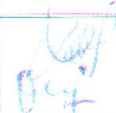





# Rapport sur les tests de performances énergétiques des foyers améliorés Wanrou de l'association ECO-BENIN

Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants  
de 2iE Ouagadougou

Version du 27 décembre 2015

	Nom Prénom	Fonction	Date	Visa
Tests réalisés par	Odilon CHANGOTADE, Sévérin TANOÛ	Technicien de Labo Ingénieur de recherche	27/12/2015 06/01/2016	
Rapport rédigé par	Sévérin TANOÛ	Ingénieur de recherche	06/01/2016	
Vérifié par	Dr Marie SAWADOGO	Enseignante-chercheure	06/01/2016	
Approuvé par	Dr Sayon SIDIBE	Responsable du labo	06/01/2016	

## 1 Introduction

L'association ECO BENIN a sollicité l'expertise du Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB) de 2iE pour la caractérisation de ses foyers en vue de déterminer leurs performances énergétiques. A cet effet, la plateforme a été déplacée sur le site de l'Association à Tanguietta au Nord-Ouest du Bénin.

NB : les caractéristiques géométriques des foyers testés sont annexes

L'association a fourni les foyers de taille 6, 8 et 10 pour essais.



Figure 1: foyers taille N°6 (à gauche), taille N°8 au centre et taille N°10 (à droite)

Les tests ont été réalisés du 20 au 23 décembre 2015 à Tanguietta. Le combustible utilisé a été fourni par le LBEB. Il s'agit du bois d'Eucalyptus acheté à Ouagadougou auprès des fournisseurs de bois. Les conditions météorologiques sont consignées dans les tableaux 2, 5 et 8.

## 2 Méthodologie

La méthodologie utilisée pour déterminer le rendement thermique des foyers est le Test d'Ébullition de l'Eau (TEE) encore appelé Water Boiling Test (WBT),

**La méthodologie consiste à déterminer le rendement thermique du foyer en faisant le rapport entre la quantité d'énergie fournie à l'eau de la marmite ; et la quantité d'énergie produite par la combustion du combustible.**

L'énergie fournie par le combustible est estimée à partir du pouvoir calorifique inférieur (PCI) et de la quantité massique utilisée. Le taux d'humidité et le PCI du combustible (bois) ont été déterminés au laboratoire comme précisé ci-après tandis que la masse de bois utilisée est déterminée par pesées successives.

L'énergie utile pour le chauffage et la cuisson est estimée par pesée des quantités d'eaux chauffées et évaporées, et utilisation des constantes de chaleur latente.

### 2.1 Détermination du taux d'humidité, et du PCI du combustible

Le bois, même bien séché, contient toujours de l'eau. Sa teneur doit être déterminée, puis intégrée dans le calcul de rendement thermique.

Par conséquent, les échantillons de bois utilisés ont été préalablement analysés au laboratoire pour déterminer leur teneur en eau suivant la norme européenne EN 14774-1 et la norme américaine ASTM D 2867-70.

Le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) a été déterminé au laboratoire sur un échantillon du combustible suivant la méthode conforme aux normes Française NF MO3-005, européenne EN 14918 et internationale ISO N°1928.

### 2.2 Test d'Ébullition de l'Eau (TEE)

Le test d'ébullition de l'eau (Water Boiling Test) **version 3**, a été utilisé pour caractériser les foyers de type WANROU de l'association ECO BENIN.

Ce test consiste en une simulation simplifiée du processus de cuisson d'aliments. Il a été développé pour aider les concepteurs de foyer à mesurer efficacement l'aptitude du foyer à transférer l'énergie contenue dans le combustible à l'eau de la marmite (que l'on remplit au 2/3) et à quantifier la chaleur produite lors de la cuisson.

Le protocole du WBT **version 3** se déroule en trois phases telles que résumées sur le graphique ci-dessous :

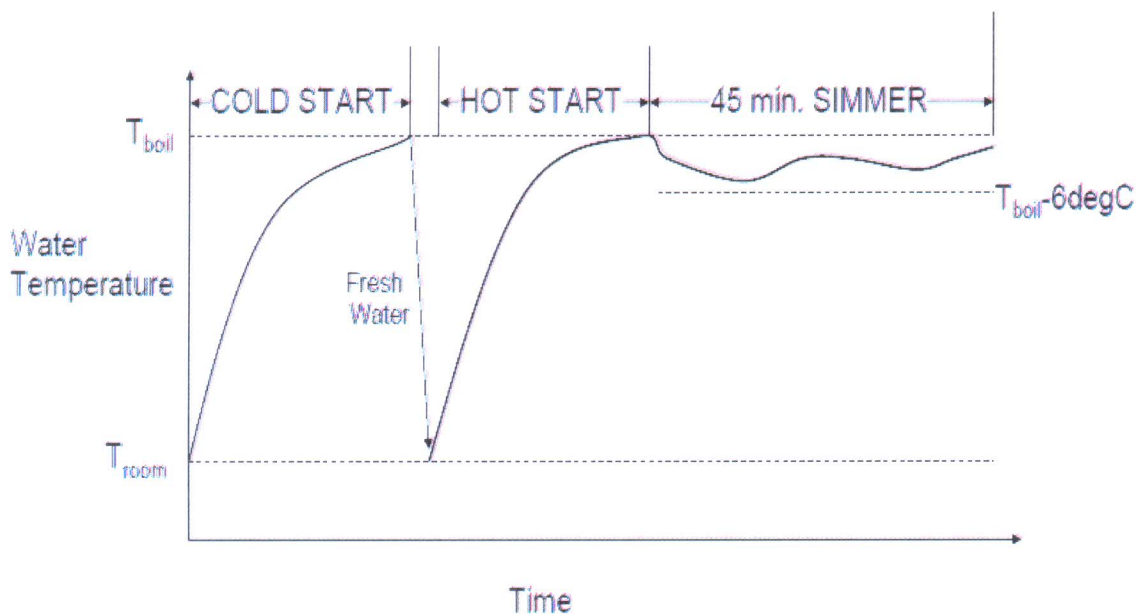


Figure 1 : évolution de la température de l'eau au cours des trois phases du WBT.

- La première phase, le démarrage à froid ou COLD START, commence lorsque le foyer est encore à température ambiante ; le temps nécessaire pour que le foyer fournisse la chaleur nécessaire afin d'amener l'eau au point d'ébullition ( $T_{boil}$ ) est noté ainsi que la quantité du bois consommée à cet effet.
- La deuxième phase, le démarrage à chaud ou HOT START, commence immédiatement après la phase précédente pendant que le foyer est à une température  $T_1$  ; le temps mis pour amener l'eau à  $T_{boil}$  est noté ainsi que la quantité du bois consommée à cet effet.
- La troisième phase, le mijotage (maintien à température d'ébullition) ou SIMMER, dure 45 minutes. L'eau mijote pendant 45 minutes et à une température proche de celle d'ébullition ( $\pm 6^\circ\text{C}$ ). Cette dernière étape permet d'évaluer l'aptitude du foyer à maintenir l'eau en mijotage pendant un temps avec une faible quantité de bois. Elle simule les longues cuissons nécessaires pour cuire certains aliments.

Pour chaque foyer, le TEE a été réalisé en trois essais. Le rendement thermique retenu par test est le rendement thermique à puissance élevée. Il est égal à la moyenne des rendements de la phase du démarrage à froid et du démarrage à chaud.

### 3 Résultats et interprétations

#### 3.1 Taux d'humidité et PCI du combustible

Le taux d'humidité et le PCI du bois d'eucalyptus utilisé sont respectivement de 5,5 % de la masse brute et 18 840 kJ /kg. Le PCI du charbon du bois d'eucalyptus utilisé est de 30 071 kJ/kg.

## 3.2 Test d'Ébullition de l'Eau

### 3.2.1 Tests d'ébullition de l'eau sur le foyer « Wanrou n°6 »

**Tableau 2 : Conditions météorologiques de réalisation des tests**

Conditions extérieures	Test 1	Test 2	Test 3	Unités
Vitesse de vent	0,45	0,23	0,85	m/s
Températures	31,5	35,1	25,1	°C

**Tableau 3: résultats du test d'ébullition de l'eau avec le foyer « Wanrou n°6 » avec la marmite de taille n°6**

Phase 1 : chauffage de l'eau - Démarrage à froid	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	15	16	19	min	16,7
Rendement thermique	22,6	23,5	23,4	%	23,1
Puissance du feu	13,1	11,7	10,2	kW	11,7

Phase 2 : chauffage de l'eau - Démarrage à chaud	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	8	10	12	min	10,0
Rendement thermique	22,8	24,1	23,7	%	23,6
Puissance du feu	22,8	15,5	14,2	kW	17,5

Phase 3 : maintient à température d'ébullition	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Rendement thermique	20,8	18,9	19,6	%	19,8
Puissance du feu	19,3	15,7	14,4	kW	16,5

**Tableau 4 : Paramètres de performance du foyer « Wanrou n°6 » à l'issu du TEE**

	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne
Rendement thermique haute puissance (%)	22,7	23,8	23,5	23,3%

Le rendement thermique à haute puissance du foyer « Wanrou n°6 » est 23,3%.

### 3.2.2 Tests d'ébullition de l'eau sur le foyer « Wanrou n°8 »

**Tableau 5 : Conditions météorologiques de réalisation des tests**

<b>Conditions extérieures :</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités
Vitesse de vent :	0,32	0,3	0,45	m/s
Températures :	30	28,3	30,3	°C

**Tableau 6: résultats du test d'ébullition de l'eau avec le foyer « Wanrou n°8 » avec la marmite de taille n°8**

<b>Phase 1 : chauffage de l'eau - Démarrage à froid</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	18	24	21	min	21,0
Rendement thermique	22,5	22,9	23,4	%	22,9
Puissance du feu	13,9	11,5	11,7	kW	12,4

<b>Phase 2 : chauffage de l'eau - Démarrage à chaud</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	16	15	10	min	13,7
Rendement thermique	23,6	23,0	25,6	%	24,1
Puissance du feu	14,8	15,8	19,3	kW	16,6

<b>Phase 3 : maintien à température d'ébullition</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Rendement thermique	20,6	19,5	19,0	%	19,7
Puissance du feu	15,9	19,2	20,8	kW	18,6

**Tableau 7 : Paramètres de performance du foyer « Wanrou n°8 » à l'issu du TEE**

	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne
Rendement thermique haute puissance (%)	23,0%	22,9%	24,5%	23,5%

Le rendement thermique à haute puissance du foyer « Wanrou n°8 » est 23,5%

### 3.2.3 Tests d'ébullition de l'eau sur le foyer « Wanrou n°10 »

**Tableau 8 : Conditions météorologiques de réalisation des tests**

<b>Conditions extérieures :</b>	Test 1	Test 2	Test 3
Vitesse de vent :	0,32	0,45	0,43
Températures :	30	22,5	31,8

**Tableau 9: résultats du test d'ébullition de l'eau avec le foyer « Wanrou n°10 » avec la marmite de taille n°10**

<b>Phase 1 : chauffage de l'eau - Démarrage à froid</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	33	38	31	min	34,7
Rendement thermique	22,6	22,9	22,8	%	22,7
Puissance du feu	11,0	10,6	11,0	kW	10,9

<b>Phase 2 : chauffage de l'eau - Démarrage à chaud</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Temps d'ébullition	14	19	21	min	18,0
Rendement thermique	22,9	23,8	23,1	%	23,3
Puissance du feu	20,6	15,3	15,6	kW	17,2

<b>Phase 3 : maintient à température d'ébullition</b>	Test 1	Test 2	Test 3	Unités	Moyenne
Rendement thermique	21,0	20,6	20,3	%	20,6
Puissance du feu	20,7	22,7	17,1	kW	20,1

**Tableau 10 : Paramètres de performance du foyer « Wanrou n°10 » à l'issu du TEE**

	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne
Rendement thermique haute puissance (%)	22,7	23,3	22,9	22,96%

Le rendement thermique à haute puissance du foyer « Wanrou n°10 » est de 23%

## 4 Conclusion

Afin d'évaluer la performance des foyers « Wanrou » de l'Association ECO BENIN, des tests ont été effectués au LBEB en se basant sur le protocole du Test d'ébullition de l'eau en suivant le protocole (WBT 3).

Les tests se sont déroulés de manière satisfaisante dans la mesure où les opérations de pesée et de suivi par phase, ont permis d'obtenir des résultats réguliers entre les trois tests (essais) pour chacun des foyers.

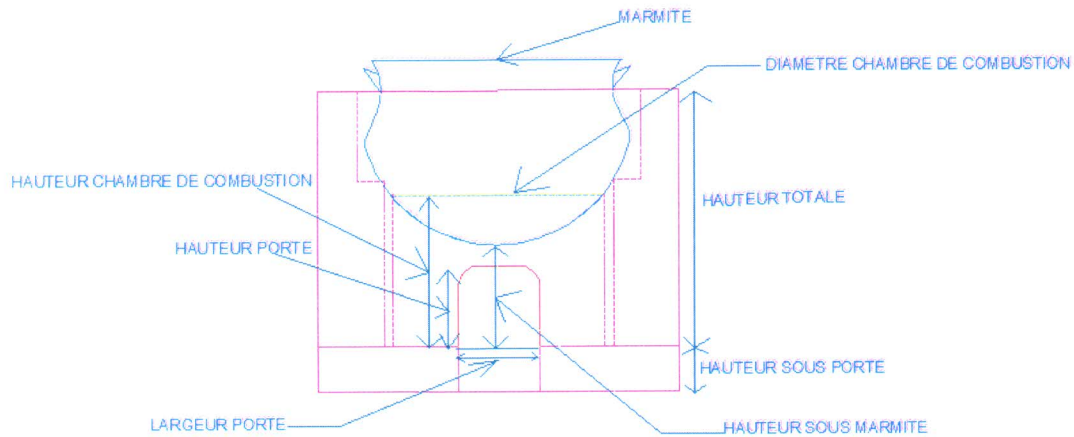
*Le rendement thermique à haute puissance des différents foyers est résumé dans le tableau ci-dessous.*

Taille du foyer	Le rendement thermique à haute puissance (%)
Foyer N°6	23,3
Foyer N°8	23,5
Foyer N°10	23



## ANNEXES

### Présentation du foyer Wanrou



### Foyer N°6



Paramètres géométriques	Dimensions (cm)
Hauteur porte	18
Largeur porte	18
Hauteur sous marmite	24
Diamètre chambre de combustion	30
Hauteur chambre de combustion	32,5
Hauteur totale du foyer	45
Cheminée	Diamètre= 15cm et Hauteur= 1,5 m

### Foyer N°8



Paramètres géométriques	Dimensions (cm)
Hauteur porte	18
Largeur porte	18
Hauteur sous marmite	26
Diamètre chambre de combustion	37
Hauteur chambre de combustion	35
Hauteur totale du foyer	50
Cheminée	Diamètre= 15 cm et Hauteur= 1.5 m

### Foyer N°10



Paramètres géométriques	Dimensions (cm)
Hauteur porte	20
Largeur porte	20
Hauteur sous marmite	28
Diamètre chambre de combustion	40
Hauteur chambre de combustion	37
Hauteur totale du foyer	52
Cheminée	Diamètre= 15 cm et Hauteur= 1.5 m