

# ANALYSE DE L'UTILISATION DES FOYERS AMELIORES A CHARBON DANS LA COMMUNE D'ANDRANONAHOATRA

Ralibera Andriamifidy Gerard<sup>1\*</sup>, Andrianary Philippe<sup>2</sup>, Andrianaivoravelona Jaconnet Oliva<sup>2</sup>,  
Rakotosaona Rijalalaina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département Energétique, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, BP 6294,  
Antananarivo 101, Madagascar.

<sup>2</sup>Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), BP 1500 Antananarivo 101, Madagascar.

\* Auteur correspondant, email : raligerard1@yahoo.fr

## Résumé

L'enquête menée auprès des ménages de la commune d'Andranonahoatra a permis de discerner la manière d'utilisation des foyers améliorés à charbon, selon la classe de ménages et d'autres facteurs socioéconomiques, culturels et technique. En effet, il est présenté dans cette étude que plusieurs types de foyers améliorés sont utilisés par les ménages. Le foyer amélioré respectant les normes est adopté par plus de 65 % des ménages de la commune, 9 % fabriquent eux-mêmes leurs propres foyers améliorés, 6 % combinent les foyers améliorés et foyers métalliques. En moyenne, le taux de possession de ces foyers est de 1,68 par ménage. Malgré les programmes de promotion des foyers améliorés, 20 % des ménages cuisinent encore exclusivement avec des foyers métalliques. Il a été également prouvé qu'au sein de la commune d'Andranonahoatra, les ménages plus aisés, cuisinant au gaz, sont les moins hésitant dans l'utilisation de ces foyers économes en charbon. Ils priment les avantages procurés par les foyers métalliques, notamment la durée de cuisson et la durée de vie de ces foyers. Tandis que les ménages plus pauvres, cuisinant au bois, n'ont pas suffisamment de moyen financier pour acquérir les foyers améliorés aux normes. Du point de vue socioéconomique, généralement, les ménages sans foyers améliorés ne sont ni convaincus ni suffisamment conscients de l'objectif de l'utilisation de ces équipements. En termes de coût de l'énergie utile, au sein la commune, la cuisson au charbon est encore très rentable, avec 75 Ar le mégajoule, contre 130,7 Ar et 162,6 Ar respectivement pour le bois et le gaz. Pour un prix du charbon à 632 Ar/kg, cette comparaison est toujours valable tant que le prix du bois et celui du gaz restent au-dessus de 135 Ar/kg et 2 700 Ar/kg respectivement. Cette situation rend le charbon très difficile à substituer en milieu urbain. Toutefois, certaines activités de formation et de sensibilisation, concernant surtout la performance technique des foyers améliorés sont à réaliser pour atteindre les objectifs fixés et pérenniser les programmes de promotion de ces foyers.

*Mots clés : foyers améliorés, ménages, combustibles de cuisson.*

## 1. INTRODUCTION

Dans la commune d'Andranonahoatra, lors de l'enquête réalisée auprès des ménages, des données relatives aux énergies de cuisson ont été collectées. Cette étude vise à percevoir de plus près, au niveau d'une collectivité, l'utilisation des foyers améliorés à charbon. Elle essaie d'identifier, et si possible, de quantifier les facteurs déterminants l'efficacité de cet équipement, dont le but est de diminuer la consommation en charbon de bois par les ménages pour préserver les ressources forestières. En effet, ce document parlera donc des classes de ménages de la commune, des caractéristiques des foyers améliorés, des activités déjà réalisées dans ce domaine, des comparaisons de différents foyers à charbon en termes de coût et efficacité énergétique.

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1 Echantillonnage

Pour la consommation, le processus d'échantillonnage consiste à prendre un nombre représentatif des ménages des sept fokontany de la commune. Ensuite, chaque fokontany est divisé en quartiers pour lesquels un choix aléatoire des ménages est effectué pour réaliser l'enquête consommation. L'échantillonnage a été fait avec probabilité proportionnelle à la taille de chaque fokontany.

Pour évaluer le nombre de ménages à enquêter (taille de l'échantillon n), nous utilisons la formule suivante :

$$n = \frac{N * z^2 * p(1-p)}{e^2 * N + z^2 * p(1-p)}$$

avec,

N : nombre total des ménages (environ 13 350 ménages vivent au sein de la commune)

z : nombre d'écart-type d'une proportion donnée par rapport à la moyenne. Il est égal à 1,96 pour un niveau de confiance de 95%

e : marge d'erreur (pourcentage sous forme décimale), nous la fixons à 2,94 %.

p : proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle. Elle est fixée, par défaut, à 0,5 pour avoir le plus grand échantillon possible.

A partir de cette formule, le n est évalué à 1026 comme nombre de ménages à interroger. Avec les différents ajustements lors du traitement des données, ce nombre a été ramené à 989. Nous considérons ce chiffre suffisant pour être représentatif des ménages de la commune, permettant aussi de comparer de manière significative les différentes catégories de consommateurs.

En effet, un questionnaire relatif aux énergies domestiques a été soumis à ces ménages. Ainsi, ces derniers seront catégorisés en classes de ménages selon des facteurs socio-économiques, techniques et en fonction de leur comportement envers les différentes sources d'énergie de cuisson. L'accent a été mis sur les consommations des ménages qui s'approvisionnent sur le marché des combustibles, ceux qui se s'auto-ravitailent ont été écartés.

## 2.2 Evaluation de la consommation

Comme l'usage des foyers améliorés a pour objectif de cuisiner avec moins de charbon consommé, cette étude est focalisée non seulement sur les caractéristiques et l'utilisation des foyers améliorés suivant plusieurs facteurs, mais aussi les quantités de charbon consommées. Ceci nécessite les statistiques sur les ménages et leurs consommations. Pour ce faire, nous avons adopté la *Méthode de la conversion des dépenses* pour chaque classe de ménages. La méthode de pesée est souvent utilisée dans ce domaine, mais elle nécessite plus de temps compte tenu des manipulations à réaliser auprès de chaque ménage, et s'avère plutôt lourde dans le traitement des données. Quant à la méthode de conversion des dépenses, la démarche est la suivante :

- On demande d'abord le montant dépensé par un client à chaque achat de combustible<sup>1</sup> et la durée de consommation de la quantité achetée. La période entre deux achats varie selon la classe de ménages ;
- Ensuite, on divise la somme dépensée par le prix moyen du kilogramme de combustible pour obtenir la quantité consommée entre deux achats ;
- Puis, on divise la quantité calculée par la taille de chaque ménage pour aboutir à la consommation par jour par personne (en kg/jour/habitant) ;
- Enfin, on multiplie la consommation par tête par 30 pour obtenir la quantité consommée mensuellement, appelée aussi indicateur de consommation (en kg/mois/habitant) (Ouedraogo, 2002).

Cette méthode a l'avantage d'être simple et non coûteuse. En plus, elle est appliquée au niveau des consommateurs, c'est à dire en aval de toutes les activités au sein de la filière charbon de bois, donc incorpore tous les éléments de coût et bénéficie de tous les acteurs.

## 2.3 Caractéristiques et utilisation des foyers améliorés

---

<sup>1</sup> Il a été remarqué que les ménages déboursent le même montant de façon régulière pour acheter la même quantité de charbon.

L'utilisation des foyers améliorés (FA) n'est pas un processus qui va de soi, mais conditionnée par des facteurs jugés pertinents par les ménages. D'abord, les modèles et les programmes de promotion de FA seront présentés dans cette étude. Ensuite, plusieurs facteurs pouvant influencer la manière d'utiliser un FA, ou ne pas l'adopter, seront analysés. Ces facteurs sont : les sources d'énergie autres que le charbon de bois adoptées par les ménages, les caractéristiques socioéconomiques, et la performance des FA.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Les classes de ménages

Une classe de ménages se réfère non seulement au combustible et à l'équipement utilisé, mais aussi au niveau de consommation correspondante. Dans notre étude, nous avons identifié sept classes (Figure 1) significatives au sein de la commune, que sont :

- La classe des ménages monocombustibles utilisant uniquement le charbon (charbon-seul) ;
- La classe des ménages bicomcombustibles constituée de charbon-bois, charbon-gaz et charbon-électricité. Ces ménages ont le charbon comme combustible primaire combiné avec un autre, le combustible secondaire ;
- La classe des ménages tricombustibles formée de charbon-gaz-électricité et charbon-électricité-bois. Comme la classe précédente, le charbon constitue toujours le combustible primaire, mais combiné avec un combustible secondaire, le gaz ou le charbon, et d'un combustible tertiaire, l'électricité ou le bois ;
- La classe des ménages sans combustibles solides, c'est-à-dire n'utilisant que du gaz combiné ou non avec l'électricité.

Toutes ces classes dépendent du charbon de bois en tant que combustible primaire, sauf la classe gaz-électricité, ce qui rend très important le rôle joué par les FA dans l'économie de charbon de bois.

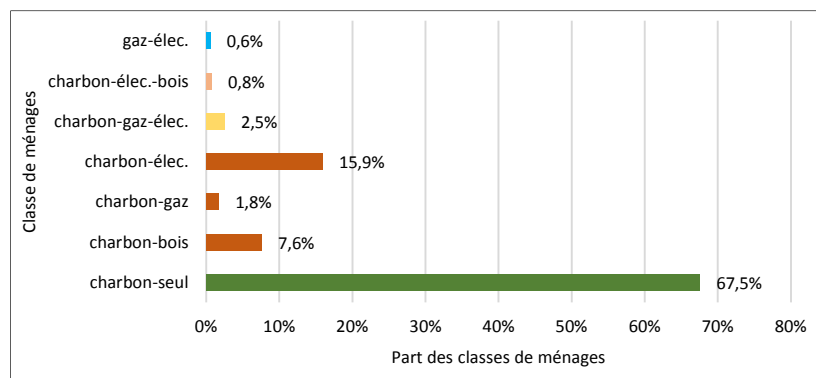


Figure 1 : Pourcentage des classes de ménages (Source : auteur)

En se référant aux classes de ménages définies précédemment, la figure 1 représente la répartition des ménages de la commune en termes de taux d'utilisation des différents combustibles de cuisson :

- ☞ La classe des ménages monocombustibles (charbon-seul) domine fortement avec 67,5% des ménages;
- ☞ Pour la classe des ménages bicomcombustibles, leur pourcentage se totalise 25,3 %, dont la combinaison charbon-électricité est pratiquée par 15,9 %, suivi de la classe charbon-bois à 7,6 % et celle du charbon-gaz, 1,8 % ;
- ☞ Le pourcentage des ménages tricombustibles est faible, 2,5 % pour la classe charbon-gaz-électricité et 0,8 % pour le charbon-électricité-bois ;
- ☞ Il est important de mentionner ici le faible pourcentage des ménages cuisinant avec aucun combustible solide, 0,6 %, n'utilisant que du gaz combiné ou non à l'électricité.

Ces différents pourcentages permettent de voir à quel niveau se trouve la commune dans la réalisation de la transition énergétique ? En termes simplifiés de transition énergétique, ces pourcentages veulent dire qu'au sein de la commune, seulement 0,6 % des ménages (classe gaz-électricité) ont pu monter

sur l'échelle énergétique pour se trouver parmi les ménages ayant un revenu considéré comme élevé. Autrement dit, 75,1 % (charbon-seul et charbon-bois) ont un niveau de revenu plutôt bas ou même très bas. Le reste, en combinant les combustibles solides et non solides, se trouve dans la classe des revenus moyens. Cependant, la réalité n'est pas aussi simpliste, car plusieurs facteurs influencent plus ou moins fortement le comportement des ménages, riches et pauvres, dans les cuissons alimentaires, surtout dans le choix du combustible.

### 3.2 La promotion des foyers améliorés

Un foyer pour cuisson est défini comme un équipement servant à produire suffisamment de chaleur à partir de la combustion d'une ressource pour réchauffer ou cuire des aliments dans le but de les consommer ou de les conserver. Il permet de soutirer l'énergie contenue dans le combustible pour la transférer ensuite aux repas à travers les marmites.

Un foyer est considéré comme *amélioré* lorsqu'il présente plus d'efficacité techniquement et financièrement et son utilisation est plus sûre qu'un foyer traditionnel. Naturellement, il permet de brûler une quantité moins importante de charbon pour la préparation d'un même repas et d'émettre moins de gaz polluant.

Pour les combustibles ligneux, les actions visant à améliorer le rendement des foyers ont un impact direct non seulement sur le niveau de consommation, mais aussi sur les ressources ligneuses ; d'où la création et la promotion des FA à charbon.

Depuis plusieurs dizaines d'années, la vulgarisation des FA a été l'objectif de nombreux projets relatifs au bois énergie financés par des organismes nationaux et internationaux. Par sa situation géographique, la commune d'Andranahoatra et ses habitants se trouvent au centre de ces projets qui œuvrent surtout en milieu urbain concernant le charbon de bois.

Depuis les années 90, le gouvernement, appuyé les bailleurs de fonds, a lancé des programmes de promotion des FA, dont les objectifs sont d'ordre : – Sanitaire par la réduction des maladies respiratoires dues aux fumées – Economique par la réduction des dépenses liées à la consommation de combustibles – et environnemental par la réduction de la déforestation et la diminution des émissions de GES.

Techniquement, l'efficacité thermique des FA n'est pas à discuter même si leur utilisation est restée marginale dans certains endroits, malgré l'intérêt porté par les consommateurs pour ce type de foyers. Nous essayons d'en discerner les causes dans une autre section. Ce qui est important, c'est que lorsque les FA sont fabriqués dans les normes, ils permettent d'économiser jusqu'à 68 % de bois par rapport au «cuiseur traditionnel», selon le Ministère de l'Energie (2012). L'étude réalisée par le GIZ (2016) sur la chaîne de valeur « Foyers améliorés » rapporte des informations intéressantes : l'utilisation du foyer amélioré permet d'économiser 30 % d'énergie par rapport au foyer métallique traditionnel. Ce pourcentage est encore plus élevé si les ménages pratiquent un comportement économe en énergie pendant les cuissons. L'épargne représente 21 €/ménage/an. En outre, l'utilisation des FA permet également d'éviter 0,52 jour/an de maladie (Nouvelle Politique de l'Energie, 2015) par la diminution de fumées nocives à la santé humaine. Par ailleurs, du point de vue environnemental, la réduction de la consommation des ménages en combustible entraîne la diminution des prélèvements dans les ressources forestières. La superficie préservée est évaluée à environ 0,2 ha de forêt par an. Du côté du marché, la vente d'un FA apporte un bénéfice d'environ 0,30 à 0,75 € au producteur en fonction de la saison et de la fluctuation des prix des matières premières. Tandis qu'un revendeur touche un surplus de 0,30 à 0,60 € par FA vendu.

Ces chiffres reflètent l'importance de l'usage des FA tant au niveau d'un ménage que pour le pays tout entier.

#### 3.2.1 Les modèles de foyers améliorés

Avec la réalisation des programmes susmentionnés, plusieurs modèles de FA sont vendus sur le marché, et ceci n'est pas exempté de problèmes. Tout soi-disant producteur de FA écoule ses produits sur le marché d'une manière formelle ou informelle. Il a été constaté que l'Etat n'arrive pas à réguler

le marché, malgré le financement obtenu vu l'ampleur des projets. Actuellement, le CNRIT est l'organisme d'Etat habilité à valider un prototype de FA qui lui est présenté. Dans ce domaine, certains organismes et fabricants respectent de manière satisfaisante les normes, notamment les dimensions, la qualité et le comportement thermique de la couche d'argile et l'enveloppe en tôle neuve ou de récupération. D'autres producteurs qui sont des potiers, artisans et ferrailleurs, fabriquent de manière informelle des FA juste pour des bénéficiaires commerciaux sans se soucier des normes techniques requises.

Un des modèles de FA vulgarisé auprès des consommateurs est le foyer à charbon 3M (Mitsitsy, économe – Mateza, durable – Mora, moins cher) de la figure 2, créé par le CNRIT. Il est fabriqué à partir d'argile, de terre rouge, de sable et de tôle neuve. Avec ses 25 cm de diamètre, le 3M pèse entre 8 et 10 kg. L'économie de charbon de bois obtenue avec le 3M peut aller jusqu'à 29 % (par rapport au foyer traditionnel) pour un rendement maximum de 31 % (Association Etc Terra Madagascar, 2018).



Figure 2 : Foyer amélioré 3M

La technique de fabrication est constituée des process suivants : moulage de l'argile, polissage, séchage, cuisson, travail du métal, assemblage de l'argile et du métal. Ces techniques (Figure 3) sont appliquées d'une manière industrielle, semi-industrielle ou artisanale, selon le producteur, formel ou informel.



Figure 3 : Foyer amélioré « Oli-C » de l'ADES<sup>2</sup>, Foyer en brique et Foyer métallique

Comme le marché est vaste, d'autres types de FA ont été également diffusés, notamment celui de l'ADES. En outre, beaucoup de familles fabriquent elles-mêmes leurs propres FA pour leurs besoins spécifiques (taille de la marmite par exemple) et surtout pour économiser de l'argent. Ce sont des foyers construits en briques (FAB)<sup>3</sup> installés de manière fixe dans le lieu de cuisson qui n'est pas forcément une cuisine proprement dite. Enfin, dans la commune d'Andranonahoatra, certains ménages s'accrochent encore aux foyers métalliques (FM), malgré les programmes suscités. Nous parlerons de ces ménages dans un paragraphe ultérieur.

### 3.2.2 Classes de ménages et foyers améliorés

<sup>2</sup> Deux types de foyers ont été vulgarisés par l'ADES, dont « Oli C » qui fonctionne au charbon, tandis que « Oli B » s'utilise avec du bois de chauffe (Source : ADES, 2012).

<sup>3</sup> Nous considérons les foyers en briques (FAB) comme des foyers améliorés à cause de leur origine argileuse, la principale matière première de fabrication des FA.



Au sein de la commune d'Andranonahoatra, 80 % des ménages enquêtés possèdent au moins un FA, le nombre moyen est évalué à 1,68 FA par ménage. Parmi les ménages avec-FA, 81,2 % possèdent des FA en Argile (FAA) et 9,9 % des foyers améliorés faits en Briques (FAB). Il est intéressant de noter que 9,0 % des ménages combinent les FA avec des foyers Métalliques (FM). La figure 4 ci-dessous présente les pourcentages au sein de chaque classe de ménages.

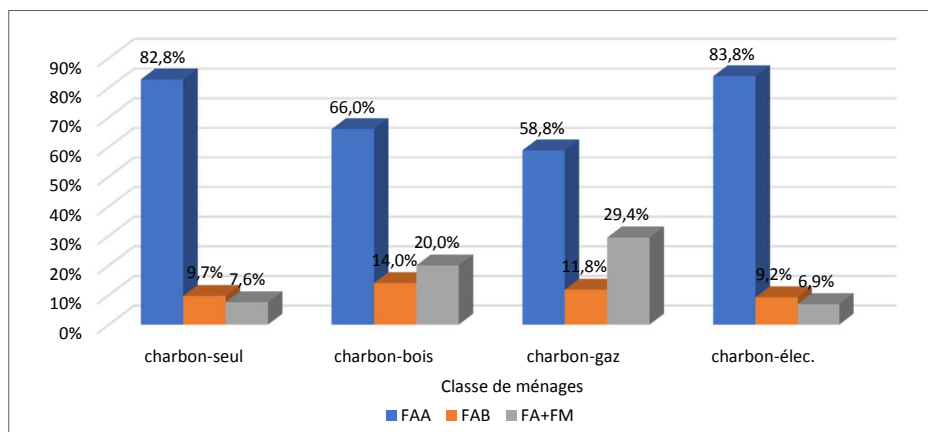


Figure 4 : Taux d'utilisation des trois types de foyer par classe de ménages

Trois remarques sur l'utilisation des FA peuvent être tirées de la figure 4 :

- ☞ Les ménages essaient, si leur trésorerie le permet, d'acquérir autant que possible des FAA, qui sont généralement les plus performants. Les FAA sont donc les plus utilisés quel que soit la classe de ménages considérée. Les familles monocombustibles (charbon-seul) et celles combinant le charbon et l'électricité sont les plus nombreuses, plus de 82 % possèdent au moins un FAA. Comme le charbon constitue le combustible primaire de tous les ménages considérés ici, économiser le charbon par l'utilisation de FA est un comportement tout à fait normal afin de diminuer les dépenses en énergie des ménages. C'est le niveau d'économie de charbon réalisée qui différencie les classes de ménages. Pour ceux qui utilisent exclusivement du charbon et ceux de la classe charbon-électricité, ils ont intérêt à adopter le FAA, surtout pour les plus pauvres, car l'effet est direct pour leurs portefeuilles. Ceci est confirmé par les faibles taux d'utilisation de FAB et FAB+FM, respectivement 9,5 % et 7,3 % ;
- ☞ Quant aux FAB, ils ne sont pas très prisés par les ménages, les taux de possession sont presque les mêmes, environ 10 %, sauf pour les ménages cuisinant au bois, dont le pourcentage est le plus élevé, 14 %. Comme les FAB sont les moins chers parmi les trois types de foyers, en prenant l'hypothèse du fuel switching relative à l'échelle énergétique (Masera et al., 2000 ; Toole, 2015), on peut considérer que ce sont les ménages plutôt pauvres utilisant le bois qui forment la majorité de ces 14%. Ils ont plus de difficulté à supporter les prix des FAA et se rabattent aux FAB qui coûtent beaucoup moins chers, ou presque rien s'ils sont faits maisons ;
- ☞ De par leur haut standing de vie, les ménages cuisinant avec du gaz font le moins d'économie de charbon, 58,8 % seulement possèdent un vrai FA (FAA). Ces ménages se soucient plutôt d'autres critères qui sont satisfaits par les FM, la durée de cuisson par exemple ; d'où le taux le plus élevé de combinaison de FAA et de FM, 29,4 %. Le tableau 1 suivant reflète ce niveau de consommation en charbon plus élevée pour les ménages cuisinant au gaz.

Tableau 1 : Comparaison de la consommation en charbon

Classe	Ménages bicomcombustibles			Ménages tricombustibles	
	Charbon-gaz	Charbon-électricité	Charbon-bois	Charbon-gaz-électricité	Charbon-électricité-bois
Consommation (kg/tête/mois)	11,496	10,544	8,395	8,109	6,856

En faisant une comparaison par groupe de ménages, bi et tricombustibles, les ménages adoptant le gaz sont toujours les plus consommateurs de charbon par tête, malgré le supplément d'énergie

apporté par le gaz et l'électricité. On en déduit que ce niveau de consommation est en relation avec un niveau de vie élevé et aussi des inconvénients et avantages des différents types de foyers.

### *Les ménages sans foyers améliorés*

Dans la commune d'Andranahoatra, les ménages sans-FA (Tableau 2) sont estimés à 20%, ce qui n'est pas négligeable vu les avantages et bénéfices qu'on peut tirer des FA. Il est donc intéressant de voir qui sont ces ménages et quels peuvent être les causes de leur comportement ?

Tableau 2 : Comparaison des ménages avec et sans foyers améliorés

	Chef de ménage Universitaire (%)	Nombre de bacheliers	Villa + appartement (%)	Maisons en durs + trad. (%)	Accès électricité (%)	Charbon- seul (%)	Utilisant du bois (%)
Avec-FA	19	1,3	9	88	80	72	7
Sans-FA	15	1,1	6	91	76	62	17

A voir le tableau 2 ci-dessus, l'attitude de ces ménages est justifié pour des raisons sociale, économique et énergétique :

- ☞ Dans le domaine de l'éducation, le pourcentage des chefs de ménages avec-FA ayant un niveau universitaire est 4 % supérieur à celui des chefs de ménages sans-FA. En relation avec cette situation, le nombre moyen de bacheliers par famille est également moins élevé au sein des ménages sans-FA, en moyenne 1,1/ménage, contre 1,3 pour les avec-FA;
- ☞ En matière de logement, moins de familles sans-FA vivent dans des villas et appartements, 6 % contre 9 %. Les 3 % de différence sont logés dans des maisons en matériaux durs et maisons traditionnelles ;
- ☞ Pour l'accès à l'électricité, moins de ménages sans-FA ont accès à ce bien, qui compte parmi les indicateurs de l'OMD (Objectif du Millénaire pour le Développement) ;

En conséquence, le résultat est clair : seulement 62 % des ménages sans-FA sont monocombustibles, contre 72% pour les ménages avec-FA. En revanche, les sans-FA dépendant du bois sont 10% plus nombreux que les ménages avec-FA.

De ces faits, on peut déduire qu'une partie des ménages sans-FA ne sont ni convaincus ni suffisamment conscients de l'objectif des FA, d'autres n'ont pas le moyen financier suffisant pour s'en procurer. La liste des arguments n'est pas exhaustive, nous essayons de présenter dans la section suivante les arguments techniques.

### 3.2.3 Performance des foyers améliorés

L'utilisation des FA est sensée diminuer la consommation des ménages en charbon de bois pour les cuissons alimentaires. Si le taux de pénétration des FA est satisfaisant avec 80 % des ménages dans la commune d'Andranahoatra (tous FA confondus), ces ménages ont encore besoin de formation, voire des rectifications dans l'utilisation de ces foyers pour atteindre l'efficacité recherchée. En effet, en prenant l'hypothèse que tous les ménages possédant un FA l'utilisent tous les jours pendant les cuissons alimentaires, les causes suivantes ont été identifiées comme source de problèmes relatifs à l'usage de ces foyers.

#### a) *Le marché*

Les prix des FAA sont très variables selon le type de foyer et le producteur. En effet, lors de notre enquête, on a évalué que les prix des FAA varient de 1 500 Ar à 15 000 Ar, avec un prix moyen pondéré de 4 262 Ar/foyer, toutes classes de ménages confondues. Notons que les FA respectant les normes, fabriqués par des producteurs formels et par des projets financés par les bailleurs de fonds se vendent en moyenne à 6 000 Ar/FA (prix en 2018). Seulement 21 % des ménages ont les moyens financiers pour l'acquérir, c'est-à-dire les plus aisés. Quant au FAB, son prix moyen s'élève à 2 000

Ar. Cette situation montre l'existence d'un marché non régulé par l'entrée de produits issus du secteur informel et sans contrôle de qualité. Il a été également remarqué que les FAA aux normes sont plutôt vendus dans les magasins, quincailleries et lieux de ventes qui ne sont pas familiers à la majorité de la population. Contrairement à cela, les FAA ne respectant pas les normes sont vendus aux marchés à côté d'une marchande de légumes, par exemple, et à bas prix. Le résultat est l'augmentation de la part du marché de ces FAA moins efficaces. La situation est aggravée par la faiblesse du pouvoir d'achat des ménages qui n'hésitent pas d'acheter les FA très bon marché.

#### *b) Ergonomie et Rendement thermochimique*

Dans la pratique, les FA sont plus difficiles à manipuler que les FM du fait de leur poids. Dans la plupart des cas, lors de l'allumage, le FA est déplacé dans un lieu où la vitesse du vent est suffisamment élevée pour qu'il y ait début de formation de braise de charbon, puis remis sur le lieu de cuisson. Dans la commune d'Andranonahoatra, 67 % des ménages ayant un FA cuisent leurs repas à l'intérieur de leur habitat, en l'occurrence dans la cuisine. A la longue, beaucoup de femmes et d'enfants abandonnent ce va-et-vient à cause du poids du FA, et finissent par préparer les repas à l'extérieur. Ainsi, elles font augmenter le pourcentage des ménages (17 %) qui le font sur le lieu d'allumage, souvent trop aéré.

En conséquence, la cuisson dans un lieu très aéré fait augmenter la vitesse de réaction d'oxydation du charbon. Selon la vitesse du vent, cette pratique risque d'augmenter les pertes par convection thermique entre les flammes ravivées par l'excès d'air et le milieu ambiant, sans diminuer pour autant la durée de cuisson. Certes, si l'aliment à cuire est tendre, on arrive à écourter la durée de cuisson, sinon cela n'entraîne qu'une augmentation inutile de la quantité de charbon à brûler. En revanche, inversement, une cuisson à l'intérieur de l'habitat avec insuffisance d'air signifie production d'imbrulés, donc un rendement de combustion plus faible, et surtout pollution de l'air respiré par les membres de la famille. A l'intérieur comme à l'extérieur, certains ménages risquent de s'éloigner facilement de l'objectif visé sans en être conscients.

Thermochimiquement, la quantité d'air comburant injectée dans le foyer est importante, car elle affecte fortement le rendement de la combustion. Dans le cas que nous étudions, c'est-à-dire la cuisson à l'extérieur, un trop grand excès d'air mène à une baisse de rendement et fini par une baisse de la température, ce qui risque d'augmenter encore plus la durée de cuisson. Toutefois, contrôler d'une manière précise la répartition de l'air comburant autour d'un morceau de charbon est impossible à réaliser, sauf à l'échelle de laboratoire ; d'ailleurs, le débit réel de l'air entrant dans le foyer est variable. Ce qu'il faut rechercher par expérience, c'est que les ménages devraient avoir le bon sens d'approcher l'optimum de la quantité d'air à apporter en choisissant convenablement le lieu de cuisson.

#### *c) Durée de vie des foyers améliorés*

Concernant toujours l'utilisation des FA à l'extérieur, après les cuissons, les FA ont l'avantage de pouvoir garder les repas au chaud pendant un certain temps, en fonction de la température et de la vitesse du vent du lieu. Si les ménagères ne savent pas calculer quelle quantité de charbon mettre dans le foyer, et c'est souvent le cas, alors après la cuisson il reste encore une masse non négligeable de charbon qui reste. De là vient la diminution de la durée de vie des foyers en général, car pour récupérer la quantité de charbon restante, les ménagères arrosent le FA avec de l'eau souvent en abondance pour éviter le risque d'incendie. Par prudence certaines ménagères déversent d'abord les restes du charbon avant de les arroser avec de l'eau pour éviter de mouiller le FAA. Le fait de mettre presque tous les jours le FA (encore chaud dans certains cas) au contact de l'eau produit non seulement des fissures à l'intérieur de la masse d'argile, mais accélère également une réaction d'oxydation au niveau de l'enveloppe métallique (Figure 5). Ce qui diminue beaucoup la durée de vie des FAA. Au sein de la commune, la durée de vie moyenne des FAA est d'environ 10 mois, celle des FAB est presque le double, 19 mois, alors que le rapport des prix des deux types de foyers est de 0,47 en faveur du FAB. Ce qui justifie le comportement des 11,4 % des ménages se contentant des FAB. Certains ménages décident même de revenir aux foyers métalliques ou combiner le FA avec du FAB. Ces ménages comptent 3,6 % des ménages enquêtés. Il est important de noter qu'au moment de notre descente sur



terrain, parmi les ménages sans-FA, 20 % utilisaient du FA auparavant, mais l'ont délaissé complètement pour revenir aux FM exclusivement.



Figure 5 : Foyers améliorés en pleine détérioration

Il ne faut pas oublier non plus que les matières premières et les techniques de production employées par les fabricants sont également vitales pour la durée de vie d'un FAA.

d) *Economie de charbon*

A travers les programmes de promotion de FA, les sensibilisations rendent les ménages convaincus des bénéfices obtenus par l'usage de ces foyers. Mais, après un temps d'apprentissage ou en attendant que les habitudes s'installent, les mauvais comportements qu'on voulait éviter avec les FM commencent à resurgir, surtout en termes de quantité de charbon par cuisson. Pour diverses raisons, notamment la diminution de la durée de cuisson et/ou l'habitude de voir des braises de charbon, les ménagères mettent plus de charbon qu'il n'en faut, ce qui est contraire à l'objectif de l'utilisation des FA.

Tableau 3 : Consommation de charbon selon le foyer utilisé

Type de foyer	FAA	FM	FAB	FAA+FM	FAB+FM
Consommation (kg/tête/mois)	9,551	9,933	10,200	10,784	12,435

Ce tableau 3 montre une situation qui mérite l'attention. En termes de quantité moyenne de charbon consommé par tête, seul le FAA avec 9,551 kg/tête arrive à battre le FM, 9,933 kg/tête. Entre ces deux foyers, en moyenne l'économie de charbon réalisée n'est que 3,8 % de la consommation avec le FM, ce qui est très loin des 30 % escompté (GIZ, 2017).

Enoncé autrement, à part les FAA, aucun foyer ni combinaison de foyers ne peut concurrencer le FM en termes de rendement thermique relatif au poids de charbon consommé. La Figure 6a-6b montre l'usage des FA non conforme à la réglementation.



Figure 6 : Usage de foyers améliorés

Les figures 6a et 6b ci-dessus dévoilent un usage non adéquat des FA :

- ☞ A cause de la non-utilisation des supports pour la marmite, la quantité optimale de charbon déposée dans le FA n'est plus respectée. On a déjà mentionné que la recherche d'une durée de cuisson plus courte peut en être la cause, conduisant les ménagères à mettre plus de charbon. Le résultat est que pour ces surplus de charbon, la couche d'argile ne joue plus son rôle d'isolant thermique, qui est la caractéristique principale des FA.
- ☞ Il y a aussi l'idée de mettre plus de charbon au début de la cuisson pour éviter d'en ajouter en pleine cuisson, dans le cas de la préparation d'un aliment dur. La force des FM peut donc résider dans le volume de son contenant qui est supérieur à celui des FA. En plus, si le volume de charbon ne dépasse pas le bord supérieur du FM, les pertes sont amoindries, ce qui le met au deuxième rang dans le tableau 2.

Girard (2002) avance un autre argument concernant l'espèce de bois à l'origine du charbon, rendant le FAA moins attrayant, il conclut : *“Il conviendrait en particulier de revoir la conception des foyers améliorés à charbon, car la plupart de ceux que l'on utilise aujourd'hui ne conviennent pas bien aux charbon de bois d'essences légères, qui y brûlent trop rapidement et avec une trop forte intensité, non conformes aux attentes des consommateurs.”*

Le GIZ (2017) présente d'autres arguments :

- ☞ L'amortissement des FAA qui est de 03 mois, le rendant moins convaincant pour les ménages à bas revenu ;
- ☞ La longévité des FM fabriqués avec des tôles de récupération suffisamment épaisses. Ce type de FM peut avoir un prix élevé, mais son utilisation est rentable à cause sa durée de vie très longue.

Avec ces deux arguments, les FAA risquent de ne pas attirer ni les ménages à bas revenu, ni les plus riches.

### 3.2.4 Coût de l'énergie utile

Généralement, la notion d'énergie utile peut ne rien dire pour un consommateur quelconque, ce qu'il veut, par exemple, est un repas cuit de manière convenable qualitativement et quantitativement. Pour lui, la cuisson n'est qu'un processus pour arriver à ses besoins. Cependant, nul ne peut ignorer qu'une certaine masse de combustible est nécessaire pour être utilisée avec un équipement donné. Avec un mode d'utilisation variable d'un équipement, la quantité d'énergie contenue dans le combustible est convertie en chaleur pour cuire un repas donné. C'est cette quantité d'énergie transformée en chaleur qui est appelée énergie utile.

Vu qu'elle est produite à travers un équipement, un foyer dans notre cas, l'énergie utile ne peut être séparée du rendement de l'équipement utilisé. Le rendement d'un équipement représente le rapport entre l'énergie utile et l'énergie distribuée (calculée à partir du PCI et du poids du combustible). En ramenant le rapport au prix du combustible, on aboutit au coût de l'énergie utile.

Dans notre étude, sans pouvoir réaliser des tests de cuisson comparée qui ont été déjà menés par nombreux chercheurs, nous considérons les rendements des FAA et FM donnés par les littératures (Neumann 1992 ; GIZ, 2017).

Soit  $R_{FA}$  et  $\tau_{FA}$  respectivement le rendement global et le taux d'utilisation des FA auprès de la population, tous types confondus, et  $R_{FM}$  et  $\tau_{FM}$  ceux des FM. Le rendement moyen de l'utilisation du charbon sera :

$$R_{moy} = R_{FA} * \tau_{FA} + R_{FM} * \tau_{FM}$$

En prenant  $R_{FM} = 20\%$  (Neumann, 1992), et  $\tau_{FM} = 1 - \tau_{FA}$ , on aura :

$$R_{moy} = R_{FA} * \tau_{FA} + 0,2*(1 - \tau_{FA})$$

$$R_{moy} = \tau_{FA} * (R_{FA} - 0,2) + 0,2 \quad (1)$$

En tenant compte du prix du charbon, le coût de l'énergie utile s'écrit :

$$CU_{\text{charbon}} = \frac{P_{\text{charbon}}}{R_{\text{moy}} * PCI_{\text{charbon}}} \quad (\text{Ar/MJ})$$

En introduisant le terme du  $R_{\text{moy}}$  (éq. 1),

$$CU_{\text{charbon}} = \frac{P_{\text{charbon}}}{PCI_{\text{charbon}} * [\tau_{\text{FA}} * (R_{\text{FA}} - 0,2) + 0,2]} \quad (\text{Ar/MJ}) \quad (2)$$

En considérant les valeurs relevées lors de notre enquête, c'est à dire 632 Ar/kg le prix du charbon, un taux de possession de FA de 80 %, un et PCI du charbon de 30 MJ/kg, on aura :

$$CU_{\text{charbon}} = \frac{105}{0,2 + 4 * R_{\text{FA}}} \quad (\text{Ar/MJ}) \quad (3)$$

L'équation (3) permet d'évaluer l'effet de l'utilisation des FA en calculant l'énergie utile issue des deux autres sources d'énergie de cuisson, qui sont le bois et le gaz. La comparaison est présentée par la figure 7 ci-dessous.

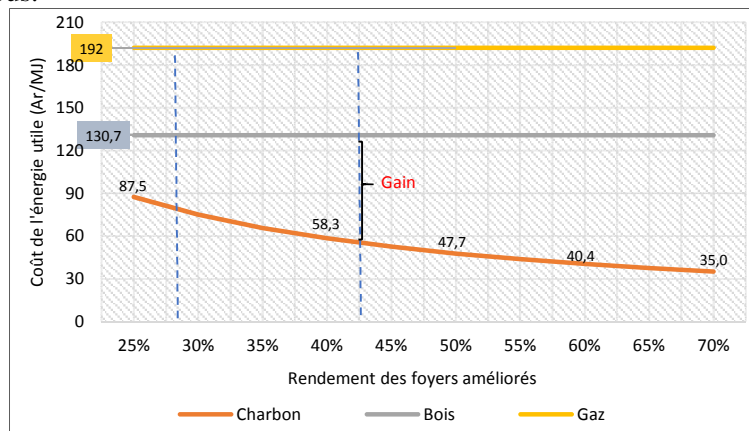


Figure 7 : Coût de l'énergie utile en fonction du  $R_{\text{FA}}$

En utilisant la représentation graphique de l'équation 3, la figure 7 montre que l'utilisation des FA est toujours bénéfique pour les ménages. Dans le cas présent, le gain obtenu dépend du rendement  $R_{\text{FA}}$ . Le recours au charbon de bois s'avère donc inévitable pour les ménages urbains. Les calculs montrent qu'avec un prix du bois à moins de 135 Ar/kg (son prix actuel est de 200 Ar/kg), ce combustible commence à être meilleur que le charbon. C'est ce qui se passe en milieu rural où le bois est très difficile à substituer à cause du coût de collecte qui est souvent nul en termes de trésorerie. Même si les bois collectés ont un faible PCI, dû à l'humidité par exemple, l'énergie utile ne coûte toujours presque rien en milieu rural. Quant au gaz, il ne peut concurrencer le charbon que pour un prix inférieur à 2 700 Ar/kg, c'est-à-dire subventionner plus de 46 % de son prix actuel.

On peut déduire qu'en milieu urbain, tout ménage qui utilise encore du bois dans la cuisine a tendance à être plus pauvre, sauf si l'utilisation du bois est uniquement pour les cérémonies. Pour le même montant de dépenses, ces ménages généralement à bas revenu, risquent d'être doublement perdant en payant plus cher le mégajoule (130,7 Ar), et manger moins en quantité, car un surplus de dépenses et affecté à l'achat du bois ; sans parler des autres inconvénients du bois (volume de fumées, plus d'espace pour le stockage par rapport au charbon, commerçants plus rares en milieu urbain...).

Bref, la quasi-totalité des ménages urbains, 98,4 %, s'accroche au charbon autant que possible, car en terme d'énergie utile, c'est le moins chère parmi les trois combustibles. Il est donc évident que les ménages monocombustibles sont les plus avantageés par l'utilisation du charbon, et les plus économes en énergie. Avec les taux d'utilisation actuelle des FA et des FM, en moyenne, ces ménages achètent à 75 Ariary<sup>4</sup> le mégajoule d'énergie utile. Ceci n'est pas le fruit du hasard, car à part ce faible coût, le charbon a aussi plusieurs points forts, le rendant difficile à substituer, du côté des consommateurs urbains.

<sup>4</sup> Ce montant est obtenu en prenant  $R_{\text{moy}}=27,7\%$ ,  $\tau_{\text{FA}}=80\%$  et  $P_{\text{charbon}}=632$  Ar/kg

Tableau 3 : Coût économique des foyers à charbon (en \$US de 2017)

Type de foyer (bois et charbon)	Coût d'achat	Coût sanitaire	Coût total
Traditionnel	676	16 617	17 293
Amélioré	484		484

(Source : Association Etc Terra Madagascar, 2018)

Selon le tableau 3, on peut dire que l'utilisation d'un foyer amélioré à bois ou à charbon permettrait d'économiser 16 617 \$US de coût sanitaire pour la collectivité. Ce coût évité représente une augmentation de la capacité de production de la population qui se répercute sur l'économie globale du pays.

#### 4. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de présenter une analyse critique de l'utilisation des foyers améliorés au sein de la commune d'Andranonahoatra. L'usage du charbon dans la cuisine donne suffisamment d'avantages pour que la plupart des chercheurs attestent qu'à l'horizon 2 050, la majorité des ménages urbains dans les pays en développement dépendront encore du charbon si des projets de grande envergure ne sont pas entrepris dès maintenant. D'ici là, la cuisson au charbon est un passage obligé pour la transition énergétique vers des combustibles plus propres. Malgré les faits évoqués dans cette étude, les foyers améliorés resteront un instrument incontournable dans l'efficacité de la filière bois-énergie tant du point de vue énergétique qu'économique et environnemental. Des améliorations à plusieurs niveaux sont toujours nécessaires pour que l'utilisation des foyers améliorés apporte ses fruits.

#### BIBLIOGRAPHIE (classée par ordre alphabétique)

Association Etc Terra Madagascar, 2018. Capitalisation des secteurs biogaz et foyers améliorés à Madagascar. Aga Khan Foundation, Union Européenne, Commission de l'Océan Indien.

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2016. Chaîne de valeur "foyer amélioré". Ministère de l'Énergie, 2015. Nouvelle Politique de l'Énergie, Madagascar.

Girard Philippe, 2002. Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique ? Unasylva 211, Vol. 53.

Masera Omar Rasmus, Saatkamp Barbara D., Kammen Daniel M., 2000. From linear Fuel Switching to Multiple cooking strategies: a critique and alternative to the energy ladder model. Elsevier, World Development Vol. 28, No. 12, pp. 2083-2103.

Ministère de l'Énergie, 2012. Diagnostic du secteur Énergie à Madagascar.

Neumann Ali, 1993. Dynamique des ressources et de l'utilisation des combustibles ligneux: Analyse et modélisation dans le cas du Sénégal. Thèse n°1104 (1992), Département Génie-civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Ouedraogo Boukary, 2002. Éléments économiques pour la gestion de l'offre et de la demande du bois-énergie dans la région de Ouagadougou. Université de Ouagadougou, Université Montesquieu-Bordeaux IV.

Toole Rebecca, 2015. The energy ladder: a valid model for household fuel transitions in Sub-Saharan Africa?