

## **Étude économique des foyers domestiques par la technique d'ébullition de l'eau : cas du Bénin**

**Malahimi ANJORIN<sup>1</sup>, Comlan Aristide HOUNGAN<sup>1\*</sup>, Christophe AWANTO<sup>1</sup>,  
Latif FAGBEMI<sup>1</sup> et Michel FEIDT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA)-EPAC, Université d'Abomey-Calavi,  
01 BP 2009 Cotonou, Bénin*

<sup>2</sup> *Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique Appliquée (LEMTA)-CNRS 875-2, av. de la forêt de  
Haye, BP 160 54504 Vandoeuvre, France*

\* Correspondance, courriel : [hounaris@yahoo.fr](mailto:hounaris@yahoo.fr)

### **Résumé**

Les foyers font partie de la vie courante. Chaque ménage en utilise pour la cuisson de ses repas. Dans les pays en développement, 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, des habitudes 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, ainsi que l'économie qu'on peut atteindre avec les différents foyers. Les foyers à combustibles fossiles ont les meilleures performances économiques, mais le coût très bas des combustibles ligneux leur donne un avantage.

**Mots-clés :** *foyers, combustibles, performances, économie d'énergie, environnement.*

### **Abstract**

#### **Using the water boiling test for the economic study of the domestic cook stoves in Benin**

The stoves belong to the everyday life. Each household uses some for the cooking of its meals. In the developing countries, the majority of the populations use especially hearths with woody fuels. The negative effects on the environment are well-known today: pockets of turning into a desert, erosion of the grounds, changes climatic, etc. These effects can be measured with the consumption of these hearths, which depends on the size of the family, the practices of meal and also of the type of hearth used. The present study, by using the technique of boiling of water, shows the influence of the type of hearth on the performances, as well as the economy which one can reach with the various hearths. The hearths with fossile fuels have the best economic performances, but the very low cost of woody fuels gives them an advantage.

**Keywords :** *stoves, fuels, performances, saving energy, environment.*

## 1. Introduction

Dans la plupart des pays du tiers-monde, la biomasse énergie constitue la principale source d'énergie des ménages, environ 70 à 90% du bilan des consommations finales d'énergie selon les pays. Les récentes estimations de la FAO et de la Banque Mondiale montrent que la biomasse va continuer d'occuper une place majeure dans les pays en développement, plus particulièrement en milieu rural [1]. Cette utilisation incontrôlée du bois pour la cuisine et le chauffage a pour conséquences, la dégradation de l'environnement. 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 [2,3]. Les fourneaux à bois ou à charbon de bois sont des moyens très répandus dans les pays en développement. Pour améliorer la situation, les solutions mises en œuvre sont : le reboisement et les cultures énergétiques, 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.

Plusieurs pays ont convenu de rétablir l'intérêt des prix en tant qu'instrument de politique énergétique durable, en internalisant à juste titre les coûts environnementaux dans la valeur économique de la ressource bois face à son coût d'opportunité, dans l'optique d'une substitution vers le GPL ou le kérosène ou encore d'autres combustibles alternatifs. D'autres pays ont, à un moment donné, choisi de subventionner les combustibles fossiles et alternatifs afin que leur prix de cession concurrence le bois énergie [4]. L'influence du type de foyer utilisé sur les performances techniques des fourneaux a été déjà étudiée [3]. Dans la présente publication, on étudie expérimentalement, cette influence sur les performances économiques ainsi que sur les politiques gouvernementales. 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. Matériel et méthodes

### 2-1. Matériel

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. Une classification préalable des foyers utilisés au Bénin a été faite. Cette classification permet de les diviser en trois catégories (**Figure 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, une codification a été proposée [4]. Elle repose sur les différentes propriétés de ces foyers (**Tableau 1**). Le dispositif expérimental est simple et comprend les foyers à expérimenter, les marmites et les instruments de mesure.

- Les paramètres observés durant les tests sont :
- la vitesse du vent mesurée avec un thermo anémomètre,
- la température et l'humidité de l'air ambiant mesurées avec un thermo-hygromètre à sonde "HUMICOR" type H1100,
- le poids des marmites et de l'eau, mesuré avec une balance digitale "SARTORIUS" 3100,
- le poids des combustibles, avec deux balances mécaniques de portée respectives 20 et 30kg
- la puissance du réchaud électrique, avec un wattmètre digital "VOLTCRAFT" type M-3860m.

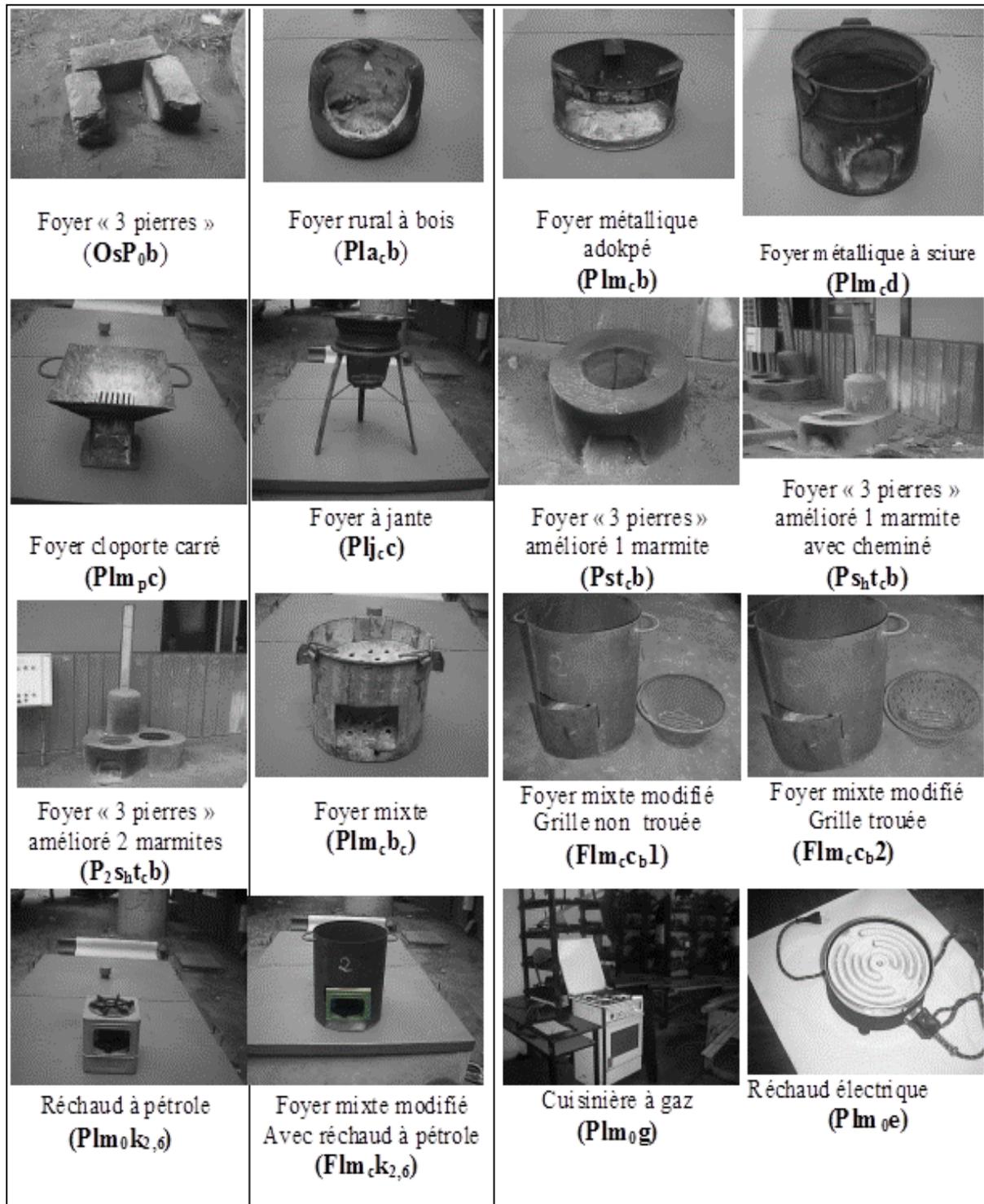


Figure 1 : Foyers utilisés au Bénin

## 2-2. Méthode

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 :

- dans la première phase appelée « phase de haute puissance », l'eau est portée rapidement à l'ébullition ;
- dans la seconde phase dite « phase de base puissance » ou de « mijotage », on laisse frémir l'eau pendant un certain temps.

**Tableau 1 : Eléments de codification des foyers**

Effet du vent		Matériau		Masse		Combustible		Nombre de feux
Foyer	Code	Foyer en	Code	Foyer de type	Code	Foyer au	Code	
Ouvert	O	Argile	a	Massif	s	Bois	b	1, 2 ou 3
Protégé	P	Métal	m	Léger	l	Charbon de bois	c	
Fermé	F	Pierre	p			Déchets	d	
-	-	Terre, béton	t	-	-	Electricité	e	
-	-	Jante	j	-	-	Gaz	g	
-	-	-	-	-	-	Pétrole	k	

La durée à adopter pour chacune de ces phases varie selon les auteurs [2-3-5]. En se basant sur la spécificité de certains mets béninois demandant une longue cuisson à la vapeur, la présente étude a adopté les conditions suivantes :

- phase de haute puissance : on laisse bouillir l'eau pendant trente (30) minutes après le début de l'ébullition,
- phase de « mijotage » : on maintient la température de l'eau entre 95 et 100°C pendant trente (30) minutes.

Dans ce papier, les performances des foyers sont étudiées en se basant sur des paramètres d'exploitation tels que : le Temps d'Ebullition Spécifique (TES) et les Consommations Spécifiques (CS) au cours de ces deux phases. Ces paramètres se définissent comme suit :

- Temps d'ébullition spécifique TES en mn par kg d'eau,

$$TES = \frac{TE}{(M_0 - M_v)} \frac{100}{(100 - T_0)} \quad (6)$$

- Consommation spécifique en phase 1 : CS1 en kg de combustible par kg d'eau,

$$CS1 = \frac{\left( (M_c - M'_{c1})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5M'_{p1} \right)}{(M_0 - M_v)} \frac{100}{(100 - T_0)} \quad (7)$$

- Consommation spécifique en phase 2 : CS2 en kg de combustible par kg d'eau évaporée,

$$CS2 = \frac{\left[ (M_{c1} - M_{c2})(1 - 0,2\varphi_a) - 1,5 M_{p2} \right]}{(M_1 - M_2)} \quad (8)$$

- avec :
- $M_v$  : masse de la marmite, du couvercle, du thermomètre et son support en kg,
  - $M_0$  : masse de la marmite remplie de la quantité standard d'eau en kg,
  - $M_1$  : masse marmite et eau restante après la phase 1 en kg,
  - $M_2$  : masse marmite et eau restante après la phase 2 en kg,
  - $M_c$  : masse initiale du combustible en kg,
  - $M_{c1}$  : masse du combustible restant après la phase 1 en kg,
  - $M'_{c1}$  : masse du combustible restant au début de l'ébullition en kg,
  - $M_{c2}$  : masse du combustible restant après la phase 2 en kg,
  - $M_{p1}$  : masse du charbon de bois après la phase 1 en kg,
  - $M'_{p1}$  : masse du charbon de bois au début de l'ébullition en kg,
  - $M_{p2}$  : masse du charbon de bois après la phase 2 en kg,
  - TE : temps mis pour entrer en ébullition en mn,
  - $T_0$  : température initiale de l'eau en °C,
  - $\varphi_a$  : humidité relative de l'air.

Pour chaque test, trois foyers identiques ont été utilisés. Les trois foyers ont été testés trois fois ce qui correspond à neuf tests pour chaque type de foyer. Une moyenne des moyennes a été ensuite effectuée.

### 3. Résultats et discussion

Les résultats d'expérimentation sont regroupés dans les **Tableaux 2 et 3**. Le **Tableau 2** présente les consommations spécifiques lors des deux phases du test d'ébullition de l'eau pour les 22 foyers testés ainsi que le coût de l'opération pour les années : 1999, 2001, 2002, 2005, 2010 et 2012. Les foyers marqués de (+) au niveau du code ont subi des modifications lors de la présente étude. Les consommations spécifiques de combustibles sont exprimées en kilogrammes d'équivalent pétrole (1 kep = 41,85 MJ). Le **Tableau 3** présente les coûts du TEE. Pour faciliter la compréhension, les foyers ont été classés en abscisse dans l'ordre suivant : bois (b), déchets (d), charbon de bois (c), pétrole (k), gaz (g), électricité (e). Pour le foyer mixte, il est classé (b) lorsqu'il est testé au bois et (c) lorsqu'il est testé au charbon. Les paramètres marqués d'astérisque (\*) en exposant sont présentés en valeur réduite selon la formule (6). Cette formulation permet de les représenter sur un même graphique (**Figures 1, 2, 3**).

$$X^* = \frac{(X - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} \cdot 100\% \quad (9)$$

#### 3-1. Temps d'ébullition spécifique en valeur réduite TES\*

La **Figure 2** présente le temps spécifique sous la forme adimensionnelle. Cette forme, exprimée par rapport aux valeurs minimale et maximale, donne la perte de temps en pourcentage par rapport au foyer le plus rapide qui est ici, le foyer mixte modifié 3 à charbon de bois ( $Flm_{c,b}3+$ ). Le foyer le plus lent est le réchaud à pétrole ( $Plm_{0k1,2}$ ). On constate, en ce qui concerne l'effet du vent, que les foyers fermés à charbon de bois ( $Flm_{c,b}1+$ ,  $Flm_{c,b}2+$ ,  $Flm_{c,b}3+$ ) ont une perte moindre par rapport aux autres foyers protégés à charbon de bois ( $Plm_{p,c}$ ,  $Pl_{j,c}$ ,  $Plm_{c,b}$ ). La même remarque s'observe lorsqu'on change de combustible : le foyer mixte modifié à pétrole ( $Flm_{0k2,6}+$ ) est fermé, il présente une perte en temps de 43 % contre 65 % pour le même réchaud protégé ( $Plm_{0k2,6}$ ). On peut également constater que la perte est plus importante pour le foyer ouvert ( $0sp_0b$ ) qui est à 80 %. Dans la gamme des foyers à bois, les fourneaux métalliques légers ( $Plm_{c,b}$ ,  $Plm_{c,b_c}$ ) ont respectivement une perte de 6 et 37 % contre 37 à 80 % pour les foyers massifs. L'inertie thermique

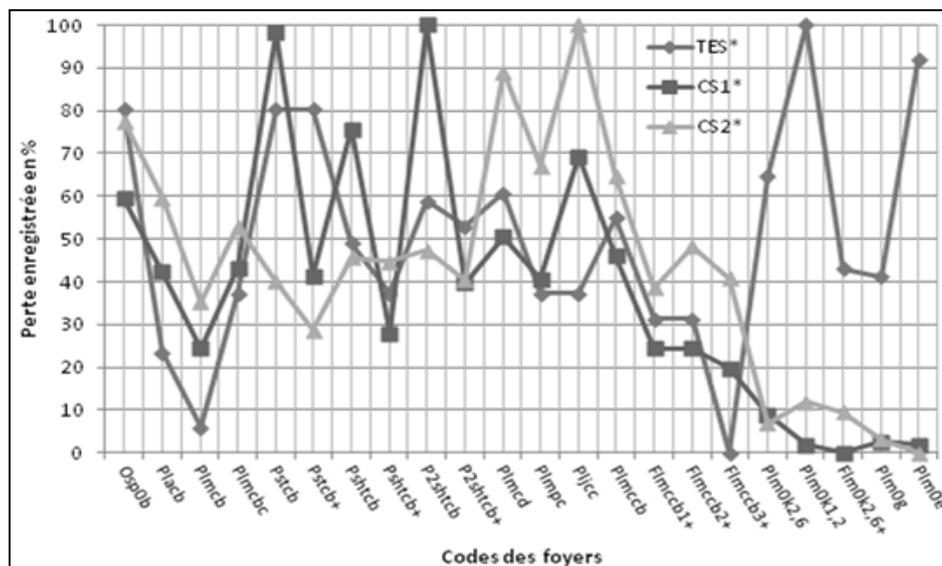
importante de ces derniers foyers, les pénalise. Ces tests ont montré en ce qui concerne le combustible, que le foyer fermé à charbon de bois (Flm<sub>c,b,3+</sub>) a été le plus rapide. Viennent ensuite les foyers à bois Plm<sub>c,b</sub> et Pla<sub>c,b</sub>.

**Tableau 2 : Consommations spécifiques lors des deux phases du test d'ébullition de l'eau pour les 22 foyers.**

N°	Modèle de foyer	Code [5]	TES (mn/kg)	CS1 (Kep/kg)	CS2 (Kep/kg)
1	"3 pierres"	Osp <sub>0,b</sub>	8,8	0,085	0,408
2	Rural (argile cuite)	Pla <sub>c,b</sub>	5,9	0,066	0,333
3	" Adokpé"	Plm <sub>c,b</sub>	5	0,046	0,230
4	Foyer mixte	Plm <sub>c,b,c</sub>	6,6	0,067	0,304
5	" 3 pierres" amélioré, 1 marmite	Pst <sub>c,b</sub>	8,8	0,128	0,250
6	" 3 pierres" amélioré 1 marmite	Pst <sub>c,b</sub> <sup>+</sup>	8,8	0,065	0,202
7	" 3 pierres" amélioré, 1 marmite, cheminée	Ps <sub>h,t,b</sub>	7,2	0,103	0,274
8	" 3 pierres" amélioré 1 marmite, cheminée	Ps <sub>h,t,b</sub> <sup>+</sup>	6,6	0,050	0,270
9	" 3 pierres" amélioré, 2 marmites, cheminée	P <sub>2</sub> sh <sub>t,c,b</sub>	7,7	0,130	0,281
10	" 3 pierres" amélioré, 2 marmites, cheminée	P <sub>2</sub> sh <sub>t,c,b</sub> <sup>+</sup>	7,4	0,063	0,252
11	"Adokpé" à sciure	Plm <sub>c,d</sub>	7,8	0,075	0,457
12	" Cloporte" carré	Plm <sub>p,c</sub>	6,6	0,064	0,364
13	" Cloporte" à jante	Plj <sub>c</sub>	6,6	0,096	0,503
14	Foyer mixte	Plm <sub>c,c,b</sub>	7,5	0,070	0,354
15	Foyer mixte modifié 1	Flm <sub>c,c,b</sub> 1 <sup>+</sup>	6,3	0,046	0,244
16	Foyer mixte modifié 2	Flm <sub>c,c,b</sub> 2 <sup>+</sup>	6,3	0,046	0,285
17	Foyer mixte modifié 3	Flm <sub>c,c,b</sub> 3 <sup>+</sup>	4,7	0,041	0,253
18	Réchaud à pétrole	Plm <sub>0</sub> k <sub>2,6</sub>	8	0,029	0,110
19	Réchaud à pétrole	Plm <sub>0</sub> k <sub>1,2</sub>	9,8	0,021	0,131
20	Foyer mixte modifié à pétrole	Flm <sub>0</sub> k <sub>2,6</sub> <sup>+</sup>	6,9	0,019	0,121
21	Cuisinière à gaz	Plm <sub>0</sub> g	6,8	0,022	0,094
22	Cuisinière électrique	Plm <sub>0</sub> e	9,4	0,021	0,081

**Tableau 3 : Coûts du test d'Ébullition de l'eau**

N°	Modèle de foyer	CS1 : Coût Phase 1 (F/kg)						CS2 : Coût Phase 2 (F/kg)					
		1999	2001	2002	2005	2010	2012	1999	2001	2002	2005	2010	2012
1	"3 pierres"	4,90	6,60	7,18	7,76	8,54	8,93	23,30	31,66	34,46	37,25	40,98	42,84
2	Rural (argilecuite)	3,70	5,12	5,57	6,03	6,63	6,93	19,00	25,84	28,13	30,40	33,44	34,97
3	" Adokpé"	2,60	3,57	3,89	4,20	4,62	4,83	13,10	17,85	19,43	21,00	23,10	24,15
4	Foyer mixte	3,80	5,20	5,66	6,12	6,73	7,04	17,30	23,59	25,68	27,76	30,53	31,92
5	"3 pierres" amélioré, 1 marmite	7,30	9,93	10,81	11,69	12,86	13,44	14,30	19,40	21,12	22,83	25,11	26,25
6	" 3 pierres" amélioré 1 marmite	3,70	5,04	5,49	5,93	6,53	6,83	11,60	15,68	17,06	18,44	20,29	21,21
7	" 3 pierres" amélioré 1 marmite, cheminée	5,80	7,99	8,70	9,40	10,34	10,82	15,60	21,27	23,14	25,02	27,52	28,77
8	" 3 pierres" amélioré, 1 marmite, cheminée	2,80	3,88	4,22	4,57	5,02	5,25	15,40	20,95	22,80	24,65	27,12	28,35
9	" 3 pierres" amélioré, 2 marmites, cheminée	7,40	10,09	10,98	11,87	13,06	13,65	16,00	21,81	23,73	25,66	28,22	29,51
10	" 3 pierres" amélioré, 2 marmites, cheminée	3,60	4,89	5,32	5,75	6,33	6,62	14,40	19,56	21,28	23,01	25,31	26,46
11	"Adokpé" à sciure	3,52	4,27	4,77	4,77	4,77	5,02	21,44	26,00	29,06	29,06	29,06	30,59
12	" Cloporte" carré	4,90	5,73	5,73	6,90	6,90	8,96	28,00	32,61	32,61	39,24	39,24	50,96
13	" Cloporte" à jante	7,40	8,60	8,60	10,35	10,35	13,44	38,70	45,07	45,07	54,22	54,22	70,42
14	Foyer mixte	5,40	6,27	6,27	7,55	7,55	9,80	27,26	31,72	31,72	38,16	38,16	49,56
15	Foyer mixtemodifié 1	3,50	4,12	4,12	4,96	4,96	6,44	18,79	21,86	21,86	26,30	26,30	34,16
16	Foyer mixtemodifié 2	3,50	4,12	4,12	4,96	4,96	6,44	21,95	25,54	25,54	30,72	30,72	39,90
17	Foyer mixtemodifié 3	3,20	3,67	3,67	4,42	4,42	5,74	19,48	22,67	22,67	27,27	27,27	35,42
18	Réchaud à pétrole	4,66	8,58	6,53	15,30	17,54	21,27	17,69	32,56	24,77	58,03	66,53	80,68
19	Réchaud à pétrole	3,38	6,22	4,73	11,08	12,70	15,40	21,07	38,77	29,50	69,11	79,23	96,08
20	Foyer mixte modifié à pétrole	3,06	5,62	4,28	10,02	11,49	13,94	19,46	35,81	27,25	63,84	73,18	88,75
21	Cuisinière à gaz	8,50	10,11	5,05	8,49	12,13	13,54	36,50	43,18	21,59	36,27	51,81	57,86
22	Cuisinièreélectrique	19,60	19,60	19,60	22,05	26,95	26,95	75,60	75,60	75,60	85,05	103,95	103,95



**Figure 2 :** Temps d'ébullition et consommations spécifiques des deux phases en valeur réduite pour les foyers étudiés.

### 3-2. Consommations Spécifiques en valeur réduite CS1\*, CS2\*

Une première analyse des consommations CS1 et CS2, montre que les plus faibles consommations exprimées en  $\text{kep/kg}$ , sont observées pour les foyers à combustibles fossiles ( $\text{Plm}_0\text{k}_{2,6}$ ,  $\text{Plm}_0\text{k}_{1,2}$ ,  $\text{Flm}_0\text{k}_{2,6}+$ ,  $\text{Plm}_0\text{g}$ ) et électrique ( $\text{Plm}_0\text{e}$ ). Quant aux foyers à combustibles ligneux, leur consommation varie beaucoup plus en fonction du type de foyer. Il faut noter que plus le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du combustible est élevé, moins le foyer devrait consommer. Les foyers sortant de cette logique devraient subir des améliorations (les foyers à jante  $\text{Plj}_c$ , mixte  $\text{Plm}_c\text{b}$ , Cloporte carré  $\text{Plm}_p$  par rapport aux foyers à bois). Les foyers «3 pierres» améliorés à bois  $\text{Pst}_c\text{b}+$ ,  $\text{Pst}_h\text{t}_c\text{b}+$  et  $\text{P}_2\text{st}_h\text{t}_c\text{b}+$  ayant subi de petites modifications (ayant consisté à diminuer la hauteur sous marmite), au cours de la présente étude, ont une consommation plus faible que ceux vulgarisés  $\text{Pst}_c\text{b}$ ,  $\text{Pst}_h\text{t}_c\text{b}$  et  $\text{P}_2\text{st}_h\text{t}_c\text{b}$ . En tenant compte des présentes modifications qui ont amélioré les performances de ces foyers, on constate que le foyer à jante à charbon de bois ( $\text{Plj}_c$ ) présente les consommations les plus élevées pour les deux phases.

En phase 1, les foyers «3 pierres» améliorés ( $\text{Pst}_c\text{b}$ ,  $\text{Pst}_h\text{t}_c\text{b}$  et  $\text{P}_2\text{st}_h\text{t}_c\text{b}$ ) d'une part et le foyer à jante ( $\text{Plj}_c$ ) d'autre part, ont une consommation supérieure à celle du foyer ouvert «3 pierres». En phase 2, ce sont les foyers à jante ( $\text{Plj}_c$ ) et à sciure ( $\text{Plm}_d$ ) qui se révèlent posséder une consommation supérieure à celle du foyer «3 pierres». Il faut noter qu'en ce qui concerne le foyer à sciure, il est difficile de récupérer le reste de la sciure après la cuisson, c'est ce qui justifie sa consommation élevée. Une amélioration de ce foyer, pourra apporter de meilleurs résultats.

### 3-3. Effet du vent

Pour analyser cette influence, il faut considérer des fourneaux identiques, mais se différenciant uniquement par cet effet. Le foyer fermé à pétrole ( $\text{Flm}_0\text{k}_{2,6}+$ ) permet une perte en combustible respectivement pour CS1\* et CS2\*, les valeurs : 0 et 9 %, contre 9 et 7 % pour le fourneau protégé ( $\text{Plm}_0\text{k}_{2,6}$ ). Un mauvais réglage du mijotage peut être à l'origine du mauvais comportement en CS2.

On constate une nette augmentation des pertes pour le foyer à jante ( $Pl_{j,c}$ ) pour les deux paramètres  $CS1^*$  et  $CS2^*$  (69 et 100 %) contre 41 et 67 % pour le foyer de base : le «Cloporte» carré ( $Plm_p,c$ ). Ce fait est essentiellement dû à l'effet négatif du vent sur le foyer à jante. On remarque également que les foyers fermés ( $Flm_{c_b}1+$ ,  $Flm_{c_b}2+$ ,  $Flm_{c_b}3+$ ) présentent respectivement une perte de 24, 24 et 20 % en  $CS1^*$  et 39, 48 et 41 % pour  $CS2^*$ . Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues pour le foyer protégé «Cloporte» carré ( $Plm_p,c$ ) qui est de 41 et 67 % respectivement pour  $CS1^*$  et  $CS2^*$ . La plupart des foyers ont une perte inférieure à celle du foyer ouvert «3 pierres», les foyers ayant une perte supérieure ont sûrement des problèmes d'ordre technologique ( $P_{2s_{h,t},b}$ ,  $P_{st,c,b}$ ,  $P_{s_{h,t},b}$ ). L'augmentation de la hauteur sous marmite a permis de diminuer ces pertes ( $P_{2s_{h,t},b+}$ ,  $P_{st,c,b+}$ ,  $P_{s_{h,t},b+}$ ).

### 3-4. Effet du matériau

La perte observée pour le foyer «Rural» en argile cuite ( $Pla_{c,b}$ ) est de 42 et 60 % respectivement pour  $CS1^*$  et  $CS2^*$  contre 24 et 35 % pour le foyer «Adopké» métallique ( $Plm_{c,b}$ ). On note donc une amélioration des performances de ce dernier foyer. Si on désire, dans la gamme des foyers massifs, ne tenir compte que des foyers ayant subi une modification, on constate que le foyer léger en argile occasionne plus de perte en  $CS2^*$  par rapport aux foyers massifs. Par contre, ces derniers foyers sont moins performants que le foyer léger métallique ( $Plm_{c,b}$ ).

### 3-5. Effet du combustible

On compare ici des fourneaux métalliques de type protégé en fonctionnement avec du bois ( $Plm_{c,b}$ ), du charbon de bois ( $Plm_{p,c}$ ) et des combustibles fossiles ou électrique ( $Plm_{0k_{2,6}}$ ,  $Plm_{0g}$ ,  $Plm_{0e}$ ). La figure montre que les foyers situés complètement à droite présentent une consommation plus faible que ceux situés à gauche. Les combustibles fossiles ont un PCI largement plus élevé que celui des combustibles ligneux.

### 3-6. Coût des consommations Spécifiques $CS1$ , $CS2$

Dans ce paragraphe, nous présentons le coût de chacune des phases  $CS1$  et  $CS2$  en fonction du coût du combustible utilisé pour la cuisson ainsi que du foyer ayant servi à l'opération. C'est ce prix qui devrait déterminer le choix des populations à changer leurs habitudes. Le **Tableau 4** montre l'évolution des prix des combustibles domestiques au Bénin pour les années de l'étude : 1999, 2001, 2002, 2005, 2010 et 2012 [1-6-7-8]. En 2002, une subvention a été accordée sur les combustibles fossiles (pétrole et gaz) afin de freiner la pression sur les formations végétales. Pour des raisons budgétaires, cette subvention a été levée par la suite si bien que les prix des années postérieures à cette date sont réels donc reflétant les coûts mondiaux. Les prix actuels (septembre 2012) des combustibles fossiles ont baissés et sont légèrement semblables à ceux d'avril 2010.

Une première analyse des **Figures 3 et 4** montre une inversion des qualités observées au paragraphe précédent où les foyers à combustibles fossiles et électrique présentaient de très bonnes caractéristiques. On note une variation et une augmentation très importantes des pertes observées au cours des six années d'étude quand on désire utiliser les combustibles fossiles et électrique (partie droite des courbes). Lorsqu'on prend en compte le prix des combustibles, il devient très intéressant d'utiliser les foyers à combustibles ligneux. Les figures montrent également que la subvention de 2002 sur les combustibles fossiles n'a pas éliminé les pertes, elle les a seulement atténuées. Ceci confirme de récentes estimations de la FAO et de la Banque Mondiale, qui annonçaient que la biomasse va continuer d'occuper une place majeure dans les pays en développement, plus précisément en milieu rural [1-3].

Tableau 4 : Évolution du prix des combustibles

Période	Unités	Combustibles					
		Bois	Sciure de bois	Charbon de bois	Pétrole	Gaz	Électricité
Avril 1999	F/kg ou F/kWh	25	14,02	55	156,25	424	80
	F/kep	57,07	32	77	160,85	389,53	933,34
Avril 2001	F/kg ou F/kWh	34	17	64	287,50	500	80
	F/kep	77,61	38,81	89,60	295,96	459,35	933,34
Mars 2002	F/kg ou F/kWh	37	19	64	250	250	80
	F/kep	84,46	43,37	89,60	257,35	229,68	933,34
<b>Subvention</b>							
Octobre 2005	F/kg ou F/kWh	40	19	77	512,5	420	90
	F/kep	91,30	43,37	107,80	527,57	385,85	1050
Avril 2010	F/kg ou F/kWh	44	20	77	587,50	600	110
	F/kep	100,43	45,65	107,80	604,78	551,22	1283,34
Avril 2012	F/kg ou F/kWh	46	20	100	712,50	670	110
	F/kep	105	45,65	140	733,45	615,53	1283,34

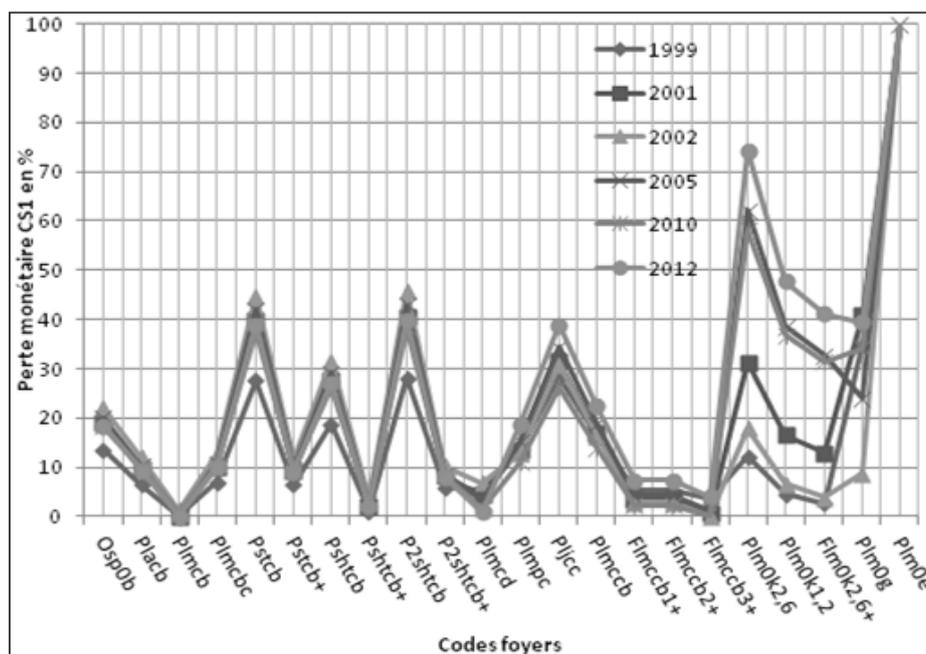


Figure 3 : Perte d'argent en valeur réduite pour la consommation spécifique CSI pour les foyers

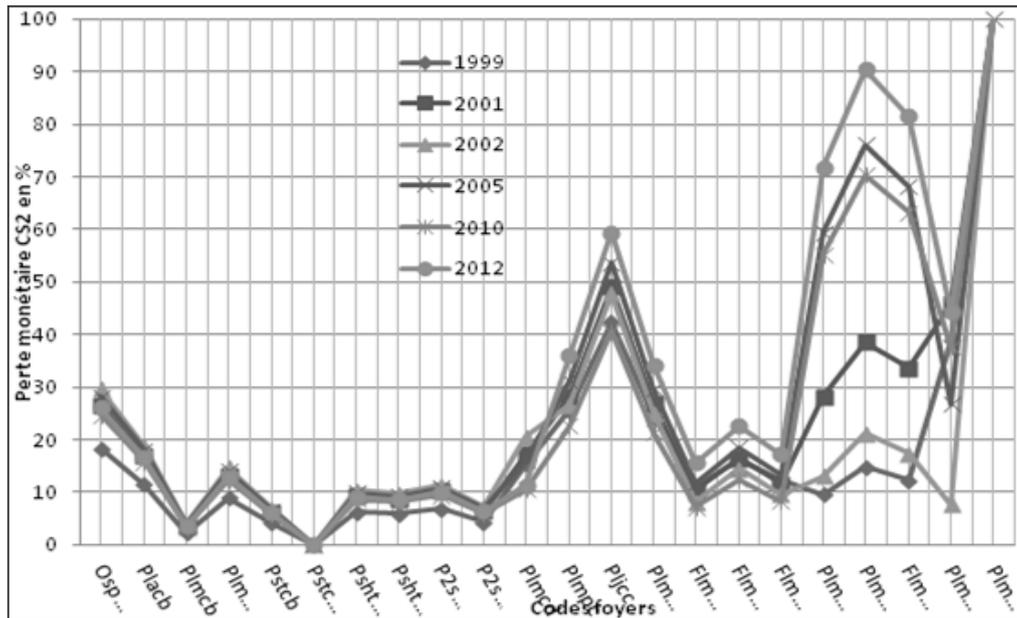


Figure 4 : Perte d'argent en valeur réduite pour la consommation spécifique CS2 pour les foyers étudiés.

Les deux figures montrent que, les plus petites pertes d'argent sont observées, pour les six années d'étude, avec des foyers à bois (Pst<sub>b</sub><sup>+</sup>) et à déchets (Plm<sub>d</sub>) tandis que les plus importantes, avec les réchauds à combustibles fossiles et électrique. La subvention effectuée en 2002 sur les combustibles fossiles, ramène les pertes pour ces réchauds, pour les deux phases de cuisson, à environ 10 % pour le gaz et 15, pour le pétrole. Ces valeurs sont en dessous de celles observées pour la plupart des foyers traditionnels. Si des actions IEC avaient suivi cette action gouvernementale, les populations devraient comprendre qu'elles avaient intérêt d'utiliser les réchauds à combustibles fossiles ou à défaut, d'aller vers les foyers améliorés. Cette période montre également qu'il est plus intéressant d'utiliser le réchaud à gaz par rapport au réchaud à pétrole.

Les années postérieures à cette période, à défaut de subvention sur ces combustibles, il devient plus intéressant de retourner à ces foyers traditionnels y compris le foyer «3 pierres». Ces courbes montrent qu'il est très intéressant de cuire ses repas avec le bois et les déchets. Le coût très faible des déchets de bois (sciure) rend le foyer à sciure de bois très économique malgré sa mauvaise performance sur le plan des consommations d'énergie. Cette situation ouvre d'autres pistes de développement de combustibles de substitution à base de déchets végétaux. Ces actions devraient permettre d'obtenir des résultats tangibles quant au recul de la désertification qui est à nos portes.

#### 4. Conclusion

L'exploitation de la technique d'ébullition de l'eau a permis de quantifier les critères économiques des foyers utilisés au Bénin. Il est montré que les foyers à combustibles fossiles et électrique présentent les meilleures performances en consommation d'énergie. Le bois et les résidus végétaux d'une part, et le charbon de bois d'autre part, constituent des combustibles dont l'usage est plus économique pour les populations, que celui des combustibles comme le pétrole, le gaz et l'électricité. L'évolution plus prononcée du coût des combustibles fossiles et électrique, fait qu'en dehors de l'année de subvention, il est plus économique d'utiliser le foyer «3 pierres» que les foyers à combustibles fossiles (pétrole et gaz) et électrique ainsi que certains foyers comme

le foyer à jante à charbon de bois. Le coût d'achat relativement faible des combustibles ligneux place les foyers à combustibles ligneux en meilleure position, en ce qui concerne le coût de la cuisson, ce qui repose le problème de la lutte contre les effets négatifs de l'utilisation non contrôlée du bois de feu. Quel que soit la période d'étude, il est plus économique d'utiliser les foyers améliorés au cours de la présente étude (foyers à code ayant le signe plus en puissance).

### Références

- [1] - B. Benabdallah, P. Girard & I. Chalon Actes du Symposium international « La biomasse énergie pour le développement et l'environnement : quelles perspectives pour l'Afrique ? », Abidjan, Côte d'Ivoire (1999, Nov.-Déc.). En ligne <http://www.cirad.fr/presentation/programme/bois/perform.shtml>.
- [2] - C. A Houngan. Détermination des performances des foyers utilisés au Bénin par la technique d'ébullition de l'eau. Mémoire d'ingénieur de travaux non publié, Collège Polytechnique Universitaire, Abomey-Calavi (1999).
- [3] - M. Anjorin, C. Awanto, , L. Fagbemi, C. A. Houngan & M. Feidt. Détermination des performances techniques des fourneaux utilisés au Bénin par la technique d'ébullition de l'eau. Actes des Journées de la Société Française de Thermique SFT 2009. En ligne [http://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/congres\\_2009/Communications/49.pdf](http://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/congres_2009/Communications/49.pdf) Pages 775-780.
- [4] - M. Anjorin, C. Awanto, C. A. Houngan, L. Fagbemi, & M. Feidt..(2010, Mai). Codification des foyers à usage domestique. Actes du CIFEM 2010. En ligne <http://cifem2010-ept.sn/article/ART-1-52.pdf>.pages 222-227.
- [5] - G. Lepeleire, K. Krushma & P. Verhaart. Guide technique des fourneaux à bois. Aix-en-Provence : Edisud.(1984)
- [6] - B. A. M. Lawani, Détermination des performances des fourneaux à usage domestique au Bénin par la technique de cuisine contrôlée. Mémoire d'ingénieur de travaux non publié, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi.(2001).
- [7] - E. Agbangbatin. Détermination de l'influence de la quantité de repas (poids) sur les performances des foyers à usage domestique au Bénin par le test d'ébullition de l'eau (TEE). Mémoire d'ingénieur de travaux non publié, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi.(2002).
- [8] - E. R. M. Allagbé Détermination de l'influence de la quantité de repas (poids) sur les performances des foyers domestiques au Bénin par le test de cuisine contrôlée (TCC). Mémoire d'ingénieur de travaux non publié, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi.(2002).