International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

Impact De L'adoption Simultanée Des Technologies De Mécanisation Sur La Performance Economique Du Soja Au Nord Bénin

[Impact Of The Simultaneous Adoption Of Mechanization Technologies On The Economic Performance Of Soybean Production In Northern Benin]

LOKOSSOU Kakpo Yssé Stanislas[1], ADEKAMBI Souléimane A.[2, 4], ADEGBOLA Asim K.[3], YABI Jacob A[4].

[1 2] Université de Parakou, École Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE) ; B.P. 123, Parakou, Bénin.

[2] Institut Universitaire de Technologie (IUT), Centre de Recherche en Entrepreneuriat-Création et Innovation (CRECI), Université de Parakou, Benin, B.P. 123, Parakou, Bénin ;

[3] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) ; Campus d'Abomey-Calavi, 01 B.P. 526, Cotonou, Bénin.

[4]Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Université de Parakou, Bénin. B.P. 123, Parakou, Bénin.

Auteur correspondant : Lokossou Kakpo Yssé Stanislas, email : stan.lokossou@yahoo.fr, num : 00229 0197336135

(cc) BY

Abstract: This study analyzes the effect of the joint adoption of tractors, seeders, and threshing-winnowing machines on the profitability of soybean production in the Borgou Department. The study is based on a survey conducted among 307 soybean producers in the communes of Nikki and Sinendé during the 2024-2025 agricultural season. Production accounts were used to calculate revenues, costs and profitability indicators. Matching compared joint adopters with producers who had similar observable characteristics but had not jointly adopted the three machines. The impact of mechanization is estimated using the Propensity Score Matching (PSM) method, complemented by a Rosenbaum sensitivity analysis. The results show that the joint adoption of the three technologies increases net profit by 42,222 FCFA/ha, compared with comparable non-adopters. This represents an increase of approximately twenty-eight percent after matching. Descriptive comparisons also show higher yields among joint adopters, while total production costs do not differ significantly between the two groups. The estimated effect remains significant at the five percent level up to a Rosenbaum sensitivity parameter of two. Access to agricultural machinery rental services is the main factor promoting adoption, followed by farmers' education level and technical training. These findings suggest that mechanization policies should prioritize the development of agricultural machinery rental services while strengthening farmers' technical training to promote sustainable and efficient adoption of mechanization technologies.

Keywords: mechanization; joint adoption; profitability; propensity score matching; soybean; Benin.

Résumé: La présente étude analyse l'effet de l'adoption conjointe du tracteur, du semoir et de la batteuse-vanneuse sur la performance économique de la production de soja dans le département du Borgou. L'étude s'appuie sur une enquête réalisée auprès de 307

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

producteurs des communes de Nikki et de Sinendé au cours de la campagne agricole 2024-2025. L'effet de la mécanisation est estimé à l'aide de la méthode d'appariement sur score de propension (Propensity Score Matching), complétée par une analyse de sensibilité de Rosenbaum. Les résultats montrent que l'adoption conjointe des trois équipements augmente la marge nette de 42 222 FCFA/ha, par rapport aux producteurs comparables n'ayant pas adopté ces équipements. L'accès aux services de location constitue le principal facteur favorisant l'adoption, suivi du niveau d'instruction et de la formation technique des producteurs. Ces résultats suggèrent que les politiques de mécanisation devraient privilégier le développement des services de location de matériel agricole, tout en renforçant la formation des producteurs afin de favoriser une adoption durable et efficace des équipements.

Mots-clés : mécanisation ; adoption conjointe ; performance économique ; score de propension ; soja ; Bénin.

I. Introduction

La mécanisation ne vaut, pour le producteur, que ce qu'elle lui rapporte. Les équipements agricoles ne sont adoptés et surtout conservés que s'ils améliorent le revenu de l'exploitation. La théorie économique de l'adoption nous rappelle que l'agriculteur adopte une technologie lorsque le gain qu'il en espère dépasse son coût, compte tenu de ses ressources et de son aversion au risque [1], [2]. Les décisions d'adoption ne dépendent toutefois pas que du rendement moyen attendu de la technologie ; les coûts et les bénéfices liés à l'adoption peuvent varier entre producteurs, et ce notamment en fonction de leurs caractéristiques, des ressources auxquelles ils ont accès et de leur environnement. Suri [3] montre ainsi que l'hétérogénéité des rendements nets peut conduire certains producteurs à adopter une innovation alors que d'autres, confrontés à des coûts d'adoption plus élevés ou à des rendements nets attendus plus faibles, ne l'adoptent pas. Le raisonnement vaut aussi à l'échelle du secteur. En effet, l'impact économique de la mécanisation dépend de sa capacité à améliorer la productivité et ou à réduire les coûts de production dans les exploitations, quels que soient les moyens publics engagés pour la promouvoir [4], [5]. Mesurer les impacts économiques et productifs de la mécanisation est donc une question à la fois économique et politique.

Or les producteurs ne mécanisent presque jamais une seule opération. Pour la culture du soja, en particulier, ils enchaînent le travail du sol, le semis, la récolte, le battage, et le vannage, des étapes complémentaires du cycle cultural. Le tracteur prépare le sol ; le semoir installe les cultures ; la batteuse-vanneuse accélère la récolte et limite les pertes. Ces pertes post-récolte, souvent lourdes lorsque le battage reste manuel, comptent parmi les principaux gisements de gains en Afrique subsaharienne [6]. Chaque équipement agit ainsi sur le rendement des autres. Cette succession d'opérations crée ainsi un intérêt particulier pour l'analyse des combinaisons de technologies plutôt que pour l'étude isolée de chaque équipement, comme le font souvent les études et les programmes de subvention. En effet, Pingali [5] souligne que les opérations de préparation du sol, de récolte, de battage peuvent constituer des goulots d'étranglement en termes de puissance agricole, dont la mécanisation peut contribuer à réduire les contraintes. Aussi, les rares travaux consacrés à l'adoption de paquets technologiques montrent-elles que les impacts sur la productivité et le revenu peuvent différer selon que les producteurs adoptent une technologie isolée ou plusieurs technologies à la fois [7], [8]. La question pertinente, pour le producteur comme pour le décideur, n'est donc plus seulement de savoir si un équipement donné améliore la performance agricole, mais de déterminer si l'adoption simultanée de plusieurs technologies couvrant des opérations complémentaires du cycle de production engendre un gain conséquent pour l'exploitant.

Cette question se pose avec une acuité particulière au Bénin. Depuis des décennies, l'État y consacre des moyens importants à la promotion de la mécanisation, en mettant en place différentes politiques de mécanisation agricole successives. Les années 2000 ont été marquées par l'adoption de la Stratégie nationale de mécanisation agricole (2005-2006), suivie du Plan de promotion de la mécanisation agricole (PPMA, 2007-2008) et du Plan stratégique de relance du secteur agricole (PSRSA, 2008). Depuis 2016, ces initiatives ont été renforcées par de nouveaux dispositifs institutionnels et programme, tels que le Programme national de développement de la mécanisation agricole (PNDMA), la création de l'Agence nationale de mécanisation agricole (2019), la Société nationale de mécanisation agricole (SoNaMA) (2021), visant à améliorer l'accès des producteurs aux équipements agricoles modernes et aux services de la mécanisation. Cette orientation s'inscrit dans une dynamique plus large de retour à la mécanisation sur l'agenda des politiques agricoles africaines. Daum et Birner [9] soulignent toutefois que les effets de

mécanisation en Afrique doivent être examinés à partir des évidences empiriques plutôt que d'hypothèses générales sur les bénéfices. Dans le département Borgou au Nord-Bénin par exemple, les contraintes liées aux opérations agricoles nécessitent une demande plus forte de travail humain [10], renforçant ainsi l'intérêt des services de la mécanisation [11]. Des travaux consacrés aux effets de la mécanisation en Afrique ont montré que les modalités d'accès aux services et les types de mécanisation peuvent influencer les performances des exploitations. Benin [12] a, par exemple, trouvé que le programme de centres de services de mécanisation agricole au Ghana a contribué à accroître les rendements agricoles, mais que les effets produits restent variables selon les indicateurs considérés. La littérature sur l'adoption des technologies multiples apporte un éclairage complémentaire. Par exemple, Manda et al. [7] ont montré que l'adoption combinée des pratiques agricoles durables peut produire des effets différents que ceux associés à l'adoption d'une pratique isolée. Dans le même ordre d'idées, Khonje et al. [8], à partir des données de panel au niveau des parcelles en Zambie, ont montré que l'adoption conjointe de plusieurs technologies agricoles est associée à des effets plus importants sur les rendements, les revenus et la pauvreté que l'adoption de composantes individuelles. Toutefois, ces résultats ne permettent pas de déduire directement les effets de l'adoption simultanée de plusieurs équipements sur la productivité du soja au Bénin, puisque ces études ne concernent que les pratiques de production ou les technologies agricoles, et non des combinaisons d'équipements mécanisés. Le gain réel de cette combinaison, et l'opportunité de soutenir des kits complets touchent directement à la conception de ces dispositifs. C'est un enjeu d'efficacité de la dépense publique autant que de revenu paysan.

Une précaution s'impose toutefois. Les producteurs qui adoptent la mécanisation ne forment pas un groupe pris au hasard. D'après les études antérieures, ils se distinguent souvent par leurs ressources productives, leur niveau d'éducation, la taille de leur exploitation ou leur accès au crédit et aux services de conseil ou encore leur environnement économique [13], [14]. La méta-analyse de Ruzzante et al. [14] souligne d'ailleurs que les déterminants de l'adoption varient selon les technologies et les contextes, invitant à éviter l'hypothèse des déterminants universels de l'adoption. Ces caractéristiques peuvent être également associées à la productivité agricole. Une simple comparaison, par exemple, de la productivité entre adoptants et non-adoptants attribuerait alors à la mécanisation un avantage qui tient, en partie, de caractéristiques préexistantes des exploitations. Pour réduire ce biais de sélection lié aux caractéristiques observables, les méthodes d'appariement fondées sur le score de propension constituent l'une des approches appropriées [15], [16].

C'est dans cette perspective que le présent article s'est intéressé à l'estimation de l'effet de l'adoption conjointe du tracteur, du semoir et de la batteuse-vanneuse sur la performance économique de la production de soja dans le Borgou. L'analyse s'appuie sur une enquête menée auprès de 307 producteurs des communes de Nikki et de Sinendé. Elle mobilise la méthode d'appariement sur score de propension (*Propensity Score Matching*), qui a permis de construire, parmi les producteurs n'ayant pas adopté conjointement les trois technologies, un groupe de comparaison présentant des caractéristiques observables similaires à celles des adoptants. L'effet moyen du traitement sur les adoptants (ATT) a été ensuite estimé à partir de la différence de rentabilité entre les groupes appariés. Afin d'apprécier la sensibilité des estimations à un éventuel biais de sélection associé à des variables non observées, une analyse de sensibilité fondée sur les bornes de Rosenbaum a également été conduite.

En apportant des réponses concrètes aux préoccupations actuelles, l'intérêt de ce travail est triple. Pour le producteur, il quantifie le gain de rentabilité associé à l'adoption simultanée de trois technologies de mécanisation couvrant les opérations clés du cycle de production du soja. Pour le décideur, il fournit des éléments empiriques permettant d'apprécier la pertinence de politique favorisant l'accès à un ensemble cohérent de services et d'équipement de mécanisation plutôt que de considérer les équipements indépendamment les uns des autres ; une information utile à la conception des programmes de subvention et de location. Pour la recherche, enfin, il contribue à la littérature encore limitée sur les effets de l'adoption des technologies de mécanisation multiples dans les systèmes agricoles de l'Afrique de l'Ouest [17], [18], en fournissant des évidences empiriques pour le cas du soja au Bénin.

II. Matériels et Méthodes

2.1 Milieu d'étude

La présente étude a été conduite dans le département du Borgou, situé au nord du Bénin, dans le Pôle de Développement Agricole 4 (PDA 4). Cette zone agroécologique constitue le principal bassin de production de soja du pays, avec une production moyenne

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

de 150 000 tonnes par campagne agricole au cours des cinq dernières années [19]. Le département est délimité entre 9°00' et 12°00' de latitude Nord et entre 1°30' et 3°00' de longitude Est. Il bénéficie d'un climat soudanien à deux saisons, favorable à la culture des légumineuses, avec des précipitations annuelles variant entre 900 et 1 200 mm et des températures moyennes comprises entre 26 °C et 32 °C.

Parmi les communes que compte le département, Nikki et Sinendé ont été retenues comme zones d'étude. Leur sélection ne repose pas uniquement sur leur contribution à la production de soja, mais également sur les contraintes liées à l'intensification de cette culture et aux besoins croissants en équipements agricoles. En effet, l'expansion de la production de soja observée au cours de la dernière décennie s'est accompagnée d'une augmentation des superficies emblavées. Cette dynamique entraîne une hausse de la demande en main-d'œuvre et de la charge de travail nécessaire à la réalisation des différentes opérations culturales, notamment la préparation du sol, le semis, l'entretien des parcelles et la récolte. Dans ce contexte, le recours à la mécanisation apparaît comme une stratégie permettant aux exploitations de réduire les contraintes de travail et d'améliorer l'efficacité des opérations agricoles [20]. Ainsi, dans le PDA 4, des investissements ont notamment été réalisés pour faciliter l'accès des producteurs aux équipements et services de mécanisation agricole, avec l'intervention de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA). Les producteurs de soja des communes de Nikki et de Sinendé sont ainsi concernés par ces initiatives, qui visent à améliorer l'accès aux équipements agricoles et, à terme, les performances techniques et économiques des exploitations. Ces caractéristiques font de ces deux communes un cadre pertinent pour analyser l'effet de la mécanisation sur la performance économique de la production de soja.

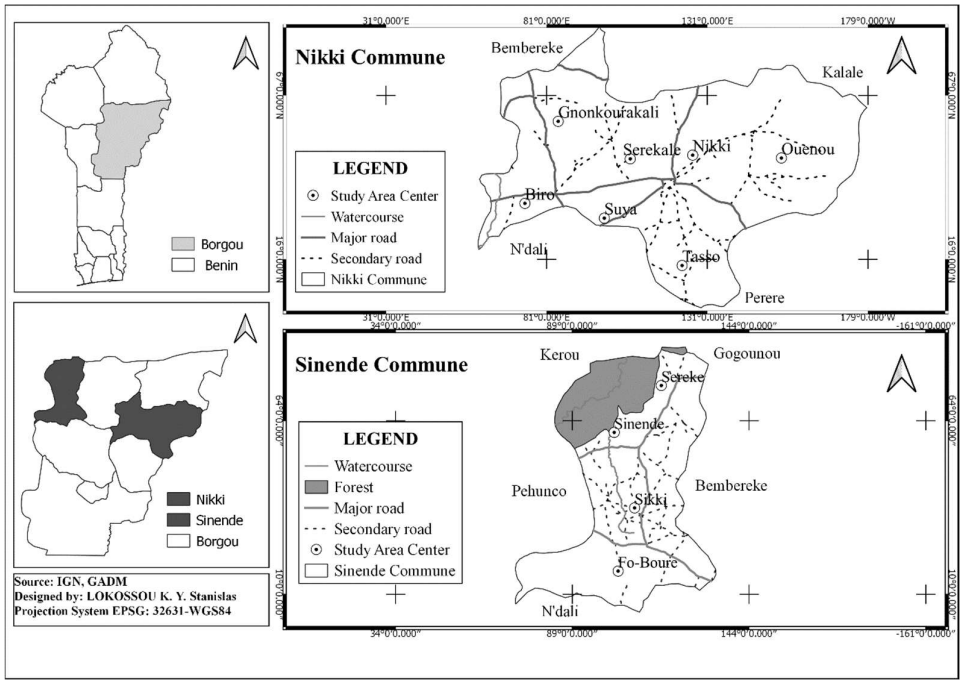


Figure 1: Carte du milieu d'étude

2.2 Technique d'échantillonnage et collecte de données

L'étude s'appuie sur une enquête réalisée auprès des producteurs de soja au cours de la campagne agricole 2024-2025. Pour assurer une représentativité, un échantillonnage à trois degrés a été réalisé. Au premier degré les communes du Département de Borgou ont été stratifié selon le niveau de production et d'utilisation des équipements agricoles. Ainsi deux catégories ont été créés : zone de forte production et zone de faible production. A travers un échantillonnage aléatoire simple, la commune de Nikki a été sélectionnée comme zone de forte production et de Sinendé comme zone de faible production. Au deuxième degré, dix

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

villages ont été recensés dans chacune de ces communes en fonction de leur niveau de production et d'utilisation des équipements agricoles. Enfin, le troisième degré a permis d'établir avec l'appui des agents de l'ATDA la liste des producteurs de soja de chaque commune. Ainsi à travers un échantillonnage aléatoire simple 307 exploitants agricoles (152 à Nikki et 155 à Sinendé) ont été sélectionnés.

Les données ont ensuite été collectées via un questionnaire digitalisé semi-structuré, administré face à face. Les informations recueillies englobent les caractéristiques sociodémographiques, la structure des coûts de production (intrants, main-d'œuvre, amortissements), les revenus issus de la vente, ainsi que l'accès aux services institutionnels.

2.3 Mesure des indicateurs de performance économique

L'analyse de la performance économique de la production de soja repose sur l'analyse de compte de production, approche couramment mobilisée dans la littérature [21], [22], [23]. Elle consiste à confronter les produits bruts aux charges effectives de production afin de calculer des marges et des indicateurs de performance économique.

La rentabilité économique est privilégiée par rapport aux seules mesures de productivité partielle lorsque l'objectif est d'apprécier l'avantage économique global associé à la mécanisation. La mécanisation substitue en effet potentiellement du capital au travail, et peut modifier aussi bien les dépenses de main-d'œuvre, les coûts liés à l'utilisation ou à la location de machines, que les niveaux de production. Dans ces conditions, une analyse limitée à la productivité partielle (rendement ou productivité du travail) ne permettrait donc pas, à elle seule, si les gains de production compensent les coûts supplémentaires associés à la mécanisation. L'analyse économique permet donc de considérer conjointement la valeur de la production et les coûts supportés pour l'obtenir.

Tableau 1 : Identification et mesure des variables de performance économique

Catégorie	Variables mesurées et intégrées au modèle	Unité / Méthode de valorisation
Produits (Revenus)	Quantité totale de soja récoltée (vendue et autoconsommée)	Valorisation au prix moyen de vente sur le marché local (FCFA/kg)
Coûts Opérationnels (Variables)	Intrants : Semences, Engrais, Herbicides, Insecticides Main-d'œuvre : Préparation, semis, désherbage, fertilisation, récolte Frais de location : Terres, Tracteurs et matériels agricoles	Montants monétaires réels déboursés (Quantité $\boldsymbol{x}$ Prix unitaire en FCFA).
Coûts Fixes	Amortissement du capital d'exploitation : Tracteur, Bœufs de trait, Houes, Autres matériels Frais fixes : Salaire du personnel permanent	Amortissement linéaire basé sur la valeur d'acquisition et la durée de vie utile (FCFA/an).

2.3.1 Spécification des indicateurs de performance

Plusieurs indicateurs économiques ont été calculés pour évaluer la viabilité financière des exploitations [24].

Le Produit Brut (PB) **: Représente la valeur totale de la production.**

$$\boldsymbol{PB = Q_y \times P_y} \ (\mathbf{1})$$

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

Où $\boldsymbol{Q_y}$ est la quantité physique de soja produit (kg) et $\boldsymbol{P_y}$ le prix de vente (FCFA).

Le Coût Total (CT)

Les charges de production sont décomposées en coûts variables (CV) et coûts fixes (CF), conformément à la méthodologie standard du budget de culture

$$\boldsymbol{CT = CV + CF} \ (\mathbf{2})$$

Coûts variables

Les coûts variables regroupent l'ensemble des charges directement liées à la production. Ils comprennent : (i) les intrants (semences, engrais, herbicides, insecticides) valorisés au coût d'achat effectif déclaré par le producteur (prix unitaire × quantité utilisée) ; (ii) le coût lié aux opérations culturales (préparation des champs, semis 1, resemis, désherbage 1, 2 et 3, fertilisation, récolte); (iii) le coût de location des équipements agricoles (tracteur, semoir, batteuse) déclaré par le producteur.

$$\boldsymbol{CV = \sum_{i=1}^{n} (X_i \times P_{xi}) + C_{loc} + MO_s} \ (\mathbf{3})$$

Où $\boldsymbol{X_i}$ et $\boldsymbol{P_{xi}}$ sont les quantités et prix des intrants, $\boldsymbol{C_{loc}}$ les coûts de location, $\boldsymbol{MO_s}$ les dépenses en main-d'œuvre.

Coûts fixes (CF) et amortissement des équipements

Les coûts fixes incluent : (i) le coût de location annuel de la terre déclarée par le producteur ; (ii) les salaires du personnel permanent ; (iii) les intérêts sur crédit (montant emprunté × taux d'intérêt) ; (iv) l'amortissement des équipements agricoles possédés (tracteur, bœufs, houes, autres). L'amortissement est calculé selon la méthode linéaire [21]

$$\boldsymbol{CF = \sum_{j=1}^{m} \left(\frac{V_{aj}}{D_j}\right) + Loc_{terre} + I + S_{perm}} \ (\mathbf{4})$$

Où $\boldsymbol{V_{aj}}$ la valeur d'achat du bien d'équipement $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{D_j}$ sa durée de vie, $\boldsymbol{Loc_{terre}}$: cout de location annuel de la terre, $\boldsymbol{I}$ intérêts sur crédit et $\boldsymbol{S_{perm}}$ les salaires permanents.

Les Marges et Ratios:

La Marge Brute (MB) : Elle évalue la capacité du producteur à couvrir ses charges opérationnelles.

$$\boldsymbol{MB = PB - CV} \ (\mathbf{5})$$

Marge Nette (MN) : Elle représente le bénéfice net du producteur après couverture de l'ensemble des coûts de production y compris l'amortissement du capital.

$$\boldsymbol{MN = PB - CT} (\mathbf{6})$$

Le Ratio Bénéfice-Coût (RBC) mesure l'efficience du capital investi. Un RBC > 1 confirme la rentabilité économique de la production.

$$\boldsymbol{RBC = \frac{PB}{CT}} \ (\mathbf{7})$$

2.4 Adoption conjointe des technologies de mécanisation

Les trois équipements considérés dans cette étude n'interviennent pas au même moment du cycle de production du soja. Le tracteur assure le travail du sol, le semoir réalise le semis et la batteuse-vanneuse intervient après la récolte, au battage et au vannage. Ils ne constituent donc pas des technologies concurrentes ou substituables, mais des équipements complémentaires couvrant des opérations successives et interdépendantes d'un même itinéraire technique. La performance d'un maillon

conditionne en partie le rendement des autres : un lit de semences correctement préparé améliore la régularité du semis, laquelle facilite l'entretien et la récolte, tandis que le battage mécanisé limite les pertes post-récolte qui viendraient annuler les gains obtenus en amont [5], [6].

C'est cette complémentarité technique qui justifie de raisonner en termes d'adoption conjointe plutôt que d'adoption isolée de chaque équipement. La mécanisation d'une seule opération laisse en effet subsister les goulots d'étranglement situés aux autres étapes du cycle, de sorte que les gains attendus d'un équipement pris isolément peuvent être partiellement, voire totalement, absorbés par les contraintes qui demeurent en amont ou en aval [5], [25]. À l'inverse, la littérature consacrée aux paquets technologiques montre que les effets sur les rendements et les revenus sont généralement plus élevés lorsque plusieurs technologies complémentaires sont adoptées simultanément que lorsqu'elles le sont séparément [7], [8]. Traiter le tracteur, le semoir et la batteuse-vanneuse comme des technologies individuelles reviendrait ainsi à ignorer les interactions entre les opérations mécanisées et conduirait à une lecture partielle de l'effet de la mécanisation.

Dans cette étude, l'adoption conjointe est définie ici comme l'utilisation effective des trois équipements sur la parcelle de soja au cours d'au moins une campagne agricole, indépendamment du mode d'accès. Un producteur est considéré comme adoptant conjoint qu'il soit propriétaire du matériel ou qu'il y ait accédé par la location ou par une prestation de service. Ce choix se justifie par le fait que, dans le Borgou, l'accès à la mécanisation passe majoritairement par des services de location plutôt que par la propriété individuelle des équipements [11]. La variable de traitement est donc binaire : elle prend la valeur 1 pour les producteurs ayant mobilisé simultanément les trois équipements et 0 sinon. Le groupe de comparaison réunit par conséquent aussi bien les producteurs n'ayant utilisé aucun de ces équipements que ceux n'ayant utilisé qu'un ou deux. L'effet estimé s'interprète ainsi comme le gain associé à une couverture mécanisée complète du cycle de production, par rapport à toute autre configuration de mécanisation partielle ou nulle.

2.5 Evaluation d'impact par la méthode du Propensity Score Matching (PSM)

2.5.1 Justification du choix du modèle PSM

L'évaluation rigoureuse de l'impact causal de l'adoption conjointe des technologies de mécanisation sur la performance économique de la production de soja se heurte à un problème fondamental d'endogénéité : le statut d'adoption n'est pas aléatoire. Les producteurs qui adoptent conjointement le tracteur, le semoir et la batteuse-vanneuse peuvent différer systématiquement des non-adoptants sur des caractéristiques susceptibles d'influencer à la fois leur décision d'adoption et leur performance économique. Une comparaison naïve (non appariée) entre les deux groupes produirait alors des estimations biaisées de l'effet de l'adoption [26], [15], en confondant l'effet de l'adoption avec celui des différences initiales entre exploitations.

La méthode du Propensity Score Matching (PSM), proposée par Rosenbaum et Rubin [15], permet de rendre comparable, sur la base des caractéristiques observables, les producteurs traités et ceux qui ne le sont pas. Contrairement aux modèles de régression classiques, le PSM ne suppose pas de forme fonctionnelle particulière pour la relation entre les covariables et l'outcome, réduisant ainsi le risque de biais de mauvaise spécification [27]. Cette méthode a été largement utilisée dans les études d'évaluation d'impact en agriculture en Afrique [28], [29]. Dans le domaine de la mécanisation agricole, Benin [12] a, par exemple, combiné le PSM et la méthode de différence-de-différences pour évaluer les effets du programme de centres de services de mécanisation agricole au Ghana.

Le recours au PSM est justifié dans notre contexte par : (i) l'absence de randomisation du statut d'adoption, et (ii) la disponibilité d'un ensemble riche de co-variables pré-traitement permettant de modéliser la probabilité d'adoption [15].

Le PSM présente toutefois des limites qu'il convient d'expliciter. Premièrement, il repose sur l'hypothèse d'indépendance conditionnelle (conditional independence assumption), selon laquelle l'ensemble des facteurs influençant simultanément la décision d'adoption et la performance économique est observé et intégré au modèle de participation. Cette hypothèse n'est pas testable statistiquement : si des caractéristiques non observées telles que la capacité managériale, la motivation entrepreneuriale, l'aversion au risque ou la fertilité intrinsèque des parcelles influencent à la fois l'adoption et la marge nette, l'estimation demeure biaisée [26], [16]. Deuxièmement, le PSM exige une zone de support commun suffisante : les adoptants dont le score de

propension ne trouve pas de contrepartie parmi les non-adoptants sont exclus de l'estimation, ce qui réduit la taille effective de l'échantillon et restreint la portée des résultats aux seuls producteurs appariés. Troisièmement, les estimations sont sensibles aux choix de spécification, qu'il s'agisse des covariables retenues, de la forme du modèle de participation ou de l'algorithme d'appariement [27]. Enfin, les données mobilisées étant transversales et relatives à une seule campagne agricole, le PSM ne permet ni de neutraliser l'hétérogénéité individuelle invariante dans le temps, comme le ferait un estimateur en doubles différences, ni d'apprécier la dynamique des effets de la mécanisation sur plusieurs campagnes.

Le recours au PSM se justifie néanmoins, en dépit de ces limites, pour trois raisons. D'abord, aucune alternative méthodologique plus robuste n'était mobilisable dans ce contexte. Le statut d'adoption n'ayant pas été randomisé, la structure des données ne se prête ni à une approche expérimentale, ni à une estimation en doubles différences faute de données de panel, ni à une approche par variable instrumentale, aucun instrument à la fois pertinent et exogène n'ayant pu être identifié. Ensuite, l'enquête a permis de recueillir un ensemble riche de covariables pré-traitement couvrant le capital humain, la structure de l'exploitation et l'accès aux services et aux marchés, soit précisément les dimensions que la littérature identifie comme déterminantes de l'adoption des équipements agricoles [14], ce qui rend l'hypothèse d'indépendance conditionnelle plus plausible. Enfin, plusieurs précautions ont été prises pour limiter l'incidence de ces limites. La qualité de l'appariement a été vérifiée par l'examen de la zone de support commun et des biais standardisés avant et après appariement, plusieurs algorithmes d'appariement ont été comparés afin d'apprécier la stabilité des estimations, et une analyse de sensibilité fondée sur les bornes de Rosenbaum [30] a été conduite afin de quantifier l'ampleur du biais non observé qui serait nécessaire pour remettre en cause les conclusions.

2.5.2 Spécification mathématique du PSM

La première étape du PSM consiste à estimer, pour chaque producteur, la probabilité conditionnelle d'adopter conjointement le tracteur, le semoir et la batteuse-vanneuse, compte tenu d'un vecteur de caractéristiques observables $\boldsymbol{X_i}$ .Cette probabilité, appelée score de propension, est estimée au moyen dun modèle Probit :

$$\boldsymbol{P(X_i) = Pr(D_i = 1|X_i) = \Phi(\beta X_i)} \ (\mathbf{8})$$

Où $\boldsymbol{D_i = 1}$ si le producteur $\boldsymbol{i}$ a adopté conjointement les trois technologies de mécanisation et $\mathbf{0}$ sinon, et $\boldsymbol{\Phi}$ représente la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite.

Une fois les scores de propension estimés, chaque producteur adoptant (*treated*) est apparié à un ou plusieurs producteurs du groupe de comparaison présentant un score de propension suffisamment proche. Plusieurs algorithmes d'appariement ont été examinés : l'appariement par le plus proche voisin (*nearest-neighbor matching*), l'appariement au noyau (*kernel matching*) et l'appariement par stratification (*stratification matching*). L'algorithme retenu est l'appariement aux 5 plus proches voisins avec caliper (0,05), avec imposition du support commun (*common support*). Ce choix repose sur la littérature méthodologique [16] qui recommande un appariement à plusieurs voisins pour réduire la variance des estimateurs lorsque la taille de l'échantillon le permet.

Après la vérification de la zone de support commun et de l'équilibre des covariables, l'effet moyen du traitement sur les traités (Average Treatment effect on the Treated - ATT) est calculé. L'ATT mesure la différence moyenne de performance économique entre les producteurs ayant adopté conjointement les trois technologies et le résultat contrefactuel qu'auraient obtenu ces mêmes producteurs s'ils n'avaient pas adopté conjointement ces technologies. Il est obtenu à partir de la formule suivante :

$$\boldsymbol{ATT = E[Y_{1i} - Y_{0i}|D_i = 1] = E[Y_{1i}|D_i = 1] - E[Y_{0i}|D_i = 1]} \ (\mathbf{9})$$

Où Y_{1i} désigne la performance économique (marge nette, en FCFA/ha) du producteur *i* lorsqu'il adopte conjointement les trois technologies ;

Y_{0i} la performance qu'aurait obtenue ce même producteur en l'absence d'adoption conjointe ;

D_i la variable binaire de traitement ($D_i = 1$ si le producteur a adopté conjointement les trois équipements, 0 sinon)

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

2.5.3 Variables explicatives du score de propension

Les covariables introduites dans le modèle Probit ont été sélectionnées sur la base de la théorie économique de l'adoption des innovations [31], [1] et des travaux empiriques antérieurs sur l'adoption des équipements agricoles en Afrique. Le Tableau 2 présente la liste complète des variables, leur description, leur mesure et le signe attendu de leur effet sur la probabilité d'adoption conjointe.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

Tableau 2 : Variables introduites dans le modèle Probit du PSM

Variable	Description	Mesure / Modalité	Signe attendu
A. Variable de traitement (adoption conjointe)			
Adoption conjointe	Adoption simultanée du tracteur, du semoir et de la batteuse-vanneuse pour au moins une campagne agricole	Binaire (1 = adoption conjointe des 3 équipements ; 0 = sinon)	-
B. Variables de capital humain			
Niveau d'instruction	Accès à l'éducation formelle (alphabétisation ou scolarisation) du chef d'exploitation	Binaire (1 = Oui; 0 = Non)	+
Formation technique	Participation à au moins une formation sur l'utilisation des équipements mécanisés au cours des 5 dernières années	Binaire (1 = Oui; 0 = Non)	+
Âge	Âge du chef d'exploitation au moment de l'enquête	Variable continue (années)	±
C. Variables structurelles de l'exploitation			
Superficie emblavée en soja	Surface totale allouée à la culture du soja lors de la campagne 2024-2025	Variable continue (hectares)	+
Nombre d'actifs agricoles	Nombre de personnes du ménage participant effectivement aux travaux agricoles	Variable continue (nombre de personnes)	+
D. Variables d'accès aux services et marchés			
Possibilité de location	Accès aux machines agricoles (tracteur, semoir, batteuse) via des services de location ou prestataires	binaires (1 = Oui; 0 = Non)	+
Accès au crédit	Obtention d'un crédit formel ou informel pour financer la production de soja au cours de la campagne 2024-2025	binaire (1 = Oui ; 0 = Non)	+
Appartenance à une coopérative	Adhésion à une organisation paysanne, groupement ou coopérative agricole	Binaire (1 = Oui ; 0 = Non)	+
Vulgarisation	Contact avec un agent de vulgarisation ou de conseil agricole au cours de la campagne	Binaire (1 = Oui ; 0 = Non)	+

Source : Auteurs, inspiré de [31] ; [1], [29], [32]

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

Note : Le signe attendu reflète la direction anticipée de l'effet sur la probabilité d'adoption conjointe, conformément à la littérature. ± indique un effet ambigu selon les contextes.

2.6 Variables d'outcome retenues et analyse de données

La variable d'outcome utilisée pour mesurer l'impact de l'adoption conjointe est la marge nette, exprimée en FCFA/ha. Cet indicateur correspond à celle reconnue dans la littérature pour évaluer le profit des exploitations.

L'ensemble des analyses a été réalisé sous le logiciel Stata 17, en utilisant la commande *psmatch2* [33] pour le PSM.

III. Résultats

3.1 Analyse de performance économique de la production de soja selon l'adoption

Les résultats du tableau 3 qui présente la performance économique montrent que le produit brut moyen est significativement plus élevé chez les producteurs ayant adopté conjointement les technologies de mécanisation (338 113,8 FCFA/ha) que chez les non-adoptants (265 777,2 FCFA/ha), avec une différence statistiquement significative au seuil de 1 %. En ce qui concerne les coûts variables, ceux-ci sont significativement plus faibles chez les producteurs utilisant les équipements agricoles au seuil de 1 % que chez les non-adoptants. Par ailleurs, les coûts fixes sont significativement plus élevés chez les adoptants conjoints (45 601,8 FCFA/ha) comparativement aux non-adoptants (36 968,9 FCFA/ha). Cette différence peut s'expliquer par les investissements liés à l'acquisition ou à l'utilisation des équipements. Toutefois, les coûts totaux de production ne présentent pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes ($p > 10$ %), bien que les non-adoptants affichent un coût total légèrement supérieur. L'analyse des indicateurs relative à la marge nette et la marge brute révèle que la marge brute moyenne est significativement plus élevée chez les adoptants (240 628,3 FCFA/ha) que chez les non-adoptants (158 400,5 FCFA/ha). De même, la marge nette suit la même tendance, avec une valeur moyenne de 195 026,5 FCFA/ha chez les adoptants conjoints contre 121 431,6 FCFA/ha chez les non-adoptants, avec une différence significative au seuil de 1 %. Concernant le rendement, les producteurs adoptants obtiennent un rendement moyen plus élevé avec une différence significative au seuil de 1 %. Par ailleurs, le ratio-bénéfice-coût (RBC) est également supérieur et présente une différence statistiquement significative au seuil de 1 % chez les adoptants conjoints (2,37) comparativement aux non-adoptants (1,87).

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

Tableau 3 : Analyse de la performance économique selon le statut d'adoption conjointe

Variables	Ensemble	Non-adoptants	Adoptions conjointes	P-value
Produit brut (FCFA/ha)	284 155,9 (85 224,4)	265 777,2 (83 554,2)	338 113,8 (65 102,9)	***
Coûts variables (FCFA/ha)	104 863,6 (17 055,5)	107 376,7 (18 587,9)	97 485,5 (7 682,1)	***
Coûts fixes (FCFA/ha)	39 162,3 (10 156,2)	36 968,9 (10 495,1)	45 601,8 (5 239,4)	***
Coûts totaux (FCFA/ha)	144 025,9 (11 372,6)	144 345,6 (12 157,3)	143 087,3 (8 668,6)	ns
Marge brute (FCFA/ha)	179 292,3 (97 133,3)	158 400,5 (97 260,7)	240 628,3 (66 144,4)	***
Marge nette (FCFA/ha)	140 130,0 (90 211,7)	121 431,6 (89 751,4)	195 026,5 (66 306,2)	***
Rendement (kg/ha)	1 384,3 (410,0)	1 296,9 (404,8)	1 640,8 (305,9)	***
Ratio-bénéfice-coût (RBC)	2,0003 (0,63)	1,8732 (0,6315)	2,3735 (0,4845)	***

NB : Les valeurs entre parenthèses représentent les écarts-types ; *** $p < 0,001$ (différence significative au seuil de 1 ‰) ; ns : non significatif.

3.2 Evaluation d'impact par la méthode du Propensity Score Matching (PSM)

3.2.1 Déterminant de l'adoption conjointe

Les résultats du modèle probit présentés au Tableau 4 montrent que le modèle est globalement significatif ($p < 0,001$), avec un pseudo R^2 de 0,2081.

L'analyse des coefficients montre que le niveau d'instruction exerce un effet positif et statistiquement significatif au seuil de 1 % sur l'adoption conjointe. Ce résultat suggère que les producteurs ayant bénéficié d'une éducation formelle sont davantage susceptibles d'adopter simultanément les technologies de mécanisation, probablement en raison d'une meilleure capacité à comprendre, assimiler et utiliser les innovations agricoles. La participation à une formation sur la mécanisation a également un effet positif et significatif au seuil de 5 %, suggérant que l'accès à l'encadrement technique et au renforcement des capacités favorise l'adoption conjointe des technologies. Par ailleurs, la superficie emblavée présente un effet positif et significatif au seuil de 10 %. Ce résultat indique que les producteurs disposant de plus grandes superficies sont plus enclins à adopter conjointement

les technologies de mécanisation. En outre, la possibilité de louer du matériel agricole a un effet positif et significatif au seuil de 1 %. Ce résultat montre que les producteurs disposant d'un accès à un service de location de machines ont une probabilité nettement plus élevée d'adopter conjointement les technologies de mécanisation. L'accès à la location lève en effet la contrainte que représente l'acquisition d'équipements.

Tableau 4 : Déterminants de l'adoption conjointe des trois technologies de mécanisation

Variable	**Coeff.**	**Écart-type**	**z**	**P > |z|**
Âge du producteur	-0,0099	0,0103	-0,96	0,338
Niveau d'instruction	0,5778	0,1826	3,17	0,002
Formation sur la mécanisation	0,4606	0,1827	2,52	0,012
Superficie emblavée (ha)	0,1074	0,0563	1,91	0,056
Appartenance coopérative	0,0112	0,2279	0,05	0,961
Possibilité de location	1,0248	0,1811	5,66	0,000
Accès au crédit	0,1959	0,2124	0,92	0,356
Vulgarisation	0,0644	0,2340	0,28	0,783
Nombre d'actifs agricoles	0,0296	0,0260	1,14	0,255
Constante	-1,9881	0,4923	-4,04	0,000
Pseudo R^2	=	0,2081		
LR chi2(9)		72,41		
Number of obs	=	307		
Prob > chi2	=	0,000		

3.2.2 Qualité de l'appariement et équilibre des covariables

La validité des résultats du PSM repose sur la qualité de l'appariement, appréciée par le biais standardisé avant et après matching ainsi que par l'évolution du pseudo R^2 du modèle probit. La Figure 2 présente la distribution des scores de propension pour les deux groupes, confirmant l'existence d'une zone de support commun satisfaisante. Les distributions présentent une zone de chevauchement permettant l'appariement des producteurs présentant des probabilités d'adoption comparables, sur l'ensemble de la plage [0 ; 0,79]. Deux adoptants se situant hors du support commun garantissant que chaque adoptant dispose de contrôles comparables. L'estimation de l'effet de traitement porte ainsi sur 76 adoptants appariés.

International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)
ISSN: 2509-0119.
© 2026 Scholar AI LLC.
https://ijpsat.org/
Vol. 59 No. 2 October 2026, pp. 855-873

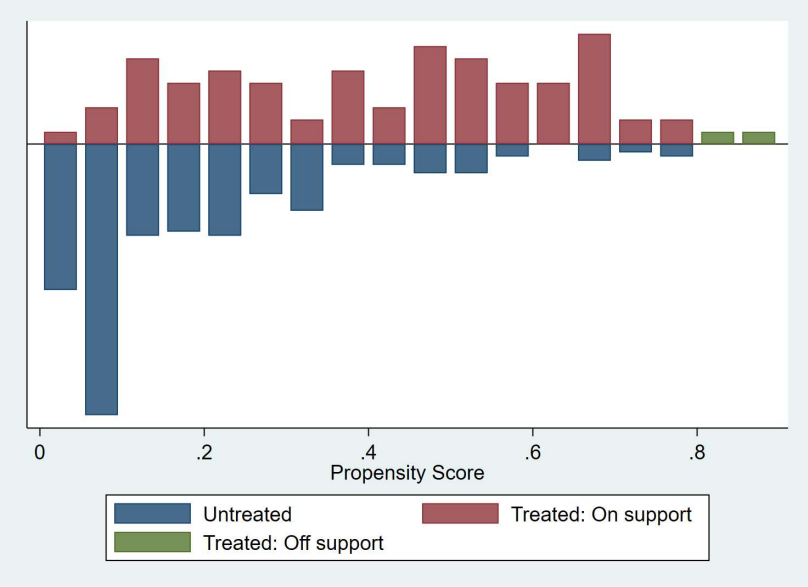


Figure 2 : Distribution des scores de propension des Adoptants (Treated) et non-adoptants (Untreated).

3.2.3 Biais standardisé avant et après appariement

La figure 3 illustre, sous forme de love plot, l'écart de caractéristiques entre les adoptants et non-adoptants avant et après appariement. Avant l'appariement, les différences standardisées étaient fortement importantes, notamment pour la possibilité de louer du matériel (93,8 %), le niveau d'instruction (57,1 %) et la participation à une formation (45,6 %). Après appariement, l'ensemble des covariables se resserrent autour de zéro. Le biais standardisé moyen diminue de 36,2 % à 6,0 %. Huit des neuf covariables présentent alors un biais standardisé inférieur à 10 % ; seule la superficie emblavée conserve un biais de 11,8 %.

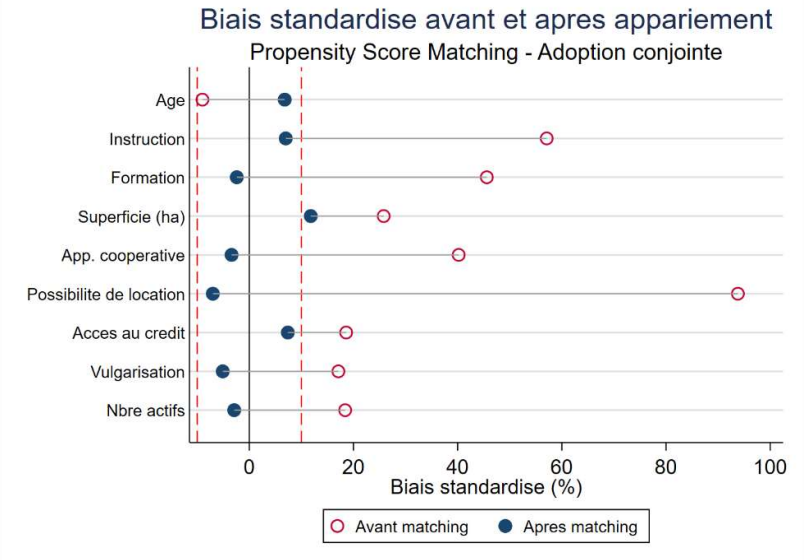


Figure 3 : Biais standardisé des covariables avant et après appariement (love plot)

3.2.4 Effets de traitement estimés (ATT)

Le tableau 5 présente les effets moyens du traitement sur les traités (ATT - Average Treatment effect on the Treated) estimés par PSM à 5 plus proches voisins avec caliper (0,05). Les résultats de l'estimation montrent que l'adoption conjointe des technologies de mécanisation exerce un effet positif et statistiquement significatif au seuil de 1 % sur la marge nette des producteurs. L'effet moyen du traitement sur les traités (ATT) est estimé à 42 222 FCFA/ha ce qui signifie que, toutes choses égales par ailleurs, les producteurs ayant adopté conjointement les trois technologies de mécanisation réalisent une marge nette supérieure de 42 222 FCFA/ha à celle des producteurs aux caractéristiques observables similaires n'ayant pas adopté ses technologies.

Tableau 5 : Effet de l'adoption conjointe sur la marge nette

Echantillon	Adoptants (FCFA/ha)	Non-adoptants (FCFA/ha)	Différence (FCFA/ha)	T-stat
Avant appariement (Naïf)	195 027	121 432	73 595***	6,65
Après appariement (ATT)	193 269	151 047	42 222***	3,27

3.2.5 Analyse de robustesse

Bien que le PSM permette de réduire le biais de sélection associé aux caractéristiques observables, il ne permet pas d'exclure la possibilité d'un biais résultant de caractéristiques non observées pouvant influencer simultanément la décision d'adoption et la marge nette. Une analyse de sensibilité fondée sur les bornes de Rosenbaum a été réalisée afin d'évaluer la robustesse des estimations obtenues par le Propensity Score Matching à l'existence d'un tel biais.

Les résultats montrent que l'effet de l'adoption simultanée des technologies de mécanisation sur la marge nette par hectare demeure statistiquement significatif au seuil de 5 % jusqu'à une valeur de $\Gamma = 2,0$. En revanche, à partir de $\Gamma = 2,1$ la borne supérieure de la p-valeur dépasse le seuil de signification de 5 %. Les résultats du PSM restent statistiquement significatifs jusqu'à $\Gamma = 2,0$, mais deviennent sensible à un biais de sélection non observé à partir de $\Gamma = 2,1$. Autrement dit, les résultats restent robustes à un certain degré de biais de sélection caché, mais pourraient potentiellement être remis en cause par une variable non observée suffisamment forte pour modifier substantiellement les probabilités relatives d'adoption. Ces résultats indiquent que les estimations obtenues sont relativement robustes à la présence d'un biais de sélection lié à des variables non observées.

Tableau 6 : analyse de sensibilité fondée sur les bornes de Rosenbaum

Γ (Gamma)	sig+	Intervalle de confiance à 95 % (borne inférieure)	Conclusion
1,0	0,000020	21 513,2	Effet significatif
1,5	0,004095	7 063,62	Effet significatif
1,8	0,021384	926,43	Effet significatif
1,9	0,032439	-1 132,97	Effet significatif
2,0	0,046800	-2 907,97	Effet significatif
2,1	0,064682	-4 580,44	Effet non significatif
2,2	0,086156	-6 450,13	Effet non significatif

IV. Discussion

Les résultats de l'adoption conjointe des équipements de mécanisation tel que le tracteur, le semoir et de la batteuse-vanneuse montrent que la marge nette augmente significativement de 42 222 FCFA/ha, soit 28,0 % par rapport au groupe de producteurs non adoptants après appariement. Avant correction, l'écart observé était de 73 595 FCFA/ha. Après l'appariement des producteurs ayant des caractéristiques comparables, cet écart diminue à 42 222 FCFA/ha. Cela signifie qu'une partie importante de l'avantage observé (42,6 %) est liée non pas à la mécanisation elle-même, mais à d'autres facteurs comme le niveau d'instruction, la formation technique ou l'accès aux services de location. Une comparaison simple aurait donc tendance à surestimer l'effet de l'adoption conjointe des trois technologies de mécanisation d'environ 74 %. Ce résultat confirme donc la nécessité de tenir compte des différences entre producteurs avant d'évaluer l'impact réel de la mécanisation. Ce résultat corrobore celle d'Adu-Baffour et al. [17] et de Wordofa et al. [34]. Toutefois, contraire au résultat trouvé en Zambie où les gains proviennent surtout de l'augmentation des superficies cultivées. Dans le cas de la présente étude, le mécanisme semble différent : les gains de la marge nette proviennent principalement d'une meilleure productivité des terres. Si d'Adu-Baffour et al. [17], dans leur cas, soulignent que les producteurs bénéficiant des services de tracteur ont accru leur revenu notamment en cultivant une plus grande part de leurs terres (puisque le revenu par hectare n'augmentait pas significativement), dans notre cas, à l'inverse, l'augmentation du rendement de 344 kg/ha entre les producteurs adoptants et les non adoptants constitue un mécanisme plausible de l'amélioration de la marge nette.

L'analyse des coûts montre que la mécanisation ne réduit pas les dépenses totales de production. En effet, les dépenses de main-d'œuvre salariée diminuent, passant de 26 654 FCFA/ha à 18 291 FCFA/ha, mais cette économie est compensée par les frais de location des machines et les coûts liés aux équipements. En d'autres termes, les producteurs remplacent une partie du travail manuel par l'utilisation du capital, sans réduire le coût total de production conformément à la logique de substitution factorielle documenté par Lu et al. [35] et Takeshima et al. [36].

L'amélioration de la rentabilité provient donc principalement de l'augmentation des recettes. En effet, le produit brut est supérieur de 27,2 % chez les producteurs mécanisés. Comme le prix moyen du soja est approximativement le même dans les deux groupes (205,9 contre 204,9 FCFA/kg). Cette différence s'explique essentiellement par un meilleur rendement : 1 641 kg/ha contre 1 297 kg/ha. Cette amélioration du rendement peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Le labour mécanisé et le semis au semoir permettent un meilleur semis de la culture. De plus, la batteuse-vanneuse réduit les pertes au moment du battage, une étape où les pertes post-récolte sont importantes dans la filière soja au Bénin [37]. Le modèle d'adoption apporte également des résultats

importants. En d'autres termes, l'accès aux services de location de machine apparaît comme le facteur qui favorise le plus l'adoption conjointe des équipements, devant le niveau d'instruction et la formation technique. Par ailleurs, la superficie cultivée influence de façon significative et positive l'adoption conjointe des équipements agricoles. Ce résultat montre que la mécanisation n'est pas réservée uniquement aux grandes exploitations. Grâce aux services de location, même les petites exploitations peuvent accéder aux équipements agricoles sans devoir les acheter. Cette observation rejoint les conclusions de Lu et al. [35] et de Baudron et al. [25], selon lesquelles le principal obstacle est davantage l'accès aux machines que le manque d'intérêt des producteurs. En revanche, l'instruction et la formation restent importantes, ce qui montre que la disponibilité des machines ne suffit pas si les producteurs ne disposent pas des compétences nécessaires pour les utiliser efficacement.

V. Conclusion

Cette étude a évalué l'effet de l'adoption conjointe du tracteur, du semoir et de la batteuse-vanneuse sur la performance économique de la production de soja dans le département du Borgou. Les résultats montrent que l'adoption conjointe de ces trois équipements augmente significativement la marge nette de 42 222 FCFA/ha, soit 28 % de plus que chez des producteurs qui ne les utilisent pas. L'amélioration de la performance économique ne semble pas provenir d'une baisse des coûts de production, qui restaient statistiquement comparables entre les deux groupes, mais principalement d'une augmentation du rendement de 344 kg/ha, alors que le prix de vente du soja est pratiquement le même. Les résultats suggèrent ainsi que, dans le contexte étudié, les gains associés à l'adoption conjointe reposent davantage sur une amélioration de la productivité que sur une réduction des coûts totaux de production.

Enfin, l'adoption conjointe des équipements dépend principalement de l'accès aux services de location, du niveau d'instruction et de la formation technique. Ces résultats ont plusieurs implications pour les politiques de mécanisation agricole. En premier lieu, les actions publiques devraient privilégier le développement et le renforcement des services de location des équipements agricole, tout en facilitant l'accès des petits et moyens producteurs à des prestations fiables et abordables, plutôt que de privilégier exclusivement des dispositifs fondés sur la propriété individuelle des équipements. Ces services devraient par ailleurs être conçus de manière à couvrir l'ensemble des opérations du cycle de production, du travail du sol au battage et au vannage, plutôt que de porter sur des équipements considérés isolément. Les trois technologies étudiées interviennent en effet à des étapes différentes et complémentaires de l'itinéraire technique : mécaniser une seule opération laisse subsister les goulots d'étranglement situés en amont ou en aval et ne permet d'exprimer qu'une partie du gain potentiel. Les dispositifs de subvention et de location gagneraient donc à raisonner en termes de kits d'équipements cohérents et à organiser la disponibilité des prestations selon le calendrier cultural, plutôt qu'à promouvoir des technologies individuelles. En second lieu, la diffusion des équipements devrait être accompagnée de formations techniques, car la disponibilité des machines seule ne garantit pas leur adoption ni leur utilisation efficace.

Références

[1] Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change, 33*(2), 255-298. https://doi.org/10.1086/451461

[2] Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. *Annual Review of Economics, 2*, 395-424. https://doi.org/10.1146/annurev.economics.102308.124433

[3] Suri, T. (2011). Selection and comparative advantage in technology adoption. *Econometrica, 79*(1), 159-209. https://doi.org/10.3982/ECTA7749

[4] Binswanger, H. P. (1986). Agricultural mechanization: A comparative historical perspective. *The World Bank Research Observer, 1*(1), 27-56. https://doi.org/10.1093/wbro/1.1.27

[5] Pingali, P. (2007). Agricultural mechanization: Adoption patterns and economic impact. Dans R. Evenson & P. Pingali (Éds.), *Handbook of Agricultural Economics* (Vol. 3, p. 2779-2805). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03054-4

[6] Stathers, T., Holcroft, D., Kitinoja, L., Mvumi, B. M., English, A., Omotilewa, O., Kocher, M., Ault, J., & Torero, M. (2020). A scoping review of interventions for crop postharvest loss reduction in sub-Saharan Africa and South Asia. *Nature Sustainability, 3*, 821-835. https://doi.org/10.1038/s41893-020-00622-1

[7] Manda, J., Alene, A. D., Gardebroek, C., Kassie, M., & Tembo, G. (2016). Adoption and impacts of sustainable agricultural practices on maize yields and incomes: Evidence from rural Zambia. *Journal of Agricultural Economics, 67*(1), 130-153. https://doi.org/10.1111/1477-9552.12127

[8] Khonje, M. G., Manda, J., Mkandawire, P., Tufa, A. H., & Alene, A. D. (2018). Adoption and welfare impacts of multiple agricultural technologies: Evidence from eastern Zambia. *Agricultural Economics, 49*(5), 599-609. https://doi.org/10.1111/agec.12445

[9] Daum, T., & Birner, R. (2020). Agricultural mechanization in Africa: Myths, realities and an emerging research agenda. *Global Food Security, 26*, 100393. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100393

[10] Agbangba, E. C., Adegbola, P., Dagbenonbakin, G. D., Houssou, P., Ogouvidé, F., & Agossou, H. K. (2018). Analyse des besoins en équipements et matériels de production des spéculations des pôles de développement agricole du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12*(6), 2691-2702.

[11] Hinnou, L. C., Obossou, E. A. R., & Adjovi, N. R. A. (2022). Understanding the mechanisms of access and management of agricultural machinery in Benin. *Scientific African, 15*, e01121. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01121

[12] Benin, S. (2015). Impact of Ghana's agricultural mechanization services center program. *Agricultural economics*, *46*(S1), 103-117.

[13] Marenya, P. P., & Barrett, C. B. (2007). Household-level determinants of adoption of improved natural resources management practices among smallholder farmers in western Kenya. *Food Policy, 32*(4), 515-536. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.10.002

[14] Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development, 146*, 105599. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599

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

[16] Caliendo, M., & Kopeinig, S. (2008). Some practical guidance for the implementation of propensity score matching. *Journal of Economic Surveys, 22*(1), 31-72. https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00527.x

[17] Adu-Baffour, F., Daum, T., & Birner, R. (2019). Can small farms benefit from big companies' initiatives to promote mechanization in Africa? A case study from Zambia. *Food Policy, 84*, 133-145.

[18] Diao, X., Takeshima, H., & Zhang, X. (Éds.). (2020). *An evolving paradigm of agricultural mechanization development: How much can Africa learn from Asia?* International Food Policy Research Institute. https://doi.org/10.2499/9780896293809

[19] Direction des Statistiques Agricoles (DSA). (2024). *Statistiques de production agricole du Bénin*. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.

[20] Taupin, M. (2023). *Quels enjeux pour l'agriculture du nord Bénin face aux dynamiques de motomécanisation ? Diagnostic agraire de l'arrondissement d'Ina dans le département du Borgou*

[21] Gittinger, J. P. (1982). *Economic analysis of agricultural projects* (2e éd.). The Johns Hopkins University Press.

[22] Dossou, A. A. A., Vodouhe, F. G., & Yegbemey, R. N. (2019). Accès au crédit et performance économique et financière des exploitations de l'Union Nationale des Producteurs de Soja au Centre du Bénin. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, *9*(1), 79-94.

[23] Kik, M., Claassen, G., Ros, G., Meuwissen, M., Smit, A., & Saatkamp, H. (2024). FARManalytics: A bio-economic model to optimize the economic value of sustainable soil management on arable farms. *European Journal of Agronomy, 155*, 127192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127192

[24] Adeoti, R., Coulibaly, O., & Ahoyo, N. (2020). Analyse de la rentabilité économique des systèmes de production agricole en Afrique de l'Ouest. *Revue d'Économie Rurale, 45*(2), 112-128.

[25] Baudron, F., Misiko, M., Getnet, B., Nazare, R., Sariah, J., & Kaumbutho, P. (2019). A farm-level assessment of labor and mechanization in Eastern and Southern Africa. *Agronomy for Sustainable Development, 39*(2), 17. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0563-5

[26] Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. E. (1998). Matching as an econometric evaluation estimator. *The Review of Economic Studies, 65*(2), 261-294. https://doi.org/10.1111/1467-937X.00044

[27] Smith, J. A., & Todd, P. E. (2005). Does matching overcome LaLonde's critique of nonexperimental estimators? *Journal of Econometrics, 125*(1-2), 305-353. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.04.011

[28] Midjangninou, S. L., Bonou, A., & Kpenavoun Chogou, S. (2024). Impact of climate-smart agriculture on the income and food security of cassava-producing households in the Savalou commune in Benin. *Discovery Sustainability, 5*(1), 345.

[29] Abebe, G. M., Demissie, W. M., & Zewdie, M. C. (2025). Does the adoption of agricultural machinery improve smallholder farmers' food security? Evidence from Arsi Zone, Oromia Region, Ethiopia. *Discover Sustainability, 6*, 414. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01140-w

[30] Rosenbaum, P. R. (2002). *Observational studies* (2e éd.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3692-2

[31] Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. Free Press.

[32] Jena, P. R., & Tanti, P. C. (2023). Effect of farm machinery adoption on household income and food security: Evidence from a nationwide household survey in India. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 922038. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.922038

[33] Leuven, E., & Sianesi, B. (2003). *PSMATCH2: Stata module to perform full Mahalanobis and propensity score matching, common support graphing, and covariate imbalance testing* (Statistical Software Components S432001). Boston College Department of Economics.

[34] Wordofa, M. G., Hassen, J. Y., Endris, G. S., Aweke, C. S., Moges, D. K., & Rorisa, D. T. (2021). Adoption of improved agricultural technology and its impact on household income: A propensity score matching estimation in eastern Ethiopia. *Agriculture & Food Security, 10*, 5. https://doi.org/10.1186/s40066-020-00278-2

[35] Lu, Q., Du, X., & Qiu, H. (2022). Adoption patterns and productivity impacts of agricultural mechanization services. *Agricultural Economics, 53*(5), 826-845. https://doi.org/10.1111/agec.12737

[36] Takeshima, H., Hatzenbuehler, P. L., & Edeh, H. O. (2020). Effects of agricultural mechanization on economies of scope in crop production in Nigeria. *Agricultural Systems, 177*, 102691. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102691

[37] Noukpozounkou, D. M., Sossou, R., Sossou, H. C., Koffi, J. P., Hotegni, A., Dansou, V., ... & Midingoyi, S. K. (2025, May). Post-harvest losses along the main value-added chains and strategies for reduction in the soybean sector in Benin. In *Proceedings*. 118(1), 10.