



Village de Cormeilles, Calvados - cliché : M. Mené, 2009

L'adoption des pratiques durables de gestion de la fertilité des sols impacte-t-elle la performance économique des exploitations de maïs au Nord-Bénin ?

Nouroudine Ollabodé¹, Mahugnon Maxime Obe², Patrice Kpadé² & Alphonse Singbo³

1- Université de Parakou, LARDES, Parakou

2- UQAT, IRAA, J0Z 3B0, Québec

3- Université Laval, CREATE, G1V 0A6, Québec



Introduction

1- Données

2- Modèle d'analyse

3- Déterminants et impacts de l'adoption des SSFM

Discussion & Conclusion

Does adopting sustainable soil fertility management practices impact economic performance of maize farms in northern Benin?

Nouroudine Ollabodé¹ · Mahugnon Maxime Obe² · Cokou Patrice Kpadé² · Alphonse Singbo³

Received: 21 March 2024 / Accepted: 8 October 2025
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2025

Abstract

Northern Benin's maize production faces persistent challenges of low productivity and declining soil fertility, exacerbated by unsustainable farming practices and increasing climate variability. To address these issues, we investigate whether adopting sustainable soil and fertilizer management (SSFM) practices, specifically organic fertilizers and crops association, can enhance the economic performance of maize farms. A cross-sectional dataset of 262 maize farmers, from a multistage random sampling approach, multinomial logit selection (MNLs) for the first stage and regression of multinomial endogenous switching (MESR) for the second stage, while controlling for selection bias. We found that experienced farmers exhibit a greater propensity to embrace organic fertilizers. In contrast, elevated educational attainment correlates with a diminished likelihood of adopting both organic fertilizers and crops association. Farmers engaged in the cultivation of legumes, individuals possessing access to financial credit, participants of agricultural cooperatives, and those involved in extension services or demonstration trials exhibit a higher propensity to implement SSFM practices. Crops association independently resulted in a significant yield enhancement of 316 kg/ha, surpassing non-adopters, outperforming organic fertilizers alone (+113 kg/ha). Crops association generated a higher income gain (+\$ 157.75/ha) than organic fertilizers alone (+\$ 57.73/ha). These findings underscore the crucial role of SSFM practices in enhancing both yield and income for maize farmers in northern Benin. A shift to more sustainable agricultural practices in northern Benin is essential, with an emphasis on crops diversification, technical training, and financing to enhance food security and alleviate poverty.

Keywords Sustainable agricultural practices · Soil fertility · Impact · Maize · Benin

Ollabodé et al. (2025). Does adopting sustainable soil fertility management practices impact economic performance of maize farms in northern Benin?. *Environ Dev Sustain.* <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06975-x>

Introduction

- **Production de maïs confrontée à des défis persistants liés à la faible productivité et à la baisse de la fertilité des sols, exacerbés par des pratiques agricoles non durables et une variabilité climatique croissante.**
 - ✓ Variabilité climatique entraîne une augmentation de fréquence des sécheresses, inondations et érosion de sols, dégradant les terres agricoles et réduisant la productivité agricole en ASS (Nyarindo et al. 2024 ; Finizola e Silva et al. 2024).
 - ✓ 62% des terres agricoles dégradées avec une perte de 8% du PIB annuel au Bénin (Dutta et al. 2020).
 - ✓ Déclin de productivité de maïs de 24,4% : de **1 422 kg/ha** (2012) à **1 075 kg/ha** (2020) (DSA 2024).
 - ✓ **Enjeu majeur : restaurer la fertilité des sols et améliorer la productivité agricole.**
- **Évaluation de l'impact économique de l'amélioration de la fertilité des sols sur la productivité agricole s'avère particulièrement importante.**
 - ✓ Des technologies et pratiques agricoles durables incluant SSFM développées (Magambo Kanyenji et al. 2022) pour restaurer fertilité des sols et préserver biodiversité (Dayou et al. 2020).
 - ✓ **Étude de 2 pratiques SSFM** : engrais organique et diversification des cultures.
 - ✓ **Gap de recherche** : peu d'études microéconométriques rigoureuses sur l'impact causal.

Nyarindo et al. (2024) Finizola e Silva et al. (2024) Dutta et al. (2020) DSA (2024) Magambo Kanyenji et al. (2022) Dayou et al. (2020).

Données

□ Données technico-économiques transversales de 3 zones agroécologiques du Nord-Bénin en 2015.

- ✓ N = 262 exploitants de maïs
- ✓ Non-adoption : 33,6 % (n=88)
- ✓ Adoption d'engrais organique seul : 17,6 % (n=46)
- ✓ Adoption d'association de cultures seule : 15,6 % (n=41)
- ✓ Adoption conjointe : 33,2 % (n=87).

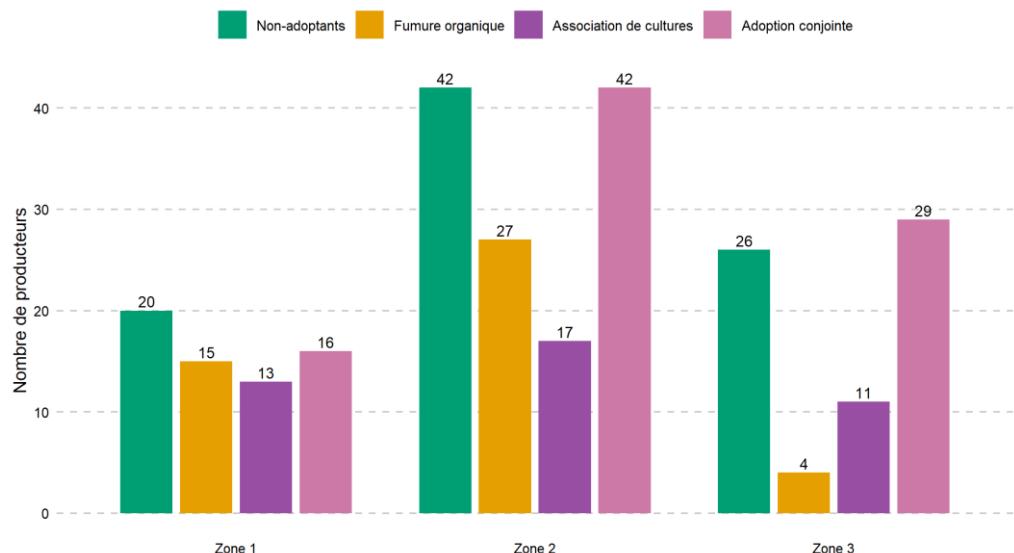


Fig 2. Distribution de l'échantillon par zone.

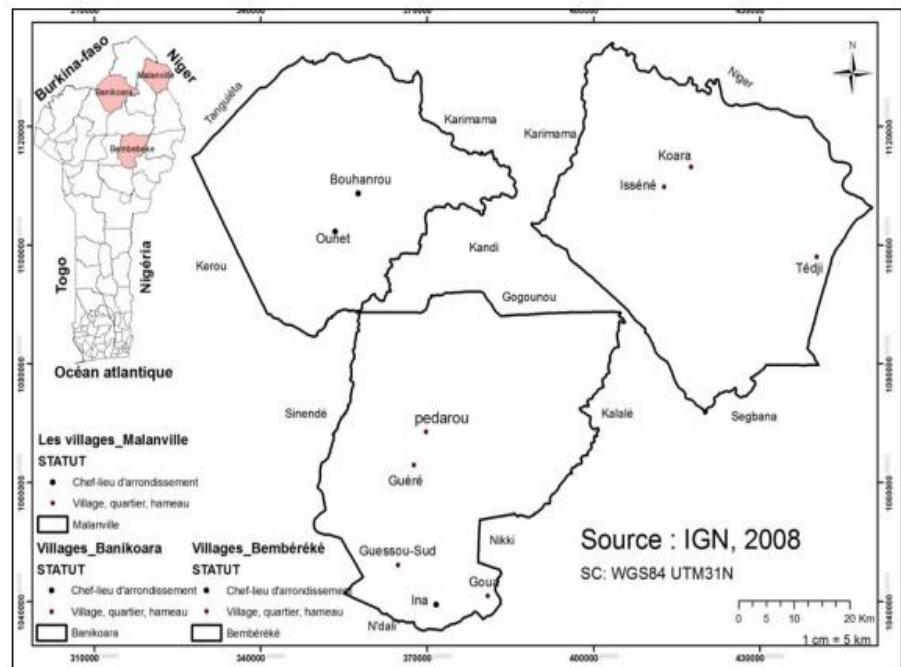


Fig 1. Carte du Nord-Bénin.

Données

□ Variables technico-économiques

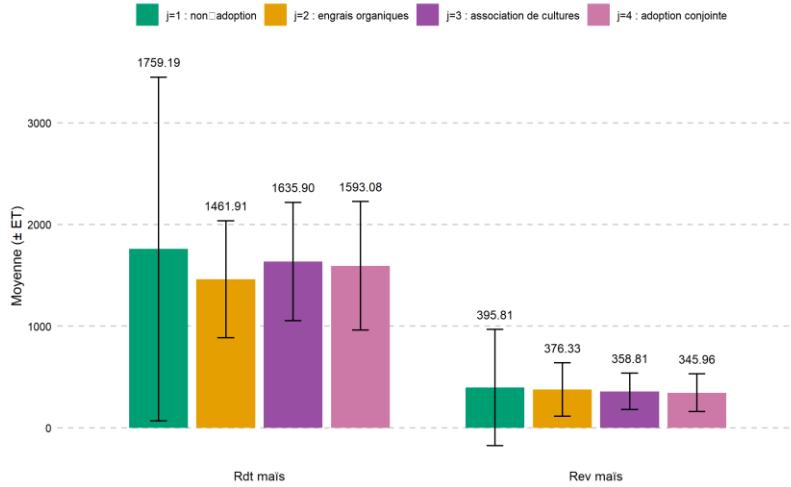


Fig 3. Revenu et rendement.

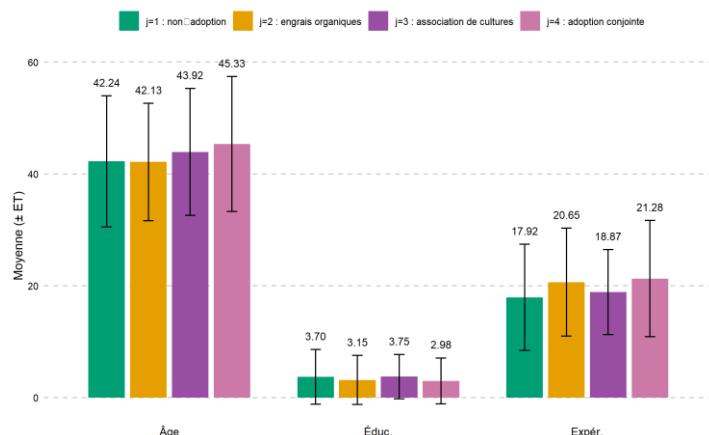


Fig 5. Caractéristiques des producteurs (suite).

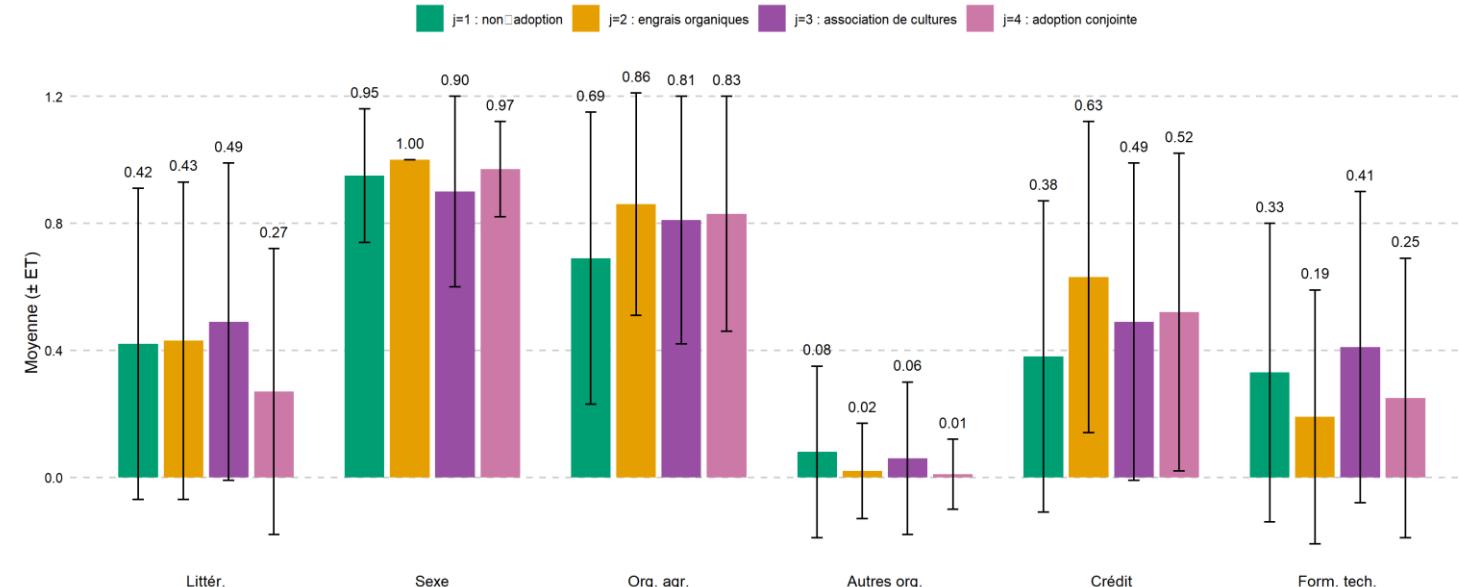


Fig 4. Caractéristiques des producteurs.

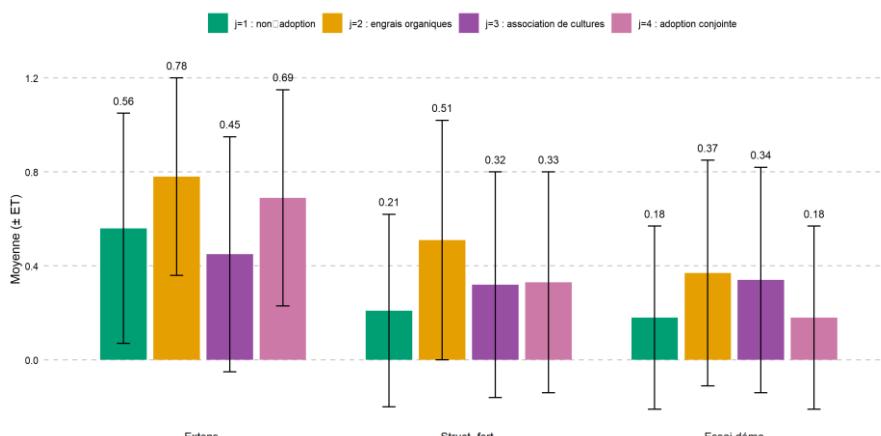


Fig 5. Sources d'information relatives aux pratiques SSFM.

Données

□ Variables technico-économiques....

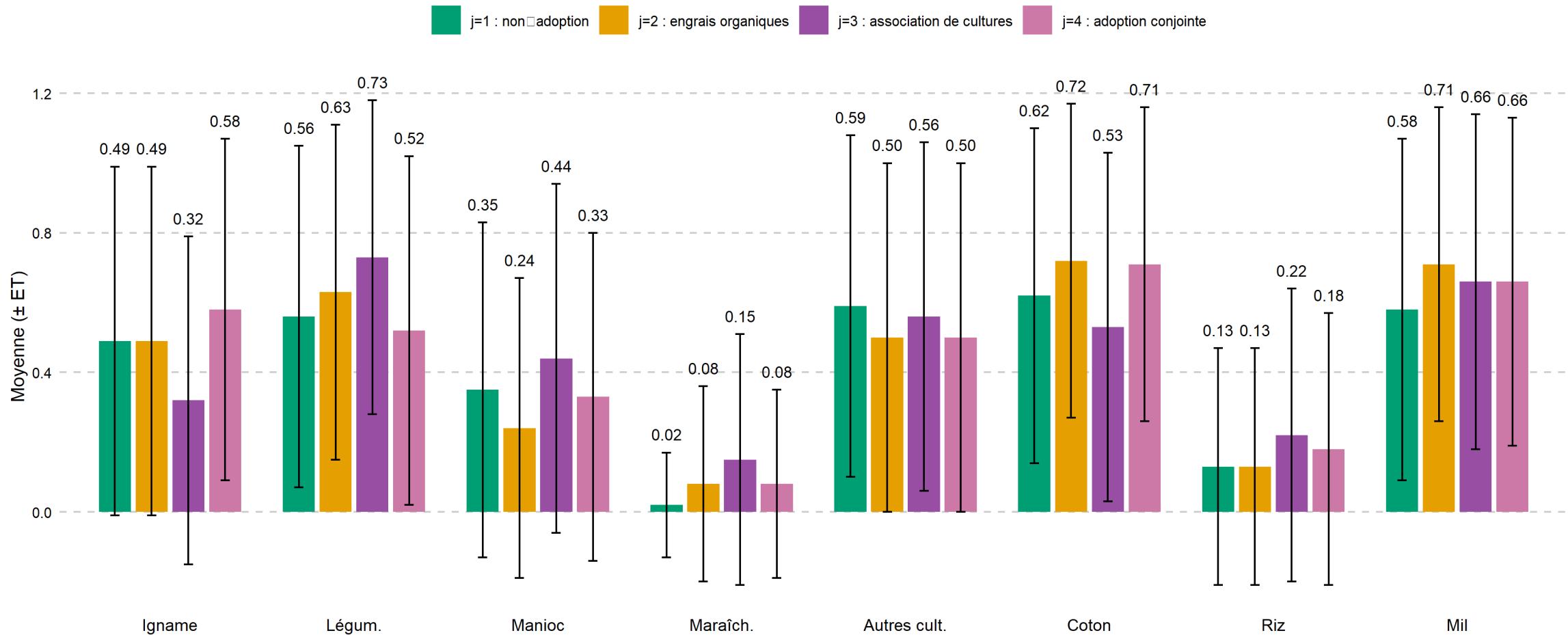


Fig 6. Cultures pratiquées.

Modèle d'analyse

□ Modélisation en 2 étapes : Modèle MNLS (Étape 1) et Modèle MESR (Étape 2)

- ✓ Étape 1 : modéliser la probabilité de choisir un régime d'adoption parmi 4 alternatives mutuellement exclusives (Modèle logit multinomial de sélection MNLS).

- ✓ Fonction latente de décision :

$$I_{ji}^* = Z'\beta + \epsilon$$

Z = vecteur des variables explicatives (X) et instrumentales (IV)

ϵ = erreurs aléatoires ou facteurs non observées

$j = 1, \dots, 4$ = nombre de choix de SSFM (Di Falco et al. 2011 ; Kassie et al. 2015).

$$\begin{cases} 1 & \text{si } I_{1i}^* > \max_{m \neq 1} (I_{mi}^*) \\ j & \text{si } I_{ji}^* > \max_{m \neq j} (I_{mi}^*) \end{cases} \text{ pour tout } m \neq j \text{ (Kien et al. 2023).}$$

$$\widehat{IMR} = \emptyset(F(Z'\beta)) / \Phi(F(Z'\beta)) \text{ (Bourguignon et al. 2007).}$$

Kien et al. (2023)

Di Falco et al. (2011)

Kassie et al. (2015)

Bourguignon et al. (2007)

Modèle d'analyse

□ Modélisation en 2 étapes : Modèle MNLS (Étape 1) et Modèle MESR (Étape 2)

- ✓ Étape 2 : estimer l'impact des régimes d'adoption sur le rendement et le revenu en corrigeant l'endogénéité du choix de pratique
- ✓ 3 IV : contacts avec les services de vulgarisation, structures de fertilisation et essais de démonstration.
- ✓ Test de validité des IV : Test de falsification: $\chi^2 = 15,33$; $p = 0,0822$.
- ✓ Modèle MESR : estimation d'équations de résultat (rendement, revenu) séparées pour chaque régime j .
- ✓ Intégration des ratios inversés de Mills (IMR) pour corriger le biais de sélection.

Regime j : $Y_{ji} = X_{ji}\beta_j + \widehat{IMR}_{ji}\gamma_j + \varepsilon_{ji}$ si $i = j$: $j = 1, 2, 3, 4$ (Kien et al. 2023).

$$ATT = X_{ji}(\beta_j - \beta_1) + (\widehat{IMR}_{ji} - \widehat{IMR}_{1i})\gamma_j \quad (\text{Akber \& Paltasingh 2023})$$

$$ATU = X_{1i}(\beta_j - \beta_1) + (\widehat{IMR}_{ji} - \widehat{IMR}_{1i})\gamma_1$$

$$BHE_{ji} = (X_{ji} - X_{1i})\beta_j + \widehat{IMR}_{ji}(\gamma_j - \gamma_1)$$

$$TH = ATT - ATU$$

Déterminants d'adoption des SSFM

- Effets marginaux du modèle MNLS montrent que les caractéristiques des producteurs, ainsi que l'accès à l'information influencent différemment les 3 pratiques SSFM.

	Engrais organique (j=2)	Association de cultures (j=3)	Adoption conjointe (j=4)
Superficie cultivée en maïs	0,0231*** (0,0006)	—	—
Actifs agricoles	-0,0166** (0,0067)	0,0108** (0,0046)	—
Culture d'igname (oui, non)	-0,1377** (0,0729)	—	0,1645** (0,0818)
Culture de légumineuses (oui, non)	0,0986* (0,0520)	0,1097** (0,0466)	-0,1051* (0,0638)
Culture de légumes (oui, non)	—	0,1384* (0,0795)	—
Autres cultures (oui, non)	—	0,1143** (0,0538)	—
Alphabétisation de l'agriculteur (oui, non)	—	—	-0,1564** (0,0684)
Formation technique reçue (oui, non)		0,0998* (0,0558)	
IVs			
Contact avec une structure technique de fertilisation (oui, non)	0,0805* (0,0599)	—	—
Participation à un essai de démonstration de fertilisation (oui, non)	—	0,1148** (0,0519)	—
Contact avec un service de vulgarisation (oui, non)	—	-0,1680** (0,0682)	—
Wald Chi2 (66)		120,88	
p		0,000	

Référence : j = 1 non-adoption * p < 0,1 ** p < 0,05 *** p < 0,01

Impacts d'adoption des SSFM

- Effets de traitement moyens (ATT) montrent des impacts différenciés des pratiques SSFM sur le rendement du maïs (en kg/ha).

	Adoption	Non-adoption	Effets de traitement (kg/ha)
Adoption engrais organique (j=2)			
ATT	1 487,27 (66,99)	1 600,71 (185,58)	-113,44 (207,36)
ATU	441,39 (426,02)	1 821,86 (114,82)	-1 380,46** (443,17)
HE	BH1 = 1 045,87	BH2 = -221,15	TH = 1 267,02
Adoption association culturale (j=3)			
ATT	1 687,55 (94,55)	1 371,38 (179,45)	316,17 (203,04)
ATU	1 388,86 (75,35)	1 821,85 (114,82)	-432,99*** (122,10)
HE	BH1 = 298,69	BH2 = -450,48	TH = 749,17
Adoption conjointe (j=4)			
ATT	1 607,81 (44,10)	1 830,01 (140,52)	-222,20 (158,17)
ATU	1 736,44 (71,66)	1 821,85 (114,82)	-85,41 (151,70)
HE	BH1 = -128,63	BH2 = 8,19	TH = -136,82

* p< 0,1 ** p <0,05 *** p <0,01

- ✓ L'association de cultures seule est la plus bénéfique pour le rendement (+316,17 kg/ha), tandis que l'ajout de fumure organique ne crée pas de synergie positive mais plutôt un effet dilué ou négatif.

Impacts d'adoption des SSFM

- **Effets sur le revenu brut du maïs (US\$/ha) confirment l'intérêt économique des SSFM avec un rôle marqué de l'association de cultures.**

	Adoption	Non-adoption	Effet de traitement (US\$/ha)
Adoption engrais organique (j=2)			
ATT	361,26 (35,98)	303,53 (68,68)	57,73 (91,83)
ATU	-120,24 (162,11)	412,09 (40,25)	-532,33** (166,22)
HE	BH1 = 481,5	BH2 = -108,56	TH = 590,06
Adoption association culturale (j=3)			
ATT	380,48 (33,94)	222,72 (63,02)	157,76** (73,46)
ATU	222,54 (26,72)	412,09 (40,25)	-189,55*** (45,82)
HE	BH1 = 157,94	BH2 = -189,37	TH = 347,31
Adoption conjointe (j=4)			
ATT	353,94 (14,50)	400,71(50,20)	-46,77 (55,70)
ATU	352,70 (17,01)	412,09 (40,25)	-59,39 (46,99)
HE	BH1 = 1,24	BH2 = -11,38	TH = 12,62

* p < 0,1 ** p < 0,05 *** p < 0,01

- ✓ **L'association de cultures seule est la stratégie économiquement optimale.**
- ✓ **La combinaison des 2 pratiques SSFM génère des coûts redondants sans synergie suffisante en termes de rendement/revenu.**
- ✓ **Les mesures d'hétérogénéité (BH, TH) montrent que les adoptants de SSFM retirent en moyenne plus de bénéfices que s'ils ne les avaient pas adoptées.**

Hétérogénéité des effets de traitement

□ Les non-adoptants surpassent les adoptants en termes de rendement et de revenu moyen, avec une variabilité plus faible

- ✓ Parmi les adoptants de SSFM, ceux qui pratiquent l'association de cultures affichent un rendement moyen plus élevé et une variabilité plus faible.
- ✓ L'association de cultures présente cependant la plus grande variabilité des revenus parmi les adoptants, ce qui suggère une sensibilité accrue aux conditions externes.
- ✓ Les non-adoptants maximisent les revenus au détriment de la conservation des ressources et de la biodiversité, tandis que les adoptants privilégient la résilience et la durabilité du système.

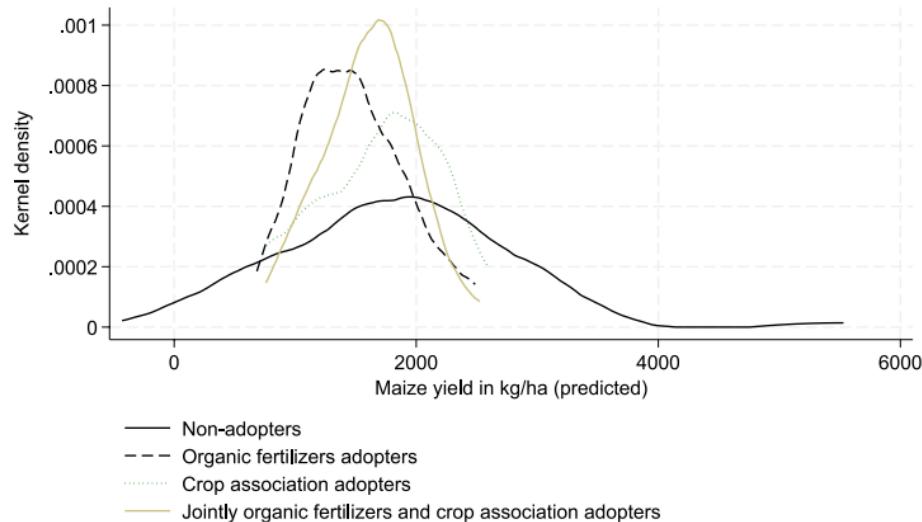


Fig 7. Distribution du rendement du maïs (kernel density).

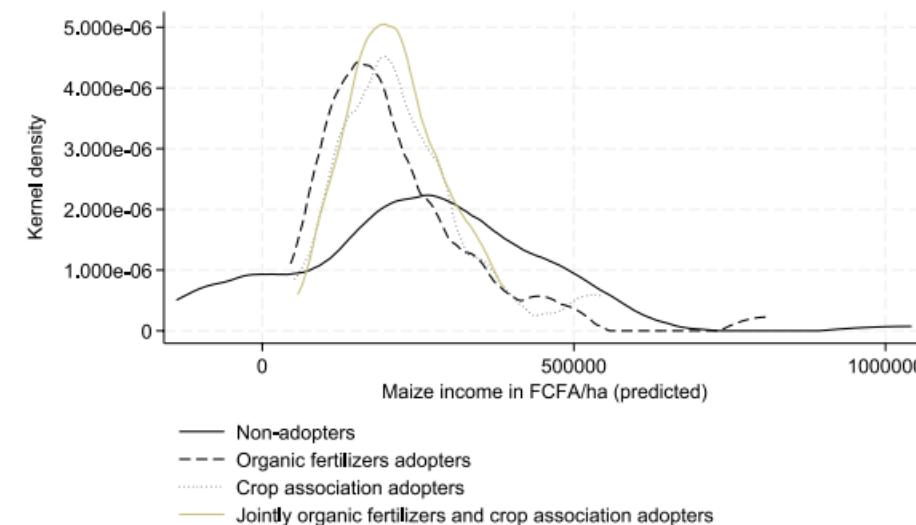


Fig 8. Distribution du revenu du maïs (kernel density).

Discussion & Conclusion

□ L'étude confirme que l'adoption de SSFM en particulier l'association de cultures améliore significativement la performance économique des exploitations de maïs au Nord-Bénin.

- ✓ L'association de cultures est reconnue pour son efficacité en termes de diversification des cultures, restauration de la fertilité des sols et atténuation des risques liés aux maladies et ravageurs (Boutagayout et al. 2023).
- ✓ Les bénéfices de l'intercropping résultent des interactions complémentaires entre cultures. Les légumineuses comme le soja fixent l'azote dans le sol, ce qui améliore la santé des plants de maïs et les rendements (Levionnois et al. 2023).
- ✓ Les études rapportent des résultats contrastés quant à l'impact des engrains organiques. Certaines études rapportent des réductions de rendement de 19,8 à 25 % (Ponisio et al. 2015). D'autres montrent des augmentations de 2,6 à 8,5 % (Jiang et al. 2023).
- ✓ L'adoption conjointe d'engrais organique et association de cultures entraîne des effets non-synergiques. Les interactions complexes entre ces pratiques peuvent réduire les bénéfices potentiels avec des coûts additionnels qui compensent les avantages (Sardar et al. 2021).

Ponisio et al. (2015) Boutagayout et al. (2023) Levionnois et al. (2023) Jiang et al. (2023) Sardar et al. (2021).

Discussion & Conclusion

- **L'étude confirme que l'adoption de SSFM en particulier l'association de cultures améliore significativement la performance économique des exploitations de maïs au Nord-Bénin.**
 - ✓ La diversification des cultures et le labour minimum augmentent les rendements, la biodiversité et les services écosystémiques (e.g.: qualité de l'eau, contrôle des ravageurs et maladies, qualité des sols (Beillouin et al. 2020 ; Adam & Abdulai 2023)).
 - ✓ **Implications politiques** incluent le besoin d'améliorer la formation technique et l'éducation, accroître l'accès au crédit, soutenir les systèmes maïs-légumineuses. Les subventions peuvent faciliter l'adoption des SSFM (Khonje et al. 2022 ; Rudnick et al. 2023), et intégrer les SSFM aux stratégies de sécurité alimentaire et de résilience climatique.
 - ✓ **Perspectives** : tester d'autres pratiques SSFM.

Beillouin et al. (2020) Adam & Abdulai (2023) Khonje et al. (2022) Rudnick et al. (2023)

Merci

Patrice.Kpade@uqat.ca

