

Détermination des performances techniques des fourneaux utilisés au Bénin par la technique d'ébullition de l'eau.

Malahimi ANJORIN^{1*}, Christophe AWANTO¹, Latif FAGBEMI¹, Aristide C. HOUNGAN¹, Michel FEIDT²

¹LERTI-CPU, Université Nationale du Bénin, 01 BP 2009 Cotonou Bénin

²LEMETA-CNRS 875-2, av. de la forêt de Haye, BP 160 – 54504 Vandoeuvre France.

*malahimi.anjorin@epac.uac.bj

Résumé - Les foyers font partie de la vie courante. Chaque ménage en utilise pour la cuisson de ses repas. Dans le tiers-monde, la plupart des populations utilisent surtout des foyers à combustibles ligneux. Les effets négatifs sur l'environnement sont aujourd'hui bien connus : poches de désertification, érosion des sols, changements climatiques etc. Ces effets peuvent se mesurer à la consommation de ces foyers laquelle dépend de la taille de la famille, du type de repas et aussi du type de foyer utilisé. La présente étude, en utilisant la technique d'ébullition de l'eau, montre l'influence du type de foyer sur les performances techniques.

Nomenclature

C_{pe}	chaleur spécifique eau, kJ/kg °C	M_{c2}	masse combustible restant après phase 2, kg
L_v	chaleur latente de vaporisation eau, kJ/kg	M_{p1}	masse charbon après la phase 1, kg
M_v	masse marmite, couvercle, thermomètre, support, kg	M'_{p1}	masse charbon début ébullition, kg
M_0	masse marmite et eau, kg	M_{p2}	masse charbon après phase 2, kg
M_1	masse marmite et eau après phase 1, kg	TE	temps d'ébullition, mn
M_2	masse marmite et eau après phase 2, kg	TE'	temps phase1, vaut TE+30mn
M_c	masse initiale combustible, kg	TM	temps mijotage, mn
M_{c1}	masse combustible après phase 1, kg	T_0	température initiale eau, °C
M'_{c1}	masse combustible restant début ébullition, kg	T_{eb}	température ébullition eau, °C
		<i>Symbole grec</i>	
		φ_a	humidité relative air

1. Introduction

On reconnaît aujourd'hui que la déforestation est un aspect de la dégradation de l'environnement terrestre, et que son évolution rapide observée dans les pays en développement est due à une utilisation incontrôlée du bois pour la cuisine. Les fourneaux à bois ou à charbon de bois sont des moyens très répandus dans ces pays. Dans le cas spécifique du Bénin par exemple, les estimations du plan d'action environnemental de Juin 1993 révèlent que la forêt recule en moyenne de 100.000 ha par an [1].

L'une des solutions mises en œuvre pour améliorer la situation est le reboisement et les cultures énergétiques, avec la vulgarisation de fourneaux à hautes performances énergétiques. Malheureusement, dans la plupart de ces pays, les fourneaux à bois ou à charbon de bois sont fabriqués par des artisans dont les qualifications ne peuvent permettre de prendre en considération les contraintes d'efficacité énergétique et leurs implications sur l'environnement.

Dans la présente publication, on étudie expérimentalement, l'influence de certains paramètres de construction sur les performances énergétiques des fourneaux. Les paramètres

retenus sont : la vitesse du vent, la nature du matériau de construction, le type de combustible, le tirage et le nombre de foyers. Malheureusement, très peu de travaux ont pu être recensés sur ce thème. La méthode expérimentale utilisée est basée sur la « technique d'ébullition de l'eau » [2, 3, 4].

2. Recensement et codification des fourneaux

Les foyers utilisés au Bénin peuvent être divisés en trois catégories (Fig. 1) : les foyers traditionnels, les foyers de type amélioré (amélioration par rapport aux précédents) et la catégorie des cuisinières à pétrole, à gaz ou électrique. Chaque groupe comporte une multitude d'équipements différents, et les mêmes foyers peuvent se retrouver dans différents pays avec des dénominations différentes.

Pour harmoniser la désignation des fourneaux, et permettre l'échange d'informations, une codification basée sur les caractéristiques essentielles de l'équipement a été proposée [5]. La codification est basée sur les trois critères suivants : l'effet du vent, le matériau et le combustible, pouvant être considérés comme les plus significatifs dans la description d'un fourneau. La figure 1 présentant les fourneaux présente également le code retenu.

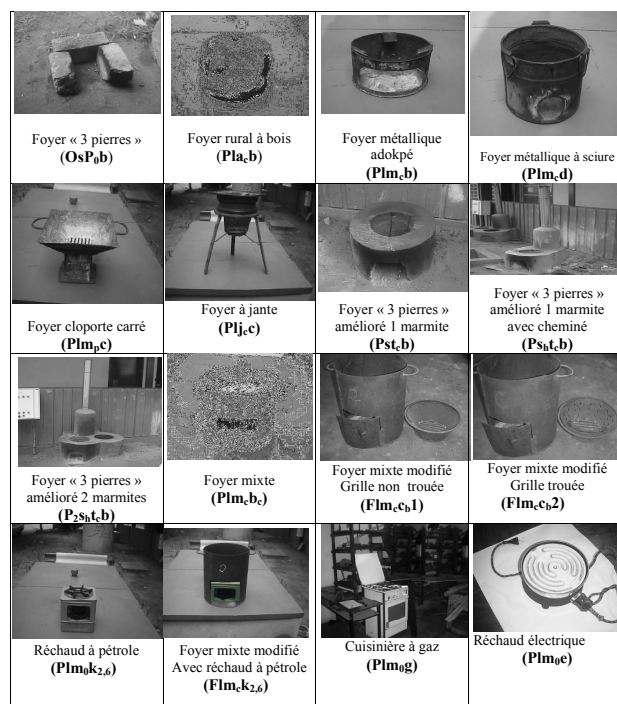


Figure 1 : Foyers testés et codification

3. Présentation de la technique d'ébullition de l'eau

La technique d'ébullition de l'eau est un test permettant d'évaluer les performances des fourneaux. Elle consiste à chauffer une certaine quantité d'eau avec le fourneau testé jusqu'à atteindre l'ébullition. Ce chauffage se fait en deux phases :

- « phase de haute puissance », où l'eau est portée rapidement à l'ébullition ;
- « phase de basse puissance » ou de « mijotage », où on laisse frémir l'eau pendant un certain temps.

Le test d'ébullition de l'eau permet d'évaluer les performances des fourneaux à partir d'un ensemble de paramètres définis comme suit :

- le rendement thermique,
 - le pourcentage de chaleur utilisée en phase 1 noté PCU1,

$$PCU1 = \frac{C_{pe}(M_o - M_v)(T_{eb} - T_0) + L_v(M_o - M_1)}{P_{ci}[(M_c - M_{c1})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5M_{p1}]} \quad (1)$$

- le pourcentage de chaleur utilisée total pour les deux phases noté PCUT,

$$PCUT = \frac{C_{pe}(M_o - M_v)(T_{eb} - T_0) + L_v(M_o - M_2)}{P_{ci}[(M_c - M_{c2})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5M_{p2}]} \quad (2)$$

- la puissance
 - la puissance pendant la phase d'ébullition P₁ en kW,

$$P_1 = \frac{P_{ci}[(M_c - M_{c1})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5M_{p1}]}{60TE'} \quad (3)$$

- la puissance pendant la phase de basse puissance P₂ en kW,

$$P_2 = \frac{P_{ci}[(M_{c1} - M_{c2})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5M_{p2}]}{60TM} \quad (4)$$

- la flexibilité F,

$$F = \frac{P_1}{P_2} \quad (5)$$

4. Expérimentations

Le test d'ébullition de l'eau a été réalisé pour 22 types de foyers choisis en fonction du paramètre dont l'influence est étudiée. Le dispositif expérimental est simple et comprend les foyers à expérimenter, les marmites et les instruments de mesure.

Pour chaque type de foyer, trois échantillons ont été retenus. Les trois échantillons ont subi simultanément trois tests respectifs identiques, ce qui représente neuf tests pour chaque type de foyer.

5. Résultats et analyses

Les résultats d'expérimentation sont regroupés dans le tableau 1. Les paramètres marqués d'astérix (*) en exposant sont présentés en valeur réduite selon la formule (6). Cette formulation permet de les représenter sur un même graphique (fig.2).

$$Param^* = \frac{100(Param - \min(Param))}{\max(Param) - \min(Param)} \quad (6)$$

N°	Modèle de foyer	Code	PCU1 (%)	PCU1* (%)	PCUT (%)	PCUT* (%)	P1 (kW)	P2 (kW)	F	F* (%)
1	"3 pierres"	Osp _{0b}	12,9	4,744	12,6	7,05	6,6	6,6	1,0	5,71
2	Rural (argile cuite)	Pla _c b	18,2	14,80	15,7	12,66	7,7	5,0	1,5	20,00
3	"Adokpé"	Plm _c b	24,2	26,19	22,1	24,23	6,3	3,3	1,9	31,43
4	"Adokpé" à sciure	Plm _c d	25,3	28,27	22,2	24,41	4,6	5,6	0,8	0,00
5	"Cloporte" carré	Plm _p c	15,9	10,44	15,6	12,48	6,0	7,2	0,8	0,00
6	"Cloporte" à jante	Plj _c c	12,0	3,04	11,5	5,06	10,2	10,3	1,0	5,71
7	Foyer mixte	Plm _c b _c	18,7	15,75	17,2	15,37	7,4	5,6	1,3	14,29
8	Foyer mixte	Plm _c b _b	19,0	16,32	15,6	12,48	6,0	7,2	0,8	0,00

N°	Modèle de foyer	Code	PCU1 (%)	PCU1* (%)	PCUT (%)	PCUT* (%)	P1 (kW)	P2 (kW)	F	F* (%)
9	"3 pierres" amélioré 1 marmite	Pst _c b	10,4	0,00	8,7	0,00	10,2	3,2	3,4	74,29
10	"3 pierres" amélioré 1 marmite	Pst _c b*	15,6	9,87	14,3	10,13	5,0	1,5	4,3	100,00
11	"3 pierres" amélioré 1 marmite, cheminée	Ps _{ht} c _b	12,8	4,55	11,4	4,88	10,1	5,4	2,4	45,71
12	"3 pierres" amélioré 1 marmite, cheminée	Ps _{ht} c _b *	20,9	19,92	17,9	16,64	5,4	3,1	1,7	25,71
13	"3 pierres" amélioré 2 marmites, cheminée	P ₂ S _{ht} c _b	13,0	4,93	13,4	8,50	11,0	4,6	2,7	54,29
14	"3 pierres" amélioré 2 marmites, cheminée	P ₂ S _{ht} c _b *	25,2	28,08	22,5	24,95	5,4	5,2	1,2	11,43
15	Foyer mixte modifié 1	Flm _c c _b 1*	24,1	26,00	23,4	26,58	5,1	6,4	0,8	0,00
16	Foyer mixte modifié 2	Flm _c c _b 2*	26,0	29,60	23,4	26,58	5,2	5,5	0,9	2,86
17	Foyer mixte modifié 3	Flm _c c _b 3*	24,5	26,76	24,3	28,21	6,1	4,1	1,6	22,86
18	Réchaud à pétrole	Plm ₀ k _{2,6}	37,5	51,42	39,8	56,24	2,6	1,9	1,4	17,14
19	Réchaud à pétrole	Plm ₀ k _{1,2}	62,3	98,48	55,7	84,99	1,2	1,1	1,1	8,57
20	Foyer mixte modifié à pétrole	Flm _c k _{2,6} *	53,6	81,97	49,8	74,32	1,9	1,7	1,2	11,43
21	Cuisinière à gaz	Plm ₀ g	60,9	95,83	59,5	91,86	2,2	1,4	1,7	25,71
22	Cuisinière électrique	Plm ₀ e	63,1	100,00	64,0	100,00	1,4	1,1	1,3	14,29

Remarque : les codes marqués d'astérisque sont des foyers ayant subi de modifications au cours de la présente étude.

Tableau 1 : Paramètres thermiques suivant les foyers.

5.1. Les pourcentages de chaleur utilisée

Dans une première analyse selon les critères de PCU1 et PCUT, on observe sur la figure 2 que l'allure de leurs courbes respectives est semblable ; par conséquent, seul le PCUT sera utilisé dans la suite des analyses.

En observant l'évolution du PCUT*, on remarque comme on pouvait s'attendre, que l'ensemble des foyers testés se divise en deux groupes : les foyers dont le PCUT* est inférieur à 30% qui constituent le premier groupe, les cinq autres foyers se situant à droite, qui constitue le second groupe.

Le premier groupe, se composant de fourneaux à combustibles ligneux (bois, charbon et déchets), leur rendement de conversion de l'énergie potentielle stockée en chaleur, est moindre que celui du second groupe constitué de fourneaux à combustibles fossiles (pétrole, gaz) et du fourneau électrique, basés sur des technologies plus avancées.

Le foyer «3 pierres» amélioré Pst_cb présente un PCUT* relativement faible, ce qui pose un problème sérieux dans la compréhension du terme «amélioré» très souvent utilisé en parlant des fourneaux performants. Une première approche d'amélioration entreprise au cours des expérimentations, a consisté à réduire la hauteur sous marmite au niveau de ces trois fourneaux améliorés construits en terre ; ceci a conduit à une amélioration de leur PCUT*. Les produits obtenus sont les fourneaux «Pst_cb*», «Ps_{ht}c_b*», «P₂S_{ht}c_b*» que l'on peut remarquer dans le groupe de fourneaux à combustibles ligneux. Les PCUT* obtenus deviennent supérieurs à celui du foyer «3 pierres» Osp₀b.

Afin de rendre pérennes les différentes actions menées par nos pays dans le domaine général des changements climatiques, il paraît urgent que les pouvoirs publics procèdent au contrôle systématique des différents fourneaux vulgarisés sur le territoire national. Une certification pourra être accordée aux fourneaux les plus performants.

La figure 2 présente un classement des fourneaux selon le critère de la flexibilité. Le positionnement aléatoire des fourneaux à combustible ligneux dénote de la difficulté pour rendre ces fourneaux flexibles lors des tests. La flexibilité étant surtout liée à la facilité qu'offre le fourneau pour le contrôle du feu, une intervention au niveau du système à mèches peut améliorer ce critère pour le fourneau à pétrole par exemple.

5.2. Influence du vent sur les performances des fourneaux

Pour analyser l'effet du vent, on a distingué les fourneaux ouverts, les fourneaux fermés et les fourneaux protégés. La figure 2 fait ressortir deux points essentiels.

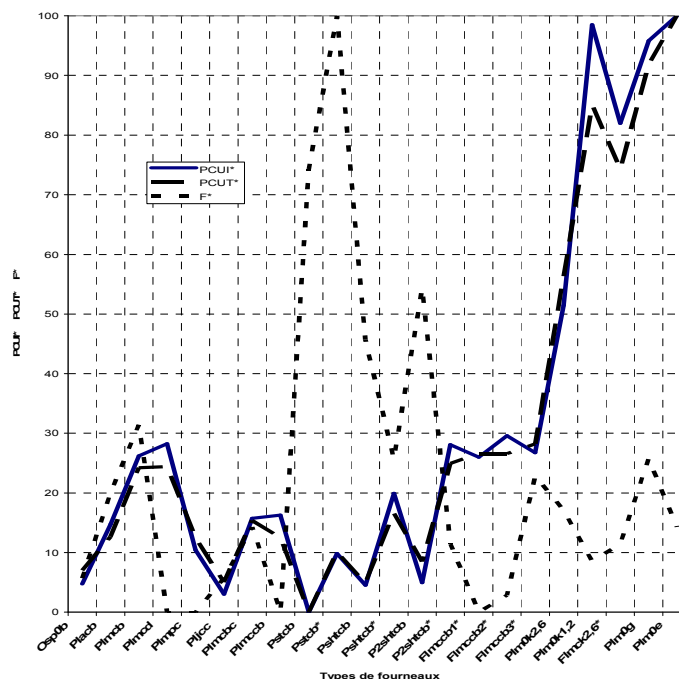


Figure 2 : Paramètres thermiques suivant les foyers.

Les trois premiers fourneaux « Flm_cb1* », « Flm_cb2* » et « Flm_cb3* » sont des fourneaux mixtes bois/charbon de bois, de type fermés ; ils ont été testés au charbon de bois et comparés aux fourneaux à charbon protégés « Plj_cc » et « Plm_nc ». On observe que les trois premiers fourneaux présentent une performance PCUT* plus élevée que les deux derniers. Ceci permet de dire que le confinement du foyer avec un apport suffisant de comburant permet d'améliorer les performances des fourneaux. Les déperditions sont en effet plus élevées dans les foyers de type ouvert ou protégé que dans les foyers fermés.

Dans le même cas de figure, le foyer à pétrole a été testé en protégé (Flm_ck_{2,6}) et en fermé (Flm_ck_{2,6}*). On constate pour le second un PCUT* de 74,32% tandis que celui du premier est de 56,24%.

5.3. Influence du combustible

On compare ici des fourneaux métalliques de type protégé (Plm_xy). La figure 2 montre que le fourneau « Plm_cb » utilisant le bois comme combustible, possède un critère PCUT*

d'environ 25% alors que celui du fourneau à charbon « Pl_{m,c} » est d'environ 14%. Pour les fourneaux à combustibles plus élaborés (fossiles et électrique), le PCUT* est relativement plus important.

5.4. Influence du nombre de foyers (brûleurs)

Le fourneau à cheminée et à deux marmites P_{2S_ht_cb}, a un PCUT* plus élevé que celui que celui du fourneau à cheminée et à une marmite P_{S_ht_cb}. On retrouve le même comportement pour les foyers améliorés ayant subi une modification au cours des expérimentations. Le foyer P_{2S_ht_cb}* a un PCUT* de 25% tandis que celui des fourneaux à un seul foyer P_{st_cb}* et P_{S_ht_cb}* est respectivement de 10 et 17%.

5.5. Influence du matériau

Selon les résultats de la figure 2, on note une diminution des performances des foyers améliorés en terre (P_{st_cb}, P_{S_ht_cb}, P_{2S_ht_cb}, P_{st_cb}*, P_{S_ht_cb}*, P_{2S_ht_cb}*) par rapport au foyer métallique « Pl_{m,c} » et au foyer en argile « Pl_{a,c} ».

Ce résultat paraît surprenant puisque les déperditions sont plus importantes pour les foyers métalliques et en argile. Les foyers en terre étant massifs, sont le plus souvent construits à l'extérieur et subissent de ce fait l'influence des intempéries. Leurs parois peuvent absorber plus d'humidité en fonction des saisons et l'énergie de séchage des parois sera prise sur le combustible devant servir à la cuisson. Cela pose donc le problème d'exploitation et de maintenance des foyers.

6. Conclusion

L'exploitation de la technique d'ébullition de l'eau a permis de quantifier l'influence de certains critères de comparaison des foyers, et il est montré que seuls le contrôle et la certification des foyers pourront permettre aux pouvoirs publics de mener une lutte efficace contre les conséquences de la déforestation.

Références

- [1] C. A. Houngan, Détermination des performances des foyers utilisés au Bénin par la technique d'ébullition de l'eau, Mémoire de fin de cycle, CPU, UNB, Abomey-Calavi, Juillet 1999.
- [2] G. De Lepleire et al, Guide technique des fourneaux à bois, Edisud – Bois de feu – Enda – Skat, 375p.
- [3] G. Yaméogo, Valorisation de la biomasse : Technologie des foyers améliorés, ACCT/IEPF-IPD/AOS, 23p.
- [4] Aprovecho Research Center, Évaluation et Développement de la Technologie des Foyers Améliorés, Leçon 6 : Tests et Évaluation des Foyers, Advanced Studies in Appropriate Technology Laboratory.
- [5] M. Anjorin, C. Awanto, L. Fagbémi, C. A. Houngan, M. Feidt, Codification des foyers à usage domestique, Communication aux Journées Scientifiques de l'EPAC/UAC, septembre 2002, Abomey-Calavi.
- [6] B. Westhoff, D. Germann, Foyers en image, Bruxelles, 180p.
- [7] J. Agbo, Problématique des énergies traditionnelles au Bénin, Communication, Hôtel GL, Avril 1998, 22p.
- [8] Comité du Suivi de la Conférence des Chefs d'Etat et de Gouvernement ayant en commun l'usage du français, Institut de l'Energie des Pays ayant en commun l'usage du français, Guide de l'énergie, Ministère de la Coopération et du Développement, Agence de Coopération Culturelle et Technique, 1988.