

Cet article est paru en anglais le 3 décembre 2021 dans la revue Agronomy. Compte tenu du grand intérêt et de l'utilité des résultats présentés et pour une plus large diffusion, il a été traduit par le Réseau des Chambres d'Agriculture du Niger (RECA). Seule la version originale en anglais fait foi.

Adoption and Profitability of the Purdue Improved Crop Storage Technology for Grain Storage in the South-Central Regions of Niger

by  Mahamane Moctar Rabé¹ ,  Ibrahim B. Baoua²   and  Dieudonne Baributsa^{3,*}  

¹ Department de Sociologie et Economie Rurale, Université de Tahoua, Tahoua BP 255, Niger

² Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Maradi BP 465, Niger

³ Department of Entomology, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA

* Author to whom correspondence should be addressed.

Agronomy 2021, 11(12), 2470; <https://doi.org/10.3390/agronomy11122470>

Adoption et rentabilité de la technologie améliorée de stockage des récoltes Purdue pour le stockage des grains dans les régions du centre-sud du Niger

Résumé

Le niébé est une culture de sécurité alimentaire et une principale source de revenus pour les agriculteurs du Niger. Cependant, le stockage après récolte reste un défi majeur en raison des attaques d'insectes nuisibles. Depuis 2008, les sacs **Purdue Improvement Crop Storage (PICS)** ont été diffusés au Niger pour réduire les pertes de stockage.

Cette étude a été menée pour évaluer l'adoption de la technologie PICS dans les régions de **Dosso, Maradi et Zinder au Niger**. Nous avons interrogé 600 ménages sélectionnés dans des villages qui ont bénéficié ou non des activités de vulgarisation du PICS. Un modèle de régression logit a été utilisé pour évaluer la décision des agriculteurs d'adopter la technologie PICS.

L'adoption globale des sacs PICS parmi les agriculteurs était de 48,4 %. L'adoption du PICS était de 69,7% à Dosso, 41,3% à Zinder et 31,2% à Maradi. Les agriculteurs qui ont suivi la formation PICS étaient 5 fois plus susceptibles d'adopter la technologie que ceux qui ne l'ont pas fait.

Les variables qui ont affecté l'adoption de la technologie PICS comprenaient la région, la participation à la formation PICS et la source d'information. Au-delà du niébé, les sacs PICS étaient utilisés pour stocker diverses cultures, notamment les pois Bambara (voandzou), les graines d'hibiscus, les arachides, le mil et le sorgho. Le stockage de 100 kg de niébé dans un sac PICS a généré un flux de trésorerie de 70,38 \$ par répondant et un rendement net de 21,50 \$. Les revenus générés par la vente du niébé stocké dans les sacs PICS ont été principalement utilisés pour les dépenses de santé et pour l'achat d'intrants agricoles. Les résultats de cette étude démontrent que les technologies de lutte

antiparasitaire telles que les sacs PICS peuvent également contribuer à améliorer les moyens de subsistance des exploitations familiales.

1. Introduction

Protéger les cultures contre les dommages causés par les ravageurs est un moyen de répondre à la demande alimentaire qui nécessite des investissements relativement modestes par rapport à l'augmentation de la production agricole [1]. Le niébé est sensible à l'insecte nuisible, *Callosobruchus maculatus* (F.), pendant le stockage. Ce ravageur peut provoquer des pertes de plus de 30 % après seulement quatre mois de stockage [2,3]. Les agriculteurs se sont toujours plaints du fait que le stockage après récolte est l'une des principales contraintes qui entravent les investissements dans la production de niébé [4]. Les pertes de stockage obligent en partie les agriculteurs à vendre leur niébé lorsque les prix sont bas au moment de la récolte [5]. Les agriculteurs utilisent diverses méthodes de protection du stockage, notamment des produits chimiques, des plantes et des méthodes traditionnelles telles que les cendres [2]. La plupart de ces méthodes de stockage sont coûteuses, inefficaces ou présentent des risques pour la santé des consommateurs et de l'environnement en raison de leur toxicité.

Les technologies de stockage hermétique offrent des alternatives aux méthodes chimiques et traditionnelles. Ces méthodes incluent des sacs hermétiques tels que les sacs Purdue Improvement Crop Storage (PICS).



Les sacs PICS sont constitués de deux couches de plastique polyéthylène haute densité (PEHD) placées à l'intérieur d'un sac en polypropylène tissé. Le sac fonctionne en limitant le mouvement de l'air de l'extérieur vers l'intérieur du conteneur. Une fois le sac rempli de niébé, la petite population d'insectes déjà présente sur le grain consomme l'oxygène restant à l'intérieur du récipient, entraînant la quiétude et la mort [6,7]. Les premières versions des sacs PICS ont été développées il y a environ 30 ans par l'Université Purdue en collaboration avec des instituts de recherche d'Afrique occidentale et centrale [8].

À partir de 2007, des sacs PICS ont été distribués dans 10 pays d'Afrique de l'Ouest et centrale pour réduire les pertes de stockage du niébé dans la région [5]. Grâce à des activités pilotes, les sacs PICS ont été introduits dans deux cents villages du Niger et du Burkina Faso (100 communautés dans chaque pays). Lors des activités de mise à l'échelle au Niger, les sacs PICS ont été distribués aux agriculteurs de plus de 5 000 villages par les services de vulgarisation du ministère de l'Agriculture et de l'élevage en collaboration avec l'Institut national de recherche agricole du Niger (INRAN) et World Vision International [5,9]. Au milieu des années 2010, les sacs PICS ont été commercialisés dans plusieurs autres pays d'Afrique subsaharienne pour le stockage de cultures autres que le niébé, notamment le maïs, les haricots, le sorgho, le riz et le pois d'Angole [10]. Le Niger n'a pas fait partie de cet effort mais a bénéficié de projets menés par des organisations non gouvernementales (ONG) locales et internationales.

Lors de la diffusion des sacs PICS, des efforts ont été déployés pour développer la chaîne d'approvisionnement en travaillant avec le secteur privé (fabricant de plastique et distributeurs

d'intrants) pour améliorer la disponibilité de la technologie parmi les agriculteurs des zones rurales. **Les sacs PICS vendus au Niger ont été fabriqués à Kano, au Nigeria, et distribués dans le pays à travers un réseau de distributeurs et de vendeurs** [11]. À ce jour, **plus de 1,5 million de sacs PICS** ont été vendus au gouvernement, à des projets et à de petits exploitants agricoles au Niger. Pendant plusieurs années, la chaîne d'approvisionnement PICS au Niger était gérée par un distributeur national basé dans la ville de Dosso qui avait un accord de licence avec l'Université Purdue [11].

Ces dernières années, la chaîne d'approvisionnement a évolué vers un système de distribution dans lequel la plupart des vendeurs s'approvisionnent en sacs auprès des fabricants et distributeurs de sacs PICS au Nigeria via des réseaux formels et informels.

Malgré une demande croissante pour la technologie PICS, son indisponibilité reste un défi majeur dans les zones rurales. Une étude d'adoption menée dans dix pays d'Afrique de l'Ouest et centrale a révélé que 18 % des agriculteurs utilisaient des sacs PICS pour le stockage du niébé [12]. L'adoption des sacs PICS variait selon les pays et au sein de chaque pays. Des recherches menées au Niger en 2010 ont montré des variations significatives dans l'adoption de la technologie PICS entre plusieurs régions, variant de 38 % à Dosso à seulement 7 % à Maradi, Zinder et Tahoua [13]. Les études de 2010 et 2012 ont souligné que la chaîne d'approvisionnement constituait le défi majeur pour améliorer la disponibilité et l'adoption des sacs PICS dans les zones rurales [12,13].

Une décennie après la diffusion des triples sacs hermétiques au Niger, cette étude visait à évaluer l'adoption de la technologie PICS auprès des agriculteurs. Ces informations seront utiles aux partenaires de développement, aux donateurs et au gouvernement souhaitant continuer à promouvoir le stockage hermétique pour améliorer la sécurité alimentaire et augmenter les revenus des agriculteurs.

2. Matériels et méthodes

2.1. Sites d'étude et mise en œuvre de l'enquête

Cette étude a été menée en novembre 2018 dans trois principales régions productrices de niébé du Niger, notamment Dosso, Maradi et Zinder. Ces trois régions représentent 64,46 % de la production de niébé du pays [14].

L'étude a été réalisée dans les départements suivants : Dosso et Douthi à Dosso, Madarounfa et Mayahi à Maradi, et Magaria et Mirriah à Zinder. Pour mener l'enquête, 6 250 ménages agricoles ont été identifiés, parmi lesquels 600 ménages (environ 10 %) ont été sélectionnés au hasard pour l'étude.

Dans chaque région, nous avons sélectionné 20 villages dont 12 qui ont bénéficié des activités de vulgarisation PICS (villages PICS) et huit villages qui n'en ont pas bénéficié (villages non PICS). Ces villages ont été sélectionnés avec l'aide des agents de vulgarisation du bureau local du département de l'agriculture. Lors de la sélection des villages non PICS, nous avons vérifié auprès des agents de vulgarisation pour nous assurer qu'ils n'avaient bénéficié d'aucun autre projet faisant la promotion de la technologie PICS. Nous avons interrogé dix répondants de chaque village (chacun représentant un ménage) à partir d'une liste de noms fournie par le chef du village. Le choix de 10 ménages a été jugé satisfaisant pour les analyses comparatives mais également en raison des ressources limitées pour l'étude. Ces ménages enquêtés ont été choisis par tirage au sort simple après avoir numéroté tous les ménages de 1 à N pour chaque village. Les entretiens ont été menés en face à face avec des enquêteurs parlant les langues locales.

2.2. Modèles empiriques et conceptuels

Malgré les efforts visant à améliorer la productivité du niébé, les pertes avant et après la récolte restent des défis majeurs, entraînant une insécurité alimentaire et une perte de revenus parmi les petits exploitants agricoles [15]. Par conséquent, il est important d'identifier les principales contraintes qui

pourraient entraver l'adoption de technologies de stockage susceptibles de contribuer aux pertes après récolte. **Cette étude contribue aux efforts de recherche et de vulgarisation visant à diffuser les technologies agricoles dans le centre-sud du Niger et dans l'ensemble du pays.** L'amélioration de la productivité agricole grâce à l'adoption aura un impact économique et social [16].

Les agriculteurs qui adoptent une nouvelle technologie doivent évaluer si elle est rentable. La rentabilité d'une méthode de stockage dépendra de plusieurs facteurs, notamment du grain stocké, de la saisonnalité des prix et du coût de la protection du stockage [17]. Il est donc important de comprendre comment divers facteurs affectent l'adoption et la rentabilité des technologies de stockage.

Nous avons choisi le modèle Logit souvent utilisé dans les études d'adoption technologique [18,19]. Le modèle logit binaire a été utilisé pour déterminer les variables socio-économiques influençant l'adoption de la technologie « PICS ». La situation de référence choisie est celle où la variable dépendante « adoption » est dichotomique : elle prend la valeur un (1) si l'agriculteur adopte la technologie PICS, et zéro (0) dans le cas contraire. Nous avons évalué si les activités de vulgarisation à grande échelle facilitaient l'adoption de la technologie PICS. Des variables socio-économiques telles que le sexe, l'âge, le niveau d'éducation, l'accès au crédit, la taille du ménage, la formation, la source d'information, l'adhésion aux organisations paysannes, etc. ont été utilisées dans le modèle logit. D'autres variables qui renseignent sur les caractéristiques des zones d'étude comme la proximité de certaines infrastructures liées à l'étude (ex., la proximité du point de vente de sacs PICS) ont fait partie de cette étude.

2.3. Collecte et analyse de données

Les données ont été collectées à l'aide d'appareils Android et les réponses ont été enregistrées à l'aide de KoboCollect (Harvard Humanitarian Initiative, Cambridge, MA, États-Unis). Les données collectées comprenaient (i) les caractéristiques socio-économiques des répondants ; (ii) Nombre d'agriculteurs qui ont utilisé et continuent d'utiliser les sacs PICS ; (iii) Cultures stockées avec la technologie ; (iv) Quantité de céréales stockées par culture ; (v) Prix des céréales à la récolte et pendant la période de soudure ; et (vi) Utilisation des revenus générés par les céréales stockées.

Les variables répertoriées comme l'année d'expérience et le travail familial n'ont pas été utilisées dans le modèle logit car elles étaient fortement corrélées à l'âge et à la taille de la famille, respectivement. Plusieurs variables indépendantes ont été choisies en fonction de la littérature (niveau d'éducation, appartenance à une organisation paysanne, formation sur la technologie PICS, sexe, accès au crédit, âge, état civil) et de l'intervention de stockage (contact avec le service de vulgarisation, distance jusqu'au point de vente de sac PICS).

Nous avons évalué le retour sur investissement potentiel (ROI) du stockage du niébé dans des sacs PICS pendant six mois en comparant les prix des céréales au moment de la récolte et pendant la période de soudure. Le prix du niébé a été fourni par les personnes interrogées lors de l'enquête. Les prix de détail d'un sac PICS de 100 kg ont été obtenus auprès de chaque personne interrogée et utilisés pour déterminer le prix moyen dans chaque région. Nous avons effectué les analyses de retour sur investissement sur la base des approches utilisées dans des études précédentes [20,21].

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des répondants

L'âge moyen des répondants était de 47 ans (± 14 ans) (tableau 2). Environ 99 % des répondants avaient l'agriculture comme activité principale avec une moyenne de 27 ans (± 14 ans) d'expérience. Seuls 31,3 % des répondants étaient alphabétisés et 98 % des agriculteurs étaient mariés. Un ménage moyen comptait 9 personnes, dont environ 4 étaient impliquées dans des activités agricoles. Environ

43 % des personnes interrogées étaient membres de groupes d'agriculteurs et 13,3 % des agriculteurs avaient accès au crédit des banques de microfinance.

Tableau 2. Caractéristiques des répondants à l'enquête menée dans les régions de Dosso, Maradi et Zinder au Niger.

Characteristics	Dosso (n = 200)	Maradi (n = 200)	Zinder (n = 200)	Average (%)	ANOVA Data	
	Respondents (Mean \pm Standard Error of Mean)					
Age (years)	51 \pm 1b	44 \pm 1a	46 \pm 12a	47 \pm 14	F = 15.30; df = 2/600; p < 0.0001	
Household size (people)	9 \pm 6ab	8 \pm 5a	10 \pm 6b	9 \pm 6	F = 3.72; df = 2/600; p = 0.025	
Experience in agriculture (years)	32 \pm 2b	24 \pm 14a	27 \pm 13a	27 \pm 14	F = 17.36; df = 2/600; p < 0.0001	
Family labor (people)	5 \pm 3b	3 \pm 2a	4 \pm 2b	4 \pm 2	F = 14.38; df = 2/600; p < 0.0001	
	Proportion of respondents (%)				χ^2	p-value
Education, % literate	21.6	50	24.8	31.3	43.95	<0.0001
Association, % member	33.9	60.2	35.9	42.6	34.04	<0.0001
Access to credit, % receiving loan	15.1	16.7	8.3	13.3	7.02	0.05

* Les moyennes dans la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (LSD, 5 %).

3.2. Adoption de la technologie PICS

Le taux d'adoption global des sacs PICS parmi les agriculteurs était de 48,4 %. Dans les trois régions, aucune différence significative n'a été observée entre les adoptants et les non-adoptants pour toutes les variables, à l'exception de l'association à des groupes d'agriculteurs ($p = 0,002$), de la participation au PICS ($p < 0$) et de l'accès au crédit ($p = 0,005$).

Selon les régions, les taux d'adoption du sac PICS variaient de 31,2 à 69,7 % (tableau 3). L'adoption était plus élevée chez les hommes, les personnes mariées, les agriculteurs ayant suivi une formation PICS, dans les villages PICS (ayant reçu des activités de formation PICS) et dans la région de Dosso.

L'adoption des sacs PICS était deux fois plus élevée dans la région de Dosso que dans la région de Maradi. Les répondants qui ont suivi la formation PICS ont eu une plus grande adoption des sacs PICS (5 fois plus) que ceux qui n'ont pas participé à la formation PICS. Les ménages des villages qui ont bénéficié de démonstrations PICS ont eu un taux d'adoption plus élevé que ceux n'ayant reçu aucune formation (un écart de 13,4 %).

Les agriculteurs utilisant des sacs PICS les achetaient via **divers canaux** : 78,6 % sur les marchés, 11,5 % dans les magasins et 8,2 % auprès de vendeurs itinérants (données non présentées). Parmi ceux qui achètent des sacs PICS sur les marchés : 100 % à Dosso, 87,0 % à Zinder, 58,3 % à Maradi. La plupart des agriculteurs (72,1 %) ont dû parcourir moins de 10 km pour acheter des sacs PICS.

Les agriculteurs ont acheté de 1 à 300 sacs PICS, avec une médiane de 3 sacs. La moitié (50 %) et les trois quarts (75 %) des personnes interrogées ont acheté respectivement 3 et 11 sacs PICS ou moins (données non présentées). En moyenne, les agriculteurs de la région de Dosso ont acheté plus de sacs (20 sacs PICS) que ceux des régions de Maradi (7 sacs PICS) et de Zinder (7 sacs PICS).

Tableau 3. Adoption de la technologie PICS par les agriculteurs (%) dans les régions de Dosso, Maradi et Zinder au Niger.

Parameters	Variable	Adoption Rate (%)	χ^2	Significance
Regions	Dosso	69.7	65.977	***
	Maradi	31.2		
	Zinder	41.3		
Village type	PICS	53.8	9.999	**
	Non-PICS	40.4		
Gender	Men	50.9	4.001	**
	Women	42		
Marital status	Married	48.7	1.107	ns
	Single	33.3		
Education level	Illiterate	49.2	0.346	ns
	Literate	46.6		
PICS participation	Trained	70.8	193.18	***
	Not trained	13.1		

** , *** différence entre les régions significative aux niveaux 0,01 et 0,001, respectivement ; ns : pas de différence significative.

3.3. Déterminants de l'adoption du sac PICS (voir le document original)

3.4. Récolte et quantité stockée dans les sacs PICS

Les agriculteurs utilisaient les sacs PICS pour stocker diverses cultures, mais principalement le niébé (Tableau 5). Une forte proportion d'agriculteurs de Dosso utilisait des sacs PICS pour stocker des cultures autres que le niébé, notamment les pois Bambara et les graines d'hibiscus.

Les agriculteurs de la région de Dosso stockent davantage de pois Bambara dans des sacs PICS que ceux des régions de Zinder et de Maradi. L'arachide, le mil et le sorgho étaient stockés dans des sacs PICS par un nombre relativement faible d'agriculteurs ; principalement à Zinder et Maradi.

Presque tous les répondants (98,3 %) étaient satisfaits des performances des sacs PICS pour le stockage du niébé. Le niébé était stocké en grande quantité dans les sacs PICS, contrairement aux pois Bambara, aux graines d'hibiscus et aux arachides. Il n'y avait pas de différence significative ($p < 0,05$) entre les régions, entre les adoptants et les non-adoptants du PICS, et entre les villages PICS et non-PICS en termes de quantité de niébé stockée.

En moyenne, les agriculteurs stockaient leur niébé dans des sacs PICS pendant 7 mois. La plupart des agriculteurs (90 %) ont stocké leur niébé jusqu'à 8 mois (données non présentées).

Tableau 5. Proportion d'agriculteurs ayant stocké différentes récoltes et quantités stockées à l'aide de sacs PICS dans les régions de Dosso, Maradi et Zinder au Niger.

Crop	Respondents Storing (% Farmers)					χ^2	p-Value
	Dosso	Maradi	Zinder	Average			
Cowpea	73.7	72.7	84.4	76.6	4.6	ns	
Bambara nut	56.6	3	5.2	31.5	106.6	***	
Hibiscus seed	35.4	16.7	3.1	22.6	38.7	***	
Groundnut	8	6.1	16.7	10.1	6.6	**	
Millet	5.7	18.2	17.7	11.6	12.2	**	
Sorghum	0	6.1	17.7	6.2	33.3	***	

Crop	Quantity Stored (Mean \bar{x} \pm Standard Error of Mean, kg)					ANOVA data
	Dosso	Maradi	Zinder	Average		
Cowpea	479.8 \pm 103.5a	224.4 \pm 91.9a	238.2 \pm 57.5a	328.1 \pm 51.1a	F = 2.81; df = 2/600; p = 0.06	
Bambara nut	93.6 \pm 21.1a	0b	0b	36.2 \pm 8.41a	F = 19.65; df = 2/600; p < 0.0001	
Hibiscus seed	54.4 \pm 13.7a	12.4 \pm 7.8a	0b	24.3 \pm 5.8a	F = 11.94; df = 2/600; p < 0.0001	
Groundnut	21.9 \pm 8.1a	2.3 \pm 2.3a	8.4 \pm 3.3a	12 \pm 3.4a	F = 4.26; df = 2/600; p = 0.015	

,* différence entre les régions significative aux niveaux 0,01 et 0,001, respectivement ; ns : pas de différence significative. & Les moyennes dans la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (LSD, 5 %).

3.5. Estimation des revenus générés par le stockage du niébé dans des sacs PICS et leur utilisation

La technologie PICS promue au Niger depuis plus d'une décennie montre un retour sur investissement (ROI) positif lorsque les grains sont stockés dans des sacs PICS pendant plusieurs mois (Tableau 6). L'écart des prix pendant les périodes de soudure et de récolte montre des retours sur investissements positifs variant de 47,7% à Zinder à 61,5% à Dosso. Le rendement net global a été de 12 146 francs CFA dans les trois régions.

Tableau 6. Estimations du retour sur investissement (ROI) lorsque les agriculteurs ont stocké le niébé en utilisant un sac PICS de 100 kg pendant 6 mois dans les régions de Dosso, Maradi et Zinder au Niger.

Regions	Price (FCFA */100 kg bag)			FCFA		Percent	
	Harvest	Lean Season	Gross Margin **	PICS Bag	OCC ***	Net Gain	ROI ****
Dosso	19,900	36,400	16,500	1100	3238	12,162	57.9
Maradi	22,300	41,400	19,100	1100	3608	14,392	61.5
Zinder	22,500	38,500	16,000	1100	3639	11,261	47.7
Average	21,300	38,000	16,700	1100	3454	12,146	54.2

* FCFA : Francs Communauté Financière d'Afrique ; au 17 octobre 2018 (1 \$ US = 566 FCFA). ** La marge brute est la différence entre le prix à la période de soudure et le prix à la récolte. *** OCC : Le coût d'opportunité du capital est estimé à 2,57% pour 6 mois (sur la base des taux d'intérêt des banques commerciales sur les prêts en 2018). **** ROI : Retour sur investissement. Les estimations sont prudentes car

le coût des sacs PICS est valable pour une seule saison (nous savons que les sacs peuvent être utilisés pendant 2 ou 3 ans).

Les revenus générés par la vente des céréales stockées dans les PICS étaient principalement utilisés pour répondre aux besoins des ménages et aux investissements dans la production agricole (tableau 7). La plupart des personnes interrogées ont utilisé ces revenus pour les soins médicaux (67,4 %), l'achat d'intrants agricoles (41,8 %) et l'équipement agricole (27,5 %). Dans la région de Dosso, environ les deux cinquièmes et un tiers des agriculteurs ont consacré leurs revenus respectivement aux cérémonies (mariages, anniversaires, enterrements, etc.) et à l'éducation.

Tableau 7. Dépenses des agriculteurs en termes de revenus générés par la vente de céréales stockées à l'aide de sacs PICS dans les régions de Dosso, Maradi et Zinder au Niger.

Parameters	Dosso	Maradi	Zinder	% Average	χ^2	p-Value
Schooling	31.6	14.3	16.9	22.2	17.823	***
Health	71.4	60.3	67.8	67.4	4.36	ns
Agricultural inputs	42.2	43.7	40.1	41.8	0.4	ns
Agricultural Equipment	29.6	22.2	28.8	27.5	2.27	ns
Purchase of livestock	21.8	10.3	17.5	17.5	7.2	**
Ceremonies	40.3	15.9	29.4	30.5	22.15	***

, * différence entre les régions significative aux niveaux 0,01 et 0,001, respectivement ; ns : pas de différence significative.

4. Discussion

4.1. Adoption de la technologie PICS

Depuis 2008, la technologie PICS a été diffusée en Afrique occidentale et centrale principalement pour le stockage du niébé par les services de vulgarisation et vendue aux agriculteurs via les réseaux de distribution du secteur privé. **Au fil des années, l'adoption des sacs PICS a considérablement augmenté.** Après une décennie, le taux d'adoption global de 48,4 % en 2018 était environ 2,7 fois supérieur à celui enregistré en 2012 au Niger [12]. Les taux d'adoption ont été assez élevés à Dosso, Maradi et Zinder par rapport aux taux d'adoption de 2010 qui étaient de 38 % dans la zone Dosso-Tillabéry et de 7 % dans la zone Maradi-Zinder-Tahoua [13].

Contrairement à l'enquête de 2012, nos résultats ont montré une augmentation significative de l'adoption des sacs PICS dans les villages non PICS (40,4 %), bien que statistiquement inférieure à celle des villages PICS avec un écart d'environ 13,4 % [12]. Cet écart réduit peut s'expliquer par une prise de conscience accrue de l'existence de la technologie depuis les villages PICS vers ceux sans PICS. Cependant, la proportion d'agriculteurs utilisant des sacs hermétiques dans ces villages non PICS est bien moindre ; 5 fois inférieur à celui des villages PICS. Cela indique qu'il existe encore un besoin en matière de formation et de renforcement des capacités parmi les agriculteurs de ces villages non PICS.

L'adoption globale des sacs PICS, principalement dans les villages PICS et par les agriculteurs qui y vivent, a augmenté au fil du temps en raison de la sensibilisation continue et des efforts déployés par le secteur privé pour améliorer la disponibilité de la technologie dans les zones rurales.

Environ la moitié des agriculteurs utilisant des sacs PICS étaient membres de groupes d'agriculteurs. **Les agriculteurs jouent un rôle important dans la diffusion d'informations sur les sacs hermétiques auprès de leurs pairs** [20].

La densité du réseau de distribution et la distance entre le village et les points de vente de sacs PICS sont des facteurs importants qui affectent l'adoption de la technologie au Niger [13]. La disponibilité des sacs PICS s'est considérablement améliorée depuis 2010, car la majorité des agriculteurs les ont achetés sur les marchés ruraux. Les sacs PICS étant vendus sur davantage de marchés, cela signifie une amélioration de la disponibilité de la technologie dans les zones rurales. Les marchés locaux peuvent être le meilleur endroit pour vendre au détail les sacs PICS puisque la plupart des agriculteurs y viennent pour vendre leurs produits (ils peuvent avoir de l'argent à dépenser en intrants).

Les résultats de la régression logistique montrent que la région, **la participation à la formation PICS et la source d'information étaient des prédicteurs de l'adoption de la technologie PICS** ($p < 0,05$). Parmi tous ces facteurs, les variables région et participation à la formation PICS ont eu le plus grand impact.

Les différences d'adoption entre les régions peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la production de niébé, l'intensité des efforts de vulgarisation pour diffuser les sacs PICS et le niveau de développement de la chaîne d'approvisionnement pour mettre la technologie à la disposition des agriculteurs des zones rurales. Dosso a peut-être eu le taux d'adoption le plus élevé en raison de sa production élevée de niébé, de davantage de démonstrations et d'un réseau de distribution bien développé de vendeurs qui vendent des sacs PICS sur les marchés locaux [11,14,22]. C'est également à Dosso qu'est basé le distributeur national des sacs PICS au Niger ; par conséquent, les activités d'approvisionnement et de distribution étaient plus importantes que dans les autres régions.

Des études ont montré que la participation à un programme de sensibilisation ou à une démonstration PICS augmente la probabilité qu'un agriculteur achète la technologie [23,24]. **Avoir un agent de vulgarisation comme source d'information augmente considérablement l'adoption des sacs PICS** [25]. Cela démontre l'importance de la formation et de la sensibilisation pour la diffusion des technologies parmi les petits exploitants agricoles [5,25,26].

Contrairement à d'autres études, le fait d'être originaire d'un village ayant reçu une formation PICS, l'appartenance à des groupes d'agriculteurs, la taille du ménage, les contacts avec les agents de vulgarisation et l'accès au crédit n'ont pas influencé l'adoption de la technologie PICS [12,25,27,28]. Il semble que l'importance de la démonstration dans les villages PICS et des contacts avec la vulgarisation pour influencer l'adoption de la technologie a diminué avec le temps. Avec un niveau d'alphabétisation aussi faible (environ un tiers des répondants), il est intéressant de constater que nous n'avons pas observé d'effet de l'éducation sur l'adoption des sacs PICS. Cela pourrait s'expliquer par la simplicité du programme PICS, technologiquement simple, destiné aux agriculteurs. La distance entre les villages et les points de vente n'était pas statistiquement significative, ce qui peut suggérer une amélioration de la disponibilité des sacs PICS parmi les agriculteurs. Ceci est corroboré par le nombre élevé d'agriculteurs (>75%) qui achètent leurs sacs sur les marchés locaux.

4.2. Récolte stockée et quantité stockée

Les sacs PICS ont été initialement développés et diffusés pour le stockage du niébé, mais se sont révélés plus tard **efficaces pour stocker divers produits séchés, notamment les légumineuses et les céréales, ainsi que les aliments transformés** [29]. Même si les agriculteurs savaient qu'ils pouvaient stocker une variété de cultures, plus des trois quarts d'entre eux ont choisi de stocker le niébé. La proportion d'agriculteurs stockant du niébé était constante dans les trois régions ; démontrant l'importance de cette culture au niveau des ménages. Le niébé avait la plus grande quantité stockée : 9, 14 et 27 fois celle des pois Bambara, des graines d'hibiscus et de l'arachide, respectivement. Cela n'est pas surprenant puisque le niébé constitue une culture de rente et de sécurité

alimentaire importante au Niger [30,31]. Ces résultats démontrent que le niébé continuera à rester la culture la plus importante qui stimule la commercialisation (demande) de sacs hermétiques au Niger. Toutes les autres cultures stockées dans des sacs PICS sont connues pour être sensibles aux insectes nuisibles et la technologie s'est avérée efficace pour leur préservation [32,33,34]. La plupart des produits secondaires (cultures autres que le niébé ; c'est-à-dire les noix de Bambara et les graines d'hibiscus) stockés dans les sacs PICS sont principalement cultivés par les femmes ; et transformés pour la consommation domestique et/ou vendus pour générer des revenus [25,35].

4.3. Génération et utilisation de revenus de stockage

Les sacs hermétiques présentent des avantages monétaires importants au-delà de l'amélioration de la sécurité alimentaire en réduisant les infestations d'insectes. Des études ont montré que le niébé stocké dans un sac PICS de 100 kg apportait des bénéfices nets allant de 10,81 à 26,58 dollars en Afrique occidentale et centrale, et jusqu'à 24 dollars en Afrique de l'Est [12,20,25]. Le flux de trésorerie net provenant du stockage d'autres cultures telles que le maïs dans les sacs PICS a été relativement faible ; variant de 5 \$ à 19 \$ en Afrique de l'Est [20,27,36].

Cette étude a montré un flux de trésorerie d'environ 70,38 \$¹ par répondant et un rendement net de 21,50 \$ pour 100 kg de niébé stocké dans un sac PICS. Ce flux de trésorerie est similaire aux 71,65 \$ observés au Niger en 2012 [12].

Le retour sur investissement (ROI) moyen estimé est de 54,2 %, ce qui démontre que le stockage est une entreprise rentable. Ce retour sur investissement est supérieur aux 48 % rapportés pour le niébé stocké dans des sacs PICS au Nigeria [37]. Le PICS, à l'instar de nombreuses autres nouvelles technologies agricoles, a un impact positif et significatif sur la réduction de la pauvreté rurale en augmentant les revenus des ménages agricoles [38,39]. **Les agriculteurs investissent dans des sacs PICS parce que les avantages financiers dépassent largement les coûts d'acquisition** [40].

Les revenus générés par le stockage du niébé dans des sacs PICS étaient principalement investis dans les soins de santé familiaux, l'achat d'intrants agricoles et les événements familiaux tels que les mariages, les anniversaires et les funérailles. En plus de réduire les pertes post-récolte dues aux attaques d'insectes, les sacs PICS contribuent à réduire l'écart de pauvreté et à améliorer les moyens de subsistance des petits exploitants agricoles.

5. Conclusions

Cette étude montre que l'adoption des sacs PICS a presque doublé 10 ans après l'introduction de la technologie au Niger. Plusieurs variables expliquent l'adoption de la technologie PICS, notamment la région, la participation à la formation PICS et la source d'information. Malgré une augmentation de l'adoption par rapport à 2010 et 2012, le nombre d'agriculteurs utilisant la technologie dans les villages non-PICS reste faible. Maradi a enregistré le taux d'adoption du sac PICS le plus faible par rapport aux autres régions. Il est donc nécessaire de sensibiliser et de former davantage les agriculteurs de Maradi et des villages non PICS dans les trois régions.

Le niébé reste la principale culture à l'origine de l'adoption de la technologie PICS et continuera de stimuler sa commercialisation. Le stockage du niébé dans des sacs PICS a permis aux agriculteurs de gagner un revenu supplémentaire utilisé pour répondre aux besoins agricoles et autres besoins des ménages. Cette étude souligne l'importance de diffuser et d'accroître l'adoption de technologies agricoles pour améliorer les moyens de subsistance en milieu rural.

¹ Au taux de change d'un Dollar pour 570 F.CFA en décembre 2018 cela donne 40 117 F par répondant - 12 255 F pour 100 kg de niébé stocké – et un flux de trésorerie 40 840 F observés au Niger.

Références

- 1 Kumar, D.; Kalita, P. Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods* 2017, 6, 8. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version]
- 2 Baoua, I.B.; Amadou, L.; Margam, V.; Murdock, L.L. Comparative evaluation of six storage methods for postharvest preservation of cowpea grain. *J. Stored Prod. Res.* 2012, 49, 171–175. [Google Scholar] [CrossRef]
- 3 Baoua, I.B.; Margam, V.; Amadou, L.; Murdock, L.L. Performance of triple bagging hermetic technology for postharvest storage of cowpea grain in Niger. *J. Stored Prod. Res.* 2012, 51, 81–85. [Google Scholar] [CrossRef]
- 4 Saka, J.O.; Agbeleye, O.A.; Ayoola, O.T.; Lawal, B.O.; Adetumbi, J.A.; Oloyede-Kamiyo, Q.O. Assessment of varietal diversity and production systems of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Southwest Nigeria. *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.* 2018, 119, 43–52. [Google Scholar] [CrossRef]
- 5 Baributsa, D.; Abdoulaye, T.; Lowenberg-DeBoer, J.; Dabiré, C.; Moussa, B.; Coulibaly, O.; Baoua, I. Market building for post-harvest technology through large-scale extension efforts. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 59–66. [Google Scholar] [CrossRef]
- 6 Murdock, L.L.; Margam, V.; Baoua, I.; Balfe, S.; Shade, R.E. Death by desiccation: Effects of hermetic storage on cowpea bruchids. *J. Stored Prod. Res.* 2012, 49, 166–170. [Google Scholar] [CrossRef]
- 7 Murdock, L.L.; Baoua, I.B. On Purdue Improved Cowpea Storage (PICS) technology: Background, mode of action, future prospects. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 3–11. [Google Scholar] [CrossRef]
- 8 Kitch, L.W.; Ntougam, G. Airtight Storage of Cowpea in Triple Plastic Bags (Triple-Bagging); Institut de la Recherche Agronomique du Cameroun (IRA) and Bean/Cowpea Collaborative Research Support Program (CRSP): Maroua, Cameroun, 1991. [Google Scholar]
- 9 RECA. Le Triple Ensachage Pour La Conservation Du Niébé—Un Point De Situation; Note d'information/Technologies et techniques n°2; Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger: Niamey, Niger, 2012. [Google Scholar]
- 10 Baributsa, D.; Ignacio, M.C. Developments in the use of hermetic bags for grain storage. In *Advances in Postharvest Management of Cereals and Grains*; Maier, D.E., Ed.; Burleigh Dodds Science Publishing: Cambridge, UK, 2020; ISBN 9781003047988. [Google Scholar]
- 11 Nouhoheflin, T.; Coulibaly, J.Y.; D'Alessandro, S.; Aitchédji, C.C.; Damisa, M.; Baributsa, D.; Lowenberg-DeBoer, J. Management lessons learned in supply chain development: The experience of PICS bags in West and Central Africa. *Int. Food Agribus. Manag. Rev.* 2017, 20, 427–438. [Google Scholar] [CrossRef]
- 12 Moussa, B.; Abdoulaye, T.; Coulibaly, O.; Baributsa, D.; Lowenberg-DeBoer, J. Adoption of on-farm hermetic storage for cowpea in West and Central Africa in 2012. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 77–86. [Google Scholar] [CrossRef]
- 13 Moussa, B.; Lowenberg-Deboer, J.; Baributsa, D. Adoption of Hermetic Storage for Cowpea in Niger and Burkina Faso in 2010. In *Proceedings of the Poster Presented during the Fifth World Cowpea Research Conference*, Saly, Senegal, 6 September–1 October 2010. [Google Scholar]
- 14 MAE. Rapport D'Évaluation De La Campagne Agricole D'Hivernage 2019 Et Perspectives Alimentaires 2019/2020; Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage: Niamey, Niger, 2019.
- 15 FAO. *The State of Food and Agriculture: Climate Change, Agriculture and Food Security*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2016; ISBN 9789251093740. [Google Scholar]
- 16 Seye, B.; Arouna, A.; Sall, S.N.; Ndiaye, A.A. Impact de l'adoption des semences certifiées des variétés améliorées de riz sur le taux de pauvreté: Cas du Bénin. *Cahiers du Centre Béninois de la Recherche Scientifique et de l'Innovation* 2017, 11, 96–103. [Google Scholar]
- 17 Jones, M.; Alexander, C.; Lowenberg-DeBoer, J. A simple methodology for measuring profitability of on-farm storage pest management in developing countries. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 67–76. [Google Scholar] [CrossRef]
- 18 Adesina, A.A.; Chianu, J. Determinants of farmers' adoption and adaptation of alley farming technology in Nigeria. *Agrofor. Syst.* 2002, 55, 99–112. [Google Scholar] [CrossRef]
- 19 Rabe, M.M.; Baoua, I.; Adeoti, R.; Sitou, L.; Amadou, L.; Pittendrigh, B.; Mahamane, S. Les déterminants socioéconomiques de l'adoption des technologies améliorées de production du niébé diffusées

- par les champs écoles paysans dans les régions de Maradi et Zinder au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2017, 11, 744. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- 20 Baributsa, D.; Njoroge, A.W. The use and profitability of hermetic technologies for grain storage among smallholder farmers in eastern Kenya. *J. Stored Prod. Res.* 2020, 87, 101618. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- 21 Baributsa, D.; Díaz-Valderrama, J.R.; Mughanda, D.; Lubanzadio, A.; Nshombo, J.P.C.; Sperling, L.; Baoua, I.B. Grain Handling and Storage in Lubero and Rutshuru Territories in the North Kivu Province, the Democratic Republic of Congo. *Sustainability* 2021, 13, 9580. [Google Scholar] [CrossRef]
- 22 Doka, A.I. Plan d'Actions Operationnel de La Filiere Niébé au Niger; Ministère du Développement Agricole: Niamey, Niger, 2010; p. 93.
- 23 Moussa, B.; Otoo, M.; Fulton, J.; Lowenberg-DeBoer, J. Evaluating the Effectiveness of Alternative Extension Methods: Triple-Bag Storage of Cowpeas by Small-Scale Farmers in West Africa. In Proceedings of the AAEA & ACCI Joint Annual Meeting, Milwaukee, WI, USA, 26–29 July 2009. [Google Scholar]
- 24 Muriuki, N.; Munyua, C.; Wanga, D. Communication Channels in Adoption of Technology with a Focus on the Use of Purdue Improved Crop Storage (PICS) among Small Scale Maize Farmers in Kenya. *J. Biol. Agric. Healthc.* 2016, 6, 8–12. [Google Scholar]
- 25 Ibro, G.; Sorgho, M.C.; Idris, A.A.; Moussa, B.; Baributsa, D.; Lowenberg-DeBoer, J. Adoption of cowpea hermetic storage by women in Nigeria, Niger and Burkina Faso. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 87–96. [Google Scholar] [CrossRef]
- 26 Bolaji, M.A.; Sanni, S.A.; Damisa, M.A.; Oladimeji, Y.U.; Kehinde, E.A. Impact of the Purdue Improved Cowpea Storage Technology on the Income of Cowpea Farmers in North Central Nigeria. *FUOYE J. Eng. Technol.* 2019, 4, 112–115. [Google Scholar] [CrossRef]
- 27 Alemu, G.T.; Nigussie, Z.; Haregeweyn, N.; Berhanie, Z.; Wondimagegnehu, B.A.; Ayalew, Z.; Molla, D.; Okoyo, E.N.; Baributsa, D. Cost-benefit analysis of on-farm grain storage hermetic bags among small-scale maize growers in northwestern Ethiopia. *Crop. Prot.* 2021, 143, 105478. [Google Scholar] [CrossRef]
- 28 Owach, C.; Bahiigwa, G.; Elepu, G. Factors Influencing the Use of Food Storage Structures by Agrarian Communities in Northern Uganda. *J. Agric. Food Syst. Community Dev.* 2017, 7, 127–144. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- 29 Murdock, L.L.; Baributsa, D. Hermetic storage for those who need it most -subsistence farmers. In Proceedings of the 11th International Working Conference on Stored Product Protection, Chang Mai, Thailand, 24–28 November 2014; pp. 310–323. [Google Scholar]
- 30 Ibrahim, A.R.; Issoufou, S.; Salifou, M.; Souleymane, A. Itinéraires Techniques De Production De Niébé De Qualité. Fiche Technique; Institut National de la Recherche Agronomique du Niger: Niamey, Niger, 2018; pp. 1–11. [Google Scholar]
- 31 SNV. Relever Ensemble Le Défi De La Sécurité Alimentaire Au Niger Revue Critique Des Relever Ensemble; SNV: Niamey, Niger, 2014. [Google Scholar]
- 32 Baoua, I.B.; Amadou, L.; Abdourahmane, M.; Bakoye, O.; Baributsa, D.; Murdock, L.L. Grain storage and insect pests of stored grain in rural Niger. *J. Stored Prod. Res.* 2015, 64, 8–12. [Google Scholar] [CrossRef]
- 33 Baoua, I.B.; Amadou, L.; Ousmane, B.; Baributsa, D.; Murdock, L.L. PICS bags for post-harvest storage of maize grain in West Africa. *J. Stored Prod. Res.* 2014, 58, 20–28. [Google Scholar] [CrossRef]
- 34 Baributsa, D.; Baoua, I.B.; Bakoye, O.N.N.; Amadou, L.; Murdock, L.L.L. PICS bags safely store unshelled and shelled groundnuts in Niger. *J. Stored Prod. Res.* 2017, 72, 54–58. [Google Scholar] [CrossRef]
- 35 Baributsa, D.; Dabiré, C.; Sawadogo, K.; Lowenberg-Deboer, J. Increasing women's participation in cowpea storage activities: The case of Burkina Faso. *J. Agric. Ext. Rural Dev.* 2013, 5, 232–239. [Google Scholar] [CrossRef]
- 36 Kotu, B.H.; Abass, A.B.; Hoeschle-Zeledon, I.; Mbwambo, H.; Bekunda, M. Exploring the profitability of improved storage technologies and their potential impacts on food security and income of smallholder farm households in Tanzania. *J. Stored Prod. Res.* 2019, 82, 98–109. [Google Scholar] [CrossRef]
- 37 Jokthan, G.; Sanni, A. An Analysis of Triple Bag Intervention for Cowpea Storage in Nigeria; Paper presented at Research into Use workshop at Chelsea Hotel Abuja; 2011. [Google Scholar]

- 38 Kassie, M.; Shiferaw, B.; Muricho, G. Agricultural Technology, Crop Income, and Poverty Alleviation in Uganda. *World Dev.* 2011, 39, 1784–1795. [Google Scholar] [CrossRef]
- 39 Wordofa, M.G.; Hassen, J.Y.; Endris, G.S.; Aweke, C.S.; Moges, D.K.; Rorisa, D.T. Impact of Improved Agricultural Technology Use on Household Income in Eastern Ethiopia: Empirical Evidence from a Propensity Score Matching Estimation. *J. Land Rural Stud.* 2021, 9, 276–290. [Google Scholar] [CrossRef]
- 40 Kuehne, G.; Llewellyn, R.; Pannell, D.J.; Wilkinson, R.; Dolling, P.; Ouzman, J.; Ewing, M. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. *Agric. Syst.* 2017, 156, 115–125. [Google Scholar] [CrossRef]
-

Rabé, M.M.; Baoua, I.B.; Baributsa, D. Adoption and Profitability of the Purdue Improved Crop Storage Technology for Grain Storage in the South-Central Regions of Niger. *Agronomy* 2021, 11, 2470. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122470>