Determinants of adoption of soil and water conservation techniques in Burkina Faso. *Presented at the Heartland Environmental resources Economics Workshop Ames, Iowa.*
- MAKOKHA, S. I. (2001), Determinants of fertilizer and manure use in Kiambu district, Kenya, International Maize and Wheat improvement Center (CIMMYT) and Kenya agricultural Research Institute (KARI). *Mexico DF*, 1-25.
- MALTAS, A., RAPHAËL , C., BOVET, V., & SINAJ, S. (2012), Effet à long terme des engrais organiques sur le rendement et la fertilisation azotée des cultures. *Recherches Agronomiques suisse.*
- MARENYA, P., & BARRET, C. (2007), Household-level determinants of adoption of improved natural resources management practices among smallholder farmers in Western Kenya. *Food Policy*, 515-536.
- MBÉTID-BESSANE, E. (2014), Adoption et intensification du Nouveau Riz pour l’Afrique en Centrafrique.
- MOHAMED, P., KUWORNU, J., ZAHONOGO, P., JATOE, J., & EGYIR, I. (2007), Credit constraints and labour allocation decisions in rural Burkina Faso. *Agricultural Finance*, 257-274.
- MORERO, G., & SUNDING, D. (2005), Joint estimation of technology adoption and land allocation with implications for the design of conservation policy. *American Journal of Agricultural Economics*, 1009-1019.
- NKAMLEU, G., & ADESINA, A. (2000), Determinants of chemical input use in peri-urban lowland systems: Bivariate probit analysis in Cameroon. *Agricultural Systems* 63, 111-121.
- NOWAK, B. (2013), Diminuer la dépendance aux engrais de synthèse par le recyclage local des éléments minéraux : analyse des stratégies d’approvisionnement en éléments minéraux des exploitations agricoles biologiques.
- OLWANDE, J., SIKEI, G., & MATHENGE M., M. (2009), Agricultural technology adoption: A panel analysis of smallholder farmers’ fertilizer use in Kenya. *Agriculture for development*, 34.
- SAMIE, A., REZVANFAR, A., & FAHAM, E. (2009), An Alysis of factors affecting adoption of sustainable soil conservation practices among wheat growers. *World Applied Sciences Journal.*, 644-651.
- SHAPIRO, B., & SANDERS, J. (1997), Evolution of livestock production systems in semi-arid West Africa: Evidence from Niger. *International Livestock Research Institute*, 296-311.

- SICAREX (2006), *Aperçu de la filière céréales*. Ouagadougou: Sicarex.
- WOZNIAK D., G. (1984), The adoption of interrelated innovations: A human capital approach. *The Review of Economics and Statistics*.
- YIRGA, C., & HASSAN, R. (2013), Determinants of inorganic fertiliser use in the mixed crop-livestock farming systems of Central Highlands of Ethiopia. *African Crop Science Journal*, 669-681.
- ZEGEYE, T., TADESSE, B., & TESFAYE, S. (2001), Determinants of adoption of improve maize technologies in major maize regions in Ethiopia. *Second National Maize*

