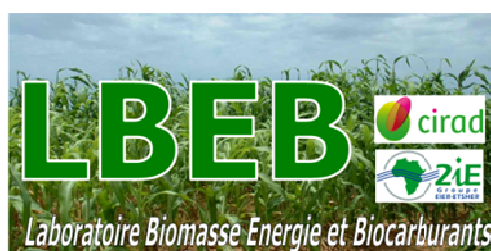


# CARACTÉRISATION ET OPTIMISATION D'UN FOYER À CUISSON DE « DOLO » ÉQUIPÉ D'UN BRÛLEUR À HUILE VÉGÉTALE

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER SPÉCIALISÉ EN GÉNIE  
ÉLECTRIQUE, ÉNERGETIQUE ET ÉNERGIE RENOUVELABLE.

**OPTION : GÉNIE ÉNERGETIQUE ET ÉNERGIE RENOUVELABLE**

**Laboratoire Biomasse Énergie et Biocarburant (LBEB)**



Présenté et soutenu publiquement le 13 décembre 2011 par :

**LASSANA SANA**

**Encadreur :**

Ing. William FOTSEU

**Maître de stage :**

Dr. Philippe ARNOLD

Secrétaire Général Fondation Dreyer

**Jury d'évaluation:**

Président : Dr. Richardson YOHAN

Membres et correcteurs :

Dr . Philippe ARNOLD

Ing. William FOTSEU

Ing. Eric Serges NOUMI

Boubacar ZONGO

**Promotion 2010-2011**

## REMERCIEMENTS

Ce stage de fin d'étude Master Spécialisé Génie Énergétique et Énergies Renouvelables à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Ouagadougou a été réalisé à la Fondation Dreyer dans la Commune Urbaine de Dano (Burkina Faso).

Avant de présenter ce travail je tiens à exprimer mes sincères reconnaissances et remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Ainsi, mes remerciements vont à l'endroit :

- Du Docteur Joël BLIN et l'Ingénieur de recherche William FOTSEU, mes encadreurs, pour le suivi et l'attention critique qu'ils ont portés à mes travaux ; pour les conseils et suggestions qui m'ont été d'une grande utilité depuis l'élaboration des outils de collecte des données jusqu'à la rédaction de ce document;
- De tout le personnel du Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant pour son appui et conseil durant mes travaux au laboratoire;
- Du Docteur Philippe ARNOLD Secrétaire Général de la Fondation Dreyer, pour ses conseils techniques et sa disponibilité durant mon stage;
- De Monsieur Salfo KABORE Directeur Administratif et Financier de la Fondation Dreyer pour sa disponibilité dans les procédures administratives;
- Monsieur Cyrille SOME, pour son soutien de traducteur pendant toutes mes activités de terrain dans le cadre de mon stage;
- Tous les étudiants stagiaires qui se sont succédé à la Fondation Dreyer et avec qui, j'ai noué de très bonnes relations;
- De tout le personnel administratif et d'appui de la Fondation Dreyer pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont réservé.
- Enfin, et non des moindres, à M. Boubacar ZONGO, l'inventeur autodidacte, passionné et persévérant du foyer : sans lui, ce mémoire n'existerait tout simplement pas.

---

DEDICACE

❖ AU NOM D'ALLAH LE TOUT MISÉRICORDIEUX, LE TRÈS MISÉRICORDIEUX.

❖ A MES PARENTS

POUR TOUT CE QUE VOUS M'AVEZ FAIT POUR MA  
RÉUSSITE, POUR L'AMOUR QUE VOUS ME PORTIEZ,  
POUR L'ESPRIT DE TOLÉRANCE ET D'HUMILITÉ QUE  
VOUS M'AVEZ INCULQUÉ.

❖ A MES AMIS DE LA TROISIÈME PROMOTION DU MASTER SPÉCIALISÉ  
POUR LA SOLIDARITÉ, LE COURAGE, ET LA FRATERNITÉ QUE NOUS  
AVONS CULTIVÉE BIEN QUE NOUS VENIONS D'HORIZONS DIVERS.

JE DÉDIE LE FRUIT DE CE TRAVAIL

---

## LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES

### LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : classification des brûleurs

Tableau 2 : les grandeurs invariables

Tableau 3 : résultat des essais

Tableau 4 : émission de fumée

Tableau 5 : les grandeurs invariables

Tableau 6 : résultat des essais du TEE

Tableau 7 : émission de fumée

Tableau 8 : bilan énergétique

Tableau 9 : récapitulatif de tous les résultats des essais effectués sur les deux foyers

Tableau 10 : récapitulatif bilan énergétique

Tableau 11 : résultat test au cabaret « le carrefour »

Tableau 12 : résultat test au cabaret « chez benoit »

Tableau 13 : coût de production d'un litre de dolo cabaret « le carrefour »

Tableau 14 : coût de production d'un litre de dolo cabaret « chez benoit »

Tableau 15 : bilan économique

### LISTE DES FIGURES

Figure 1 : brûleur artisanal à huile végétale ou de vidange (vue de haut et ouvert).

Figure 2 : foyers dolo traditionnels

Figure 3 : foyers dolo améliorés (Dano, 2011)

Figure 4 : matériel utilisé (laboratoire LBEB, Fondation2ie)

Figure 5 : prototype du foyer à huile végétale (LBEB/2ie)

Figure 6 : Schéma de principe du prototype « ZONGO » à tester

Figure 7 : Schéma du bilan énergétique

Figure 8 : graphique du bilan énergétique

Figure 9 : schémas de principe du foyer modifié

Figure 10 : bilan énergétique du foyer modifié

Figure 11 : Diagramme comparatif des temps d'ébullition

---

Figure 12 : digramme comparatif des vitesses de combustion  
Figure 13 : Diagramme comparatif des consommations spécifiques  
Figure 14 : Diagramme comparatif de la consommation  
Figure 15 : Diagramme comparatif des rendements thermiques  
Figure 16 : Diagramme comparatif des puissances  
Figure 17 : Digramme comparatif des températures des fumées  
Figure 18 : Digramme comparatif des températures des émissions d'oxyde de carbone

#### LISTE DES ABRÉVIATIONS

**2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement  
**CISS** : Comité international de lutte contre la sécheresse dans le Sahel  
**CO** : monoxyde de carbone  
**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone  
**FB** : foyer en banco ;  
**FHV** : Foyer à Huile Végétale  
**HVB** : Huile Végétale Brute  
**HVP** : Huile végétale Pure  
**LBEB** : Laboratoire de Biomasse Energie et Biocarburants  
**MDP** : Mécanisme de développement Propre  
**NO<sub>x</sub>** : oxyde d'azote  
**ONG** : Organisation non gouvernementale  
**TEE** : Test d'Ébullition d'Eau  
**TCC** : Test de Cuisine Comparée  
**O<sub>2</sub>** : di oxygène

## RÉSUMÉ

La Fondation Dreyer est une ONG allemande à but non lucratif qui œuvre dans l'amélioration des conditions de vie de la population rurale et pour un développement intégré de la commune de Dano au Sud-Ouest du Burkina Faso. Elle a fait plusieurs réalisations dont l'aménagement de plaines cultivables pour une pratique de l'agro-écologie en toutes saisons, le micro crédit (semences améliorées et engrais aux producteurs), le parrainage d'enfants au Lycée provincial de Dano, la construction et la réhabilitation d'infrastructures hydrauliques et scolaires (environ 37 millions pour la rénovation de deux écoles et la construction d'un forage), etc. Pour cette étude intitulée « **caractérisation et optimisation d'un foyer à « dolo » équipé d'un brûleur à huile végétale** » en collaboration avec la fondation 2IE, dont l'objectif est de soutenir les populations rurales dans la lutte contre la désertification et la pauvreté. Après plusieurs tentatives non abouties, la Fondation Dreyer a été mise en contact, par l'intermédiaire de Son Excellence le Laarlé Naaba, Ministre du Mooro Naaba, avec un inventeur Burkinabè, M. Boubacar Zongo, qui avait mis au point un petit foyer domestique utilisant l'huile de Jatropha brute comme combustible. La Fondation a demandé à cet inventeur, en l'associant aux chercheurs du LBEB de 2iE, de construire et mettre au point en l'agrandissant le même type de foyer à huile pour des marmites de grandes tailles destinées à la préparation du « dolo » (bière de mil), activité à l'origine de 70% de la consommation totale du bois de chauffe à Dano soit 6442 tonnes/an (Rapport final de SYLLA Facinet : « Analyse des besoins en bois énergie des dolotières pour la substitution à huile de Jatropha Curcas dans la Commune Rurale de Dano/Burkina Faso », 2009). Dans l'optique de présenter des données techniques fiables pour amorcer le lancement de la fabrication en série, la Fondation Dreyer a voulu faire mener des tests scientifiques sur un prototype pour faire ressortir les performances énergétiques et procéder à toutes les améliorations possibles. Les analyses et travaux du présent mémoire ont permis de connaître l'efficacité de ce type de foyer et aussi de fournir des données de base pour la préparation d'un dossier crédit carbone. A l'issue de notre étude il ressort qu'effectivement les foyers à « dolo » à huile végétale comportent des avantages puisqu'ils ont un rendement thermique de 43% contre 35% pour le foyer « dolo » à bois amélioré, ils évitent aux femmes certaines corvées liées à l'utilisation du bois et d'être exposées à la chaleur du feu et à la fumée.

---

**Mots clés:**

---

- 1- Brûleur
- 2- Crédit carbone
- 3- Dolo
- 4- Foyer
- 5- Huile végétale
- 6- Rendement

## ABSTRACT

Dreyer's Foundation is a German NGO, non-profit that works in improving living conditions of rural population and an integrated development of the town of Dano in southwestern Burkina Faso. She made several achievements including the development of cultivated plains to the practice of agro-ecology in all seasons, the establishment of school canteens, etc.. For this study, "Characterization and optimization of a home for" dolo "with a vegetable oil burner" in collaboration with 2iE Foundation, which aims to support rural communities in the fight against desertification and poverty. After several unsuccessful attempts, the Dreyer Foundation was put in contact, through His Excellency the Laarlé Naaba, Minister of Mooro Naaba, Burkina Faso with an inventor, Mr. Boubacar Zongo, who had developed a small hearth using crude jatropha oil as fuel. The Foundation asked the inventor, by linking researchers from LBEB in 2iE, build and develop by enlarging the same type of household oil for boilers of large sizes for the preparation of "dolo"(millet beer), activity for 70% of the total consumption of firewood in Dano (6442 tons / year in Sylla, 2009) ... In order to provide reliable technical data to initiate the launch of mass production, the Foundation Dreyer wanted to conduct scientific tests on a prototype to highlight the energy performance and make all possible improvements. The analysis and work of this memory have to know the effectiveness of this type of home and also provide basic data for the preparation of a carbon credit file. At the end of our study it appears that indeed the home of "dolo" vegetable oil have advantages because they have a thermal efficiency of 43% against 35% for the home "dolo" improved wood they avoid women some chores related to the use of wood and be exposed to the heat of fire and smoke.

## Keys word:

---

- 1- burner
- 2- "Dolo"
- 3- Carbon credit file
- 4- Stove
- 5- Vegetal oil
- 6- efficiency



## Table des matières

1	INTRODUCTION GENERALE .....	4
1.1	Contexte .....	4
1.2	Méthodologie .....	5
2	CHAPITRE I : Synthèse bibliographique .....	7
2.1	GÉNÉRALITÉ .....	7
2.1.1	Les brûleurs .....	7
2.1.2	Les brûleurs à huiles végétales.....	8
2.1.3	Problèmes rencontrés dans les brûleurs utilisant l'huile végétale comme combustible	9
2.1.4	Quelques solutions pour l'utilisation des huiles végétales dans les brûleurs .....	10
2.2	LES FOYERS A « DOLO » .....	11
2.2.1	Exemple de foyer à dolo existants .....	11
2.2.2	Le mode de transfert de chaleur à la marmite.....	13
2.2.3	Méthodes de caractérisation des foyers .....	13
3	CHAPITRE II : Test d'ébullition d'eau .....	16
3.1	Le test d'ébullition d'eau développé par la fondation Shell .....	16
3.2	Procédures du test d'ébullition .....	16
3.3	Matériel utilisé .....	17
3.4	Test du prototype du foyer « dolo » à huile végétale .....	17
3.4.1	prototype du foyer à dolo à huile de jatropha (mis au point par m. boubacar zongo)	17
3.4.2	Protocole de réalisation des tests : démarrage à froid, démarrage à chaud et mijotage	19
3.4.3	Résultat des essais.....	21
3.4.4	Analyse des fumées.....	23
3.5	Bilan énergétiques de la première phase.....	24
3.6	Interprétation des résultats des tests .....	26
3.6.1	Constat .....	26
3.6.2	Proposition d'amélioration.....	28
3.7	Réalisation du foyer modifié .....	29
3.7.1	les modifications apportées .....	29
3.7.2	Schéma de principe .....	30
3.8	Test foyer modifié .....	30
3.8.1	Résultats .....	30

3.8.2	Bilans énergétiques.....	34
3.9	Réductif de tous les résultats.....	35
3.9.1	Constat.....	38
4	CHAPITRE III : Test de Cuisine Comparé.....	40
4.1	Test de cuisine comparée.....	40
4.2	Contexte et cadre de l'étude.....	40
4.3	Méthodologie.....	40
4.3.1	Choix des cabarets.....	41
4.3.2	Test de cuisine comparé.....	41
4.4	Résultats.....	41
4.4.1	cabarets retenus.....	41
4.4.2	test de cuisine comparé.....	41
4.4.3	interprétation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5	Limites d'interprétation du Test de cuisine contrôlé (TCC).....	44
4.6	Appréciation du foyer à huile de jatropha.....	44
5	CHAPITRE IV : Calcul Economique.....	46
5.1	Coût de production d'un litre de dolo.....	46
5.2	Analyse économique.....	47
5.3	Estimation du prix de l'huile de jatropha pour rendre la production de dolo rentable avec le foyer le foyer à huile végétale (hors tout amortissement de l'achat du foyer).....	48
6	CONCLUSION.....	49
7	Bibliographie.....	50
8	ANNEXES.....	51

## 1 INTRODUCTION GENERALE

### 1.1 CONTEXTE

Contrairement à ce qu'évoquent certains rapports d'études, la désertification en Afrique de l'ouest continue son bonhomme de chemin et à un rythme plutôt déconcertant. Ce phénomène est principalement dû à la croissance démographique, en restant étroitement lié à la pauvreté, aux problèmes alimentaires, à la croissance démographique, aux mauvaises pratiques de gestion de l'environnement, etc [1].

L'analyse de la situation environnementale au Burkina en particulier, présente des inquiétudes sérieuses quant à la durabilité de la vie dans sa globalité à long terme. Plus de 85% de la population ne vit que d'agriculture et d'élevage de subsistance, utilisant le bois et la paille comme seules sources d'énergie et de matériel de construction [1]. La pauvreté et l'analphabétisme compliquent énormément les efforts de sensibilisation contre les mauvaises pratiques de gestion et favorisent la perte de la confiance en soi et l'installation d'un esprit fataliste au sein des populations.

La population de plus de 15 millions d'habitants s'accroît annuellement de 3%, justifiant la mise en culture de 105.000 ha de nouvelles terres chaque année [1]. A cela s'ajoutent les effets des variations pluviométriques et des longues périodes de sécheresse qui causent le retrait des nappes phréatiques, la mort des arbres et la disparition de nombreuses espèces végétales. Enfin, il faut souligner l'ensablement rapide des retenues et des cours d'eau sous les effets de l'érosion hydrique encouragée par la dénudation des terres.

Un grand nombre de population en particulier les femmes continuent de mener une vie extrêmement difficile attribuable à la division sexuelle du travail, à d'autres problèmes socioéconomiques et culturel, et surtout à la dégradation rapide des ressources naturelles. En effet, dans le contexte actuel de paupérisation des populations rurales, les ressources naturelles notamment forestières constituent une des dernières sources de revenus pécunier ou alimentaires des populations qui les surexploitent pour subvenir à leurs besoins primaires. Cette situation est aggravée par une importante activité de brasserie de bière locale ou « dolo » dans tout l'Ouest du Burkina, et notamment dans les zones d'intervention de l'ONG Fondation Dreyer. Selon une étude menée par un élève ingénieur en master de 2iE, M. Facinet

SYLLA, sous l'égide de cette Fondation en 2009, l'impact de cette industrie locale composée de 135 « cabarets » dans la seule ville de Dano (Sud-ouest du Burkina Faso) sur le couvert végétale s'évalue à 6.442 tonnes de bois/an (dont 80% de Karité et de Néré) !.

D'ores et déjà certaines solutions ont été proposées. Ces solutions sont de trois ordres:

- Augmenter les disponibilités en matière première ligneuse (aménagement et exploitation rationnelle des formations naturelles, reboisements dans le cadre d'un Plan de Gestion Intégré de la Commune de Dano élaboré par la Fondation Dreyer et approuvé par les autorités administratives de la Région Sud-ouest).
- Réaliser des économies de combustibles au niveau de l'utilisation ménagère par l'emploi de foyers « améliorés ».
- Proposer des combustibles de remplacement technologiquement, sociologiquement et financièrement acceptables par les populations, à substituer au bois ou au charbon de bois.

Un des aspects du troisième point fait l'objet de notre étude.

Cette étude intitulée « **caractérisation et optimisation d'un foyer à dolo équipé d'un brûleur à huile végétale (jatropha)** » a été proposée par la Fondation Dreyer sur le prototype mis au point par l'inventeur burkinabè Boubacar ZONGO en collaboration avec la Fondation 2IE. Elle a été réalisée dans le cadre de notre stage de fin d'étude de Master Spécialisé Génie Électrique, Énergétique et Énergies Renouvelables à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et Environnement de Ouagadougou qui s'est déroulée du 01 avril au 30 Août 2011

## 1.2 METHODOLOGIE

Les travaux du présent mémoire de fin d'étude se sont déroulés selon la chronologie ci-après :

- ❖ **La recherche bibliographique:** cette partie décrit dans un premier temps les huiles végétales, les brûleurs, les problèmes liés à l'utilisation des huiles végétales dans les brûleurs et les solutions palliatives ensuite des exemples de foyers à « dolo », leurs performances et les méthodes de caractérisation des performances des foyers.
- ❖ **Manipulations en laboratoire :** phase capitale de notre étude, où il s'agit de faire plusieurs séries de tests au laboratoire pour caractériser les performances du premier prototype.
- ❖ **Analyse des résultats et Recommandations :** Cette étape consiste à faire analyser les résultats des tests, faire des recommandations, proposer des solutions et procéder avec la

contribution efficace de l'inventeur, présent à toutes les étapes, à la modification des foyers dans le sens des solutions retenues.

- ❖ **Une analyse sur le terrain** : cette partie mène une analyse technico-économique comparative, en situation réelle, du foyer optimisé et de ceux utilisés par les « dolotières » (femme qui fabrique le « dolo »). En outre une enquête d'acceptabilité a été menée. Cette analyse permettra à la fondation DREYER d'amorcer ou non le processus de certification, de poursuivre ou non la diffusion du foyer à cuisson de « dolo » équipés d'un brûleur à huile végétale.

## 2 CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

### 2.1 GÉNÉRALITÉ

L'utilisation des biocarburants présente un bon nombre d'avantages car contrairement au pétrole, les biocarburants sont biodégradables, donc ne pourraient en aucun cas provoquer une marée noire. Les huiles végétales ne contiennent pas d'azote et très peu ou pas du tout de soufre (qui dans le cas des biocarburants, retombe sous forme d'acide sulfurique et agresse les toitures et dégrade les façades des monuments). Ainsi, fonctionner aux huiles végétales entraîne une diminution immédiate de la pollution générée par les gaz des cheminées des foyers. D'autre part, le protocole de Kyoto incite fortement à des restrictions, concernant les émissions de CO<sub>2</sub>, qui peuvent être satisfaites, puisque le CO<sub>2</sub> rejeté par la combustion d'huiles végétales dans les brûleurs a déjà été absorbé lors de la croissance de la plante, contrairement à l'utilisation des produits fossiles [2].

Ainsi, l'emploi d'huiles végétales - comme combustible - permettra de réduire la **dépendance** énergétique de certaines localités qui pourront produire sur place leur propre carburant « vert ».

En Côte d'Ivoire la SOCFIN, une entreprise de caoutchouc a installé en 2008, un brûleur à huile utilisant de l'huile de palme comme combustible. Au Sénégal, invention d'un foyer à huile de jatropha pour la cuisson des aliments [3].

#### 2.1.1 Les brûleurs

##### 2.1.1.1 Définition du brûleur

Un brûleur est l'élément mécanique siège de production de chaleur par combustion d'un mélange combustible comburant. Le mélange nécessite le meilleur réglage pour que le rendement de combustion soit maximal et parfaite (pas d'imbrûlés, ...).

##### 2.1.1.2 Classification

La classification des brûleurs se fait selon le mode de fonctionnement, de conception et selon le type de combustible utilisé. Le tableau ci-après rassemble ces différentes classifications.

**Tableau 1:** classification des brûleurs

<b>Mode de classification</b>	<b>Type de brûleurs</b>
Selon le combustible utilisé	-Brûleur à combustible solide -Brûleur à combustible liquide -Brûleur à combustible gazeux
Selon la manière dont est brûlé le combustible	-Brûleur à vaporisation (ou à gazéification) Exemple brûleur de type REDI (figure 1) -Brûleur à pulvérisation, par fluide auxiliaire par procédé mécanique, par procédé mixte Exemple brûleur de la générale fonderie du burkina (G.F.B)
Selon le type de mélange et introduction de l'air et gaz (classification établie selon la spécification A-T G- C- 30)	-brûleur à bec à flamme de diffusion ou à becs aérés (brûleur de classe A) -brûleur à induction (air induit par le gaz) ou brûleur de classe B
Selon le mode de fonctionnement	-Brûleur manuel (allumage, extinction et réglage de débit sont effectués manuellement) -Brûleurs automatiques (toutes les opérations précédentes sont automatiques)

La classification précédente est loin d'être exhaustive, cependant, elle permet de découvrir la très grande diversité des brûleurs, allant des plus simples (brûleurs artisanaux) au plus sophistiqués (brûleurs industriels).

Pour le moment, nous allons focaliser notre attention sur les brûleurs à combustible liquides et plus particulièrement les brûleurs à huiles végétales.

## 2.1.2 Les brûleurs à huiles végétales

### 2.1.2.1 Description

- **Définition**

C'est un brûleur à combustible liquide qui exploite la combustion de l'huile végétale (combustible) et de l'air (comburant) pour produire de la chaleur.

Leur fonctionnement peut se faire de manière automatique ou manuellement.

- **structure**

Nous allons nous intéresser à la structure des brûleurs artisanaux à fonctionnement manuel.

Ils sont constitués généralement :

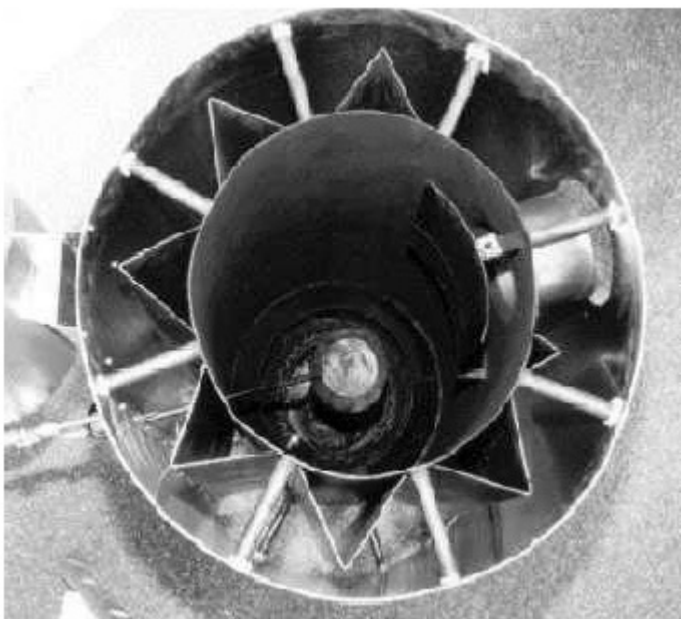
- d'un réservoir suspendu à une certaine hauteur du sol par l'intermédiaire d'un support amovible. il alimente directement le pot de combustion en huile par

---

*« Caractérisation et optimisation d'un foyer à cuisson de « dolo » équipé d'un brûleur à huile végétale »*

gravitation par l'intermédiaire d'un tuyau muni d'une vanne permettant de régler le débit.

- D'un four constitué d'une chambre de combustion et d'une paroi couronne cylindrique (concentrique à la chambre de combustion) qui est sensé contenir un matériau (sable en général) qui va assurer l'isolation de la chambre.
- D'un creuset sur lequel a lieu la combustion.
- D'un ventilateur entraîné par une roue actionnée par un opérateur. L'air pulsé par le ventilateur est acheminé vers la chambre de combustion par l'intermédiaire d'un tuyau.



**Figure1** : brûleur artisanal à huile végétale ou de vidange (vue de haut et ouvert).

Source: REDI sharing renewable energy

### **2.1.3 Problèmes rencontrés dans les brûleurs utilisant l'huile végétale comme combustible**

#### **2.1.3.1 Les propriétés physiques des huiles végétales pures sources de problèmes liés dans leur utilisation comme combustible.**

- ❖ L'huile peut s'oxyder, elle sèche et peut générer des problèmes dans les réservoirs ;
- ❖ La viscosité nettement supérieure à celle du gazole. À une même température, la viscosité est 5 à 15 fois supérieure à celle du gazole. Elle entraîne le colmatage des



filtres à combustible. Elle crée également des pertes de charges très élevées par les filtres à combustible classique qui peut provoquer une sous-alimentation du gicleur ;

- ❖ La contamination résiduelle (particules, fibres, eau..) est susceptible de colmater les filtres (pour la partie arrêtée par ceux-ci) et d'accélérer l'usure du système d'injection (pour la partie qui ne serait pas arrêtée par ces filtres) ;
- ❖ Le point trouble et le point d'écoulement : dans nos climats tropicaux, pas de conséquence néfaste mais dans les climats tempérés, les filtres chauffants et lignes d'alimentation calorifugées sont nécessaires pour toujours faire circuler l'huile dans le brûleur à l'état liquide.

### **2.1.3.2 Les problèmes liés à la nature chimique des huiles végétales**

- ❖ La polymérisation : les gouttelettes d'huiles qui échappent à la combustion vont polymériser sur les parois les plus froides des échangeurs de chaleurs (les tubes de fumée par exemple);
- ❖ Les dépôts au nez du gicleur ;
- ❖ Encrassement très rapide du foyer.
- ❖ la production de composés organiques nocifs lors de sa combustion, en particulier l'acroléine.

### **2.1.4 Quelques solutions pour l'utilisation des huiles végétales dans les brûleurs**

Des travaux antérieurs effectués ont permis de citer certains remèdes permettant une utilisation facile de l'huile végétale comme carburant dans les brûleurs :

- Emulsion de l'huile avec l'eau afin de rendre plus fines les gouttelettes d'huiles au moment de la combustion. En effet, l'eau contenue dans l'huile :
  - réduit la température dans la chambre de combustion par absorption de la chaleur lors de l'évaporation de l'eau ;
  - améliore la qualité de la combustion et réduit sa durée grâce aux phénomènes de micro-explosions permettant d'obtenir des gouttelettes d'huiles beaucoup plus petites et donc des conditions plus favorables pour la combustion.
- Chauffage de l'air de combustion.
- Préchauffage de l'huile à une température de 80 - 90°C grâce à des réservoirs ou systèmes d'injection chauffants. A cette température la viscosité de l'huile diminue. Il est fort déconseillé de franchir la température de 110°C par crainte de phénomène d'oxydation conduisant à la polymérisation.

- Utilisation des filtres de diamètre 27 micromètres pour les huiles. Cette dimension provient des dimensions standards américaines ou anglaises disponibles sur le marché.
- Filtrage efficace de l'huile avant son utilisation dans les brûleurs.

## 2.2 LES FOYERS A « DOLO »

Par définition, un foyer est un dispositif conçu dont le rôle est de canaliser l'énergie thermique produite par la combustion du bois pour transférer à une marmite. Traditionnellement les foyers à « dolo » utilisés pour la cuisson de la bière traditionnelle à base de mil étaient constitués de trois pierres disposées en triangle, de hauteur à peu près égale entre lesquels le bois à brûler est introduit et sur lesquels une marmite repose en équilibre. Cette technique a été utilisée depuis des décennies ; malheureusement ce mode de cuisson a un rendement énergétique faible d'environ 17% [4]. En effet, la plus grande partie des calories potentielles du bois est perdue par rayonnement, par les fumées ou à cause du vent et il ne reste comme équivalent calorifique utilisé réellement pour la cuisine qu'à peine 5% du bois initial (ce qui peut encore être aggravé par le fait qu'on brûle de plus en plus souvent du bois fraîchement coupé). C'est la crise écologique qui a conduit les chercheurs à améliorer ce foyer traditionnel jugé moins rentable. Depuis lors les recherches se sont tournées vers les foyers dits améliorés. Il est très difficile d'indiquer les noms de tous les groupements ou d'individus impliqués dans cette recherche. Par contre on peut citer les grandes organisations internationales telles que : l'UE; l'ONUDI ; GTZ (coopération internationale technique allemande) etc.... qui s'intéressent à cette problématique et qui accordent des financements pour la réalisation des travaux.

### 2.2.1 Exemple de foyer à dolo existants

Il existe divers types de foyer à dolo : les foyers dolo traditionnels et les foyers dolo améliorés

#### **-Foyers dolo traditionnels :**



**Figure 2: foyers dolo traditionnels**

Photo INERA

Les foyers dolo traditionnels sont construits de grosses pierres, ou grosse mottes de terre, ou vieux seaux remplis de terre, morceaux de canaris etc. le rendement est d'environ 17% [4]. La consommation de bois est d'environ 1Kg/litre de dolo [4], ce qui représente 70% de la consommation totale de bois à Dano (dans la zone d'étude) et même encore 12% de la demande de bois de la capitale burkinabé Ouagadougou [4]. Il y a différents types de foyers traditionnels selon les régions et les ethnies au Burkina Faso. Les deux principaux types sont : le foyer de 3 à 6 canaris ou marmites disposés en triangle, carré ou aligné [4].

### **-Foyers dolo améliorés**



**Figure 3: foyers dolo améliorés (Dano,2011)**

Les foyers améliorés sont construits en briquette (mélange d'argile « banco », de bouse de vache et de paille), canaris céramiques ou marmites en aluminium alimentaire. Le rendement est de 35% (en laboratoire) et l'économie de bois à 40% par rapport au foyer dolo traditionnel [4]. Ils sont de type 2 à 6 marmites disposées en triangle carré avec une ou deux chambres de combustion [4].

### 2.2.2 Le mode de transfert de chaleur à la marmite

Lorsque la combustion a eu lieu l'énergie contenue dans le bois se dégage sous forme de chaleur ; cette chaleur doit être transférée intégralement à une marmite pour servir de cuisson ou de chauffage.

Ils existent trois modes de transfert de chaleur :

- Le transfert par rayonnement
- Le transfert par convection
- Le transfert par conduction

**La convection** peut être définie comme le mode de transmission de la chaleur qui implique le déplacement d'un fluide, liquide ou gazeux. Ici elle s'opère entre la marmite et le vent.

**Le rayonnement thermique** : un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement dit « thermique » peut se propager dans le vide. Plus la température du corps est élevée, plus l'agitation thermique responsable de l'émission est élevée. Cependant lorsque l'huile est portée à une certaine température, elle convertit son énergie interne (énergie microscopique) en rayonnement thermique : c'est l'émission.

**La conduction** c'est le mode de transfert selon lequel il y'a contact franc à travers le milieu.

Dans le cas de la combustion de l'huile, la chaleur sera transférée à la marmite suivant deux modes : la convection et le rayonnement.

### 2.2.3 Méthodes de caractérisation des foyers

Pour déterminer les performances (rendement, consommation, ...) des foyers plusieurs analyses peuvent être effectuées ; il s'agit de **l'analyse en laboratoire et l'analyse sur le terrain (en vraies conditions d'utilisation)**.

#### 2.2.3.1 L'analyse en laboratoire

L'analyse en laboratoire comprend deux parties :

##### ❖ **Le test d'ébullition d'eau**

*« Caractérisation et optimisation d'un foyer à cuisson de « dolo » équipé d'un brûleur à huile végétale »*

Le TEE permet, de façon simple et rapide, de caractériser le comportement thermique d'un foyer, c'est-à-dire son efficacité à extraire l'énergie du combustible et à la transmettre au contenu de la marmite [5]. Il ne se préoccupe pas de savoir comment est ensuite valorisée (ou non) l'énergie transmise à la marmite. Le rendement qu'il permet de calculer est le rapport entre l'énergie transmise par le foyer à la marmite et l'énergie contenue dans le combustible brûlé. Ce test permet de calculer aussi la puissance du foyer en watt (W) et sa consommation spécifique en gramme de combustible brûlé par litre d'eau (g/l).

#### ❖ **Le test d'analyse de fumée**

Le test d'analyse de fumée est un test complémentaire dont l'objectif est de déterminer les taux respectifs de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de monoxyde de carbone (CO) émis par les fumées. Sachant qu'une combustion complète dégage du CO<sub>2</sub> et qu'une mauvaise combustion dégage du CO, ce test permettra de déterminer l'efficacité de la chambre de combustion.

#### *2.2.3.2 L'analyse sur terrain*

Cette analyse comprend deux parties :

#### ❖ **Le test de cuisson contrôlée**

Il s'agit de :

- Comparer le combustible consommé et le temps de cuisson pour un même type de préparation sur des foyers différents;
- Déterminer si un foyer peut effectivement cuire la gamme des repas fréquemment préparée ;
- Comparer les pratiques culinaires.

En résumé pour une préparation simultanée d'un même plat par des ménagères ce test permet de déterminer :

- le temps nécessaire à la préparation
- les équivalents combustible consommé ramené à la quantité d'aliments cuits

#### ❖ **L'enquête auprès des familles**

La méthode d'enquête est basée sur la visualisation et l'évaluation de la consommation de bois avant et après l'introduction des foyers à huile de jatropha en utilisant une fiche qui dénombre les quantités de bois utilisées.

Une enquête pour évaluer l'efficacité des foyers à huile végétale ne revêt pas de grande difficulté si on mesure directement auprès des femmes le bois de chauffe utilisé avant et après l'introduction de foyers à huile végétale. Toutefois il y aura des contraintes objectives comme:

- la requête de temps par les agents chargés de faire les mesures: pendant la période d'observation ils seront obligés de se déplacer chaque jour, matin et soir, auprès de femmes concernées pour évaluer la quantité de bois consommé;
- le dérangement des femmes par les visites fréquentes des agents : elles peuvent penser être objet d'un contrôle;
- un coût qui parfois n'est pas justifié par les résultats obtenus.

Par contre ce processus permet d'obtenir des données fiables.

Dans le cadre de notre travail nous avons effectué le test d'ébullition d'eau, le test d'analyse de fumée et le test de cuisine contrôlée.

### **3 CHAPITRE II : Test d'ébullition d'eau**

#### **3.1 LE TEST D'EBULLITION D'EAU DEVELOPPE PAR LA FONDATION SHELL**

Le test d'ébullition d'eau (TEE) ou WBT (water boiling test) est une méthodologie sahélienne développée par le CILSS en 1986 qui permet de comparer les performances de deux instruments de cuisson. Cette méthodologie a été améliorée par la Fondation Shell qui a fourni un outil de calcul de référence adapté à la caractérisation des foyers. Cet outil de calcul (annexe 2) conçu avec Microsoft Excel comporte deux parties : la première sert à récolter les informations préliminaires et la deuxième à évaluer les performances du foyer.

C'est moyennant cet outil que nos tests ont été effectués. Le TEE comporte trois phases :

- a) Une première phase dite de haute puissance où l'eau est portée à ébullition le plus rapidement possible.
- b) Une deuxième phase exécutée après la première phase, pendant que le foyer est chaud. Elle permet d'indiquer la différence de performance d'un foyer en régime de mise en route et en exploitation.
- c) Une troisième phase dite de basse puissance, ou encore phase de mijotage où l'on maintient la température de l'eau entre 95 et 100°C pendant 45 minutes afin de déterminer la quantité de combustible consommée.

#### **3.2 PROCEDURES DU TEST D'EBULLITION**

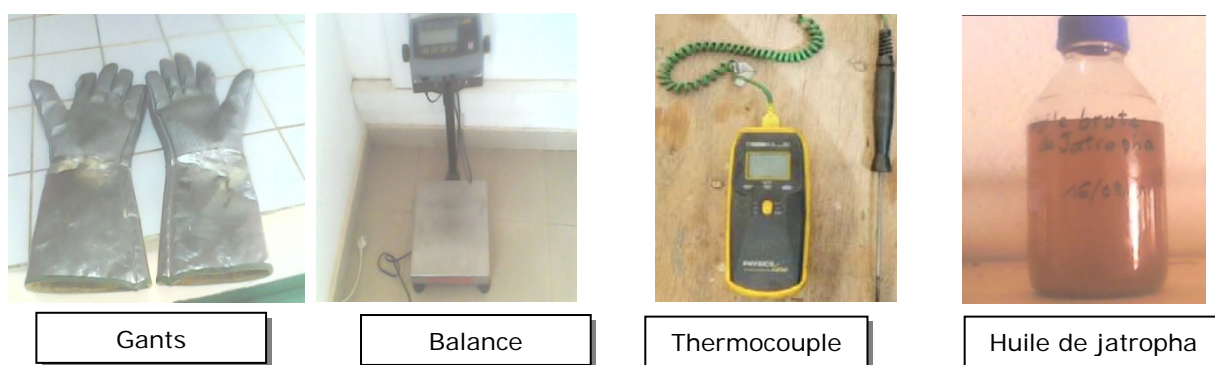
Une fiche est généralement établie pour noter les différentes données. On procède de la manière suivante :

- Peser une quantité d'huile de jatropha jugée suffisante pour la durée du test. Environ 10 litres pour notre cas;
- Mesurer de l'eau pour introduire dans la marmite 2/3 de son volume en eau;
- Peser la quantité d'huile subsistant à la fin du test ;
- Relever la température (T) jusqu'à atteindre la température limite correspondant au point d'ébullition d'eau toutes les cinq minutes ;
- Réaliser le test dans un milieu aéré sans grand vent;
- Relever les températures initiale et finale de l'eau.

### 3.3 MATERIEL UTILISE

Le matériel suivant a été utilisé :

- Un thermomètre numérique avec précision au 1/10 de degré, avec une sonde thermocouple;
- Un chronomètre ;
- Des gants résistants à la chaleur;
- de l'eau et s'assurer que la température de l'eau ne dépasse pas la température ambiante ;
- de l'huile végétale (huile de jatropha);
- une balance.



**Figure 4 :** matériel utilisé (laboratoire LBEB, Fondation2ie)

### 3.4 TEST DU PROTOTYPE DU FOYER « DOLO » A HUILE VEGETALE

#### 3.4.1 prototype du foyer à dolo à huile de jatropha (mis au point par m. boubacar zongo)

##### 3.4.1.1 Composition

Le foyer (annexe 3) est fabriqué à partir de tôle de métallique en acier ordinaire. Il comprend :

- Le corps : c'est la partie externe qui contient tous les équipements secondaires du foyer
- Le brûleur : composé d'un creuset sur lequel se déroule la combustion
- une marmite : récipient servant à la cuisson du dolo
- Un réservoir d'huile végétale : relié au foyer par une conduite en plastique
- Un robinet : le robinet, lié au foyer, il permet d'ouvrir, de fermer ou de régler l'arrivée de l'huile dans le brûleur.



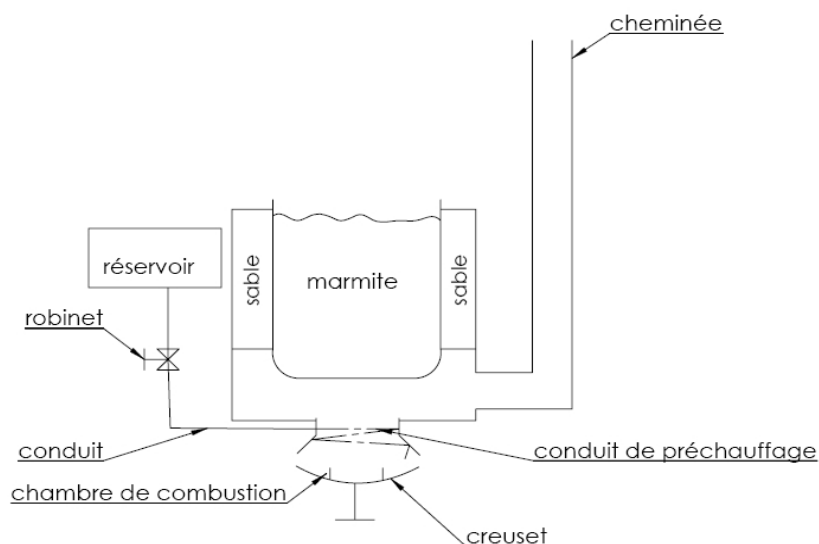


**Figure 5 :** prototype du foyer à huile végétale (LBEB/2ie)

### 3.4.1.2 Fonctionnement

Lorsqu'on ouvre le robinet de l'huile circule dans le conduit. Ce dernier fait le tour de l'avaloir, ce qui permet de préchauffer l'huile avant qu'elle se déverse dans le creuset du brûleur en continu ou sous forme de gouttelettes pour être y brûlée.

### Schéma de principe de fonctionnement



**Figure 6 :** Schéma de principe du prototype « ZONGO » à tester

### 3.4.2 Protocole de réalisation des tests : démarrage à froid, démarrage à chaud et mijotage

#### Phase 1 : le démarrage à froid

- 1) Démarrer le chronomètre à l'allumage du feu;
- 2) Remplir la marmite au 2/3 de son volume en eau. Pour la marmite dite n°30 il faut mettre 60 litres d'eau;
- 3) Placer la sonde du thermomètre à 5 cm près du fond de la marmite et noter la température initiale tout en vérifiant qu'elle ne varie pas substantiellement;

**Note** : le test se déroule avec la marmite ouverte ceci pour une question de répétabilité du test.

- 4) Allumer le feu. Pour allumer le feu, mettre un peu de papier dans le creuset, l'imbiber d'huile puis mettre le feu;
- 5) Une fois le feu est allumé, ouvrir le robinet pour que l'huile du réservoir coule jusqu'au brûleur et noter le temps de démarrage. Garder le même débit pour amener l'eau à ébullition ;
- 6) chaque 5 minutes, relever la température de l'eau en plaçant le thermomètre à 5 cm près du fond de la marmite.
- 7) Lorsque la température de l'eau atteint le point d'ébullition du local prédéfini par le thermomètre numérique, exécuter les actions suivantes :
  - a) relever le temps à laquelle l'eau a atteint le point d'ébullition;
  - b) faire les mesures des émissions;
  - c) fermer le robinet et éteindre la flamme puis peser le restant d'huile contenu dans le réservoir ;
  - d) Peser la masse d'eau restante dans la marmite et la relever dans le formulaire de donnée

Ceci met fin à la première phase. Maintenant commencer la deuxième phase immédiatement pendant que le foyer est toujours chaud

#### Phase 2 : le démarrage à chaud

- 1) Réinitialiser le chronomètre ;
- 2) Remplir de nouveau la marmite au 2/3 de son volume avec de l'eau à température ambiante. Relever la masse de l'ensemble marmite + eau ainsi que la température de l'eau ;
- 3) Allumer le feu et noter le temps d'allumage;

---

*« Caractérisation et optimisation d'un foyer à cuisson de « dolo » équipé d'un brûleur à huile végétale »*

- 4) ouvrir le robinet, pour faire couler l'huile de jatropha et maintenir le débit constant jusqu'à ébullition;
- 5) Une fois que la température d'ébullition est atteinte, exécuter rapidement les actions suivantes :
  - a) mesurer les émissions
  - b) relever le temps mis par l'eau pour atteindre le point d'ébullition, fermer le robinet et peser la masse de l'huile restante dans le réservoir puis enregistrer le résultat dans le formulaire de calcul.
  - c) Peser la masse d'eau restante puis enregistrer dans le formulaire. Après ce pesage, remettre immédiatement l'eau sur le foyer toujours en gardant la température de l'eau aussi proche que possible de celle de l'ébullition pour passer directement au test de mijotage.
- 6) Rouvrir le robinet puis rallumer le feu, c'est le démarrage de la dernière phase.

Notes : pour l'action numéro 5, la rapidité est très importante. En effet, la température de l'eau doit rester aussi proche que possible de celle de l'ébullition. Ceci permettra aussi de procéder directement au test de mijotage

### **Phase 3 : la phase basse puissance ou le mijotage de l'eau.**

Cette phase permet de tester l'aptitude du foyer à passer d'une phase haute puissance à une phase basse puissance en mijotant l'eau pendant 45 minutes et en utilisant une quantité d'huile minimale.

Démarrage de ce test :

- 1) Réinitialiser le chronomètre ;
- 2) Replacer la sonde du thermomètre dans la marmite. Ajuster le feu en réduisant le débit d'huile pour garder l'eau aussi proche que possible à 3 degrés près du point d'ébullition établi. Le test est invalide si la température de l'eau descend à plus de 6 degrés en dessous du point d'ébullition ;
- 3) Pendant 45 minutes, maintenez le feu à un niveau qui peut garder la température de l'eau aussi proche que possible à 3 degrés près en dessous du point d'ébullition ;
- 4) Après les 45 minutes exécuter rapidement les actions suivantes :
  - a) relever le temps de fin du test dans le formulaire (ce temps serait évidemment 45 minutes) et faire les mesures d'émissions ;
  - b) peser la masse d'huile restante puis enregistrer dans le formulaire de données ;

- c) relever la température finale de l'eau dans le formulaire (il devrait être égale au point d'ébullition établi à 3 degrés près en dessous du point d'ébullition établi) ;
- d) peser la masse d'eau restante puis la relever dans le formulaire

Cette action met fin au test d'ébullition de l'eau.

### 3.4.3 Résultat des essais

Les essais sur le prototype « B.ZONGO » du foyer à « dolo » ont été faits à deux (2) reprises (deux essais) ceci pour des questions de précision des résultats. Les résultats de ces tests sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

#### **Tableau 2: les grandeurs invariables**

Ce tableau donne les valeurs des différentes grandeurs invariables que sont les paramètres atmosphériques et les caractéristiques physiques du combustible utilisé.

grandeurs	Essai 1	Essai 2
Température ambiante (°C)	34,4	34,2
Humidité relative (%)	51,3	50
Point d'ébullition de l'eau (°C)	98,9	98,6
Masse vide de la marmite n° 30 (g)	10780	10780
Teneur en eau de l'huile de jatropha	0,102	0,102
Pouvoir calorifique supérieur de l'huile (Kj/Kg)	36 679	39 679
Pouvoir calorifique inférieur de l'huile (Kj/Kg)	36 857	36 857

**Note :** Pour ces essais, nous avons utilisé de l'huile de jatropha brute provenant de la société Belwet (Larlé Naaba).

Pour les différentes phases (démarrage à froid, chaud et mijotage) du test, le tableau suivant présente les résultats (moyennes et écart) obtenus pour les deux essais réalisés en termes de durée d'ébullition, vitesse de combustion, consommation spécifique, puissance, consommation et rendement thermique.

**Tableau 3** : résultat des tests

	Résultat des essais								
	Démarrage à froid			Démarrage à chaud			Mijotage		
	Essai 1	Essai 2	moyenne écart	Essai 1	Essai 2	moyenne écart	Essai 1	Essai 2	moyenne écart
Temps d'ébullition (min)	110	110	110 0,00	95	135	115 40	45	45	45 0,00
Vitesse de combustion (l/h)	2,02	1,83	1,93 0,19	1,95	1,89	1,92 0,06	1,5	1,5	1,5 0
Consommation spécifique (ml/l)	65	61	63 4	56	73	64,5 15	22	23	22,5 1
Puissance du feu (Kw)	18,43	16,92	17,67 1,513	18	17,40	17,70 0,60	13,88	14,05	13,97 0,91
Huile consommée (l)	3,5	3,3	3,4 0,2	2,93	4,1	3,52 1	1,09	1,1	1,095 0,02
Rendement thermique (%)	29	28	28,5 1	31	29	30 4	33	35	34 2

« Caractérisation et optimisation d'un foyer à cuisson de « dolo » équipé d'un bruleur à huile végétale »

### 3.4.4 Analyse des fumées

Le diagnostic de la combustion et l'analyse des composants gazeux des fumées (potentiels polluants de l'air) sont fait à l'aide de l'analyseur de gaz TELEGAM. Les gaz mesurés par le TELEGAM sont le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azotes (NO et NO<sub>2</sub>), le dioxygène (O<sub>2</sub>) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). L'émission de CO<sub>2</sub> est calculée en fonction des caractéristiques du combustible et de l'oxygène résiduel mesuré dans les fumées. Les variables mesurées sont présentée dans les tableaux suivants :

**Tableau 4** : émission de fumée

Emission de fumée			
grandeurs	Démarrage à froid	Démarrage à chaud	mijotage
T°C amb	37	40	38
T°C fumée	339	319	359
O <sub>2</sub> (%)	15	17	17
CO (ppm)	314	261	590
CO <sub>2</sub> (%)	4,1	3	4
excès air (%)	283	397	252
rend (%)	61,6	54	62
NO (ppm)	36	32	35
Nox (ppm)	36	32	36
NO <sub>2</sub> (ppm)	0	0	0
SO <sub>2</sub> (ppm)	13	14	17

### 3.5 BILAN ENERGETIQUES DE LA PREMIERE PHASE

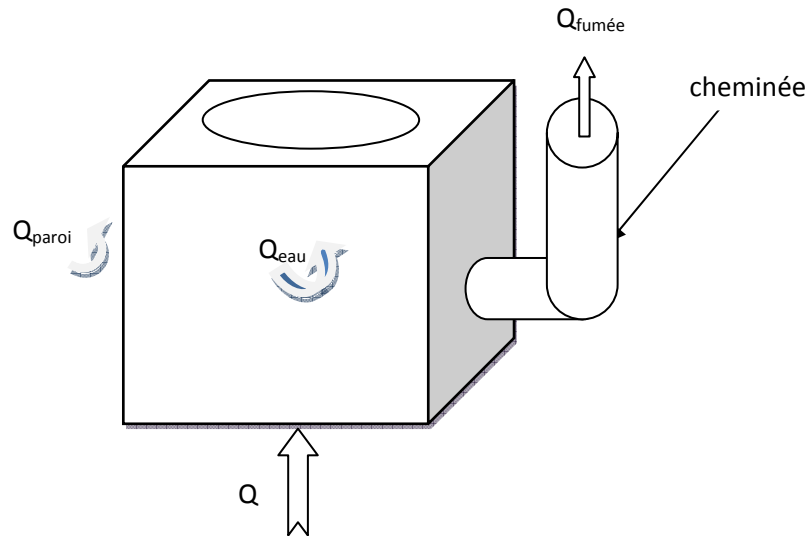


Figure 7 : Schéma du bilan énergétique

- $Q = Q_{eau} + Q_{fumée} + Q_{parois} \quad (1)$

**Q : quantité de chaleur produite**

$Q_{eau}$  : quantité de chaleur récupérée par l'eau

$Q_{fumée}$  : quantité de chaleur perdue par la fumée

$Q_{amb.}$  : quantité de chaleur perdue par rayonnement et par convection entre le foyer et l'environnement

- $Q = m_h \times PCI \quad (2)$

$$Q = 3,164 \times 36857$$

$$Q = 116615,55Kj$$

- $Q_{eau} = m_{eau} \times C_{p_{eau}} \times (T_f - T_i) + m_{ev} \times L_f \quad (3)$

Avec :

$m_{eau}$  : masse de l'eau en kg

$C_{p_{eau}}$  : chaleur spécifique de l'eau en  $kJ/kg.^{\circ}C$

$m_{ev}$  : masse eau évaporée en kg

$L_f$  : chaleur latente de l'eau

$$Q_{eau} = 60 \times 4,180 \times (98,6 - 32) + 7,2 \times 2260$$

$$Q_{eau} = 32975,28 \text{ Kj}$$

La quantité de chaleur récupérée par l'eau représente environ 28,5 % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée

- $Q_{fumée} = Q (1 - \eta_{comb})$  (4)

$$Q_{fumée} = 116615,55 \times (1 - 0,61)$$

$$Q_{fumée} = 45480 \text{ kj}$$

La quantité de chaleur perdue par les fumées représente environ 39 % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée

- $Q_{amb} = Q - Q_{eau} - Q_{fumée}$  (5)

$$Q_{amb} = 116615,55 - 32975,28 - 45480$$

$$Q_{amb} = 38160,27 \text{ Kj}$$

La quantité de chaleur perdue par rayonnement et convection représente environ 32,5 % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée. Graphiquement, le camembert suivant illustre la répartition du potentiel d'énergie contenu dans l'huile de jatropha

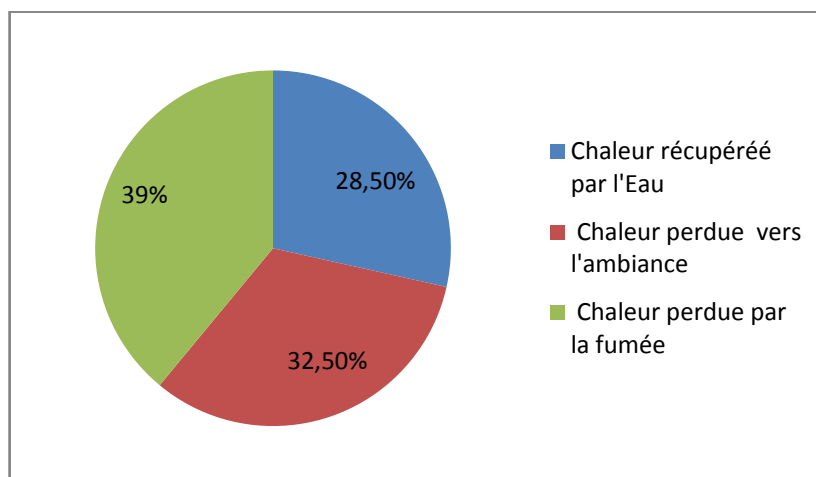


Figure 8 : graphique du bilan énergétique



### 3.6 INTERPRETATION DES RESULTATS DES TESTS

#### 3.6.1 Constat

A la fin des essais menés sur le foyer « dolo » à huile de jatropha, nous pouvons formuler les remarques suivantes :

- ❖ la vitesse de combustion (1,93 l/h), qui indique la quantité d'huile consommée par unité de temps, est très élevée pour un démarrage à froid. En effet, La consommation pour une préparation de 20h (durée moyenne de périodes cumulées de chauffe pour la) équivaut à environ 3,86 l d'huile consommées Soit entre 15.540 fcfa et 26.640fcfa pour l'achat d'huile –aux prix non stabilisés constatés sur le marché burkinabè, entre 350 fcfa et 600 fcfa le litre - Alors que les dolotières utilisent pour environ 8000 Fcfa de bois – à la valeur nettement sous-évaluée compte tenu de sa raréfaction- pour préparer le dolo...
- ❖ La consommation spécifique, qui mesure la quantité d'huile pour amener un litre d'eau de la température ambiante à la température d'ébullition est élevée (63ml/l). En effet la consommation de 63ml d'huile de jatropha équivaut à 2137kj de chaleur produite. Or pour amener un litre d'eau à ébullition on a besoin environ de 284kj. La valeur idéale sans tenir compte des pertes serait 9ml/l.
- ❖ Le rendement thermique du foyer de 28,5% paraît faible par rapport à d'autres foyers améliorés tels que le foyer à dolo « burkido » (figure3) avec 35% (en laboratoire), mais est meilleur par rapport au rendement des foyers traditionnelles à dolo (figure 2) qui est de 17% [4]. Ce rendement prouve que la déperdition thermique est encore trop grande. Pour augmenter de manière significative le rendement, il va falloir s'arranger à perdre le moins d'énergie thermique possible par rayonnement et convection.
- ❖ Le rendement de combustion (61%) est la mesure de la quantité de matière qui sera transformée en chaleur pendant la combustion. Plus la combustion sera complète, plus les émissions de polluants et la production d'imbrûlés seront réduites et par conséquent plus grande sera la quantité de chaleur dégagée. En dessous de 88%, le rendement de combustion doit être considéré comme inacceptable et une amélioration doit être apportée [7].

- ❖ La température des fumées (jusqu'à 360°C) est très élevée. Une température de l'ordre de 160°C (pour les gaz) à 180°C (pour le Fuel) peut être considérée comme performante pour la plupart des chaudières [7].

La température de fumée élevée peut être le résultat :

- d'une mauvaise conception du corps du foyer, il n'y a pas suffisamment d'échange thermique entre les gaz chaud et l'eau contenu dans la marmite ;
  - d'un passage trop rapide des fumées dans le foyer. Cela s'expliquerait par un tirage trop important par la cheminée.
  - d'un mauvais échange dû à la présence de suie dans le foyer
  - d'un brûleur qui serait inadapté au foyer (puissance trop élevée, mauvaise forme de la flamme).
- ❖ La teneur en CO<sub>2</sub> des fumées est une image de la transformation complète du combustible. Plus la teneur en CO<sub>2</sub> des fumées est grande, meilleur est le rendement de combustion.

La valeur cible est :

- 12 % pour les chaudières fuel de moins de 400kw ;
- 13 % pour les chaudières fuel de plus 400 kw (valeurs selon les exigences pour l'attribution « OPTIMAZ ») [7] ;
- 10 % pour les chaudières gaz.

La faible teneur en CO<sub>2</sub> (maxi 4,6%) est dû au fait que l'excès d'air est trop important ce qui dilue les gaz de combustion. Un excès d'air de combustion à une valeur de référence de 17 à 24% (valeur qui dépend du tandem brûleur/foyer). En dessous, il y a aura production d'imbrûlés et de monoxyde de carbone (CO) et au-dessus, le rendement de combustion diminue [7] .

- ❖ La formation de suie et de CO (qui composent les imbrûlés) sont liés. Une teneur en CO des fumées mesurée supérieur à 75 ppm demande une amélioration du brûleur [7].

La production de CO et de suie est le résultat d'un manque de comburant :

- Réglage de l'excès d'air faible (s'accompagne d'un déficit de CO<sub>2</sub> dans les fumées)
- Tirage incorrect de la cheminée (trop grand, trop faible, inconstant) qui perturbe le développement de la flamme et qui risque de provoquer des retombées dangereuses de CO vers le foyer.

Au démarrage l'émission de CO de plus de 120 ppm signifie que le brûleur produit de la suie à ce moment et plus vite le brûleur ou le foyer va s'encrasser [7].

### 3.6.2 Proposition d'amélioration

Les propositions passent par la prise en compte de plusieurs paramètres d'ordre thermique, mécanique, fonctionnel, économique ...etc.

A cet effet, nous relevons entre autre :

- Réguler le débit d'huile de jatropha afin d'avoir une flamme constante et ajuster la combustion air/ huile ;
- Les foyers améliorés métalliques à grande dimension utilisant du charbon de bois comme combustible ont un rendement thermique pouvant atteindre 40%. Mieux encore, les foyers modernes ont des rendements de plus 70% , par contre, le rendement mesuré pour le prototype du foyer est seulement de 28,5%. Ce rendement trouvé prouve que les déperditions thermiques sont trop grandes. Une isolation des parois du foyer s'avère indispensable. Le sable, l'argile et mieux encore la laine de verre sont des isolants intéressants ;
- La température des fumées étant assez élevée (environ 360°C) une recirculation des fumée autour de la marmite augmenterait les échanges thermique ce qui améliorera l'efficacité du foyer et la consommation en huile de jatropha ;
- L'analyse des fumées montre qu'il y a trop d'imbrûlés; la teneur en CO est entre 300 et 600 ppm. Une combustion secondaire (post combustion) améliorera la combustion.
- Le tirage est la dépression de la buse de la cheminée qui permet la circulation de la fumée dans la cheminée quand le brûleur fonctionne. En effet, l'air contenu dans la cheminée a une température plus élevée que la température ambiante si bien que la densité de l'aire dans cette cheminée est plus faible. Du coup cette colonne d'air a tendance à s'élever tout en appelant de l'air vers l'appareil de combustion. La cheminée doit être bien dimensionnée pour assurer une évacuation correcte des produits de combustion et amener une quantité suffisante d'air neuf à l'appareil et donc garantir une bonne combustion. De manière générale la dépression créée par le tirage ne doit pas être trop importante car le rendement du foyer diminue. Une dépression correcte est comprise entre 10 et 15 Pa pour permettre une combustion idéale et un tirage optimal [7]. Le conduit de la cheminée doit être le plus rectiligne sans changement de forme (la cheminée idéale est ronde) ou de section enfin de limiter les frottements (perte de charge). Pour que le changement de section et de forme ne présente quasi pas de pertes de charge il faut que ceux-ci se fasse progressivement sous un angle de 15°. Idéalement les virages devraient s'exécuter

avec des coudes de 15°. Le raccordement du foyer à la cheminée ne devrait pas présenter de contre-pente, voire idéalement ne pas se faire suivant un conduit horizontal mais plutôt au moyen d'un conduit ascendant. Typique, on prescrit une pente de 45°.

- Pour réduire les pertes de chaleur entre le brûleur et l'avaloire de fumée, cette dernière doit avoir une surface d'ouverture plus importante.

### **3.7 REALISATION DU FOYER MODIFIE**

#### **3.7.1 Les modifications apportées**

##### **Le brûleur**

On utilisera un creuset de grande diamètre (environ 30 cm) et avec une conicité de 95%. Enfin de permettre à huile de s'étaler sur une grande surface ce qui optimisera la combustion de l'huile (annexe).

##### **La post-combustion**

Un dispositif de guide flamme en forme de grille cylindrique est installer au-dessus creuset. Ce dispositif comporte une seconde entrée d'air qui se mélangera aux gaz chauds au-dessus de la flamme pour crée la seconde combustion et permettre une concentration de la flamme pour la rendre plus puissante (annexe).

##### **Echangeur de chaleur**

Des chicanes ont été montées autour de la marmite de telle sorte que les fumées font un tour de la marmite afin de lui céder une grande partie de leur chaleur à la marmite.

##### **L'isolation des parois.**

Les parois ont été isolées avec 10 cm d'épaisseur de sable (dimension correspondante à celle utilisée pour les foyers amélioré à « dolo »)

##### **La cheminée**

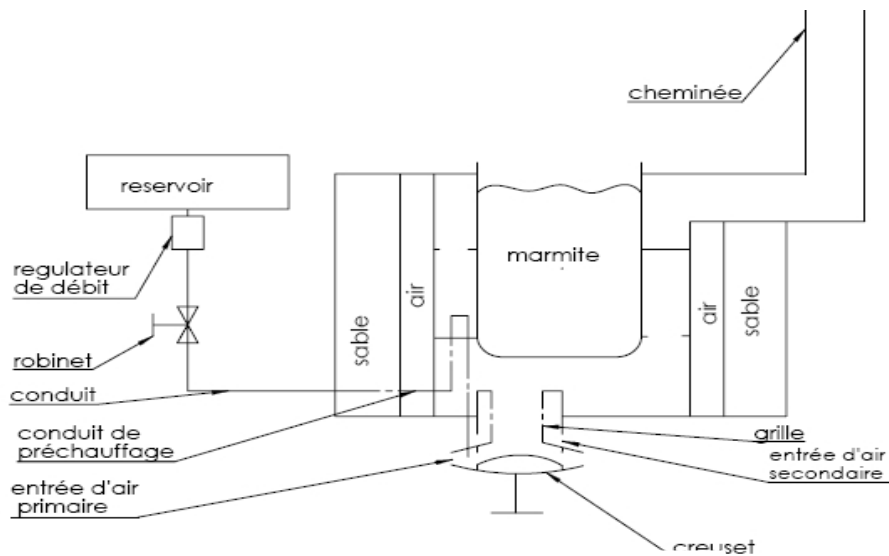
Pour les foyers fonctionnent en tirage naturel, il faut que la dépression soit comprise entre 10 et 15 Pa pour permettre une bonne combustion et une évacuation des fumées correctes.

Si la dépression est  $< 10$  Pa, le tirage n'est pas suffisant, il y a alors un risque de surpression dans le foyer, d'introduction de gaz de combustion dans la chaufferie et de production d'imbrûlés (suies, CO).

Si la dépression  $> 15$  Pa, le tirage est trop important. Les fumées sont aspirées trop rapidement par la cheminée et se refroidissent moins. Il en résulte une baisse de rendement. Cela peut également nuire au démarrage en provoquant un « décrochement » de la flamme et l'arrêt du brûleur.

Le rôle de la cheminée est d'évacuer les gaz de combustion. Ces gaz contiennent principalement du  $\text{CO}_2$  et de l'eau aussi des composants toxiques comme le CO ou des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ). Une mauvaise cheminée peut donc être dangereuse pour les dolotières ou se détériorer sous l'effet de la condensation des fumées. Elle peut également perturber les performances du foyer. En pratique, on recommande une cheminée de section de 20 cm à 30 cm et une hauteur minimale de 4 m [7].

### 3.7.2 Schéma de principe



**Figure 9:** schémas de principe du foyer modifié

## 3.8 TEST FOYER MODIFIÉ

### 3.8.1 Résultats

Pour connaître les performances du foyer modifié (annexe 5), nous avons aussi effectué un test d'ébullition d'eau (TEE) et des mesures d'émission de fumée. Les essais ont été aussi

faits à deux (2) reprises ceci pour des questions de précision des résultats. Les résultats de ces tests sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau 5: les grandeurs invariables**

grandeurs	Essai 1	Essai 2
Température ambiante (°C)	30	29,8
Humidité relative (%)	68	60
Point d'ébullition de l'eau (°C)	98,7	98,9
Masse vide de la marmite n° 30 (g)	10780	10 780
Teneur en eau de l'huile de jatropha	0,103	0,103
Pouvoir calorifique supérieur de l'huile (Kj/Kg)	39 773	39 773
Pouvoir calorifique inférieur de l'huile (Kj/Kg)	36 927	36 927

**Note** : Pour ces essais, nous avons utilisé l'huile jatropha brute provenant de la société Agritec à Boni/Burkina Faso (350 fcfa le litre)

**Tableau 6:** résultat des essais du TEE

	résultat des tests								
	Démarrage à froid			Démarrage à chaud			Mijotage		
	Essai 1	Essai 2	moyenne écart	Essai 1	Essai 2	moyenne écart	Essai 1	Essai 2	moyenne écart
Temps d'ébullition (min)	80	80	80 0,00	65	70	67,5 00	45	45	45 0,00
Vitesse de combustion (l/h)	1,63	1,63	1,63 00	1,63	1,63	1,63 00	1,11	1,17	1,14 00
Consommation spécifique (ml/l)	40	40	40 00	32	35	33,5 3	16,3	18,5	17,4 2,2
Puissance du feu (Kw)	15,31	15,17	15,25 00	15,52	15,22	15,36 0,3	10,7	9,78	10,24 0,08
Huile consommée (l)	2,16	2,15	2,155 0,01	1,78	1,88	1,83 0,1	0,85	0,89	0,87 0,04
Rendement thermique (%)	43	43	43 00	45	47	46 00	43	44	43,5 1

**Tableau 7:** émission de fumée

Emission de fumée			
grandeurs	Démarrage à froid	Démarrage à chaud	mijotage
T°C amb	204		
T°C fumée			
O <sub>2</sub> (%)			
CO (ppm)	111		
CO <sub>2</sub> (%)			
excès air (%)			
rend (%)			
NO (ppm)			
Nox (ppm)			
NO <sub>2</sub> (ppm)			
SO <sub>2</sub> (ppm)			

**Nota :** Pour ce test sur le foyer modifié, l'analyseur ne fonctionnait pas correctement, nos mesures se sont limitées seulement à la température des fumées et l'oxyde de carbone.



### 3.8.2 Bilans énergétiques.

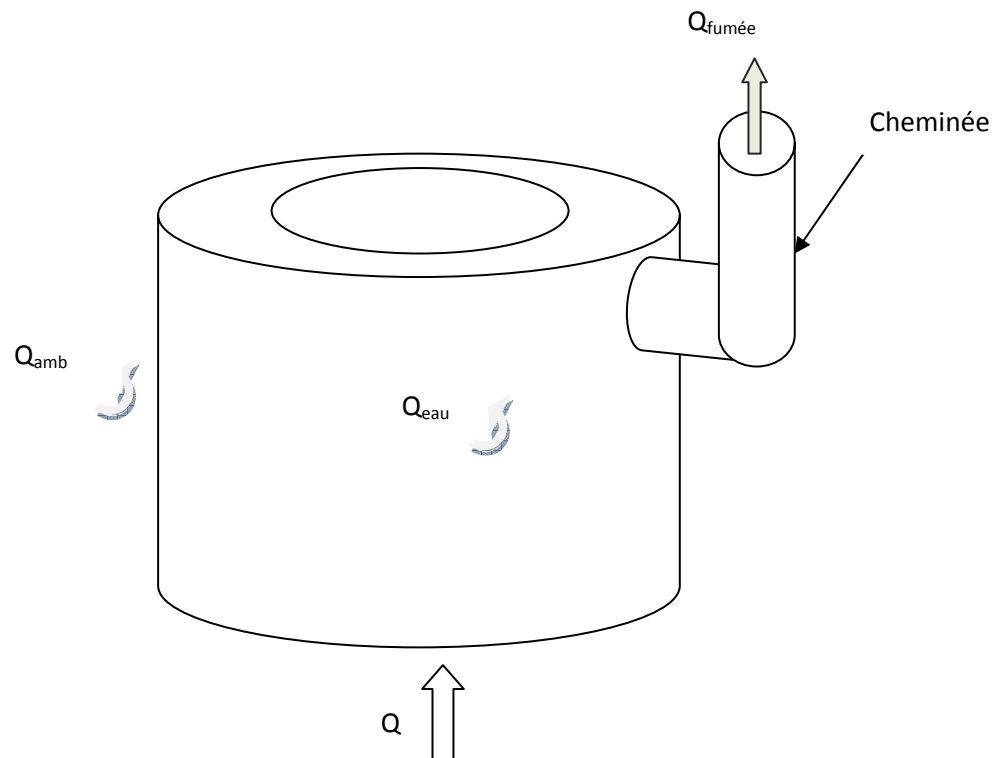


Figure 10 : bilan énergétique du foyer modifié

On a :

- $Q = Q_{eau} + Q_{fumée} + Q_{paroi}$  (6)

**Q : quantité de chaleur produite**

$Q_{eau}$  : quantité de chaleur récupérée par l'eau

$Q_{fumée}$  : quantité de chaleur perdue par la fumée

$Q_{amb}$  : quantité de chaleur perdue par rayonnement et par convection entre le foyer et l'environnement

- $Q = m_{huile} \times PCI$  (7)

$$Q = 1,982 \times 36697$$

$$Q = 72733 \text{ kj}$$

- $Q_{eau} = m_{eau} \times Cp_{eau} \times (T_f - T_i) + m_{ev} \times L_f$  (8)

$$Q_{eau} = 60 \times 4,18 \times (98,6 - 30) + 5,8 \times 2260$$

$$Q_{eau} = 31275 \text{ kj}$$

La quantité de chaleur reçue par l'eau représente environ 43 % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée

- $Q_{fumée} = Q(1 - \eta_{comb})$  (9)

$$Q_{fumée} =$$

$$Q_{fumée} =$$

La quantité de chaleur perdue par les fumées représente environ ... % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée

- $Q_{amb} = Q - Q_{eau} - Q_{fumée}$  (10)

$$Q_{amb} =$$

$$Q_{amb} =$$

La quantité de chaleur perdue par rayonnement et convection représente environ ... % de la quantité d'énergie contenu dans l'huile de jatropha consommée.

**Tableau 8** : bilan énergétique

	Eau	Ambiant	Fumée	Total
Proportion de la quantité de chaleur consommée	43%			100%

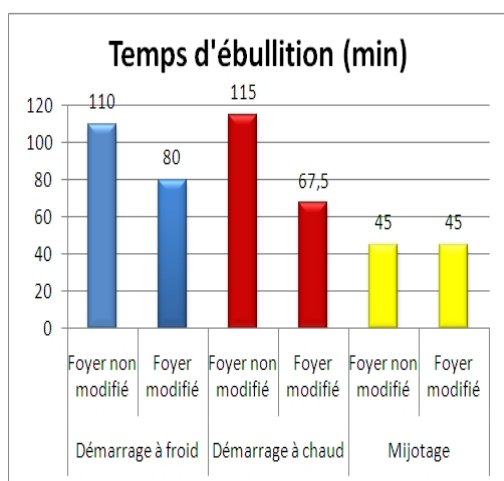
**Nota** : l'analyseur ne fonctionnait pas correctement, nous n'avons pas mesurer la valeur du rendement combustion. Par conséquent le calcul du bilan n'a pas pu être mené à bout.

### 3.9 RECADUPLICATIF DE TOUS LES RESULTATS

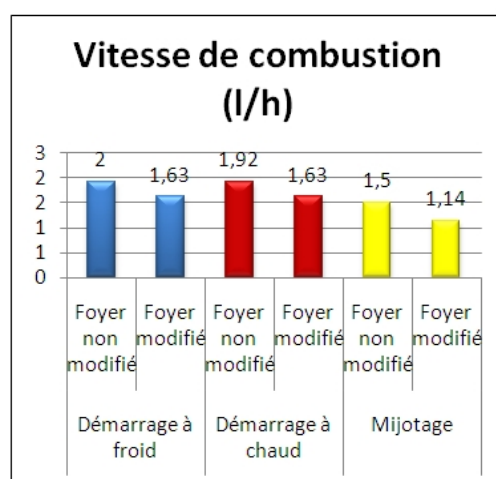
Afin de comparer les performances du foyer modifié par rapport au premier prototype, tous les résultats obtenus des essais sur les deux foyers sont résumés dans le tableau suivant et une comparaison de chaque terme (rendement, puissance, consommation, etc) est donnée sous forme d'histogramme.

**Tableau 9** : récapitulatif de tous les tests effectués sur les deux foyers

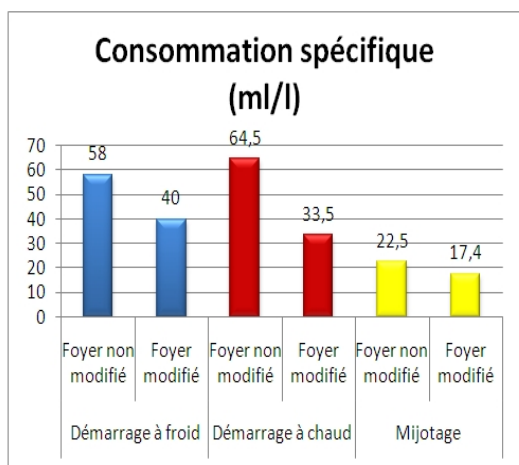
	Démarrage à froid			Démarrage à chaud			mijotage		
	Foyer non modifié	Foyer modifié	Ecart	Foyer non modifié	Foyer modifié	Ecart	Foyer non modifié	Foyer modifié	écart
temps d'ébullition (min)	110	80	30	115	67,5	47,5	45	45	00
vitesse de combustion (l/h)	1,93	1,63	0,3	1,92	1,63	0,29	1,5	1,14	0,65
consommation spécifique (ml/l)	63	40	23	64,5	33,5	31	22,5	17,4	4,89
puissance du feu (Kw)	17	15,31	2,69	17,7	15,36	2,34	13,97	10,23	6743
huile consommée (l)	3,4	2,16	1,24	3,52	1,83	1,69	1,095	0,87	0,476
rendement thermique (%)	28,5	43	14,5	29	46	17	34	43,5	9,5
T°C fumée	334			319			359		
C0 (ppm)	314			261			590		
O2 (%)	15,7			17			15		
CO2 (%)	3,8			3			4		
excès air (%)	283			397			252		
rend (%)	60,6			54			62		
NO (ppm)	36			32			35		
Nox (ppm)	36			32			36		
NO2 (ppm)	0			0			1		
SO2 (ppm)	13			14			17		



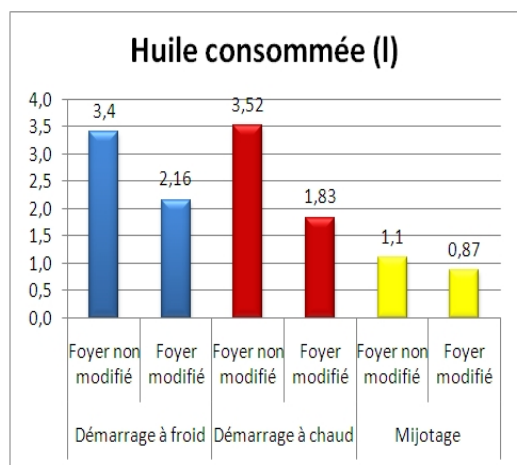
**Figure 11:** Diagramme comparatif des temps d'ébullition



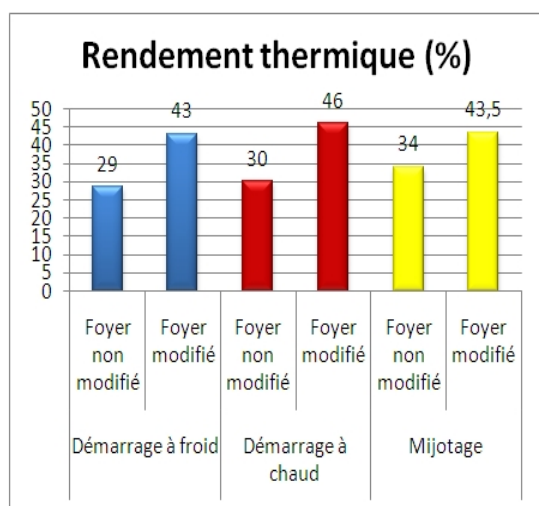
**Figure 12:** digramme comparatif des vitesses de combustion



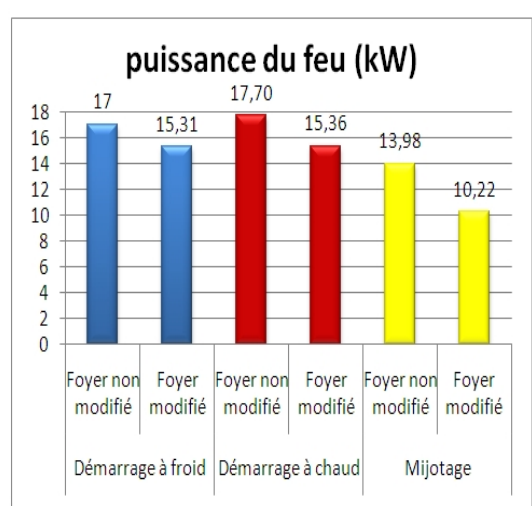
**Figure 13:** Diagramme comparatif des consommations spécifiques



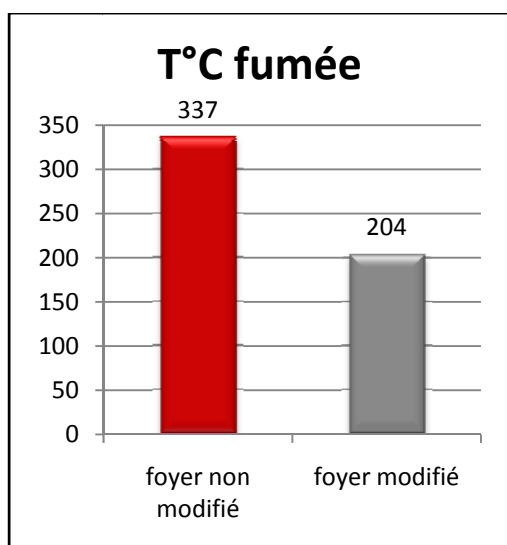
**Figure 14:** Diagramme comparatif de la consommation



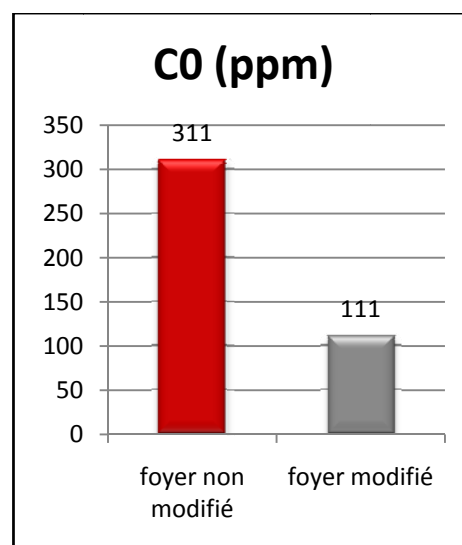
**Figure 15:** Diagramme comparatif des rendements thermiques



**Figure 16:** Diagramme comparatif des puissances



**Figure 17** : Digramme comparatif des températures des fumées



**Figure 18**: Digramme comparatif des températures des émissions d'oxyde de carbone

**Tableau 10** : récapitulatif bilan énergétique

	Foyer non modifié	Foyer modifié	écart
Energie reçu par l'eau	28,5%	43%	14,5
Pertes fumées	40%		
Pertes ambiants	31,5%		

**Nota** : l'analyseur ne fonctionnait pas correctement, nous avons pas eu de valeurs significatives pour le calcul des pertes.

### 3.9.1 Constat

Nous constatons une nette amélioration du rendement. **En effet celui du prototype était de 28,5% et celui du foyer modifié est de 43%. Soit un amélioration d'environ 33%.** Le temps pour faire bouillir l'eau est passée de 110 mn à 80 mn au démarrage à froid avec une **réduction considérable de la consommation d'huile de 3,4 l à 2,16l**, ce qui nous fait une économie d'environ 36 % avec un débit qui est passé de **1,93 l/h à 1,63 l/h**.

- ❖ **RAPPEL** : pour une consommation pour une préparation de dolo de 20h (durée moyenne de périodes cumulées de chauffe pour la préparation), la quantité d'huile équivaldrait cette fois à environ **32,6 litres d'huile** consommées Soit entre

11.410fcfa et 19.560fcfa pour l'achat d'huile –aux prix non stabilisés constatés sur le marché burkinabè, entre 350 fcfa et 600 fcfa le litre –

- ❖ Alors que les dolotières utilisent pour environ 8000 fcfa de bois – à la valeur cependant nettement sous-évaluée compte tenu de sa raréfaction- pour préparer le dolo...

La température des fumées est passée de 337 à 204 ce qui signifie que beaucoup de chaleur a été cédée à l'eau. Le dispositif de recirculation a permis d'augmenter le gain de chaleur.

Le taux d'oxyde de carbone a chuter de 311 ppm à 111ppm synonyme d'une amélioration de la combustion.

## 4 CHAPITRE III : Test de Cuisine Comparé

### 4.1 TEST DE CUISINE COMPAREE

Le test de cuisine comparée(TCC) ou Controlled Cooking Test (CCT) est aussi une méthodologie sahélienne développé par le CILSS en 1986 qui consiste à mesurer les consommations des combustibles d'un foyer pendant une véritable préparation culinaire. Ce test permet de comparer les performances de consommation de plusieurs foyers, dans des conditions réelles d'utilisation. Tout comme le WBT, cette méthodologie a été aussi améliorée par la Fondation Shell qui a fourni un outil de calcul adapté à la caractérisation des foyers. Cet outil de calcul (annexe 5) conçu avec Microsoft Excel comporte deux parties : la première sert à récolter les informations préliminaires et la deuxième évalue les performances du foyer.

### 4.2 CONTEXTE ET CADRE DE L'ETUDE

Afin de vérifier l'acceptabilité du foyer à huile de jatropha par les dolotières<sup>1</sup> et faire une étude économique comparée de ce foyer (à huile végétale) par rapport aux foyers (à bois) améliorés en banco (figure 3) utilisés par les dolotières de Dano, il a été mené un test de cuisson comparé in situ. L'objectif de ce test est d'identifier :

- les différences en termes de quantité de bois et d'huiles utilisées pour une même cuisson du dolo ;
- les différences en termes de temps de préparation ;
- des indications quant aux contraintes et/ou avantages liés à l'utilisation de l'un ou l'autre des foyers.

### 4.3 METHODOLOGIE

Premièrement, nous avons procédé au choix des cabarets<sup>2</sup> et ensuite nous avons effectué le test de cuisine comparé. On remplit pour chaque cuisson une fiche qui est présentée en annexe (6) de ce document.

---

<sup>1</sup>Une femme qui prépare et vend du dolo

<sup>2</sup>Bar traditionnel où l'on prépare et vend le dolo

#### 4.3.1 Choix des cabarets

Pour ce test, nous avons recensé d'abord 17 cabarets parmi lesquels nous en avons choisi deux car nous avons deux foyers à huile de jatropha à tester. Les critères de choix sont :

- L'état du foyer amélioré à bois en place. Le foyer doit être bonne qualité sans fissures et les parois non dégradés.
- Les tailles des marmites du foyer. La plupart des foyers à Dano utilisent les marmites n°30
- Le matériau de la marmite. Les marmites en aluminium permettent un meilleur transfert de chaleur

#### 4.3.2 Test de cuisine comparé

Il s'agit d'évaluer le temps de cuisson et la quantité de combustible consommé.

Les conditions suivantes devaient être observées pour le bon déroulement du test :

- Une même cuisinière réalise tous les tests ;
- Utiliser pour chaque test la même marmite ;
- Utiliser pour chaque test le même foyer ;
- Même poids de mil et la même quantité d'eau pour chaque test.

### 4.4 RESULTATS

#### 4.4.1 cabarets retenus

Les cabarets retenus sont le cabaret « le Carrefour » et le cabaret « Benoit ».

#### 4.4.2 Test de cuisine comparé

Deux (2) types de foyer ont été testés, différents seulement par le nombre de marmites:

- Foyers à 3 et 4 marmites N° 30 pour le cabaret « le Carrefour » (figure 3)
- Foyers à trois marmites n°30 pour le cabaret « Chez Benoit » (figure 3)

Le combustible témoin pour les foyers en banco est le **bois de karité**, (le bois « *qui brûle mieux* » selon les dolotières !) et **l'huile de jatropha brute** pour le foyer à huile végétale.

Le dolo est préparé en deux phases. Une première cuisson qui a lieu dans l'après-midi dont la durée varie généralement **entre 2 à 4 heures** et une deuxième cuisson qui se déroule le lendemain de la première cuisson, très tôt le matin, dont la durée varie **entre 12 et 20 h** selon la quantité de mil.



*Nota : La coupe et l'utilisation du karité sont interdites au Burkina Faso, malheureusement à Dano nous avons trouvé du bois de karité parmi les essences utilisées comme bois de chauffe par les dolotières. Pour notre expérience, nous avons utilisé du bois de karité sec que nous avons trouvé au près de celles-ci.*

#### 4.4.2.1 Le cabaret « le Carrefour »

Le dolo a été préparé avec un foyer à trois (3) marmites pour la première cuisson et la deuxième cuisson dans le foyer à quatre (4) marmites pour les foyers en banco et le foyer à une marmite pour le foyer à huile de jatropha.

Pour comparer valeurs obtenues à partir du test des foyers en banco à celles obtenus avec les foyers à huile végétale. Les valeurs, dans le tableau ci-dessous, sont ramenées à une marmite pour les foyers en banco.

**Tableau 11** : résultats des tests au cabaret « carrefour »

Cabaret « le Carrefour »	Foyer amélioré en banco (valeur ramenée à une marmite)	Foyer à huile de jatropha
Quantité de mil	33kg	33kg
Durée de la cuisson (h :mn)	24 : 46	25 : 34
Quantité de combustible	110,7 kg de bois de karité	32,27 l d'huile
Quantité de dolo produit	115,9 l	122 l
Quantité de combustible par litre de dolo	0,96 kg/l	0,26 l/l

Le temps de cuisson du dolo avec foyer en banco est de 24h 46 mn par contre celui avec l'huile de jatropha est 25h 34mn, soit environ 48 mn de différence. . Il faut environ 1 litre d'huile pour l'équivalent de 4 kg de bois de karité. Cette différence peut être est du au fait que la quantité de mil était trop grande pour la préparer avec un foyer à une seul marmite. En effet avec plusieurs marmites, lorsqu'une marmite est prête, la dolotière la vide et met le contenu des autres marmites dans celle ci, ainsi le volume de dolo dans chaque marmite étant réduit, la cuisson est rapide.

#### 4.4.2.2 Cabaret « chez Benoit »

Le dolo a été préparé avec un foyer à trois marmites.

**a. Première cuisson**

La cuisine a toujours été effectuée dans un **lieu couvert** pour le foyer en banco

**Tableau 12:** résultat des tests au cabaret « chez benoit »

Cabaret benoit	Foyer amélioré en banco (valeur pour une marmite)	Foyer à huile de jatropha
Quantité de mil	16,6	16,6
Durée de la cuisson (h :mn)	15 :27	12 :30
Quantité de combustible	58 kg	18,61
Quantité de dolo produit (kg)	69,3	83,5
Quantité de combustible par litre de dolo	0,84 Kg/l	0,22 l/l

Soit une consommation spécifique moyenne de 0,84 kg de bois/L de dolo avec le foyer en banco et 0,22 litre d’huile/l de dolo avec le foyer à huile végétale. Soit là aussi une correspondance de 1 litre de jatropha utilisé pour environ l’équivalent de 4 kg de bois de karité.

Selon l’étude menée par Sylla Facinet « Analyse des besoins en bois énergie des dolotières pour la substitution en huile de *Jatropha curcas* dans la Commune de Dano/ Burkina Faso » en 2009 :la consommation spécifique **théorique** moyenne, en utilisant un mélange de bois était estimée à 1,34kg/L [8].Soit une correspondance de 1 litre de jatropha pour environ 6 kg de bois de diverses essences mélangées

**4.4.3 interprétation**

En termes de consommations spécifiques, les essais menés donnent respectivement 0,92Kg/litre de dolo pour les foyers améliorés en banco et 0,22 Kg/litre de dolo pour le foyer à huile végétale. En considérant une teneur en eau moyenne de 10% pour le bois utilisé la consommation spécifique du foyer amélioré en banco devient 0,82Kg/ litre de dolo. On en déduit alors que pour produire une même quantité de dolo, brûler 1 kg d’huile de jatropha revient à brûler 4 kg de bois de karité ou 6 kg de bois de diverses essences mélangées

En revanche, la combustion de 1kg d’huile de jatropha (PCI=36927Kj/Kg) produit une quantité d’énergie thermique équivalente à la combustion de 2 Kg de bois sec de karité

(PCI=17 663 Kj/Kg) et environ 3 kg de bois de diverses essences mélangées (PCI= 12540 KJ/Kg ) [8].

**Cela confirme que le foyer à huile de jatropha à un rendement nettement supérieur au foyer en banco.**

#### **4.5 LIMITES D'INTERPRETATION DU TEST DE CUISINE CONTROLE (TCC)**

A Dano nous n'avons pas trouvé un foyer à une marmite. Tous les foyers utilisent plusieurs marmites ce qui rend la comparaison peu objective par rapport au prototype qui utilise une seule marmite. La cuisinière influence certains résultats puisque c'est elle qui décide du remplissage initial du bois, du positionnement du bois sous l'une ou l'autre marmite et de la fin de cuisson du dolo. C'est pourquoi, il faut réaliser plusieurs tests de cuisine comparée (toujours avec la même recette) par la même cuisinière (« dolotière »). Le pouvoir calorifique du bois influence aussi les résultats du TCC car elle dépend de la provenance du bois, ainsi que de son état de dessiccation (plus ou moins récemment débité ou bien séché depuis un certain temps, en fonction aussi de la saison, avec des atmosphères plus ou moins humides). C'est pourquoi, il convient de préparer la quantité nécessaire à la réalisation de tous les TCC qu'on veut conduire sur les différents fourneaux à comparer, en mélangeant les bois, de provenances différentes, dans des états de dessiccation comparables.

#### **4.6 APPRECIATION DU FOYER A HUILE DE JATROPHA**

Les impressions des dolotières sont les suivantes :

- La coupe de bois évitée;
- Pas de frais pour couper le bois en petit morceaux (au prix du bois par « charretée » - entre 8500 et 9500 fcfa selon le bois- s'ajoute en effet un coût de 300 fcfa de façonnage par grosse bille); ;
- Pas de fumées gênantes (un rapport récent de l'OMS estime à 2 millions/an le nombre de décès dus à des affections liées à la fumée dans et autour des habitations, et une morbidité très importante – affections pulmonaires, conjonctivites, sinusites...-);
- Elles n'auront plus à soulever le bois pour amener vers le foyer ;
- L'huile s'allume plus vite que le bois ;
- L'huile dans le bidon est facilement déplaçable ;
- Pas de surveillance du feu autre que le réglage du débit d'huile par le robinet ;

- Pas de chaleur autour du foyer, moins de risques de brûlure (souvent observés chez les enfants des « dolotières » !);
- Le foyer à huile est plus rapide ;
- Elles trouvent que le foyer à huile a une marmite encore inadapté car il ne peut pas permette de préparer beaucoup de dolo. Elles suggèrent un foyer à huile avec au moins trois marmites (ce qui permettrait encore de valoriser des quantités d'énergies perdues, constatées dans les fumées);
- Point importants : les consommateurs du dolo préparé avec le foyer à huile n'ont pas trouvé de différence de goût !

A l'analyse des impressions recueillies, on voit bien que les dolotières sont toutes satisfaites du foyer à huile de jatropha.

## 5 CHAPITRE IV : Calcul Economique

### 5.1 COUT DE PRODUCTION D'UN LITRE DE DOLO

A partir des différentes charges liées à la préparation du dolo, nous pouvons évaluer le coût de la production pour un litre de dolo. Ces charges sont les suivantes :

- Achat du bois

Le prix du bois au kilo pour son usage en foyer à bois amélioré peut être estimé à : à 9000 fcfa en moyenne pour une charrette d'environ 495 kg de bois en moyenne (estimation Sylla, 2009), quoi on peut rajouter environ une quinzaine de billes de bois qui nécessitent un façonnage en bûches plus petites, à 300 fcfa la bille : soit  $9000 + (15 \times 300) = 13.500$  fcfa pour 495 kg, soit 27,27 fcfa/kg.

- Achat du mil

Le mil est acheté au marché, le kilogramme de mil est de 166 Fcfa.

- Les frais de location du cabaret

Le cabaret est géré par une dolotière appelée « tenancière principale » qui collecte les frais de location et rend compte au propriétaire. Le montant de la location s'élève à 1250f par préparation.

- La main d'œuvre

La plupart du bois utilisé est composé de très grosses branches d'arbre que la dolotière ne peut brûler directement. Elles font appeler à un bucheron pour fendre le bois en petit morceaux. Le coût est de 300f par branche.

- L'eau

**Tableau 13:** coût de production d'un litre de dolo cabaret « le carrefour »

	moyenne		Consommation par litre de dolo		Prix unitaire (F CFA)		Prix de revient (FCFA/L)	
	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV
consommation de mil	33 kg	33 kg	0,28 kg/l	0,27 kg/l	166	166	47,26	44,9
Consommation du combustible	110,7 kg	32,27 l	0,96 kg/l	0,26 l/l	27,27	350	26	92,58
Autres frais	812,5	1750	7 Fcfa/l	14,34 Fcfa/l	-	-	7	14,34
total							80,26	151,82

Nb : les autres frais concernent : l'achat de l'eau, une taxe payé à la tenancière,.

**Tableau 14:** coût de production d'un litre de dolo cabaret « chez benoit »

	moyenne		Consommation par litre de dolo		Prix unitaire (F CFA)		Prix de revient (FCFA/L)	
	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV
consommation de mil	16,6 Kg	16,6 Kg	0,24 kg/l	0,2 kg/l	166	166	39,76	33
Consommation du combustible	58 Kg	18,61 L	0,84 kg/l	0,22 l/l	27,27	350	22,82	78
Autres frais (Fcfa)	667	1500	9,62 Fcfa/l	17,96 Fcfa/l	-	-	9,62	17,96
total							72,2	128,96

Nb : les autres frais concernent : l'achat de l'eau, la taxe payé à la tenancière,.

## 5.2 ANALYSE ECONOMIQUE

Une analyse économique fera ressortie un bilan financier du foyer à dolo. il s'agira de voir si l'utilisation de foyer peut générer un profit sur le plan financier.

**Tableau 15** : bilan économique

	Prix de vente du litre (F cfa/L)		Quantité produit (L)		Vente du dolo produit (Fcfa)		Coût de la production (Fcfa)		Bénéfice ou perte (Fcfa)	
	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV	FB	FHV
carrefour	100	100	115,9	122	11590	12200	9302	18522	2288	-6322
benoit	100	100	69,3	83,5	6930	8350	5003	10768	1927	-2418

On constat que le foyer à huile de jatropha n'est pas rentable car il n'ya pas de bénéfice ce qui est du au prix du litre de l'huile de jatropha qui renchérit le coût de revient par rapport au prix du kilogramme de bois.

Cette donnée est importante pour orienter les choix en cours et à venir pour la vente de l'huile de Jatropha : bon nombre de spécialistes, rejoints par certaines autorités publiques, envisagent d'ores et déjà le subventionnement, et en tous cas la détaxation, de l'huile de Jatropha, compte-tenu des avantages que son utilisation entraine en terme environnemental (arrêt du déboisement et stockage carbone) et économique (indépendance énergétique).

NB : à titre de rappel et d'exemple, le prix du gaz domestique est subventionné à hauteur de 80% au Burkina Faso !

### **5.3 ESTIMATION DU PRIX DE L'HUILE DE JATROPHA POUR RENDRE LA PRODUCTION DE DOLO RENTABLE AVEC LE FOYER LE FOYER A HUILE VEGETALE (HORS TOUT AMORTISSEMENT DE L'ACHAT DU FOYER)**

On a pu estimer qu'1 litre de jatropha, équivaut à brûler 6 kg de bois d'essences mélangées.

En première approche, le prix « compétitif » du litre d'huile de Jatropha ne devrait donc pas dépasser :

$$(27,27 \text{ fcfa/kg de bois} \times 6\text{kg}) / 1 \text{ L} = \mathbf{163,62 \text{ fcfa/L}}$$

## 6 CONCLUSION

### Conclusion et recommandations

Au terme de notre étude que nous avons menée sur le foyer à huile végétale, nous avons réussi à proposer un modèle de foyer satisfaisant par rapport au premier prototype, qui offre des avantages indéniables par rapport aux foyers à bois améliorés en banco.

Les tests de laboratoires montrent que le prototype final de foyer à huile de Jatropha a un rendement thermique moyen de 43%, lorsque celui de la première version du prototype était de 28,5% en moyenne soit une amélioration de 33% et une économie moyenne d'huile de 52%.

Toutefois, même si les résultats obtenus sont remarquables, il reste quand même des perfectionnements à apporter dans le but de faire du foyer à huile végétale un outil intéressant pour les dolotières. Nous pensons notamment à un système à trois marmites comme suggéré par les utilisatrices, et conforté par les mesures des paramètres de rendement et d'analyse des fumées, pour leur permettre de préparer de grande quantité de dolo en un temps beaucoup plus réduit et avec moins de consommation d'huile.

En outre, une étude plus approfondie doit être faite pour l'adaptation du prix, par subventionnement ou détaxations, de l'huile de Jatropha afin qu'elle puisse être à la portée des dolotières et compétitive par rapport au prix actuel du bois. En première approche, et en l'état actuel de la situation il ne faudrait pas que le litre dépasse les 163 fcfa /L

On notera à ce propos que le prix du bois a augmenté de plus de 50 % dans les trois dernières années et que sa raréfaction croissante ne va qu'accélérer ce phénomène de renchérissement dû à une demande de plus en plus disproportionnée par rapport à l'offre disponible.

Nous pensons que la vulgarisation du foyer à HV au niveau du Burkina Faso et aussi dans la sous-région pourrait contribuer à lutter efficacement contre la désertification. Par exemple l'implantation de ce foyer à Dano permettra d'éviter la coupe de plus de 6442 tonnes de bois dont font partie les espèces telles que le karité, le néré ..... Le foyer à huile végétale apparaît alors comme une meilleure alternative par rapport aux foyers en banco amélioré à bois ou, pire encore sur le plan économique, à gaz.

Un appel est donc lancé en direction des autorités, structures et organisme compétents afin que les moyens soient mis en œuvre pour permettre la réalisation de ce projet.



## 7 Bibliographie

1. [www.asudec.org/fr/spip.php?article](http://www.asudec.org/fr/spip.php?article) ;
2. [1] : Djivénou Yaovi **TOMETRY**, *étude de l'émission de gaz et des performances d'un moteur diesel fonctionnant aux huiles végétales conditionnées à l'additif ADERCO*, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'équipement rural, Burkina Faso, Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement, 2008, 80 pages
3. <http://www.compete-bioafrica.net/policy/070801>  
Programme%20National%20Biocarburants.pdf
4. INERA/RSP, George Yamego, BP 7192 et IBE, Ouagadougou, Burkina Faso.
5. Water Boiling Test (WBT), Shell Foundation, Household Energy and Health (HEH) Programme;
6. controlled cooking test (CCT), Shell Foundation, Household Energy and Health (HEH) Programme;
7. [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10908.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10908.htm)
8. Rapport final de SYLLA Facinet : Analyse des besoins en bois énergie des dolotières pour la substitution à huile de Jatropha Curcas dans la Commune Rurale de Dano/ Burkina Faso, 2009.
9. mémoire de fin d'études de KASIENGA Gilbert : Etude comparative de de la rentabilité énergétique des foyer 3 pierre traditionnels et des foyer trois pierre amélioré en banco, 2010
10. [www.gtz.de/de/dokumente/fr-foyers-en-images1-1995.pdf](http://www.gtz.de/de/dokumente/fr-foyers-en-images1-1995.pdf)

## 8 ANNEXES

### 8.1 ANNEXE 1 : BRULEUR REDI MULTICOMBUSTIBLE



## 8.2 ANNEXE 2 : DATA SHEET DU LOGICIEL TEE

### Water Boiling Test - General Information

**Test & stove description**

Name of Tester(s) \_\_\_\_\_

Test Number or Code \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Test Location \_\_\_\_\_

Stove Type/Model \_\_\_\_\_

Manufactured by \_\_\_\_\_

Description and Notes \_\_\_\_\_

**Ambient conditions**

Air temperature (C) \_\_\_\_\_

Air relative humidity (%) \_\_\_\_\_

Local boiling point (C) \_\_\_\_\_

**Emission testing**

Atmospheric P (kPa) 101,3

Pilot delta-P \_\_\_\_\_

Hood flow rate (m3/hr) \_\_\_\_\_

Notes or description about stove or operation not included elsewhere on this form \_\_\_\_\_

**Description of operation during the high-power test**

How is fire started? \_\_\_\_\_

When do you add new fuel to the fire? \_\_\_\_\_

How much fuel do you add at one time? \_\_\_\_\_

How often do you feed the fire without adding fuel (e.g. push sticks)? \_\_\_\_\_

Do you control the air above or below the fire? \_\_\_\_\_

If so, what do you do? \_\_\_\_\_

### Version 4.1.2

**Fuel description**

Your general description \_\_\_\_\_

Fuel type (Select from list) \_\_\_\_\_

Fuel description (Select from list) \_\_\_\_\_

Average length (cm) \_\_\_\_\_

Cross-sectional dimensions (cm x cm) \_\_\_\_\_

**Default values (looked up)**

Gross calorific value \_\_\_\_\_ - HHV, kJ/kg

Net calorific value \_\_\_\_\_ - LHV, kJ/kg

Char calorific value \_\_\_\_\_ - LHV, kJ/kg

*If possible, enter a calorific value from measurements of local fuel below.*

Check box if you have a measured calorific value

Check box if measured calorific value is for dry fuel

Measured gross calorific value \_\_\_\_\_ HHV measured, kJ/kg

Measured net calorific value \_\_\_\_\_ LHV, kJ/kg

Assumed net calorific value \_\_\_\_\_ LHV, kJ/kg

**Values to be used for tests**

Gross calorific value \_\_\_\_\_ - HHV, kJ/kg

Net calorific value \_\_\_\_\_ - LHV, kJ/kg

Fuel carbon content \_\_\_\_\_ by mass

Description of firesetter (e.g. paper, fluid) and small wood or kindling (note: Kindling should be weighed and reported with wood) \_\_\_\_\_

**Description of operation during the simmering test**

How is fire started? \_\_\_\_\_

When do you add new fuel to the fire? \_\_\_\_\_

How much fuel do you add at one time? \_\_\_\_\_

How often do you feed the fire without adding fuel (e.g. push sticks)? \_\_\_\_\_

Do you control the air above or below the fire? \_\_\_\_\_

If so, what do you do? \_\_\_\_\_

**Water Boiling Test - Test Entry Form**

These values are not linked to the Test sheet. This sheet is provided so you can print an empty data entry form. You will have to enter these values in each Test sheet to obtain the calculations.

Air Temperature

Wind Conditions

Fuel Dimensions

Moisture Content (wet basis)

Dry Weight Pot 1

Dry Weight Pot 2

Dry Weight Pot 3

Dry Weight Pot 4

Weight Container for Char

Local Boiling Point \*

\* enter on General Information

Background CO<sub>2</sub> (ppm)\*\*

Background CO (ppm)\*\*

Background PM (µg/m<sup>3</sup>)\*\*

\*\* For emission testing only

Name of Testian

Date

Stove Type/Model

Test Number

Location

Fuel Type

Notes

	Cold Start		Hot Start		Simmer	
	Start	End	Start	End	Start	End
Time	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Weight of Wood	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Water Temperature, Pot 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Water Temperature, Pot 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Water Temperature, Pot 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Water Temperature, Pot 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Weight of Pot 1 with water	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Weight of Pot 2 with water	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Weight of Pot 3 with water	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Weight of Pot 4 with water	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fire Starting Materials	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Average CO <sub>2</sub> (ppm)		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
Average CO (ppm)		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
Average PM (µg/m <sup>3</sup> )		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>

**WATER BOILING TEST - VERSION 4.1.2 - TEST #1**  
**DATA AND CALCULATION FORM (for one to four pots)\***  
*Shaded cells and arrows require user input; unshaded cells automatically display outputs*

**Qualitative data**

Name(s) of Tester(s)  gray: efficiency

Test Number  blue: emissions with hood method

Date

Location

Stove type/model

Type of fuel

**Initial Test Conditions**

Data	value	units	label	Data	value	units	label
Air temperature	<input type="text"/>	°C		Dry weight of Pot # 1 (grams)	<input type="text"/>	g	P1
Wind conditions	(Select from list) ▼			Dry weight of Pot # 2 (grams)	<input type="text"/>	g	P2
Fuel dimensions	<input type="text"/>			Dry weight of Pot # 3 (grams)	<input type="text"/>	g	P3
Fuel moisture content (wet basis)	<input type="text"/>	%	m	Dry weight of Pot # 4 (grams)	<input type="text"/>	g	P4
Gross calorific value (dry fuel)	-	kJ/kg	HHV	Weight of container for char (grams)	<input type="text"/>	g	k
Net calorific value (dry fuel)	-	kJ/kg	LHV	Local boiling point	-	°C	T <sub>b</sub>
Effective calorific value (accounting for fuel moisture)	-	kJ/kg	C <sub>eff</sub>	Background concentrations: CO <sub>2</sub>	<input type="text"/>	ppm	CO <sub>2,b</sub>
Char calorific value	-	kJ/kg		CO	<input type="text"/>	ppm	CO <sub>b</sub>
				PM	<input type="text"/>	ug/m <sup>3</sup>	PM <sub>b</sub>

Notes about this test:

**BASIC TEST DATA**

WATER BOILING TEST - VERSION 4.1.2		TEST #					
<b>All cells are linked to data worksheets, no entries are required.</b>							
Stove type/model	_____						
Location	_____						
Wood description	_____						
Wind conditions	(Select from list); (Select from list); (Select from list)						
Ambient temperature	; 25; 25						
<b>1. HIGH POWER TEST (COLD START)</b>	units	Test 1	Test 2	Test 3	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	-	-	-	-	-	-
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	-	-	-	-	-	-
Burning rate	g/min	-	-	-	-	-	-
Thermal efficiency	%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Specific fuel consumption	g/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Temp-corrected specific consumption	g/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Firepower	watts	-	-	-	-	-	-
<b>2. HIGH POWER TEST (HOT START)</b>	units	Test 1	Test 2	Test 3	Average	St Dev	COV
Time to boil Pot # 1	min	-	-	-	-	-	-
Temp-corrected time to boil Pot # 1	min	-	-	-	-	-	-
Burning rate	g/min	-	-	-	-	-	-
Thermal efficiency	%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Specific fuel consumption	g/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Temp-corrected specific consumption	g/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Firepower	watts	-	-	-	-	-	-
<b>3. LOW POWER (SIMMER)</b>	units	Test 1	Test 2	Test 3	Average	St Dev	COV
Burning rate	g/min	-	-	-	-	-	-
Thermal efficiency	%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Specific fuel consumption	g/liter	-	-	-	-	-	-
Temp-corrected specific energy cons.	kJ/liter	-	-	-	-	-	-
Firepower	watts	-	-	-	-	-	-
Turn down ratio	--	-	-	-	-	-	-
<b>BENCHMARK VALUES (for 6L)</b>							
Fuel Use Benchmark Value	g	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Energy Use Benchmark Value	kJ	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Carbon Monoxide Benchmark Value	g	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Particulate Matter Benchmark Value	g	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

### 8.3 ANNEXE 3 : PREMIER PROTOTYPE DU FOYER A HUILE VEGETALE MIS AU POINT PAR ZONGO BOUBACAR



#### **8.4 ANNEXE 4 : VUE EN COUPE DU FOYER MODIFIE SANS LE RESERVOIR**



## 8.5 ANNEXE 5 : FOYER MODIFIER DE MONSIEUR ZONGO BOUBACAR



## 8.6 ANNEXE 6 : DATA SHEET DU LOGICIEL TCC

CCT-1 for the

Wind conditions

Shaded cells require user input; unshaded cells automatically display outputs

Air temperature  °C

To be filled in after cooking task is complete (as defined by the directions on the "Description" worksheet)

MEASUREMENTS	Units	Initial measurements		Final measurements		Comments about cooking process (smokiness, ease of use, etc.)
		data	label	data	label	
Weight of wood used for cooking	g		$f_i$		$f_r$	
Weight of charcoal+container	g				$c_c$	
Weight of Pot # 1 with cooked food	g				$P1_r$	
Weight of Pot # 2 with cooked food	g				$P2_r$	
Weight of Pot # 3 with cooked food	g				$P3_r$	
Weight of Pot # 4 with cooked food	g				$P4_r$	
Time	min		$t_i$		$t_r$	

CALCULATIONS	Formula	CALCULATIONS	Formula		
Total weight of food cooked	g	$W_r = \sum_{j=1}^4 (P_{j,r} - P_j)$	Specific fuel consumption g/kg	$SC = \frac{f_d}{W_r} * 1000$	
Weight of char remaining	g	$\Delta c_c = k - c_c$	Total cooking time	min	$\Delta t = t_r - t_i$
Equivalent dry wood consumed	g	$f_d = (f_r - f_i) * (1 - (1.12 * m)) - 1.5 * \Delta c_c$			

Description of stove (indicate the construction material of the stove, the way that the pot(s) fits in the stove, and the presence of insulation, chimney, workspace, etc):

Results of CCT comparing two stoves

Stove type/model: Stove 1

Stove type/model: Stove 2

Location

Wood species

Summary of comments on stove 1

1. CCT results: Stove 1	units	Test 1	Test 2	Test 3	Mean	St Dev
Total weight of food cooked	g					
Weight of char remaining	g					
Equivalent dry wood consumed	g					
Specific fuel consumption	g/kg					
Total cooking time	min					

Summary of comments on stove 2

2. CCT results: Stove 2	units	Test 1	Test 2	Test 3	Mean	St Dev
Total weight of food cooked	g					
Weight of char remaining	g					
Equivalent dry wood consumed	g					
Specific fuel consumption	g/kg					
Total cooking time	min					

Comparison of Stove 1 and Stove 2	% difference	T-test	Sig @ 95% ?
Specific fuel consumption	g/kg		
Total cooking time	min		

## 8.7 ANNEXE 7 : FICHE DE RELEVÉ DU TCC

### Fiche de relevé : Test de cuisson

- Peser le combustible (si on en ajoute plus tard, il faudra le peser aussi) au début et la fin de la cuisson.
- Peser tous les aliments et l'eau
- Noter l'heure d'allumage, l'heure des phases de la cuisson et l'heure de la fin de cuisson
- Noter tous les observations et problèmes pendant la cuisson.

Date : Combustible :  
Nom du cabaret : Type de foyer :  
Nom de la dolotière : Type de cuisson :

Heures (h,mm)  
Début cuisson  
Fin cuisson

Poids du combustible (kg)  
Quantité du combustible au début  
Quantité du combustible ajouté  
Quantité du combustible à la fin

Quantité d'aliments  
Quantité eau au début (l)  
Quantité de mil (kg)  
Quantité de farine (kg)  
Quantité de dolo à la fin (l)

### Observations et Commentaires

|

**8.8 ANNEXE 8 : UNE DOLOTIERE PROCEDE A L'ALLUMAGE DU FOYER A HUILE VEGETALE**



## 8.9 ANNEXES 9 : BOIS UTILISE POUR LE DOLO



## 8.10 ANNEXE 10: DEPOT DE CENDRE PROVENANT DE LA COMBUSTION DU BOIS POUR LA CUISSON DU DOLO



## 8.11 ANNEXE 11 : MDP

### 8.11.1 Le Mode de développement propre (MDP)

Un projet MDP est un projet qui prend en compte dans sa configuration les exigences de l'environnement. Autrement dit c'est lorsque le projet vise à la réduction des gaz à effet de serre.

Un Etat ou une entreprise des pays développés investit dans un projet de réduction des émissions de GES dans un pays en voie de développement (PED). En échange des réductions constatées, un volume équivalent d'Unités de Réductions d'Emissions Certifiées UREC, (Certified Emission Reduction) lui est délivré. Cet investisseur pourra vendre ces Unités sur le marché ou les déduire de ses obligations internationales de réduction

#### **L'objectif du MDP est double :**

Pour les pays industrialisés : il s'agit de réduire le coût de mise en œuvre de leurs engagements de réductions en finançant ou en réalisant des projets de réductions des émissions peu coûteuses dans les PED.

Pour les pays en développement il s'agit d'accueillir des projets qui contribuent à leur développement durable. Un transfert de technologies écologiquement rationnelles est censé s'opérer. Le MDP se présente comme une voie pour attirer les investissements étrangers.

### 8.11.2 les crédits carbone

Un crédit-carbone = une unité = 1 tonne de GES (en équivalent CO<sub>2</sub>) évité.

Ce crédit carbone a une valeur monétaire; tous les GES, n'ont pas la même valeur en équivalent CO<sub>2</sub> : 1 tonne de CO<sub>2</sub> équivaut à 0,2727 tonne de carbone.

Les crédits carbone sont des unités qui sont attribuées au porteur de projet qui réduit les émissions de GES (séquestration ou évitement): ils ont une valeur commerciale ; le porteur de projet peut les commercialiser pour financer son projet.

**Un projet crédit carbone** est un projet qui génère des réductions de gaz à effet de serre. Il faut démontrer que les réductions d'émissions qu'ils génèrent sont réelles, vérifiables, additionnelles, permanentes ou garanties, et que leur création, enregistrement et traçabilité sont clairement établis.

### 8.11.3 Les foyers à huile de jatropha de la fondation Dreyer et les crédits carbone

En se basant sur les définitions ci-dessus, nous nous demandons si le projet de la fondation Dreyer ne s'inscrit t-il pas dans le cadre d'un MDP et cependant pourrais donc bénéficier d'un

---

*« Caractérisation et optimisation d'un foyer à cuisson de « dolo » équipé d'un bruleur à huile végétale »*

financement. C'est pour répondre à cette question, il faudrait qu'une étude soit confiée à une structure chargée de la validation des projets MDP qui déterminera si le projet est habilité à bénéficier un financement. Notre travail sera une portion de cette étude dont les résultats fourniront des données de base pour amorcer le processus de certification

#### 8.11.4 Méthodologie

Afin d'uniformiser les méthodes d'études des projets MDP, la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques (CCNUCC) a développé des outils de méthodologies qui sont approuvés. Chaque outil comporte une référence et sa méthode de surveillance. Dans le cas de ce projet, la méthodologie adoptée est celle dont la référence est intitulée AMS-II. G (Mesure de l'efficacité énergétique dans les applications thermiques de la biomasse non renouvelables.)

#### 8.11.5 Présentation de l'AMS-II.G

La méthodologie AMS-II.G regroupe tous les instruments intervenants dans les applications thermiques de la biomasse non renouvelable et pouvant bénéficier d'amélioration de leurs rendements thermiques. Comme exemple de ces appareils on peut citer l'introduction des foyers, des cuisinières et des séchoirs de haut rendement.

Cette méthodologie exige les conditions suivantes :

- Si un projet MDP similaire existe dans la même zone que votre projet, il faudra alors se rassurer que le porteur de projet doit démontrer que la biomasse non renouvelable est utilisée depuis ou au moins le 31 Décembre 1989, en utilisant des méthodes d'enquêtes.
- La limite de l'activité : la limite du projet est le site physique et géographique où les foyers sont utilisés. Dans le cadre de ce projet la limite serait la ville de Dano tout entier en tenant compte de l'expansion future du projet.
- La référence : il est supposé qu'en absence de ce projet le scénario de référence serait l'utilisation en outrance des combustibles fossiles pour obtenir la même quantité d'énergie thermique dont on a besoin ;
- Le calcul de réduction d'émission serait comme suit :

$$ER_y = B_{y\text{ sauvé}} \cdot F_{NRB,y} \cdot NCV_{\text{biomasse}} \cdot EF_{\text{projected fossil fuel}}$$

Où

$ER_y$  = Réduction d'émission de l'année y en cours en Tco2 équivalent.

$B_{y\text{ sauvé}}$  = biomasse bois enregistré en tonne.



$F_{NRB,y}$  = Fraction de la biomasse bois sauvé par le projet dans l'année y qui peut être établi comme une biomasse non renouvelable.

$NCV_{biomasse}$  = Pouvoir calorifique inférieur de la biomasse bois.

$EF_{projected\ fossil\ fuel}$  = Facteur d'émission du bois

$$B_{y\ sauvé} = B_y \cdot \left( 1 - \frac{N_{old}}{N_{new}} \right). \text{ où}$$

$B_y$  = Quantité de bois qui est utilisé en absence du nouveau système. Il peut être déterminé en multipliant le nombre de foyer traditionnel par l'estimation de la consommation moyenne du bois par foyer 3 pierre ou amélioré. Cette estimation peut être trouvée à travers des données historiques ou par une enquête au près des familles.

$N_{old}$  = Rendement du système de référence (foyer traditionnel) ;

$N_{new}$  = Rendement du nouveau système (foyer à huile de jatropha) ;

Notre travail consiste principalement à déterminer les rendements d'un foyer à huile de jatropha et améliorer ce rendement

## Annexe 12 : Formation des gaz et particule

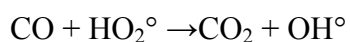
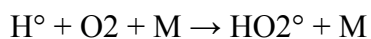
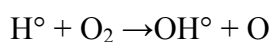
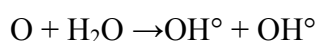
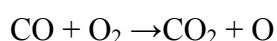
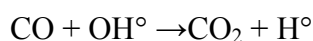
**I. Formation de gaz lors d'une combustion dans un brûleur****I.1. Formation du CO**

La présence de CO dans la fumée est principalement due à une combustion se déroulant globalement ou localement en mélange riche ou due à une combustion incomplète. De façon générale le CO est un produit de combustion.

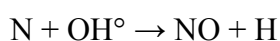
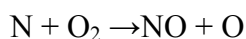
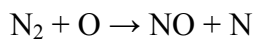
Mécanisme :  $RH \rightarrow R^\circ \rightarrow RO_2 \rightarrow RCHO \rightarrow RCO \rightarrow CO$

Le RH représentera par la suite la molécule d'hydrocarbure,  $R^\circ$  le radical alkyle et M une molécule neutre, encore appelée partenaire de collision. Nous nous efforcerons de présenter tous les radicaux avec leur symbole  $^\circ$  par souci de clarté et afin qu'il n'y ait pas de confusion possible avec une autre molécule associée.

Le CO pourra ensuite être oxydé en  $CO_2$ , si les conditions de température sont propices et si l'oxygène en présence est en quantité suffisante.

**I.2. Formation NOx**

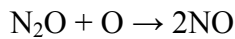
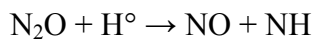
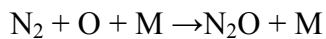
Le terme NOx regroupe le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>. Dans la fumée, le NO est en proportion majoritaire par rapport au NO<sub>2</sub> (environ 90% pour 10%), cependant ce rapport se voit souvent modifié lors de l'utilisation de systèmes de post-traitement. Lors de la combustion d'un mélange d'hydrocarbures, des oxydes d'azote peuvent être formés :



Ce processus de formation de NO fait intervenir l'azote et l'oxygène de l'air, réagissant dans la zone des gaz brûlés en aval du front de flamme.

**I.3. Le mécanisme de formation du NO par l'intermédiaire de N<sub>2</sub>O**

Lors d'une combustion pauvre à haute pression et à basse température, ce mécanisme devient important car il contribue alors à la formation de NO. Il comporte trois réactions :



#### **I.4. La formation d'hydrocarbures imbrûlés**

Les émissions d'hydrocarbures imbrûlés ne proviennent pas d'une seule mais de plusieurs sources d'émission :

- par piégeage des hydrocarbures dans les interstices de la chambre de combustion,
- dans les zones pauvres en oxygène,
- dans les zones d'hétérogénéité de richesse ou de basses températures,
- par extinction de la flamme à proximité de la paroi
- par le phénomène d'adsorption/désorption des hydrocarbures dans le film d'huile,
- par les ratés de combustion.

#### **I.5. La formation des particules**

La formation des suies est due à une température élevée (>1400°C) couplée à un déficit local en oxygène. Les particules sont constituées de deux parties :

- une partie insoluble, la « suie », composée d'un matériau carboné solide issu de la pyrolyse de certains hydrocarbures constitutifs du carburant,
- et une partie soluble (Soluble Organic Fraction = SOF) d'hydrocarbures imbrûlés qui vont être adsorbés sur la suie.

Ainsi il apparaît qu'à température localement élevée, la formation de NOx et de particules est privilégiée tandis que les basses températures sont propices à la formation d'hydrocarbures imbrûlés. Les émissions de CO étant, elles surtout dues à la combustion d'un mélange localement riche. Afin de réduire les émissions de ces types de polluants, une des idées d'investigation est alors de les réduire directement à la source en réalisant une combustion avec des températures plus faibles et avec peu d'hétérogénéité de richesse.