

Étude de l'influence de la taille de la marmite sur l'efficacité énergétique d'un foyer amélioré de type ménage

Tchini Séverin TANO^H*, Natty Nattoye KPAI, Sayon dit Sadio SIDIBE et Marie SAWADOGO

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement-2iE, Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburant (LBEB), 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso

* Correspondance, courriel : tchini.tanoh@2ie-edu.org

Résumé

La présente étude vise à déterminer l'influence de la taille de la marmite sur l'efficacité énergétique d'un foyer amélioré métallique. Elle s'inscrit dans une démarche contributive à la connaissance de l'impact de l'utilisation d'une marmite de dimension donnée sur les calculs de crédit carbone dans le cadre des programmes foyers améliorés. Le foyer a été soumis au Test d'Ébullition de l'Eau en utilisant cinq marmites, de différentes tailles, disponibles sur le marché local Burkinabè. Ces marmites communément appelées par les numéros 2, 3, 4, 5, 6 ont pour diamètres respectifs 24, 27, 31, 32, et 33 cm. Le rendement thermique maximal du foyer (39 %) a été obtenu avec la marmite numéro 4. Cette marmite permet au foyer de réaliser la meilleure consommation spécifique de combustible ($31 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$). Pour les autres marmites, le foyer a présenté de faibles rendements thermiques (23 à 36 %). Par conséquent, la marmite 4 est la plus appropriée au foyer étudié. Au terme de cette étude, il ressort que pour un meilleur calcul des crédits carbone liés aux programmes de foyers améliorés, il faudrait s'assurer que les foyers distribués soient utilisés avec les marmites appropriés.

Mots-clés : *foyer amélioré, rendement thermique, crédit carbone.*

Abstract

Study of pot size effect on energy efficiency of a domestic cookstove

The present study seeks to determine the influence of pot size on the energy efficiency of a metallic improved cookstove. It is part of a contributory approach to the knowledge of the impact of a given size pot on carbon credit calculations within the framework of improved cookstoves programs. The studied stove was submitted to the Water Boiling Test (WBT) using five pots of different sizes available on the local market in Burkina Faso. These pots commonly referred to by the numbers 2, 3, 4, 5, 6 have the respective diameters 24, 27, 31, 32, and 33 cm. The highest thermal efficiency of the household (39 %) was obtained with the pot number 4. This pot allows the cookstove to perform the best specific fuel consumption ($31 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$). For other pots, the cookstove showed lower thermal efficiencies (23 to 36 %). Therefore, pot 4 is most appropriate to the studied stove. From this study, we can conclude that for the best calculation of carbon credits related to cookstoves programs, the distributed stoves should be used with the appropriate pots.

Keywords : *improved cookstove, thermal efficiency, carbon credit.*

1. Introduction

Les foyers améliorés constituent un moyen efficace pour réduire les consommations de bois-énergie dans les ménages et minimiser la pression sur les périmètres forestiers. Depuis plus de 40 ans, un grand nombre de foyers améliorés de conception très variée (formes, tailles, matériau de construction, type de combustible) et destinés à diverses utilisations ont été diffusés sur le continent africain au travers de multiples programmes [1 - 3]. Pour s'assurer de leur capacité à réaliser les économies de bois escomptées, les foyers sont soumis au «Water Boiling Test» (WBT), proposé par la fondation Shell et adopté par le Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC) en raison de sa facilité de conduite et la rapidité d'application des procédures [4]. Le protocole du WBT, initialement conçu pour les foyers au bois, est aussi applicable aux foyers à charbons [5 - 7]. Le WBT précise les spécifications techniques permettant d'obtenir la répétabilité des résultats parmi lesquelles figurent les caractéristiques du combustible, le type de marmite à utiliser, etc. En ce qui concerne le type de marmite, il faut noter que le test est réalisé avec un seul type rempli au 2/3 de sa capacité pour les foyers n'ayant pas de marmite standard d'utilisation. Dans la pratique, les ménages utilisent, pour un même foyer, des marmites de différentes tailles. Ceci pourrait entraîner une sous-estimation ou une surestimation de l'efficacité réelle du foyer et justifier le fait que certains foyers améliorés n'arrivent pas à atteindre les économies de bois escomptées sur le terrain [8]. En effet, [9] soutiennent que la taille de la marmite n'affecte pas le rendement thermique du foyer. [10] montre qu'en fonction de la taille de la marmite la différence de rendement thermique peut varier de 5 à 15 %. [11] recommandent l'utilisation des marmites de grand diamètre pour une surface de transfert de chaleur élevée, contribuant ainsi à obtenir de meilleurs rendements thermiques. Face à ce constat, une contribution à la connaissance de l'influence de la taille des marmites sur les performances énergétiques des foyers améliorés s'avère opportune. C'est dans cette optique que la présente étude a été conduite. Elle vise à déterminer l'influence de la taille de la marmite sur les rendements thermiques d'un foyer au charbon de type ménage.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Le foyer amélioré

Le foyer utilisé dans le cadre cette étude est le foyer métallique au charbon de bois de 33 cm de diamètre et 25 cm de hauteur (*Figure 1*).

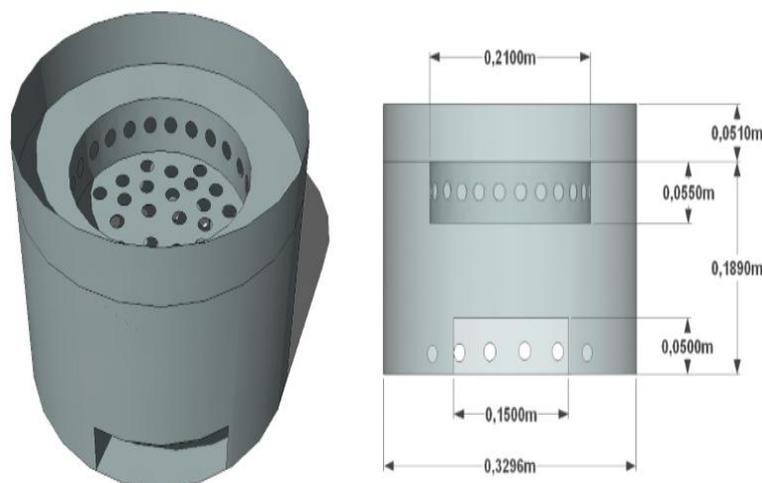


Figure 1 : Les caractéristiques géométriques du foyer métallique

2-1-2. Le combustible

Le combustible utilisé est le charbon de bois obtenu sur le marché local. Il a été analysé en vue de déterminer les taux d'humidité, de matières volatiles et de cendres. Son taux d'humidité a été mesuré suivant la norme européenne EN 14774-1. Outre l'analyse immédiate, le pouvoir calorifique du charbon a été déterminé conformément aux références normatives suivantes : NF M03-005, EN 14918 et ISO 1928.

2-1-3. Les marmites

Dans cette étude, cinq (5) marmites de tailles différentes ont été utilisées sur le foyer métallique. Ces marmites sont fabriquées localement à base d'un alliage d'aluminium et de fer. Le **Tableau 1** présente les caractéristiques de chacune des marmites utilisées.

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes marmites

Taille	Masse (kg)	Diamètre (cm)	Capacité au 2/3 (L)
Marmite n°2	1,00	24	3,45
Marmite n°3	1,05	27	4,00
Marmite n°4	1,66	31	6,86
Marmite n°5	1,91	32	7,35
Marmite n°6	1,99	34	9,00

2-2. Méthodes

• *Le Test d'Ébullition de l'Eau*

Le Test d'Ébullition de l'Eau (TEE), en anglais : Water Boiling Test (WBT), est une simulation grossière de la cuisson qui permet de comparer les performances énergétiques des foyers testés. Dans cette étude, les tests ont été réalisés suivant la version 4.2.2 publiée sur le site web du Global Alliance for Clean Cookstoves (<http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>). Le TEE comprend trois (3) phases qui s'exécutent l'une à la suite de l'autre : le démarrage à froid, le démarrage à chaud et la phase de mijotage. La fin des 2 premières phases est déterminée par l'atteinte de l'ébullition de l'eau, tandis que la durée de la troisième est fixée à 45 min.

- ✓ Démarrage à froid : cette première phase commence avec le foyer, la marmite, et l'eau à la température ambiante et le foyer est utilisé jusqu'à ce l'eau atteigne l'ébullition ;
- ✓ Démarrage à chaud : cette étape commence immédiatement après le démarrage à froid avec un foyer chaud et une marmite remplie avec de l'eau à température ambiante. Cette eau est ensuite portée à ébullition ;
- ✓ Mijotage : l'eau contenue dans la marmite après le démarrage à chaud est maintenue à la température d'ébullition pendant 45 min. La température de l'eau ne doit descendre de plus de 6 °C par rapport à la température d'ébullition notée à la fin du démarrage à chaud.

Pour les trois phases du protocole du test d'ébullition de l'eau, les mesures comprennent la masse de charbon de bois utilisée (fixée à 500 g pour toutes les tailles de marmites), la masse d'eau dans la marmite au début et à la fin de la phase du test, la température de l'eau, et la durée de chaque phase. A la fin du TEE, les paramètres suivants sont déterminés le temps d'ébullition, l'efficacité thermique du foyer, la puissance de feu, la consommation spécifique de combustible.

- Le temps d'ébullition Δt_e (s), qui est le temps mis pour que l'eau de la marmite atteigne la température d'ébullition à partir de la température de départ, est déterminé selon **l'Équation (1)**.

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (1)$$

- Efficacité thermique E (%) est une mesure de la proportion de la chaleur produite par le combustible et qui est directement transmise à l'eau contenue dans la marmite. L'énergie restante est dispersée dans l'environnement. L'efficacité thermique est déterminée par **l'Équation (2)**.

$$E = \frac{4,186(\theta_f - \theta_i)m_i + 2260m_{ev}}{m_s PCI} \quad (2)$$

avec, θ_i : température initiale ($^{\circ}C$); θ_f : température finale ($^{\circ}C$); m_i : masse d'eau introduite (kg); m_{ev} : masse d'eau d'évaporée (kg); m_s : masse de charbon sec (kg); PCI : pouvoir calorifique inférieur (kJ / kg).

- Efficacité thermique haute puissance E_{hp} (%) est la moyenne de l'efficacité thermique au démarrage à froid (E_f) et à chaud (E_c).

$$E_{hp} = \frac{E_c + E_f}{2} \quad (3)$$

- Puissance de feu $P(W)$: La puissance est une mesure de la rapidité avec laquelle le combustible est brûlé, elle est exprimée en Watts (J / s).

$$P = \frac{m_s PCI}{60 \Delta t_e} \quad (4)$$

- Consommation spécifique de combustible C_{sc} ($kJ \cdot min^{-1} \cdot L^{-1}$) – Il s'agit de la quantité de combustible nécessaire pour faire bouillir 1 litre d'eau (ou en maintenir l'ébullition). Dans cette étude elle a été déterminée pour la phase basse puissance c'est-à-dire la phase de mijotage.

$$C_{sc} = \frac{m_s PCI}{\Delta t_e m_e} \quad (5)$$

3. Résultats

3-1. Analyse immédiate et PCI du combustible

Le **Tableau 2** présente les résultats de l'analyse immédiate et du PCI du charbon utilisé.

Tableau 2 : Analyse immédiate et PCI du charbon

Teneur en humidité (%)	Matières volatiles (%)	Taux de cendre (%)	Carbone fixe (%)	PCI (J / g)
3,42	25,43	18,61	52,54	24232,11

Le charbon de bois utilisé a une forte teneur en cendre (18,61 %) comparée à la teneur en cendre du charbon du bois d'Eucalyptus. Le Pouvoir Calorifique Inférieur est de 24 232 J / g et reste donc inférieur à la valeur standard du charbon de bois qui est de 29 500 J / g.

3-2. Temps d'ébullition

L'évolution des temps d'ébullition en fonction de la taille des marmites est illustrée à la **Figure 2**. Pour chacune des marmites, le temps de la première phase (démarrage à froid) est plus long que celui de la deuxième phase (démarrage à chaud). Par ailleurs, on constate de façon globale que le temps d'ébullition augmente avec la taille de la marmite. Ce paramètre évolue de 22 min (marmite N°2) à 33 min (marmite n°5) pour la phase 1, et de 16 min (marmite N°2) à 26 min (Marmite N°6). La marmite N°4 est la seule dont la différence entre les temps d'ébullition des deux étapes du test, est faible (4 %)

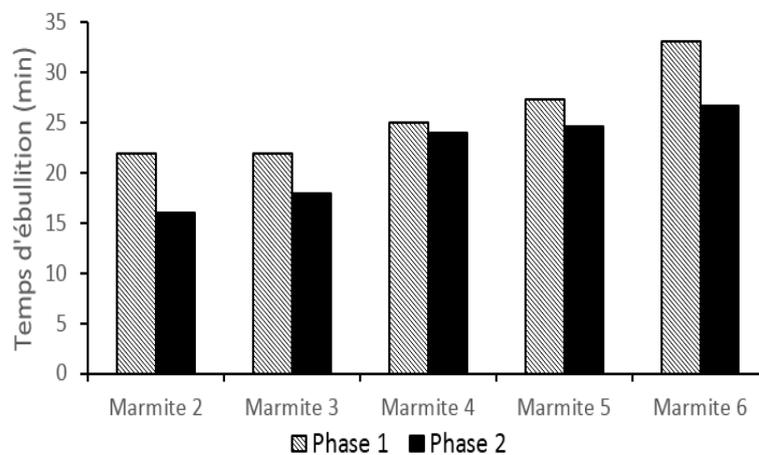


Figure 2 : *Temps d'ébullition en fonction des tailles des marmites*

3-3. Efficacité thermique du foyer

La **Figure 3** présente les résultats des mesures sur l'efficacité thermique du foyer pour les cinq types de marmites. Ces résultats, issus d'une série de 3 essais, montrent que l'efficacité thermique à haute puissance est fonction de la marmite utilisée. Le rendement thermique maximal du foyer (39 %) a été obtenu avec la marmite n° 4. En revanche, la marmite n°2 utilisé sur le foyer présente le rendement thermique minimal (23 %).

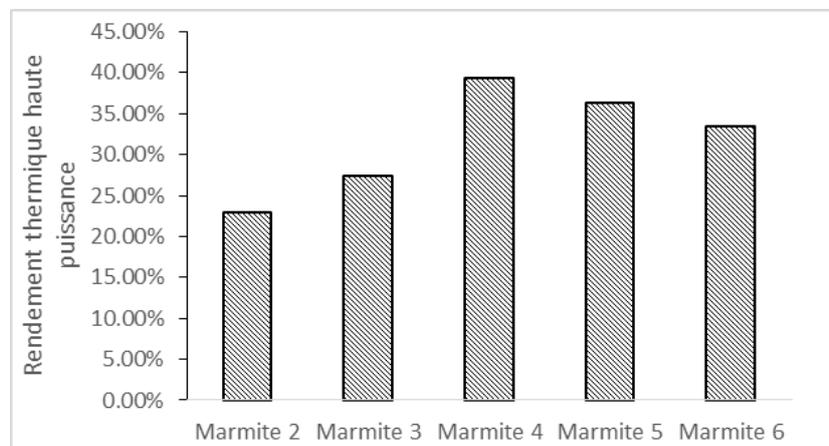


Figure 3 : *Efficacité thermique haute puissance en fonction des tailles des marmites*

3-4. Consommation spécifique basse puissance

La **Figure 4** présente la consommation spécifique de combustible en fonction de la taille des marmites. La consommation spécifique la plus élevée est obtenue avec la marmite N°2 (68 kJ / min / L) et la plus faible avec la marmite 4 (31 kJ.min⁻¹.L⁻¹). De la marmite N°2 à la marmite N°4, on note une baisse de la consommation spécifique, puis de la marmite 4 à la marmite 6, ce paramètre connaît une hausse allant de 31 à 37 kJ.min⁻¹.L⁻¹.

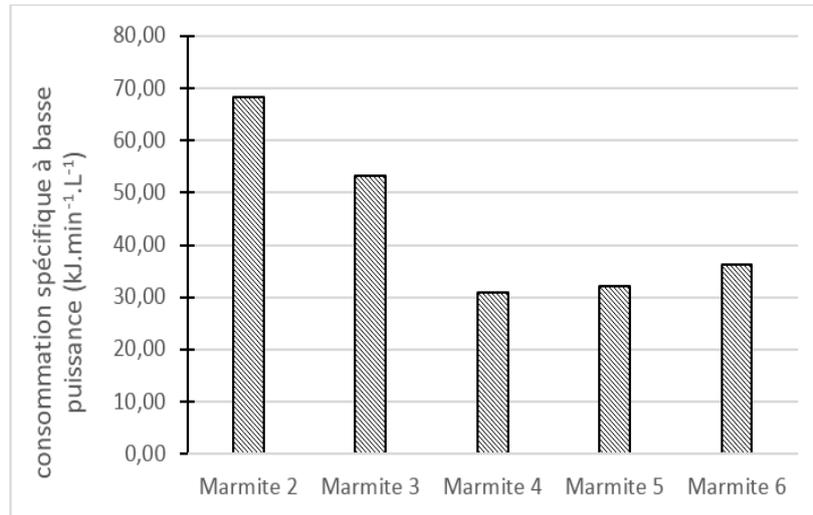


Figure 4 : Consommation spécifique basse puissance en fonction de la taille des marmites

4. Discussion

L'analyse immédiate du combustible utilisé a révélé une teneur en humidité de 3,42 %. Le protocole du test d'ébullition de l'eau n'impose pas de critères spécifiques sur les paramètres physico-chimiques des combustibles utilisés. Cependant, il recommande que le combustible ait une teneur inférieure à 5 %. En effet, l'efficacité des foyers est influencée par la teneur en humidité du combustible [12]. Elle diminue lorsque la teneur en humidité du combustible est comprise entre 10 - 25 %. Les temps d'ébullition sont plus longs sur la phase 1 (ou phase de démarrage à froid) que la phase 2. Ceci est dû au principe de réalisation de ces deux phases décrites dans le protocole du test d'ébullition de l'eau. En effet, au démarrage à chaud, la marmite ayant emmagasiné de la chaleur à la fin de la phase 1 restitue cette chaleur à l'eau utilisée pour la phase 2. Ainsi, la température de l'eau introduite au démarrage de la phase 2 est supérieure à celle de la phase 1. De plus, le foyer est chaud au démarrage de la phase 2. Dans la pratique, un foyer déjà chaud permet d'atteindre plus rapidement la température d'ébullition. Dans cette étude, le temps d'ébullition, quel que soit la phase, augmente avec la taille de la marmite. La raison principale est que la quantité de charbon utilisé est constante (500 g) pour des volumes d'eau croissants à faire bouillir (**Cf Tableau 1**). Or plus la marmite est grande, plus il faut un apport énergétique élevé pour porter l'eau à ébullition. Donc, le temps d'ébullition est fonction de la taille de la marmite et de la quantité de combustible. Cette étude montre qu'avec la marmite 4, de diamètre 31 cm (**Cf Tableau 1**), le foyer a une consommation spécifique de 31 kJ.min⁻¹.L⁻¹ et un rendement thermique de 39 %. Cette marmite est par conséquent adaptée au foyer étudié, puisqu'elle permet d'obtenir la consommation spécifique la plus faible et le rendement thermique le plus élevé. Les différences de rendements thermiques des marmites 2, 3, 5, 6, par rapport à celui la marmite 4 varient entre 3 et 16 %. Elles sont du même ordre de grandeur que les résultats de [10]. [13, 14] estiment que la taille de la marmite

n'a pas d'influence sur l'efficacité d'un foyer. Cependant, une différence de rendement thermique de 16 % représente une perte d'environ 20 % d'économie de charbon de bois. Dans le cadre des programmes de diffusion des foyers, qui se font généralement à grande échelle (> 10000 foyers), cette perte est énorme. Il ressort de cette étude que la performance énergétique d'un foyer est liée à la taille de la marmite utilisée.

5. Conclusion

La présente étude a été réalisée afin de déterminer, l'influence de l'utilisation de marmites de différentes tailles sur les performances énergétiques d'un foyer amélioré. Il en ressort que l'utilisation de la marmite 4 sur le foyer étudié permet d'obtenir les meilleures performances énergétiques notamment un rendement thermique élevé (39 %) et une faible consommation spécifique (31 kJ.min⁻¹.L⁻¹). En utilisant une autre marmite telle que la marmite 2, le rendement thermique du foyer qui est de 39 % baisse de 16 % avec une augmentation de la consommation spécifique de plus de 100 %. Pour un foyer donné, il existe une marmite appropriée qui permet d'atteindre les performances énergétiques optimales. Ainsi, l'utilisation de toute autre marmite ne permet pas d'obtenir les performances énergétiques déterminées par les tests d'ébullition conduisant à une mauvaise estimation des économies de bois escomptées dans le cadre des projets « carbone ». Par conséquent, dans le calcul de crédit carbone, il faudrait s'assurer que les foyers fabriqués et diffusés soient utilisés avec les marmites appropriés.

Références

- [1] - S. GITONGA, Appropriate mud stoves In East Africa, Report of Kisumu Mud Stoves Workshop, Uganda, (1995) 44 p.
- [2] - M. d. L. M. SILVA et S. H. B. MARTINS, Etude préparatoire à la relance de la diffusion des foyers améliorés au Cap-Vert, Rapport CILSS, (2009) 72 p.
- [3] - GIZ. Projet Foyers améliorés au Faso / FAFASO : le projet, ses démarches et ses réussites, Rapport, (2011) 7 p.
- [4] - Berkeley Air Monitoring Group, Stove performance inventory report. Berkeley, CA; Prepared for Global Alliance for Clean Cookstoves, United Nations Foundation, October (2012)
- [5] - D. STILL, N. MACCARTY, D. OGLE, T. BOND and M. BRYDEN, Test results of cookstove performance. Cottage Grove, OR : Aprovecho Research Center; London : Shell Foundation; Washington DC : U.S. Environmental Protection Agency, Available from : <http://www.pciaonline.org/resources/test-results-cook-stove-performance>, (2011)
- [6] - J. J. JETTER and P. KARIHER, Solid-fuel household cookstoves : characterization of performance and emissions, *Biomass Bioenergy*, 33 (2) (2009) 294 - 305
- [7] - M. P. KSHIRSAGAR, Experimental study for improving energy efficiency of charcoal stove, *JSciIndRes*, 68 (2009) 412 - 6
- [8] - M. NEPAL, A. NEPAL and K. GRIMSRUDE, Unbelievable but improved cookstoves are not helpful in reducing firewood demand in Nepal, *Environ Dev Econ*, 16 (2010) 1 - 23
- [9] - S. C. BHATTACHARYA, D. O. ALBINA and A. M. KHAING, Effects of selected parameters on performance and emission of biomass- red cook stoves", *Biomass and Bioenergy*, 23 (2002) 387 - 395
- [10] - P. NAPHON, Thermal efficiency enhancement of domestic cooking pots, *Asian Journal of Engineering and technology*, 02 (5) (2014) 424 - 429

- [11] - H. S. MUNKUNDA, S. DASAPPA, P. J. PAUL, N. K. S. RAJAN and M. YAGNARAMAN, Gasifier stoves- science, technology and outreach, *curr SCI*, 98 (5) (2010) 627 - 38
- [12] - A. KUMAR, P. MANOHAR and K. P MISHRA, Comparative study of effect of different parameters on performance and emission of biomass cook stoves, *International Journal of Research in Engineering & Technology*, 1 (3) (2013) 121 - 126
- [13] - L'ORANGE C., M. DEFOORT and WILLSON B, Influence of testing parameters on biomass stove performance and development of an improved testing protocol, *Energy for Sustainable Development*, 16 (2013) 3 - 12
- [14] - M. KUMAR, S. KUMAR and S. K. TYAGI, Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26 (2013) 265 - 285