Revue-IRS

Revue Internationale de la Recherche Scientifique (Revue-IRS)

ISSN: 2958-8413

Vol. 4, No. 6, Novembre 2026

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.

Marchés carbone et adaptation rurale : les foyers améliorés de l'ONG Tandavanala comme levier de résilience socio-économique à Madagascar

RANAIVO Lalasoa Nadia

Doctorante à l'École Doctorale Thématique Gouvernance et Sociétés en Mutation (EDT GOUVSOMU), Université de Fianarantsoa, Madagascar

Résumé : La cuisson au bois et au charbon, qui concerne plus de neuf ménages malgaches sur dix, pèse sur les forêts et réduit la capacité d'adaptation des communautés rurales. L'ONG Tandavanala diffuse des foyers améliorés, le modèle portable Soarehitra et le modèle fixe Lamasinina, dont le financement s'appuie sur la valorisation de réductions d'émissions au sein des mécanismes du marché du carbone. Cet article examine dans quelle mesure cette articulation entre finance carbone et technologie de cuisson constitue un levier de résilience socio-économique pour les ménages ruraux, tout en préservant l'intégrité environnementale des crédits générés. La démarche combine des tests de cuisson contrôlée (Soarehitra contre trépied métallique), onze tests d'ébullition de l'eau sur le foyer Lamasinina, une enquête auprès de 100 ménages bénéficiaires des régions Amoron'i Mania et Vatovavy-Fitovinany, une immersion au sein de l'ONG et des données secondaires, analysées de manière descriptive et triangulées. Le foyer Soarehitra réduit la consommation de bois de 70,9 % pour la sauce et de 55,8 % pour le riz, et le Lamasinina atteint un rendement thermique moyen de 31,71 %. Le projet mobilise en outre plusieurs centaines d'emplois locaux. Toutefois, l'usage effectif reste limité : 94 % des ménages enquêtés utilisent encore quotidiennement le foyer traditionnel, contre 6 % pour le foyer amélioré, et des défauts d'installation affectent une partie importante des foyers fixes. Le marché du carbone apparaît ainsi comme un instrument d'innovation sociale capable de subventionner l'accès à la technologie, mais dont l'efficacité adaptative et la crédibilité climatique dépendent de l'usage réel, du contrôle qualité et du renforcement des capacités des artisans.

Mots-clés : Foyers améliorés ; Marché du carbone ; Résilience rurale ; Innovation sociale ; ONG Tandavanala ; Madagascar

Digital Object Identifier (DOI): https://doi.org/10.5281/zenodo.**24331509**

1 Introduction

Insularité, exposition répétée aux cyclones et dépendance de l'économie rurale à l'agriculture pluviale placent Madagascar parmi les pays les plus vulnérables au changement climatique. Cette vulnérabilité est aggravée par le mode de satisfaction des besoins énergétiques domestiques : selon les données du ministère chargé de l'Environnement [13], 92 % des ménages malgaches utilisent le bois de chauffe ou le charbon de bois pour la cuisson, le plus souvent dans des foyers traditionnels à très faible rendement de type trépied ou « Toko Telo ». La demande nationale de bois-énergie, estimée à 18 millions de m³ par an pour une offre de 9 millions de m³, alimente une déforestation qui a fait perdre au pays près de 36 000 ha de forêt naturelle par an entre 2005 et 2010 [13]. Les ménages ruraux se trouvent ainsi pris dans un cercle de précarité énergétique, de dégradation des écosystèmes dont dépend leur agriculture et d'exposition aux fumées domestiques.

À l'échelle mondiale, environ 2,1 milliards de personnes cuisinent encore sur des feux ouverts ou des foyers inefficaces, et la pollution de l'air intérieur qui en résulte a été associée à quelque 2,9 millions de décès en 2021, dont plus de 309 000 enfants de moins de cinq ans [12]. À Madagascar, la part de la population ayant accès à une solution de cuisson propre ou améliorée n'était que de 12 % en 2022, alors que le pacte national pour l'énergie soumis la même année au titre de l'objectif de développement durable n° 7 vise à équiper 50 % des ménages de foyers améliorés à l'horizon 2030 [15]. Le programme ASCENT, lancé en 2026 avec l'appui de la Banque mondiale, prévoit pour sa part le déploiement de 1,5 million d'équipements de cuisson propres et améliorés [5]. La diffusion des foyers améliorés est donc devenue un axe explicite des politiques d'adaptation et d'atténuation du pays.

Dans ce contexte, l'ONG Tandavanala, active dans la région de Fianarantsoa et le corridor forestier Ambositra-Vondrozo (COFAV), produit et diffuse des foyers améliorés dont le financement s'adosse au marché du carbone. Son programme de foyers Tsinjoharena est enregistré auprès de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) comme programme d'activités du Mécanisme pour un développement propre (MDP) depuis le 4 avril 2017 [6], [17], et le foyer portable Soarehitra est produit en partenariat avec Korea Carbon Management [13]. Ce montage, que l'ONG présente comme une initiative de marché carbone au service des ménages, permet de diffuser les foyers à un coût très inférieur à leur coût réel de production.

L'intérêt de ce type de dispositif est toutefois discuté. Une étude récente publiée dans Nature Sustainability estime que les projets de foyers de cuisson de son échantillon ont été sur-crédités d'un facteur 9,2 en moyenne, principalement en raison d'une surestimation de l'adoption et de l'usage des foyers, d'une sous-estimation de l'usage persistant du foyer traditionnel et d'hypothèses élevées sur la part non renouvelable de la biomasse [7]. La question n'est donc pas seulement de savoir si un foyer amélioré est performant en conditions contrôlées, mais s'il est effectivement utilisé, et si les gains attendus se concrétisent pour les ménages.

Cet article pose la question suivante : dans quelle mesure l'intégration des foyers améliorés dans les mécanismes du marché du carbone constitue-t-elle un levier efficace de résilience socio-économique (revenus, temps, santé) pour les ménages ruraux, tout en assurant l'intégrité environnementale des réductions d'émissions ? Nous faisons l'hypothèse que la performance technique des foyers est une condition nécessaire mais non suffisante, la réalisation des bénéfices dépendant de l'usage effectif et de la qualité d'installation. La section 2 présente le cadre conceptuel, la section 3 la démarche méthodologique, la section 4 les résultats et la section 5 leur discussion, avant une conclusion assortie de recommandations.

2 Cadre conceptuel et revue de littérature

2.1 Marché du carbone et foyers de cuisson : financement et intégrité environnementale

Le marché du carbone repose sur un principe simple : un projet qui réduit ou évite des émissions de gaz à effet de serre par rapport à un scénario de référence peut faire certifier cette réduction sous forme de crédits, cédés à des acteurs souhaitant compenser leurs émissions. Dans le cas des foyers améliorés, la réduction provient de la baisse de la consommation de biomasse non renouvelable. Les méthodologies de quantification, telles que la méthodologie AMS-II.G du MDP utilisée par le programme Tandavanala [17], combinent la performance du foyer, le nombre de foyers en service et la fraction non renouvelable de la biomasse prélevée.

La littérature a montré que ces paramètres sont souvent fixés de manière optimiste. Bailis et al. [4] estiment qu'à l'échelle mondiale seule une fraction, de l'ordre de 27 à 34 %, du bois-énergie prélevé est récoltée de façon non durable, soit nettement moins que les valeurs par défaut souvent retenues. Gill-Wiehl et al. [7], comparant cinq méthodologies de crédit carbone pour les foyers de cuisson, concluent à un sur-crédit généralisé et recommandent un suivi direct de l'usage des foyers et une révision des paramètres par défaut. Cette littérature invite à examiner le dispositif de suivi des projets plutôt que la seule existence d'une certification.

2.2 Performance technique, adoption et usage durable des foyers améliorés

Les foyers améliorés sont associés à un « triple bénéfice » : amélioration de la santé par la réduction de l'exposition aux fumées, préservation des ressources forestières et atténuation des émissions [9]. La littérature empirique souligne cependant un écart persistant entre disponibilité de la technologie et adoption durable. La revue systématique de Lewis et Pattanayak [10], portant sur 32 études, montre que l'adoption dépend du revenu, de l'éducation, de la composition du ménage, de la compatibilité avec les pratiques culinaires et de la qualité de l'offre. Jeuland et Pattanayak [9] montrent par simulation que les bénéfices nets privés d'un foyer amélioré sont très variables et peuvent être négatifs lorsque le foyer est peu utilisé ou se dégrade rapidement.

Ruiz-Mercado et al. [14] décrivent l'adoption comme un processus dynamique au cours duquel le nouveau foyer coexiste souvent avec l'ancien (phénomène d'« empilement » des foyers), ce qui impose de mesurer l'usage effectif dans la durée. L'évaluation randomisée de Hanna et al. [8] en Inde montre d'ailleurs que les gains initiaux d'un programme de foyers améliorés se sont dissipés en quelques années en raison d'un usage irrégulier et d'un entretien insuffisant. Ces travaux suggèrent qu'un résultat de laboratoire ne se traduit pas mécaniquement en bénéfice pour le ménage ni en réduction d'émissions.

2.3 Résilience socio-économique et innovation sociale

Adger [1] définit la résilience sociale comme la capacité de groupes ou de communautés à faire face à des perturbations externes et à s'y adapter, tandis que la vulnérabilité désigne un état de susceptibilité au dommage résultant de l'exposition à des stress et de l'insuffisance des capacités d'adaptation [2]. Appliqué aux ménages ruraux dépendant de la biomasse, ce cadre permet de distinguer trois canaux par lesquels un foyer amélioré peut renforcer la résilience : un canal économique (réduction des dépenses de combustible et du temps de collecte, réallocable à des activités productives), un canal sanitaire (réduction de l'exposition aux fumées) et un canal écologique indirect (réduction de la pression sur les forêts dont dépendent l'agriculture et l'eau).

Mulgan [11] définit l'innovation sociale comme une solution nouvelle répondant mieux qu'une autre à un besoin social tout en créant de nouvelles relations entre acteurs. Le recours au marché du carbone pour subventionner l'accès de ménages à une technologie qu'ils ne pourraient financer seuls en relève : un instrument conçu pour la compensation des émissions est mobilisé au service d'un objectif de protection sociale locale. Cette hybridation suppose toutefois un volume de diffusion suffisant, un suivi rigoureux pour sécuriser la délivrance des crédits et une capacité à absorber les fluctuations du prix du carbone.

3 Matériel et méthodes

3.1 Terrain d'étude et dispositif de l'ONG Tandavanala

Issue d'une Communauté multi-locale de planification créée en 1999 entre les parcs nationaux de Ranomafana et d'Andringitra, Tandavanala est devenue une ONG en 2008-2010 et a contribué à la création de l'aire protégée COFAV [6], [13], [16]. Elle produit des foyers portables (Soarehitra, GSG et Tsinjoharena) dans deux ateliers situés à Fianarantsoa (Ampopoka et Ankapila) ainsi que des foyers fixes (Lamasinina et multi-marmites) construits

chez les bénéficiaires [13]. Le Soarehitra est un foyer à bois en argile et coque métallique ; le Lamasinina est un foyer en briques d'argile doté d'une cheminée, destiné à remplacer les foyers fixes traditionnels.
La diffusion du Lamasinina repose sur un partage des coûts : l'ONG fournit 20 briques, la cheminée, la grille, le ciment et la rémunération des maçons, tandis que le bénéficiaire apporte 80 briques, le sable, un manœuvre et le repas du maçon [13]. Chaque foyer fait l'objet d'un contrôle qualité, d'une éventuelle rectification et d'un enregistrement par des agents recenseurs. Les règles fixées par les bailleurs imposent l'usage exclusif du bois de chauffe sur le foyer amélioré et l'abandon du foyer traditionnel. Selon Ferrer [6], chaque bénéficiaire est inscrit dans une base de données avec un numéro de série unique, des visites périodiques sont réalisées et tout foyer défaillant doit être remplacé gratuitement au titre des engagements carbone.

3.2 Tests de performance énergétique

La performance du foyer Soarehitra a été mesurée par des tests de cuisson contrôlée (TCC) inspirés du protocole de Bailis [3], conduits pendant trois jours successifs et comparant simultanément le Soarehitra au trépied métallique traditionnel pour deux recettes locales (sauce et riz sec). Pour chaque test, ont été relevés le temps d'allumage, le temps de cuisson et la masse de bois consommée. L'économie de combustible est calculée comme la réduction relative de la masse moyenne de bois consommée par rapport au foyer de référence. La représentativité des séries est contrôlée par un coefficient de variation inférieur à 10 % sur la durée des tests [13].
Le foyer Lamasinina a été évalué par onze tests d'ébullition de l'eau (TEE), comprenant les phases de démarrage à froid, de démarrage à chaud et de mijotage, réalisés pendant cinq jours dans onze ménages de trois communes des districts de Lalangina et d'Isandra (région Haute Matsiatra), avec la marmite habituellement utilisée par chaque ménage. Les tests ont été conduits par trois équipes de deux opérateurs sous l'assistance technique d'un expert du Centre national de recherches industrielle et technologique (CNRIT) [13].

3.3 Enquête auprès des ménages bénéficiaires

Une enquête par questionnaire a été administrée à 100 ménages bénéficiaires, dont 50 dans la région Amoron'i Mania et 50 dans la région Vatovavy-Fitovinany. Le questionnaire couvrait les caractéristiques socio-démographiques, les combustibles utilisés selon la saison, les modes d'approvisionnement, la distance et le temps consacrés à la collecte du bois, les dépenses en combustible, les circonstances d'usage des foyers traditionnel et amélioré, ainsi que les préférences des ménages. L'échantillon prévu a été entièrement atteint [13].

3.4 Immersion, données secondaires et traitement

Ces données primaires ont été complétées par une immersion de six mois au sein des équipes de l'ONG, qui a permis d'observer la production en atelier, la construction et le contrôle des foyers fixes et les procédures de suivi, ainsi que par des données secondaires : la capitalisation nationale des secteurs biogaz et foyers améliorés [6], le registre des programmes d'activités du MDP [17] et des sources institutionnelles [5], [12], [15]. Les données ont fait l'objet d'une analyse descriptive (moyennes, écarts-types, fréquences) et d'une triangulation entre résultats de tests, déclarations des ménages et observations de terrain.

4 Résultats

4.1 Une performance énergétique élevée en conditions contrôlées

Les tests de cuisson contrôlée confirment la supériorité du foyer Soarehitra sur le trépied métallique (Tableau 1). Pour la préparation de la sauce, la consommation moyenne de bois passe de 2,790 kg à 0,810 kg, soit une économie de 70,9 % ; pour le riz sec, elle passe de 0,771 kg à 0,344 kg, soit une économie de 55,8 %. L'économie moyenne sur les deux recettes s'établit ainsi à 63,4 %. Le Soarehitra s'allume également plus rapidement (6 minutes contre 16 pour la sauce), pour des temps de cuisson comparables. Sa durée de vie est estimée à cinq ans et demi dans des conditions normales d'utilisation [13].

Tableau 1. Résultats des tests de cuisson contrôlée du foyer Soarehitra comparé au trépied métallique (moyennes sur trois jours).

Indicateur	Sauce – trépied	Sauce – Soarehitra	Riz sec – trépied	Riz sec – Soarehitra
Temps d'allumage (min)	16	6	16	12
Temps de cuisson (min)	174	167	48	52
Bois consommé (kg)	2,790	0,810	0,771	0,344
Économie de bois	–	70,9 %	–	55,8 %

Source : Auteur, 2022

La Figure 1 illustre l'ampleur de ces écarts : pour une même recette, le Soarehitra consomme environ 3,4 fois moins de bois que le trépied pour la sauce et 2,2 fois moins pour le riz sec, l'économie la plus forte étant observée pour la recette la plus longue (la sauce, environ 167 minutes de cuisson). Le foyer fixe Lamasinina atteint, sur l'ensemble des onze tests, un rendement thermique moyen de 31,71 %, avec une durée de vie estimée à quinze ans [13]. Ce niveau est comparable à celui du foyer Tsinjoharena à bois de la même ONG (31,1 %) et supérieur à celui des foyers artisanaux appuyés par la GIZ (25,6 à 27,5 %) [6] (Tableau 3).

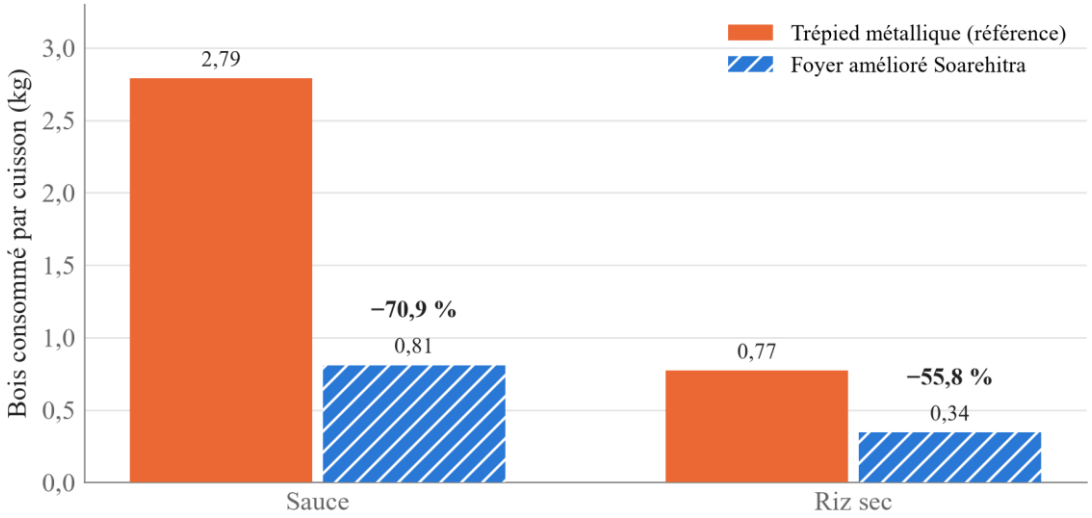


Figure 1. Consommation de bois par cuisson : foyer Soarehitra et trépied métallique (tests de cuisson contrôlée).

4.2 Profil et pratiques énergétiques des ménages

Les ménages enquêtés présentent les caractéristiques typiques des zones rurales des Hautes Terres et du Sud-Est (Tableau 2). Les répondants sont majoritairement des femmes (78 %), qui assurent l'essentiel des tâches de cuisson. Les revenus proviennent principalement de l'agriculture et de l'élevage (71,2 %), puis de petites entreprises (12,2 %) et du salariat (10 %). En saison sèche, 69,2 % des ménages cuisinent au bois et 30,8 % au charbon, et un ménage sur cinq combine les deux combustibles. La consommation hebdomadaire est de l'ordre de 10 kg de bois ou de 20 kg de charbon. En saison des pluies, la part du charbon augmente, le bois étant plus difficile à trouver et plus cher.

Tableau 2. Profil et pratiques énergétiques des ménages bénéficiaires enquêtés (n = 100).

Indicateur	Valeur
Répondants de sexe féminin	78 %
Revenu principal tiré de l'agriculture et de l'élevage	71,2 %
Niveau d'instruction primaire ou secondaire	85,6 %
Usage du bois de chauffe / du charbon (saison sèche)	69,2 % / 30,8 %
Ménages combinant bois et charbon	20,5 %
Consommation hebdomadaire de bois / de charbon	10 kg / 20 kg
Approvisionnement par collecte / achat / mixte	69,3 % / 20,6 % / 10,1 %
Ménages n'achetant aucun combustible	88,3 %
Temps de collecte du bois (moyenne pondérée)	5,15 h par semaine
Ménages déclarant consacrer plus de temps à la collecte qu'auparavant	75 %
Dépense moyenne des acheteurs de charbon	3 000 Ariary par semaine

Source : Auteur, 2022

L'approvisionnement repose essentiellement sur la collecte (69,3 %), si bien que 88,3 % des ménages n'achètent aucun combustible. La contrainte se manifeste donc moins en argent qu'en temps : les ménages consacrent en moyenne 5,15 heures par semaine à la collecte, 73 % des réponses exploitables font état de distances plus grandes qu'auparavant et 75 % déclarent consacrer davantage de temps à cette activité, signe tangible du recul de la ressource. Pour les ménages qui achètent du charbon, la dépense moyenne s'élève à 3 000 Ariary par semaine [13].

4.3 Usage effectif et appropriation des foyers améliorés

L'enquête met en évidence un écart marqué entre performance technique et usage réel (Figure 2). Le foyer traditionnel reste utilisé quotidiennement par 94 % des ménages enquêtés, alors que seuls 6 % déclarent utiliser chaque jour le foyer amélioré, une large majorité indiquant ne pas encore l'utiliser régulièrement au moment de l'enquête. Pourtant, 70 % des ménages déclarent préférer le foyer amélioré. Il s'agit des bénéficiaires dont le foyer est correctement installé ; les 30 % qui préfèrent le foyer traditionnel invoquent tous des anomalies de leur foyer amélioré, qui « ne cuit pas » ou refoule la fumée [13]. La Figure 2 rend visible ce paradoxe : l'écart entre la préférence déclarée (70 %) et l'usage quotidien (6 %) traduit moins un rejet de la technologie qu'un défaut de mise en service et de qualité d'installation.

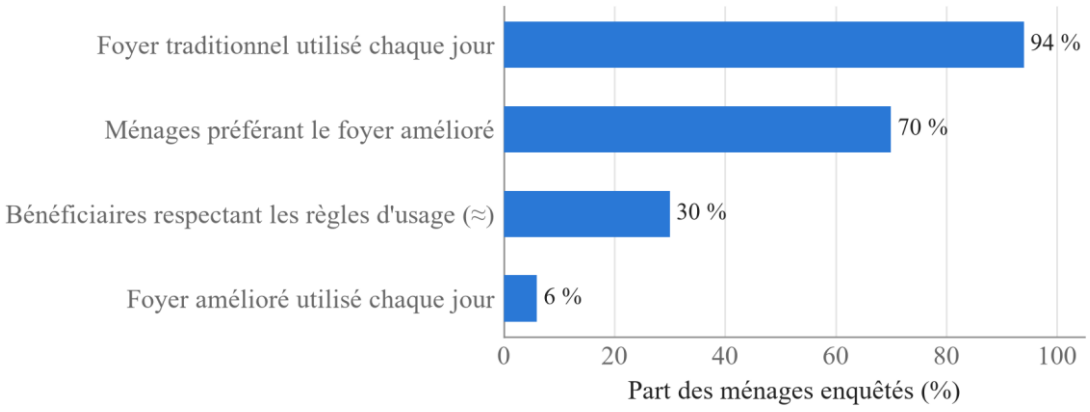


Figure 2. Indicateurs d'usage et d'appropriation des foyers améliorés chez les ménages enquêtés.

Seuls 30 % environ des bénéficiaires respectent les règles d'usage ; les autres combinent foyers traditionnel et amélioré, n'utilisent que le foyer traditionnel ou emploient le foyer amélioré avec du charbon, ce qui est contraire aux règles du programme. Plus de la moitié des foyers Lamasinina visités ne respectent pas les normes de construction, ce qui se traduit par des refoulements de fumée et des dégradations précoces [13]. Le défaut d'installation apparaît ainsi comme le premier déterminant du non-usage.

4.4 Effets sur l'emploi et l'économie locale

Au-delà des ménages utilisateurs, le projet crée une chaîne de valeur locale. Les ateliers de production du Soarehitra employaient 69 ouvriers en 2020 et 52 en 2021 ; l'équipe du Lamasinina compte 310 personnes, dont 168 maçons d'installation, 20 maçons de rectification, 80 agents locaux et 12 agents recenseurs. Au total, l'ONG emploie environ 830 personnes, dont plus de 300 sans diplôme, principalement comme ouvriers et maçons [13]. La production des ateliers, de l'ordre de 50 000 foyers par an, a bénéficié à 88 communes des régions Haute Matsiatra, Amoron'i Mania, Vatovavy et Fitovinany. Ces emplois constituent un canal de résilience économique distinct, qui profite à des actifs peu qualifiés.

5 Discussion

5.1 Des gains d'adaptation réels mais conditionnés à l'usage

Les performances mesurées situent le Soarehitra et le Lamasinina dans la partie haute des foyers diffusés à Madagascar (Tableau 3). L'économie de bois obtenue par le Soarehitra (55,8 à 70,9 %) est du même ordre que celle du Tsinjoharena à bois (66 %) et supérieure à celle des foyers ADES (près de 50 %) [6]. Les rendements thermiques mesurés (31,71 % pour le Lamasinina, 31,1 % pour le Tsinjoharena) correspondent à la catégorie des foyers « économes » décrite par Ferrer [6], dont les rendements testés à Madagascar se situent entre 27 % et 35 %, en deçà des foyers à haute performance (plus de 50 %) mais pour un coût adapté aux ménages ruraux. Ces résultats suggèrent une maturation technique de la filière, à laquelle l'appui du CNRIT a contribué.

Tableau 3. Performances rapportées pour différents foyers améliorés diffusés à Madagascar.

Foyer (opérateur)	Combustible	Performance rapportée	Durée de vie	Source
Soarehitra, portable (Tandavanala)	Bois	Économie de 55,8 à 70,9 % par rapport au trépied (TCC)	5,5 ans	Présente étude [13]
Lamasinina, fixe (Tandavanala)	Bois	Rendement thermique moyen de 31,71 % (TEE, 11 tests)	15 ans	Présente étude [13]
Tsinjoharena (Tandavanala)	Bois	Économie de 66 % par rapport au Toko Telo ; rendement de 31,1 %	5,5 ans	Ferrer [6]
Tsinjoharena (Tandavanala)	Charbon	Économie de 27 % par rapport au Fatapera	5,5 ans	Ferrer [6]
Foyers ADES	Bois et charbon	Économie de bois de près de 50 %	4 à 6 ans	Ferrer [6]
Foyers artisanaux appuyés par la GIZ (DIANA, Boeny, Atsimo-Andrefana)	Bois, charbon ou mixte	Rendement énergétique de 25,6 à 27,5 %	2 à 3 ans	Ferrer [6]

Sources : Auteur, 2022

Ces performances ne se traduisent cependant en gains de résilience que si le foyer est réellement utilisé. À titre illustratif, un ménage qui consomme 10 kg de bois par semaine et consacre 5,15 heures à sa collecte pourrait, en usage exclusif du Soarehitra et sur la base de l'économie moyenne mesurée, économiser environ 6,3 kg de bois et 3,3 heures de collecte par semaine, soit plus de 160 heures par an, essentiellement au bénéfice des femmes. Ce temps libéré est réallouable à des activités productives ou à la scolarisation des enfants. Avec un usage quotidien déclaré par seulement 6 % des ménages, l'essentiel de ce potentiel reste toutefois non réalisé. Ce constat rejoint ceux de Ruiz-Mercado et al. [14] et de Hanna et al. [8] : la performance en laboratoire est un plafond, non une estimation de l'impact.

Le canal sanitaire suit la même logique. La conception des foyers, notamment la cheminée du Lamasinina, permet d'évacuer les fumées hors du logement, et la réduction de la quantité de bois brûlé diminue les émissions de particules. Mais l'usage simultané du foyer traditionnel maintient l'exposition, et les refoulements de fumée sur les foyers mal construits peuvent même la dégrader. Compte tenu du fardeau sanitaire de la pollution de l'air domestique, qui touche d'abord les femmes et les enfants [12], la qualité d'installation est un enjeu de santé publique autant que de performance.

5.2 Le marché du carbone : protection sociale locale et exigence d'intégrité

Le cas Tandavanala illustre la capacité du marché du carbone à fonctionner comme une subvention à l'accès : le foyer Tsinjoharena à bois a ainsi été diffusé à 5 000 Ariary, prix fixé après consultation publique, alors que le modèle à charbon non subventionné était vendu 12 000 Ariary [6]. Cette fonction de protection sociale locale financée par un mécanisme de marché global correspond à la logique d'innovation sociale décrite par Mulgan [11]. Le partage des coûts du Lamasinina, qui fait contribuer le bénéficiaire à hauteur de 80 % des briques, renforce en outre l'appropriation.

Ce modèle reste néanmoins exposé aux risques identifiés par la littérature. Les réductions d'émissions sont calculées à partir de la performance d'un modèle de foyer (par exemple 3,31 tCO_2 évitées par an pour le Tsinjoharena à bois [6]) et du nombre de foyers en service. Si une part importante des foyers installés est peu ou pas utilisée, ou mal construite, les réductions réelles peuvent être sensiblement inférieures aux réductions créditées, ce qui correspond précisément aux mécanismes de sur-crédit décrits par Gill-Wiehl et al. [7]. Le dispositif de suivi de Tandavanala (base de données, numéros de série, agents locaux, rectification des foyers défectueux, visites de vérification) constitue à cet égard un atout, à condition qu'il mesure l'usage effectif et l'empilement et pas seulement l'existence physique du foyer. La dépendance aux revenus carbone crée enfin une fragilité financière : Ferrer [6] relève que l'ONG a connu des tensions de trésorerie liées à l'obtention des crédits, qui limitaient sa production.

5.3 Limites de l'étude

Plusieurs limites doivent être soulignées. L'enquête porte sur 100 ménages de deux régions, sans groupe témoin de non-bénéficiaires, ce qui ne permet pas d'attribuer causalement les évolutions observées à l'adoption du foyer. Les données d'usage, de temps et de dépenses sont déclaratives et exposées à des biais de mémoire et de désirabilité sociale. Les tests de cuisson contrôlée et d'ébullition de l'eau mesurent des performances en conditions encadrées et ne remplacent pas un suivi de la consommation réelle (test de performance en cuisine) ni des mesures de qualité de l'air intérieur. Enfin, l'enquête ayant été réalisée peu après l'installation pour une partie des ménages, le faible taux d'usage quotidien pourrait en partie refléter une phase transitoire d'adoption, que seul un suivi longitudinal permettrait de trancher.

6 Conclusion

Cette recherche a examiné, à partir de tests de performance, d'une enquête auprès de 100 ménages et d'une immersion au sein de l'ONG Tandavanala, dans quelle mesure l'adossement des foyers améliorés au marché du carbone renforce la résilience socio-économique des ménages ruraux malgaches. Les résultats établissent une performance technique élevée : le Soarehitra réduit la consommation de bois de 55,8 à 70,9 % selon la recette et le Lamasinina atteint un rendement thermique moyen de 31,71 %. Le projet crée en outre plusieurs centaines d'emplois locaux. Ils montrent en revanche que l'usage effectif reste faible et que les défauts d'installation des foyers fixes en constituent le principal frein, de sorte que les gains de temps, de santé et de réduction d'émissions ne sont que partiellement réalisés.

Sur le plan conceptuel, le cas Tandavanala montre que le marché du carbone peut être mobilisé comme un instrument d'innovation sociale au service de la résilience locale, en subventionnant une technologie d'adaptation hors de portée des ménages. Cette hybridation n'est toutefois crédible, sur le plan climatique comme sur le plan social, que si elle repose sur la mesure de l'usage réel plutôt que sur la performance théorique des foyers.

Trois recommandations en découlent. Premièrement, renforcer la formation, la certification et la supervision des maçons et des artisans, avec un contrôle qualité systématique après installation et une rectification rapide des foyers défectueux, afin de réduire l'écart entre foyer conçu et foyer construit. Deuxièmement, instaurer un suivi longitudinal d'un sous-échantillon de ménages incluant des mesures de consommation réelle, d'usage du foyer traditionnel et, si possible, de qualité de l'air intérieur, afin de sécuriser à la fois les bénéfices pour les ménages et l'intégrité des crédits carbone. Troisièmement, accompagner l'appropriation par la sensibilisation et le suivi de proximité, et mutualiser les données et protocoles de test entre opérateurs (Tandavanala, ADES, artisans appuyés par la GIZ) dans la perspective de l'objectif national de 50 % des ménages équipés en 2030 [15]. Des recherches ultérieures pourraient évaluer, par une approche quasi expérimentale, l'effet causal de l'adoption sur le temps des femmes, les dépenses et la santé respiratoire.

RÉFÉRENCES

[1] Adger, W. N. (2000). Social and ecological resilience: Are they related? *Progress in Human Geography, 24*(3), 347–364. https://doi.org/10.1191/030913200701540465

[2] Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change, 16*(3), 268–281. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

[3] Bailis, R. (2004). *Controlled Cooking Test (CCT), version 2.0*. Household Energy and Health Programme, Shell Foundation.

[4] Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change, 5*(3), 266–272. https://doi.org/10.1038/nclimate2491

[5] Banque mondiale. (2026, 6 mai). Madagascar : un nouveau programme de la Banque mondiale pour fournir une énergie fiable et abordable à plus de 2,5 millions de personnes d'ici 2030 [Communiqué de presse]. https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2026/05/06/madagascar-new-world-bank-program-set-to-provide-reliable-and-affordable-energy-to-over-2-5-million-people-by-2030

[6] Ferrer, M. (2018). *Capitalisation des secteurs biogaz et foyers améliorés à Madagascar*. Nitidae, Antananarivo. http://www.pseau.org/outils/ouvrages/nitidae_capitalisation_des_secteurs_biogaz_et_foyers_ameliores_a_madagascar_2018.pdf

[7] Gill-Wiehl, A., Kammen, D. M., & Haya, B. K. (2024). Pervasive over-crediting from cookstove offset methodologies. *Nature Sustainability, 7*(2), 191–202. https://doi.org/10.1038/s41893-023-01259-6

[8] Hanna, R., Duflo, E., & Greenstone, M. (2016). Up in smoke: The influence of household behavior on the long-run impact of improved cooking stoves. *American Economic Journal: Economic Policy, 8*(1), 80–114. https://doi.org/10.1257/pol.20140008

[9] Jeuland, M. A., & Pattanayak, S. K. (2012). Benefits and costs of improved cookstoves: Assessing the implications of variability in health, forest and climate impacts. *PLOS ONE, 7*(2), e30338. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030338

[10] Lewis, J. J., & Pattanayak, S. K. (2012). Who adopts improved fuels and cookstoves? A systematic review. *Environmental Health Perspectives, 120*(5), 637–645. https://doi.org/10.1289/ehp.1104194

[11] Mulgan, G. (2006). The process of social innovation. *Innovations: Technology, Governance, Globalization, 1*(2), 145–162. https://doi.org/10.1162/itgg.2006.1.2.145

[12] Organisation mondiale de la Santé. (2025, 16 décembre). *Household air pollution and health* [Fiche d'information]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health

[13] Ranaivo, L. N. (2020). *Études des impacts environnementaux et socio-économiques des foyers améliorés de l'ONG Tandavanala* [Mémoire de Master, parcours Économie de l'environnement, année universitaire 2019–2020]. Université de Fianarantsoa.

[14] Ruiz-Mercado, I., Masera, O., Zamora, H., & Smith, K. R. (2011). Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy, 39*(12), 7557–7566. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.028

[15] Sustainable Energy for All (SEforALL). (s.d.). Country work – Madagascar. Consulté le 31 octobre 2026, à l'adresse https://www.seforall.org/our-work/country-engagement/country-work-madagascar

[16] Tiana, M. (2022). *Corridor forestier au service du développement durable ou l'inverse : les réalités à Itaolana et à Faliarivo (COFAV)* [Thèse de doctorat]. Université d'Antananarivo.

[17] UNFCCC. (2017). *Tandavanala TsinjoHarena Improved cookstoves in Madagascar* (Programme of Activities, réf. 10352, méthodologie AMS-II.G). CDM Programme of Activities registry. https://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/poa_db/XKB4WH1SU0CNG6O9IQV2T3DAEPZYJL/view