



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

ANALYSE COMPARATIVE DE LA RENTABILITE ENERGETIQUE DES FOYERS 3 PIERRES TRADITIONNELS ET DES FOYERS 3 PIERRES AMELIORES

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER SPECIALISE EN
GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE.

OPTION : GENIE ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE

Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant (LBEB)



Présenté et soutenu publiquement le 2010 par :
KAZIENGA GILBERT

Encadreurs :

Dr. JOEL BLIN

Ing. MADI KABORE

Maîtres de Stage

ALAIN TRAORE

Jury d'évaluation :

Promotion 2009-2010

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 INCULQUÉE.

● A MON FRÈRE KAZIENGA SAMUEL

POUR LES EFFORTS CONSENTIS DANS LA GESTION DE LA FAMILLE DURANT MON ABSENCE.

● A L'ASSOCIATION RES PUBLICA

VOUS QUI M'AVEZ ACCEPTÉ ET SOUTENU DANS MES ÉTUDES. JE NE SAURAI ASSEZ VOUS TRADUIRE MA RECONNAISSANCE.

● A MES AMIS DE LA 2ÈME PROMOTION DU MASTER SPÉCIALISÉ

POUR LA SOLIDARITÉ, LE COURAGE, ET LA FRATERNITÉ QUE NOUS AVONS CULTIVÉ MALGRÉ QUE NOUS VENONS DES HORIZONS DIVERSES.

JE DÉDIE LE FRUIT DE CE TRAVAIL

REMERCIEMENTS

Rien ne peut s'accomplir sans la volonté de Dieu ; de lui vient toute grâce et tout bien. Je dis merci au Seigneur Dieu, éternel et tout puissant, pour ses œuvres dans ma vie.

Le présent projet de fin d'études est le fruit d'un travail collectif, d'une disponibilité constante et d'une attention particulière.

Ainsi, je voudrais ici traduire ma reconnaissance et ma gratitude à tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce projet.

Elles vont particulièrement au **Dr. Joel BLIN** et **Monsieur Madi KABORE** qui sont respectivement Chef de Laboratoire et Ingénieur de Recherche au Laboratoire Biomasse, Energie et Biocombustible au 2IE. Leur assistance et leurs conseils n'ont eu d'égale mesure que leur disponibilité à répondre aux multiples sollicitations. Puissent-ils trouver en ces lignes l'expression de ma reconnaissance profonde et totale.

Mes remerciements s'adressent à **Madame Franziska Kaguembèga** Présidente de l'Association Tii Paalga , **Monsieur Alain Traoré** et **Monsieur Bakary Diakité** les chargés du programme de Tii Paalga pour leur appui technique et financier.

Je n'oublie pas les deux animatrices du projet qui n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir dans mon approche au près des femmes.

Mes remerciements s'adressent également à l'**Association RES PUBLICA** particulièrement à **Madame Françoise Perrin ; Monsieur Basile Darga , Monsieur Thierry Sciari** et toute l'équipe pour ne citer que cela pour avoir placé en moi toute leur confiance me permettant de terminer la formation sans ambiguïté. Puissent – ils trouver en ces lignes l'expression de ma profonde reconnaissance.

Que tous ceux qui m'ont soutenu lors de cette formation trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et de toute ma reconnaissance.

Sommaire

DEDICACE

REMERCIEMENTS	2
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	5
SIGLES ET ABREVIATIONS	6
RESUME.....	7
ABSTRACT	7
Introduction Générale.....	8
1-Contexte	8
II-Méthodologie	9
Chapitre I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	11
I-1- La place du bois dans le monde	11
I-2- Cas particulier du Burkina Faso.....	11
I-3- Les problèmes liés à l'utilisation du bois.....	11
I-4- Les solutions palliatives à cette crise du bois	13
II- Théorie sur la combustion du bois.....	15
II-1- Composition chimique du bois	15
II-2- La combustion du bois	15
III-Le mode de transfert de chaleur à la marmite	17
IV-Etat de l'art des foyers	17
IV-1-Principes des foyers améliorés- Conception	18
IV-2- Les types de foyers améliorés existant.....	18
Chapitre II : étude des foyers améliorés de Tii paalga (F3PA)	23

I- Les différents modèles de foyer rencontrés à Tii paalga	23
II-La technique de construction du F3PA de Tii paalga.....	25
II-1- Le matériel nécessaire.....	25
II-2- Les étapes préliminaires	25
III-La construction du foyer	26
III-1- La fondation	26
III-2- Le soubassement et l'élévation des parois	27
III-3 -Le crépissage ou polissage interne et externe du foyer	27
III-4- L'ouverture de la porte	27
IV - Techniques et précautions à respecter pour une bonne utilisation des F3PA	28
IV-1- Précautions à prendre avant l'utilisation du foyer.....	28
IV-2- Précautions pendant l'utilisation du foyer	28
IV-3- Entretien périodique du foyer.....	28
CHAPITRE III : LES MDP ET LES CREDITS CARBONE.....	29
I-Définitions et Objectifs	29
I-2- les MDP	29
I-3- les crédits carbones	29
II-Les foyers améliorés de Tii paalga et les crédits carbones.....	29
III-Méthodologie	30
III-1. Présentation de l'AMS-II.G.....	30
III-2. Méthodes de caractérisations des foyers	31
CHAPITRE IV : Le test d'ébullition d'eau développé par la fondation Shell.....	33
I-Protocole	33
I-1. Les étapes à suivre avant le démarrage du test.....	34
I-2. Equipement nécessaire pour faire le test	34
I-3. Les étapes initiales pour chaque test	35
I-4. Test du premier foyer	35

II-Résultats de nos tests	37
III- Analyse des résultats et Discussion	40
III-1- Comparaison entre le foyer traditionnel et le foyer amélioré	40
IV- Résultats de l'analyse de fumées	41
IV-1. Le monoxyde de carbone (CO)	42
IV-2. Gaz carbonique (CO ₂).....	42
IV- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	44
Bibliographie.....	46

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Résultats de tests réalisés en laboratoire	21
Tableau II :les grandeurs invariables	38
Tableau III : Résultats de tests entre le foyer traditionnel et les foyers améliorés.....	39
Tableau IV : Résultats de l'analyse de fumée du F3PA du centre	43
Tableau V : Résultats de l'analyse de fumée du F3PA du Nord.....	43
.....	

SIGLES ET ABREVIATIONS

2IE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
CIRAD	:	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CO	:	Oxyde de Carbone
CO₂	:	Dioxyde de Carbone
F3PA	:	Foyer trois pierres amélioré
F3PT	:	Foyers trois pierres traditionnels
LBEB	:	Laboratoire Biomasse, Energie et Biocombustible
ONG	:	Organisation non gouvernementale
PCI	:	Pouvoir Calorifique Inferieur
PNUD	:	Programme des Nations Unis pour le Développement
TEE	:	Test d'ébullition d'eau
TCC	:	Test de cuisson contrôlée
CILSS	:	Comité international de lutte contre la sécheresse dans le sahel

RESUME

Tii paalga est une association locale officiellement reconnue au Burkina Faso le 2 mai 2006. L'association a mis en place un vaste programme de défense et de régénération naturelle de bosquets villageois et d'activités génératrices de revenus au profit des populations rurales de certaines zones du Burkina. Son objectif est de soutenir les populations rurales dans leur lutte contre la désertification et la pauvreté. Cette association a expérimenté sur le terrain une technique de construction des foyers améliorés ; la réalisation de ces foyers dans les villages donne des résultats encourageants. Les femmes affirment que les avantages de ces foyers sont nombreux. Dans l'optique de présenter des données techniques fiables pour étayer ces affirmations, l'association a voulu mener des tests scientifiques pour comparer les foyers trois pierres traditionnels et les foyers 3 pierres améliorés qu'elle diffuse. Les résultats de ces tests permettront de confirmer ou infirmer les allégations des femmes utilisatrices de ces foyers 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 améliorés comportent des avantages puisqu'ils économisent la consommation du bois de 23% avec un rendement thermique de 25% contre 13% pour le foyer traditionnel.

ABSTRACT

Tii Paalga is a local association in Burkina Faso officially recognized May 2, 2006. The association has established a broad program of defense and natural regeneration of village groves and activities generating income for rural populations in some areas of Burkina Faso. Its objective is to support rural people in their fight against desertification and poverty.

This association has field-tested technique of construction of improved stoves, the realization of these households in villages with encouraging results. The women say that the benefits of these homes are numerous. In order to provide reliable technical data to support these claims, the association has wanted to conduct scientific tests to compare the traditional three-stone fireplaces and three stone fireplaces improved it broadcasts. The results of these tests will confirm or disprove the allegations of women using these homes and also provide basic data for the preparation of a carbon credit file. Following our study shows that indeed improved stoves have advantages because they save wood consumption by 23% with a thermal efficiency of 25% against 13% for the traditional home.

Introduction Générale

1-Contexte

Jusqu'à une époque relativement récente, il existait un équilibre entre les ressources disponibles et les prélèvements effectués par les populations. Mais peu à peu, en de nombreux points du monde, l'accroissement et la concentration de la population ont conduit à une destruction importante de la végétation ligneuse naturelle provoquant une rupture de cet équilibre.

Il a cependant fallu qu'apparaissent des situations de pénurie pour que ce phénomène soit pris en considération.

La raréfaction du bois autour de certains centres urbains et celle constatée dans certains pays à très forte concentration humaine ont en effet mis en évidence des cas de pénurie entraînant des mesures d'auto rationnement de la part des populations. Peu à peu au cours des dix dernières années les forestiers et les écologistes réussirent à alerter la communauté internationale et à faire prendre conscience à l'humanité de la gravité de ce que certains ont appelé « la deuxième crise énergétique mondiale ».

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), l'UNESCO et la FAO ont alors mis en œuvre des études visant à apprécier l'importance réelle de cette crise énergétique.

A la conférence de Nairobi sur l'Energie réunie en août 1981 [1], la FAO a présenté les premières conclusions d'une étude sur l'importance quantitative de ce problème et les prévisions pour les années à venir. Quatre types de situations furent identifiés (la situation en Chine n'étant pas analysée) :

Des zones de pénurie, touchant 100 millions d'hommes, où l'on manque de bois pour cuire deux repas par jour et où il est difficile sinon impossible de se chauffer durant les nuits froides. En l'an 2015, 160 millions d'êtres humains vivront dans ces zones.

Des zones de crise, touchant un milliard d'individus, dans lesquelles le prélèvement en bois est supérieur à la production naturelle des forêts d'où une surexploitation de la ressource qui entraînera dans peu de temps une pénurie. Des zones actuellement équilibrées où vivent 250 millions d'hommes où la productivité est théoriquement égale ou supérieure au prélèvement mais dans lesquelles existe un risque de déséquilibre.

Des zones satisfaisantes disposant d'un potentiel supérieur aux besoins, sans problèmes actuels et futurs.

Si rien n'est fait pour modifier les tendances constatées, plus de 2 milliards d'êtres humains vivront dans les années à venir dans un environnement naturel dégradé ne leur assurant plus les

ressources de matière ligneuse nécessaires pour la cuisson des aliments, le chauffage et l'artisanat industriel et entraînant par ailleurs une destruction des sols et une baisse dans le rendement des cultures..

L'ampleur des mesures à prendre est considérable, l'étude de la FAO ayant montré que le déficit global actuel en bois de feu est de l'ordre de 400 millions de m³ et pourrait atteindre 900 millions de m³ en l'an 2010.

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).
- ❖ 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.

Le deuxième point fait l'objet de notre étude.

Cette étude intitulée « **Analyse comparative de la rentabilité énergétique des foyers 3 pierres traditionnels et des foyers 3 pierres améliorés** » a été proposée par l'Association Tii paalga en collaboration avec la fondation 2IE. Elle a été réalisée dans le cadre de notre stage de fin d'étude Master Spécialisé Génie Energétique et Energie renouvelable à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et Environnement de Ouagadougou qui s'est déroulée du 01 Mai au 30 Août 2010.

II-Méthodologie

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 la place du bois dans le monde en générale et en particulier le Burkina Faso, les problèmes liés à l'utilisation du bois et les solutions palliatives, ensuite une théorie sur la combustion du bois et les différents modes de transfert de chaleur ,et enfin nous nous étalerons sur l'état de l'art des foyers améliorés c'est-à dire le principe et la conception d'un foyer amélioré, leurs avantages, puis les résultats de certains tests déjà effectués sur les foyers améliorés.
- **Une étude sur le terrain :** Dans cette partie, il est d'abord question de faire une enquête auprès des femmes utilisatrices des foyers améliorés pour avoir leurs avis et leurs appréciations sur les foyers. Ensuite l'assistance dans la technique de construction des foyers était nécessaire pour pouvoir bien appréhender tous les aspects du foyer.

- **Manipulation en laboratoire :** C'est la phase capitale de notre étude, il s'agit de faire plusieurs séries de tests au laboratoire pour caractériser la performance des foyers.
- **Analyse des résultats et Recommandations :** Cette étape consiste à faire des analyses issues des résultats de nos tests et de faire des recommandations à l'ONG; ces recommandations permettront à Tii paalga d'amorcer ou non le processus de certification, de poursuivre ou non la diffusion des foyers améliorés.

Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1- La place du bois dans le monde

Le bois représente que 5,4% de l'énergie globale consommée dans le monde mais il constitue pour les 2/3 de l'humanité la ressource énergétique domestique principale [2]. L'emploi du bois est très inégalement reparti sur l'ensemble de la planète.

Ainsi dans les pays industrialisés à l'exception de quelques cas particuliers la part du bois énergie ne représente que moins d'un quart de la consommation totale du bois dans le monde .A l'inverse dans les pays en voie de développement, le bois demeure la seule ressource énergétique disponible pour les populations rurales et souvent la seule ressource financière accessible pour les populations urbaines pauvres.

La part du bois dans l'énergie des pays en voie de développement est en moyenne 20 à 21%, elle correspond 60% de l'énergie utilisée en Afrique ,17% en Asie, 18% en Amérique latine, et jusqu'à 90-95% dans certains pays comme le NEPAL et les pays du Sahel [2].

I-2- Cas particulier du Burkina Faso

Le bilan énergétique du Burkina Faso montre clairement la prépondérance des énergies traditionnelles sur les autres sources d'énergie. En effet, les énergies traditionnelles (Bois et Charbon de bois) représentent 90% du bilan énergétique contre 8% pour les hydrocarbures et 2% pour l'électricité [3].

Le bois énergie en particulier constitue la principale source d'énergie pour 97 % des burkinabé [3]. Au regard du coût de revient élevé des énergies modernes (gaz kérosène, électricité), l'utilisation du bois comme combustible domestique par la majorité de la population préserve la balance commerciale déjà déficitaire du pays. De surcroît, la filière commerciale du bois procure des revenus à près de 40000 personnes et la plupart de ces personnes comptent parmi les plus pauvres.

I-3- Les problèmes liés à l'utilisation du bois

L'utilisation du bois comme énergie sans régénération de la forêt comporte des inconvénients ; en effet, selon les conclusions de l'étude menée par la FAO , si rien n'est fait pour modifier les tendances constatées plus haut, plus de 2 milliard d'hommes vivront en l'an 2015 dans un environnement naturel dégradé ne leur assurant plus les ressources de matières ligneuses nécessaires pour la cuisson des aliments, le chauffage et l'artisanat industriel.

Au Burkina Faso La consommation dans les ménages est plus importante en milieu urbain qu'en milieu rural. Dans ces conditions, l'urbanisation rapide conduira à une déforestation accélérée, étant donné que les réserves de bois sont surexploitées depuis longtemps.

Sur le plan environnemental, l'augmentation constante de la demande entraîne une surexploitation des écosystèmes forestiers dans la majeure partie du pays. A cette surexploitation s'ajoute la déforestation au rythme annuel de 170 000 ha due essentiellement aux défrichements agricoles. [4]

Sur le plan social la raréfaction du bois et sa dépendance en zone rurale obligent les femmes à se déplacer à de très longues distances et dans des conditions pénibles pour obtenir cette source d'énergie ; aussi le taux élevé de CO₂ dû à la consommation excessif du bois comme combustible contribue à la pollution de l'environnement et présente des conséquences néfastes sur la santé des femmes.

Sur le plan économique le prix du bois ne cesse d'accroître obligeant les femmes urbaines à s'orienter vers d'autres sources d'énergie importées telles que le gaz qui n'est pas à la portée de toutes les familles.

Le diagramme ci-dessous montre l'évolution des prix du Kg de bois au Burkina Faso de 2007 à 2009.

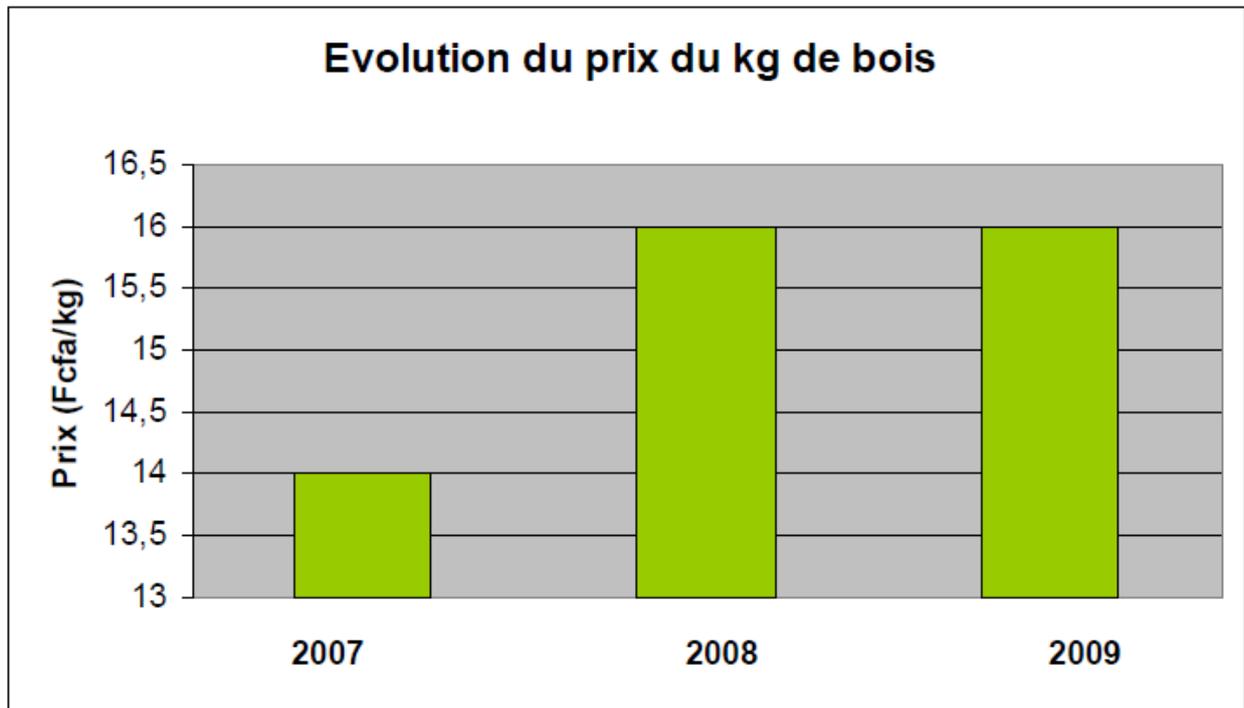


Tableau VI : Evolution des prix du Kg de bois de 2007 à 2009

Ce graphique traduit bien que le prix du kg de bois a connu une hausse de 2007 à 2008 pour se stabiliser depuis 2008 jusqu'en 2009, le taux d'augmentation est de l'ordre de 87%; cette forte hausse du prix explique la raréfaction de cette ressource qui a des répercussions néfastes sur l'environnement.

I-4- Les solutions palliatives à cette crise du bois

Face à cette situation, plusieurs initiatives visant la réduction et/ou l'optimisation de la consommation de la biomasse ligneuse ont été engagées. Il s'agit entre autres de:

❖ **la vulgarisation des foyers améliorés ;**

Il a été remarqué que les foyers traditionnels ont un rendement très faible donc une source de gaspillage d'énergie. En améliorant ces foyers on pourrait économiser la consommation du bois. Les inconvénients de cette solution résident dans le fait que l'économie du combustible n'est pas toujours une priorité absolue pour les utilisateurs des foyers, en particuliers en milieu rural. Il faudra donc compléter par une sensibilisation, une conscientisation.

❖ **l'amélioration des procédés de carbonisation ;**

La carbonisation est un procédé qui consiste à transformer le bois en charbon de bois. L'utilisation du charbon de bois dans l'énergie domestique est une solution contribuant à réduire le gaspillage du bois ; cependant le processus de carbonisation est très complexe et fastidieux. La phase de carbonisation est très décisive ; en effet Si elle n'est pas réalisée dans les meilleures conditions, elle risque de compromettre toute l'opération, étant donné qu'un mauvais rendement de la carbonisation risque de se répercuter sur l'ensemble de la chaîne sous la forme d'accroissement des coûts et de gaspillage des ressources.

❖ **la subvention du gaz butane ;**

Cette initiative vise à encourager l'utilisation du gaz butane dans l'énergie domestique à la place du bois. Cette solution peut être adaptée dans les pays développés ; par contre dans les pays en voies de développements le seuil de pauvreté fait que même subventionné le gaz demeure toujours très cher pour les ménages surtout en milieu rural.

❖ **l'introduction des foyers à pétrole ;**

Un foyer à pétrole comme son nom l'indique utilise le pétrole comme combustible. Les foyers à pétrole modernes ont fait d'énormes progrès (pas d'odeur sauf au démarrage et à l'extinction, un bon niveau de sécurité.). Il a un bon pouvoir de chauffe et très pratique puisqu'aucun conduit d'évacuation n'est nécessaire, une aération naturelle suffit. Les limites de ce foyer se situent sur ses règles de sécurité ; en effet on peut citer les cas suivants :

- Des risques d'intoxications au monoxyde de carbone;
- Les bidons de pétrole doivent être placés dans une pièce séparée ;
- Les parois deviennent brûlantes s'il n'y'a pas de dispositif de refroidissement ;
- Le foyer est cher à la consommation puisque le prix du pétrole augmente toujours.

Le premier point est en effet extrêmement important car il peut être atteint dans un délai relativement bref et pour un coût modeste. C'est pourquoi depuis quelques années de nombreux chercheurs, spécialistes de terrain, sociologues, vulgarisateurs appartenant soit à des organismes officiels, soit des organismes non gouvernementaux, soit à des groupes humanitaires se sont penchés sur la question des **foyers améliorés** tandis que l'opinion publique commence à être sensibilisée sur la question.

II- Théorie sur la combustion du bois

II-1- Composition chimique du bois

Le bois est formé de trois constituants principaux: cellulose, lignine et eau. La cellulose et la lignine, plus certaines autres substances, sont fortement liées entre elles pour constituer la matière que nous appelons bois. L'eau est absorbée, c'est-à-dire retenue sous forme de molécules à la surface du complexe cellulose/lignine.

Le bois contient de l'énergie stocké sous forme chimique ; pour récupérer cette énergie il faut un apport de chaleur conséquent. Le processus qui consiste à porter le bois à une certaine température en absence de l'oxygène est appelé la pyrolyse ; tandis qu'un apport de chaleur en présence d'oxygène est appelé combustion.

II-2- La combustion du bois

L'objectif de la combustion est de récupérer l'énergie contenue dans le bois sous forme de chaleur. Pour ce faire la combustion du bois se déroule en trois phases :

- une phase d'évaporation
- une phase de décomposition
- une phase de carbonisation

II-2-1- L'évaporation

Le bois contient de l'eau. Lors de cette première phase, l'énergie produite par la combustion va être utilisée non pas pour produire de la chaleur, (ce qui est le but recherché), mais pour évaporer l'eau contenue dans le bois. Ainsi, plus un bois est humide, moins sa combustion apportera de chaleur, d'où l'intérêt de brûler du bois sec.

Brûler du bois humide, c'est :

- consommer l'énergie potentielle du bois pour le sécher,
- avoir une température de combustion plus faible,
- avoir plus de gaz imbrûlés qui partent dans la cheminée, donc encore une perte d'énergie,

- augmenter les risques de corrosion et de percement de la marmite ;

Ainsi, il convient de brûler du bois avec une humidité la plus faible possible pour avoir des performances optimales. On conseille usuellement un bois avec une humidité relative de l'ordre **de 15 à 20%**.

II-2-2- La décomposition

Si l'on chauffe du bois jusqu'à une température de 240 °C environ, ce dernier va s'enflammer [5]. Il s'agit en fait de l'inflammation des gaz combustibles libérés par la décomposition du bois. Cette phase est aussi appelée gazéification du bois. La décomposition du bois produit des gaz combustibles comme l'oxyde de carbone, l'hydrogène ou des hydrocarbures. En absence d'une quantité d'oxygène suffisante et si la température est trop faible, la combustion de ces gaz est incomplète et ils partent dans la fumée. Il est donc important d'avoir un apport d'air suffisant pour assurer une combustion complète des gaz issus de la décomposition du bois.

Une combustion incomplète se traduit par une perte d'énergie, une plus faible température de combustion et une pollution de l'atmosphère (par la production de composés comme l'acide acétique, de phénols ou de formaldéhydes) ou même de l'environnement proche (intoxication au monoxyde de carbone).

II-2-3- La carbonisation

La troisième étape de la combustion du bois est la carbonisation ou gazéification du carbone. A partir d'une certaine température (de l'ordre de 500 °C) il ne reste plus que du carbone incandescent (les braises). Il se produit alors une réaction d'oxydation du carbone qui libère de la chaleur. Cette réaction nécessite suffisamment d'oxygène et une température élevée pour être complète. Dans le cas contraire, on aura des gaz imbrûlés qui s'échapperont par la cheminée, d'où une perte d'énergie et le rejet de monoxyde de carbone.

Lorsque cette phase se déroule dans de bonnes conditions, la température générée peut atteindre les **1500 °C**. La combustion ne génère alors que du CO² et de la vapeur d'eau.

Ainsi un appareil de cuisson au bois bien conçu devra permettre un apport d'air (primaire) suffisant pour la phase de décomposition du bois, mais aussi pour la phase de carbonisation (air secondaire) dans la chambre de combustion.

La combustion du bois met en jeu des phénomènes complexes. Les clés de la réussite passent tout d'abord par l'utilisation de bois sec. Il faut ensuite avoir un équipement de cuisson qui permette d'optimiser ces différentes phases de combustion.

III-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 le bois est porté à une certaine température, il 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 du bois, la chaleur sera transférée à la marmite suivant deux modes : la convection et le rayonnement.

IV-Etat de l'art des foyers

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 utilisés pour la cuisson des aliments dans les ménages 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 déplorable. La plus grande partie des calories potentielles du bois est perdue par rayonnement, par les fumées où à cause du vent et il ne reste comme équivalent calorifique utilisé réellement pour la cuisine qu'à peine 5% du bois initial. C'est la crise écologique qui a conduit les chercheurs à améliorer ce foyer traditionnel jugé moins rentable (inférieur à 15%). 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 ; le PNUD ; l'USAID ; etc.... qui s'intéressent à cette problématique et qui accordent des financements pour la réalisation des travaux.

IV-1-Principes des foyers améliorés- Conception

Ils existent différents types de foyers améliorés, chaque constructeur peut proposer un modèle original, mais les principes généraux de la construction peuvent toute fois se résumer en quelques points :

- Il faut réaliser un foyer fermé (sur 3 côtés au moins) pour éviter les pertes dues au vent, fumé, etc....
- Le récipient de cuisson doit être enfoncé dans le four afin de récupérer le maximum de chaleur. Il doit être bien adapté au four et bien jouxter au trou.
- Plus le nombre de trou est important, meilleurs seront les rendements théoriques puisque avec une même quantité de bois, plusieurs plats seront cuisinés simultanément.
- La construction doit être aisée et faire appel à des matériaux locaux peu onéreux mais permettant d'obtenir toute fois une durée de vie du four suffisante ;

IV-2- Les types de foyers améliorés existant

Différents types de foyers améliorés ont été proposés on peut les classer en 4 grandes catégories:

- **Les fours en terre :**



Figure 1 : photo d'un foyer en banco

Ces fours sont réalisés en banco (mélange de sable et d'argile) ; ils sont massifs et possèdent une grande inertie thermique ; ils sont longs à chauffer mais conservent pendant un temps important la chaleur d'où un intérêt pour les plats nécessitant un mijotage. Les techniques de construction de ces fours sont simples, ce sont celles de la petite maçonnerie. Le matériel nécessaire est peu important.

- **Les fours en céramiques :**



Figure 2 : photo d'un foyer en céramique

Construits en argile cuite, ils sont plus légers que le précédent. Ils chauffent donc beaucoup plus rapidement mais conservent modérément la chaleur. Ces fours sont en fait des poteries.

- **Les foyers en métal :**



Figure 3 : photos de foyers en métal

Ils peuvent être très simples et leur construction peut être réalisée à partir de vieux bidons. On a alors à faire du matériel rustique, économique mais peu résistant. Ce sont des cuisinières performantes mais dont les couts sont plus souvent incompatibles avec les possibilités locales ;

- **Les foyers en briques, ciment :**

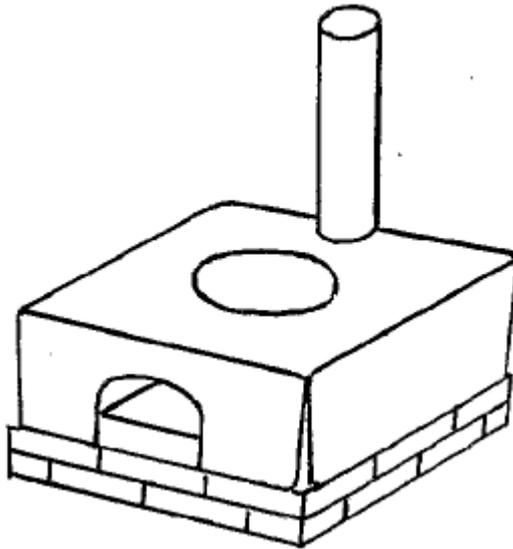


Figure 4 : Schéma d'un foyer en brique, ciment

Ces foyers ont une durée de vie nettement supérieure à celle des gros foyers en terre. Ils présentent également l'avantage de chauffer avec une vitesse se rapprochant de celle du foyer 3 pierres, donc d'avoir de conduite de cuisson mieux connue. Malheureusement leur prix est dans l'ensemble assez élevé.

IV-3- Avantage des foyers améliorés

Les avantages que l'on peut attendre de l'utilisation des foyers améliorés sont de plusieurs ordres mais le principal est bien entendu l'économie d'énergie donc l'économie de bois de feu d'où une préservation de la flore. En fait il y'a bien eu de nombreux essais de réalisation de foyers, les tests de mesures concernant le rendement de ces systèmes ne sont pas très importants et restent difficilement comparables à cause des différents modes opératoires suivis par des expérimentateurs différents.

Au cours des rencontres internationales sur les problèmes de bois de feu dans le tiers monde, la décision a été prise de rédiger un protocole international pour ce type d'essai. Un test a été rédigé à cet effet par l'Université de Louvain et par l'ITDG. de Londres. La détermination du rendement du foyer sera faite en simulant les opérations de cuisson des aliments à l'aide de récipients remplis d'eau. Des mesures des températures, des temps pour arriver à l'ébullition, des durées d'évaporations sont prévues.

Différents tests ont déjà été réalisés dans des conditions variables. Certains apparaissent comme sérieux et bien documentés, d'autres sont peut-être moins rigoureux.

Voici quelques résultats obtenus afin de situer si possible les économies réalisables grâce à l'emploi des foyers améliorés :

IV-4- Résultats de tests

IV-4-1- Résultats sur terrain :

Les chiffres suivants ont été relevés par G.MADON et ses Collaborateurs du Sénégal à la suite d'une enquête portant 60 cuisinières à bois et 25 cuisinières à charbon de bois :

- Economie moyenne de bois par les cuisinières : 26,1%.
- Economie de charbon de bois par les cuisinières : 21,2%.
- Une enquête a été réalisée au Mali par l'Association d'Etude de Technologies Appliquées et d'Aménagement en Afrique (AETA.) auprès de 271 familles possédant un foyer amélioré. 32% seulement des personnes interrogées ont répondu à l'enquête en indiquant des économies allant de 25% à 45% du bois pour ¼ d'entre elles et des économies inférieures à 25% pour les autres.
- Des tests ont été effectués au Niger par G.DECHARME (Church World Service et Association bois de feu) avec des fours en ciment comportant deux trous et une cheminée, répartis dans 30 foyers situés dans différents quartiers de Niamey. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus avec un foyer traditionnel métallique (foyer malgache). Les gains moyens en combustibles dus au foyer amélioré se situaient autour de 14%, avec toute fois des fourchettes allant de (26% à 55%).
- Enfin dans le rapport de ROOGEMAN qui relate une enquête portant sur 47 familles du Burkina et 59 familles au Sénégal, les moyennes pondérées sont les suivantes : banco avec cheminée = 20% d'économie par rapport aux 3 pierres traditionnels, banco sans cheminée = 30% d'économie par rapport aux 3 pierres.

IV-4-2- Résultats de laboratoire :

Des tests ont également été conduits en laboratoire sur des fours améliorés construits en Europe. Des foyers types 3 pierres ont également été essayés par des laboratoires (Eindhoven University of Technology en Hollande et Intermediate Technology Development Group en Grande-Bretagne).

Les chiffres trouvés ont été résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Résultats de tests réalisés en laboratoire. [1]

Laboratoire	Type de foyer	Nombre de test	Remarques	Rendement %	Moyenne

Etude comparative de la rentabilité énergétique des foyers 3 pierres traditionnels et des foyers 3 pierres améliorés en banco.

ITDG (Londres)	L.S.I (en terre 2 trous + 1 cheminée)	19 6	Tirage moyen Tirage fort	12 à 27% 14 à 23%	18,2% 16,7%
	G.S (en terre 2 trous + 1 cheminée)	14 3	Tirage moyen Tirage fort	13 à 21% 16,5 à 19%	17,8% 18%
		4	Tirage faible	15 à 22%	18,8%
	Foyer ouvert 3 pierres	3	Bien abrité et surveillé : Moins surveillé : Avec bois humide :	20% 15% 17%	17,3%
EUT (Eindhoven)	Majo stove (métallique 2 trous + 1 cheminée)	23	Testé au charbon de bois	21 à 34,4%	27,2%
	Foyer ouvert	10	Testé au bois	12,1 à 23,6%	15,5%

Ces chiffres rappellent quelques remarques particulières ; tout d'abord, on note qu'un foyer 3 pierres testé en laboratoire dans de bonnes conditions donne un rendement bien supérieur à ceux obtenus sur le terrain (15 à 17%). Par ailleurs, les gains en matières premières énergétiques sont, pour la première série d'essais tout au moins, très peu sensibles. Ceci prouve bien que les pertes proviennent essentiellement du rayonnement, du vent, de la mauvaise position des récipients de cuisson, etc....

Ce sont ces lacunes des foyers traditionnels qui doivent être corrigées pour donner des foyers améliorés ne nécessitant pas trop de surveillance et donnant de bons rendements.

La deuxième série de tests indique un gain en rendement se rapprochant dans une certaine mesure des valeurs trouvées sur le terrain.

En plus de l'économie d'énergie, les foyers améliorés présentent certains autres avantages qui ne sont pas négligeables :

- Ils permettent de réduire les durées de cuisson des aliments,
- La présence d'une cheminée se traduit par une meilleure évacuation des fumées ce qui évite aux utilisateurs d'avoir mal aux yeux,

- L'économie en bois permet à la femme de consacrer moins de temps à la recherche du combustible,
- La cuisinière préserve les enfants des dangers de brûlures, importants avec les feux ouverts,
- Elle conserve la chaleur de sa masse en maçonnerie et permet ainsi de chauffer les cases pendant les soirées fraîches,
- L'économie du bois ou de charbon entraîne une certaine élévation du niveau de vie lorsque le combustible est acheté au marché,
- Enfin l'emploi de ce type de fourneau représente une certaine image sociale et culturelle et même un certain « STANDING » (les ménagères peuvent décorer leur cuisinières selon leur goût.)

En résumé :

L'emploi des foyers améliorés permet en général une économie d'énergie mais il est difficile de chiffrer cette économie et surtout de recouper les tests entre eux. Les enquêtes faites au Sénégal, au Mali, au Niger, et au Burkina Faso s'accordent pour situer le gain énergétique entre 20% et 30% à la condition que la technique soit bien maîtrisée par les utilisatrices et qu'il n'y ait pas d'erreurs effectuées au moment de la vulgarisation.

Chapitre II : étude des foyers améliorés de Tii paalga (F3PA)

I- Les différents modèles de foyer rencontrés à Tii paalga

Les foyers améliorés que Tii paalga diffuse sont de même type ; ils s'agissent des fours en terre. Ce sont des fours réalisés à base du banco, ils sont massifs et possèdent une grande inertie thermique. Les figures ci-dessous montrent des photos de quelques foyers améliorés de Tii paalga.



Figure 5: photo de foyer diffusé par tii paalga

Ces foyers ont reçu l'appellation de « foyer trois pierres amélioré » en abrégé (F3PA) pour prendre en compte l'esprit des coutumes des communautés burkinabé qui présentent le foyer à trois pierres comme un symbole capital du ménage. Le combustible utilisé est le bois.

Le F3PA est composé des parties suivantes :

- ❖ **La porte d'entrée** : elle est pratiquée entre deux pierres voisines, sa taille est fonction de la dimension du foyer ; son rôle est recevoir le bois et aussi de servir d'entrée pour l'air ;
- ❖ **La chambre de combustion** : son volume est fonction de la taille de la marmite ; comme son nom l'indique son rôle est de servir de lieu de combustion du mélange combustible + Aire.
- ❖ **La cheminée** : elle représente l'espace entre la paroi du foyer et la marmite ; son rôle est de permettre l'évacuation de la fumée issue de la combustion.
- ❖ **Le corps du foyer** : il a la forme d'un demi-cône renversé. C'est la partie construite avec le mélange de terre.
- ❖ **La dalle**

Le foyer se repose sur la dalle qui fixe les trois pierres. C'est le plancher de la chambre de combustion. Elle peut se prolonger par une semelle sur laquelle repose le bois de cuisine.

- ❖ **Les trois pierres**

Elles confèrent au foyer son nom de 3PA. De forme ovale, elles sont fixées sur la dalle et disposées en triangle équilatéral. Sur elles reposent les marmites.

Les dimensions du foyer varient en fonction de la marmite ; plus la marmite est petite, plus les dimensions du foyer seront petites et vice versa. Les masses varient de 20 Kg pour les foyers N°2 à 100Kg pour les foyers N°8. Comme exemple le foyer N°5 ci-dessus a les dimensions suivantes :

Masse : 54,55 Kg

Diamètre : 40 Cm

Diamètre de la chambre de combustion : 30 Cm

Hauteur : 29 Cm

Hauteur de la porte : 17 Cm

Largeur de la porte : 17 Cm

II-La technique de construction du F3PA de Tii paalga

La construction des foyers améliorés peut se faire en toute saison de l'année. Cependant, il est important de construire les foyers sous abris notamment à l'ombre pour favoriser un séchage lent et correct de l'argile.

II-1- Le matériel nécessaire

Pour construire un foyer trois pierres amélioré il faut :

- 3 pierres bien taillées (de façon à leur donner une forme ovale) et de même taille ;
- 4 seaux d'argile, banco ou termitière finement écrasée ;
- 1 seau de bouse de vache ;
- 1 seau de paille hachée ;
- 1 Couteau (pour l'ouverture de la porte) ;
- La marmite pour laquelle le foyer sera construit ;
- L'eau à volonté (quantité suffisante)

II-2- Les étapes préliminaires

Il faut dans un premier temps faire le mélange du banco. Il s'agit de mélanger les 4 seaux de banco, le seau de bouse de vache et le seau de paille hachée avec de l'eau en quantité suffisante. Lorsque ce mélange est réalisé, il faut bien le pétrir et le malaxer de façon à obtenir un mélange

bien homogène. Puis, bien couvrir le mélange avec de la paille, ou du plastic pour une durée de 06 jours afin d'augmenter sa résistance. Durant les 6 jours, le mélange doit être arrosé chaque jour jusqu'au cinquième jour. On n'arrose pas le sixième jour pour éviter que le mélange ne soit trop mouillé car c'est le jour de la construction à proprement dit.

Le jour de la construction, le propriétaire du foyer doit choisir l'emplacement de son foyer. En tout état de cause, cet emplacement doit tenir compte impérativement de conditions suivantes :

- La porte doit être orientée dans la direction du vent : ce critère est important pour les foyers qui seront implantés sur place. Si le foyer sera déplacé, il n'est pas important d'en tenir compte. On en tiendra compte lors du déplacement au lieu où il doit servir.
- Le foyer doit être construit à l'ombre.

Après avoir choisit l'emplacement du foyer, la construction peut commencer. Il y a plusieurs étapes à suivre notamment la fondation, le soubassement, l'élévation des parois, le crépissage et l'ouverture de la porte.

III-La construction du foyer

III-1- La fondation

Pour faire la fondation il faut :

- Nettoyer l'emplacement ;
- Nivelier bien le lieu où l'on veut implanter le foyer ;
- Mesurer les limites de l'emplacement des 3 pierres avec l'ouverture de la marmite et tracer un triangle équilatéral à l'intérieur du cercle représentant l'ouverture de la marmite (triangle inscrit) ;
- Disposer les 03 pierres précédemment bien taillées a chaque angle du triangle équilatéral ;
- Matérialiser l'emplacement des 3 pierres ;
- Creuser légèrement trois trous (un pour chaque pierre) pour la fondation ;
- Mouiller les trois trous et les trois pierres ;
- Remplir les trous avec le mélange et bien tasser pour faciliter l'adhésion ;
- Fixer solidement les trois pierres dans le mélange ;
- En fin vérifier les distances entre les pierres et la distance sol-marmite.

III-2- Le soubassement et l'élévation des parois

Après la fondation, on peut procéder à la réalisation du soubassement et l'élévation des parois du foyer. Il s'agit de :

- Vérifier l'équilibre de la marmite ;
- Commencer progressivement l'élévation de la paroi (couche par couche) jusqu'au sommet des pierres en veillant à ce que la base soit plus épaisse que le haut. Les parois sont construites avec le banco mélangé durant 6 jours ;
- Mouiller la marmite et la reposer de manière équilibrée sur le foyer ;
- Prendre soin de ne pas déranger la marmite ;
- Elever la paroi jusqu'au niveau des manches de la marmite ;
- Retirer la marmite en la tournant doucement dans tous les sens ;
- Tailler l'intérieur du foyer entre les 3 pierres et le sommet de la paroi ;
- Agrandir les bordures de la paroi pour maintenir la distance marmite – paroi (qui est de 2 cm.) ;
- Replacer la marmite pour vérifier l'espace marmite - paroi.

III-3 -Le crépissage ou polissage interne et externe du foyer

Le polissage du foyer se fait avec la main ou avec un épi de maïs. Il faut mouiller la paume de la main et la faire passer et repasser sur la paroi de l'extérieur comme à l'intérieur. Une fois la construction terminée, il faut recouvrir soigneusement le foyer avec de la paille ou d'un plastique pour éviter le fendillement ou la fissuration de celui-ci lors du séchage.

III-4- L'ouverture de la porte

Elle se fait le lendemain de la confection du foyer. Pour ce faire, il faut :

- Choisir selon la direction du vent ;
- Tracer une figure en forme d'arc entre 2 pierres ;
- Mouiller et tailler de l'extérieur vers l'intérieur à l'aide d'un couteau ou d'un coupe - coupe, jusqu'à l'ouverture totale de la porte (prendre soin de mouiller l'instrument à chaque usage) ;
- Vérifier les dimensions de la porte après l'ouverture ;
- Procéder au lissage de la paroi de la porte ;
- Faire une sorte de terrasse au bas de la porte pour maintenir l'inclinaison des bois dans le foyer.

IV - Techniques et précautions à respecter pour une bonne utilisation des F3PA

IV-1- Précautions à prendre avant l'utilisation du foyer

Après l'ouverture de la porte, il faut crépir à nouveau le foyer pour augmenter sa résistance en utilisant cette fois-ci de préférence la bouse de vache fraîche mélangée à de la cendre. Puis, placer de nouveau la marmite pour corriger les défauts éventuels qui auraient subsistés notamment la distance paroi –marmite. Enfin, bien lisser le foyer et le recouvrir jusqu'à ce qu'il soit entièrement sec. Cela prend six jours.

IV-2- Précautions pendant l'utilisation du foyer

Lorsque le foyer est bien sec, il est prêt à l'emploi. Lors de la cuisine, il faut respecter les consignes suivantes :

- Ne pas mettre trop de bois ;
- Ne pas s'asseoir devant la porte lors de la préparation pour permettre une bonne aération et éviter de casser la paroi ;
- A la fin de chaque préparation, éteindre le feu pour éviter le gaspillage du bois ;
- Nettoyer proprement l'intérieur et les alentours du foyer à chaque fois que l'on veut renouveler le feu.

IV-3- Entretien périodique du foyer

En cas de fissure du foyer, pour éviter sa cassure totale, il faut agrandir la fente à l'aide d'un couteau et préparer le même type de mélange utilisé pour la construction du foyer pour refermer la fente. Quant le mélange est prêt, il faut mouiller la partie à réparer sur le foyer pour permettre une bonne adhésion de l'argile, bien lisser et laisser sécher avant une nouvelle utilisation.

Si la marmite coince du fait des réparations effectuées, il suffit de gratter les bordures et la chambre à combustion à l'aide d'un couteau et replacer la marmite pour vérifier que les doigts passent entre le mur du foyer et la marmite. Boucher tous les creux et lisser les parois intérieures et extérieures du foyer.

CHAPITRE III : LES MDP ET LES CREDITS CARBONE

I-Définitions et Objectifs

I-2- les 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.

I-3- les crédits carbonés

Un crédit-carbone = une unité = 1 tonne de GES (en équivalent CO₂) évité.

Ce crédit carbone a une valeur monétaire ; tous les GES, n'ont pas la même valeur en équivalent CO₂ : 1 tonne de CO₂ équivaut à 0,2727 tonne de carbone.

Les crédits carbonés 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.

II-Les foyers améliorés de Tii paalga et les crédits carbonés

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

financement ? C'est pour répondre à cette question que l'étude a été confiée à la CO2 Logic de la Belgique qui déterminera si le projet est habilité à bénéficier un financement. Notre travail est une portion de cette étude dont les résultats fourniront des données de base pour amorcer le processus de certification.

III-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.)

III-1. 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 le Burkina Faso 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 :

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

Où

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

$B_{y \text{ sauvé}}$ = Quantité de 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.

$EF_{projected_{fossilfuel}}$ = Facteur d'émission du bois

$B_y \text{ sauvé} = B_y \cdot (1 - \frac{N_{old}}{N_{new}})$. 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 pierres. 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 amélioré) ;

Notre travail consiste principalement à déterminer les rendements des deux différents foyers.

III-2. Méthodes de caractérisations des foyers

Pour déterminer les rendements de deux foyers différents plusieurs analyses peuvent être effectué ; il s'agit de **l'analyse sur terrain** et **l'analyse en laboratoire**.

III-2.1. L'analyse sur terrain

Cette analyse comprend deux parties :

❖ L'enquête au près 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 améliorés en utilisant une fiche qui dénombre les pièces de bois utilisées.

Une enquête pour évaluer l'efficacité des foyers améliorés 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 améliorés. Toutefois il y aura des contraintes objectives comme:

- la requête en temps de part des agents chargés de la mesure: 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 de part des agents : elles peuvent penser être objet d'un contrôle;
- un coût qui parfois n'est pas justifié par les résultats obtenus.

Par contre les données sont généralement suffisamment fiables.

❖ **Le test de cuisson contrôlée**

Il s'agit de :

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

Cette comparaison consiste en la préparation simultanée d'un même plat par des ménagères et calculer l'équivalent de bois consommé puis enfin exprimer les résultats suivants :

- le temps nécessaire à la préparation
- l'équivalent du bois consommé ramené à la quantité d'aliments cuits.

III-2.2. L'analyse en laboratoire

L'analyse en laboratoire comprend deux parties :

❖ **Le test d'ébullition d'eau**

Durant les tests d'ébullition de l'eau, la procédure consistera à :

- noter les conditions météorologiques ;
- peser les quantités de bois au début et la fin ;
- peser les différents équipements (marmite et fourneau) vides et remplis ;
- charger le fourneau de manière optimale pour obtenir un feu vif et une combustion complète ;
- faire des relevées de température toutes les cinq (5) minutes.

Les différents résultats seront exprimés pour avoir une idée du comportement du foyer. On exprimera les résultats suivants pour chaque foyer testé :

- le pourcentage de chaleur utilisée pendant la 1ère phase : rapport de l'énergie récupérée par le contenu de la marmite à l'énergie produite par la combustion pendant la première phase (%).
- le pourcentage de chaleur utilisée totale : rapport de l'énergie récupérée par le contenu de la marmite à l'énergie produite par la combustion pendant la totalité de l'essai (%).

❖ **Le test d'analyse de fumée**

Le test d'analyse de fumée est un test complémentaire dont l'objectif est de déterminer le taux de gaz carbonique (CO₂) et de monoxyde de carbone (CO) contenu dans les fumées. Sachant qu'une combustion complète dégage du CO₂ et une mauvaise combustion dégage du CO, ce test permettra de déterminer l'efficacité de la chambre de combustion.

Dans le cadre de notre travail seul l'analyse en laboratoire a été effectuée où le test d'ébullition d'eau est largement développé pour caractériser les deux types de foyers.

CHAPITRE IV : Le test d'ébullition d'eau développé par la fondation Shell

Le test d'ébullition d'eau (TEE) 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 document de référence adapté à la caractérisation des foyers. Ce document comporte deux parties : Une première feuille servant de récolter des informations préliminaires et une deuxième partie qui est un logiciel appelé *sheet* compatible avec Microsoft Excel permettant de calculer les données (voir annexe). C'est avec cette méthodologie que nos tests ont été effectués.

I-Protocole

Le test d'ébullition d'eau développé par la fondation Shell est composé de trois phases qui suivent immédiatement l'une après l'autre.

Dans la première phase appelée **démarrage à froid**, le test commence lorsque le foyer est à la température ambiante. Un fagot de bois pré-pesé sera utilisé pour amener une quantité d'eau mesurée à l'ébullition. Ensuite on remplace l'eau bouillante par une autre marmite contenant de l'eau froide pour commencer la seconde phase du test.

La seconde phase appelée le **démarrage à chaud** suit immédiatement la première phase pendant que le foyer est toujours chaud. Une fois de plus, utilisé un fagot de bois pré-pesé pour bouillir une quantité d'eau mesurée. Cette phase aide à déterminer la différence de performance du foyer quand il est froid et quand il est chaud.

La troisième phase suit immédiatement la seconde ; elle est appelée **phase basse puissance** les précédentes étant des **phases hautes puissances**. Ici le test consiste à déterminer la quantité de bois requise pour mijoter l'eau juste en dessous du point d'ébullition pendant 45 minutes. Cette étape simule les longues cuissons de certains légumes.

La combinaison de ces tests donne des aspects de performance sur le foyer à la fois haute et basse puissance, qui est associée avec l'habileté du foyer à conserver la chaleur.

À l'issue de ces tests les résultats suivants sont attendus :

- Le temps d'ébullition ;
- La vitesse de combustion ;
- La consommation spécifique du combustible ;
- La puissance du feu ;

- Le ratio entre la haute puissance et la basse puissance ;
- Le rendement thermique du foyer.

I-1. Les étapes à suivre avant le démarrage du test

- S'assurer qu'il y'a suffisamment d'eau et de bois. Essayer si possible d'obtenir le même type de bois. Ce bois sera bien séché et coupé pour avoir les mêmes dimensions. Les brindilles qui seront utilisé pour allumer le feu incluront dans la masse du fagot à pré-pesé.
- Préparer 15 Kg de bois sec pour chaque foyer dans le but de s'assurer qu'il y'aura suffisamment de bois pour tester chaque foyer trois fois.
- Déterminer le point d'ébullition de l'eau dans le local. C'est le point à laquelle la température de l'eau n'augmente plus peu importe la quantité de chaleur apportée.
- Préparer 10L d'eau froide, puis s'assurer que cette eau n'a pas une température supérieure à la température ambiante.
- S'assurer qu'il y'a de l'espace adéquate et suffisamment du temps pour mener les tests sans être interrompu. Les tests se dérouleront dans un endroit protégé du vent mais avec suffisamment de ventilation pour évacuer la fumée.

I-2. Equipement nécessaire pour faire le test

- ❖ Une Balance de précision d'affichage portée maximale 6 Kg, précision 0,001g ;
- ❖ Un isolant résistant à la chaleur pour protéger l'échelle
- ❖ Un thermomètre numérique avec précision au 1/10 de degré, avec une sonde thermocouple adaptée à l'immersion dans les liquides
- ❖ Une petite pelle pour extraire le charbon dans le foyer
- ❖ Une pince pour tenir les braises de charbon
- ❖ Un plateau en métal qui contiendra le charbon pour le pesage
- ❖ Une autre pelle pour ramasser la cendre
- ❖ Un humidimètre pour mesurer l'humidité relative du bois
- ❖ Un chronomètre
- ❖ Deux marmites standard
- ❖ Un bois pour maintenir la sonde thermocouple dans l'eau
- ❖ Des gants résistants à la chaleur

- ❖ 10L d'eau
- ❖ Deux tas de bois bien séché à l'air libre pesant chacun entre 1 et 2 Kg pour chaque essai

I-3. Les étapes initiales pour chaque test

Remplissez la première page du formulaire de calcul (voir formulaire en annexe). Ce formulaire comporte des informations sur le foyer, le bois, et les conditions météorologiques.

Mesurer les paramètres suivants. Ces paramètres seront chaque fois enregistrer pour chaque test :

- La température ambiante ;
- L'humidité relative du bois ;
- La masse de la marmite sans couvercle ;
- La masse du récipient utilisée pour le charbon ;
- La masse du fagot de bois.
- Le point d'ébullition du local ;
- La photo du foyer ;
- Les dimensions moyennes du bois (longueur, largeur, hauteur) ; vous devriez utiliser du bois de taille similaire pour chaque test dans le but de réduire les erreurs dans les conditions de test ;

Une fois que tous ces paramètres ont été mesuré et enregistré et que le bois est prés, on peut procéder avec le test.

I-4. Test du premier foyer

Phase 1 : le démarrage à froid

- 1) Préparer le chronomètre, mais ne démarrer pas jusqu'à ce que le feu soit allumer ;
- 2) Remplir la marmite avec 5 litres d'eau ; la quantité d'eau peut être déterminé en plaçant la marmite sur la balance puis ajouter successivement d'eau jusqu'à atteindre 5Kg sans la masse de la marmite vide ;
- 3) Placer le thermomètre à 5 cm du fond de la marmite puis noter la température initiale tout en vérifiant qu'elle ne varie pas substantiellement ;
- 4) Allumer le feu puis noter le matériel utilisé pour l'allumage ;
- 5) Une fois que le feu est allumé, noter le temps de démarrage. Contrôler le feu sans mettre excessivement du bois pour amener l'eau à l'ébullition ;
- 6) Lorsque la température de l'eau atteint le point d'ébullition du local prédéfini par le thermomètre numérique, exécuter les actions suivantes :

- a) Enregistrer le temps à laquelle l'eau a atteint le point d'ébullition ;
- b) Retirer tout le bois du foyer et éteindre la flamme à l'aide du sable, puis couper les charbons contenus dans les bouts du bois brûlé pour peser ;
- c) Peser le bois imbrulé (retiré du foyer) avec le bois inutilisé puis enregistrer ces résultats dans le formulaire de données ;
- d) Peser la masse de la marmite avec son eau puis enregistrer dans le formulaire de données ;
- e) Extraire tout le charbon restant dans le foyer et ajouter aux autres charbons retirés du bois. Enregistrer la masse du récipient + charbon dans le formulaire de calcul ;

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) Réinitialisé le chronomètre ;
- 2) Remplir de nouveau la marmite avec 5l d'eau fraîche, mesurer la température initiale de l'eau et peser la masse de la marmite avec son eau ; enregistrer tous ses données dans le formulaire de données ;
- 3) Allumer le feu à l'aide de brindilles ;
- 4) Enregistrer le temps d'allumage, et contrôler le feu jusqu'à ce que l'eau commence à bouillir ; enregistrer cette température aussi ;
- 5) Une fois que la température d'ébullition est atteinte , exécuter rapidement les actions suivantes (la rapidité est très importante à ce stade parce que nous voulons garder la température de l'eau aussi proche que possible à l'ébullition afin de nous permettre de procéder directement au test de mijotage) :
 - a. Retirer le bois non brûlé du foyer. Enlever les braises contenus dans les bouts du bois pour les remettre dans la chambre de combustion (on ne pèsera pas la masse du charbon à ce stade). Peser la masse du bois retiré du foyer + le bois non utilisé puis enregistrer le résultat dans le formulaire de calcul.
 - b. Peser la marmite avec son eau puis enregistrer dans le formulaire. Après ce pesage, remettez immédiatement la marmite sur le foyer toujours en gardant la température de l'eau aussi proche que possible à l'ébullition pour passer directement au test de mijotage.
- 6) Remettez le bois qui est retiré du feu dans le foyer puis rallumer c'est le démarrage de la dernière phase.

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

Cette étape est conçue pour tester l'aptitude du foyer à passer d'une phase haute puissance en phase basse puissance dans le but de mijoter l'eau pendant 45 minutes et en utilisant une quantité de bois minimale.

Démarrage de ce test :

- 1) Réinitialiser le chronomètre ;
- 2) Replacer le thermomètre dans la marmite. Ajuster le feu pour garder l'eau aussi proche que possible à 3 degrés en dessous du point d'ébullition établi ; le test est invalide si la température de l'eau descend 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 en dessous du point d'ébullition ;
- 4) Après les 45 minutes exécuter rapidement les actions suivantes :
 - a. Enregistrer le temps de finitions du test dans le formulaire (ce temps serait évidemment 45 minutes).
 - b. Retirer tout le bois du foyer et couper le charbon contenu dans les bouts du bois pour les mettre dans le récipient prévu pour cet effet, peser la masse de(ce bois + le bois inutilisé) puis enregistrer dans le formulaire de données ;
 - c. Extraire tout le charbon restant dans le foyer et peser en incluant le charbon déjà présent dans le plateau puis enregistrer la masse du récipient + charbon dans le formulaire ;
 - d. Enregistrer la température finale de l'eau dans le formulaire (il devrait être égale à 3 degrés en dessous du point d'ébullition établi) ;
 - e. Peser la masse de (la marmite + l'eau restant) puis enregistrer cette masse dans le formulaire. Cette action met fin au test d'ébullition de l'eau.

NB : Le test durera environs trois heures pour chaque foyer. (Foyer amélioré et foyer traditionnel).

II-Résultats de nos tests

Nous avons testé 05 types de foyers répartis comme suit :

02 foyers améliorés de taille N°5

02 foyers améliorés de taille N°3

01 foyer traditionnel de taille N°5

Les résultats de ces tests sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau II :les grandeurs invariables

Variables	Unités
Température ambiante (°C)	30,2
Point d'ébullition de l'eau (°C)	99,1
Masse vide de la marmite (g)	1150
Masse vide de la pelle (g)	450
Dimension moyenne du bois (cm)	(L x l x h) = 40 x 4 x 2
Teneur en eau du bois (%)	11,74
Pouvoir calorifique supérieur du bois (kJ/Kg)	21004
Pouvoir calorifique inférieur bois (kJ/Kg)	19684

Résultats du test entre le foyer traditionnel N°5 et le foyer amélioré N°5

Le tableau suivant résume les résultats des tests effectués sur le foyer traditionnel et sur deux foyers améliorés de fabrication différente.

Tableau III : Résultats de tests entre le foyer traditionnel et les foyers améliorés

	Foyer Traditionnel	F3PA du Centre	F3PA du Nord
Démarrage à froid			
Temps d'ébullition (min)	36	31	29
Vitesse de combustion (g/min)	25	27	25
Consommation Spécifique du bois (g/l)	185	192	158
Puissance du feu (W)	7295	8028	7446
Bois consommé (g)	1200	1000	1050
Rendement thermique	14%	19%	17%
Démarrage à chaud			
Temps d'ébullition (min)	28	22	26
Vitesse de combustion (g/min)	18	28	21
Consommation Spécifique du bois (g/l)	122	131	118
Puissance du feu (W)	5176	8330	6231
Bois consommé (g)	1000	750	850
Rendement thermique	14%	20%	23%
Phase de mijotage			
Vitesse de combustion (g/min)	18	8	9
Consommation Spécifique (g/l)	2849	89	103
Puissance du feu (W)	5272	2290	2716
Bois consommé (g)	900	650	550
Rendement thermique	12%	35%	25%

III- Analyse des résultats et Discussion

III-1- Comparaison entre le foyer traditionnel et le foyer amélioré

Le tableau montre une différence sur le temps d'ébullition de l'eau entre le foyer traditionnel et le foyer amélioré ; cette différence est tout à fait logique puisque le foyer traditionnel est ouvert tandis que celui amélioré est protégé contre le vent par conséquent accélère le temps d'ébullition. Au démarrage à chaud, le temps d'ébullition a chuté cette chute au niveau du foyer amélioré montre que cette dernière avait conservé la chaleur lors du démarrage à froid. La chute légère constatée au niveau du foyer traditionnel est dû à la marmite puisque celle-ci a conservée aussi de la chaleur lors de la première phase.

La différence entre le F3PT et le F3PA est visible à travers la vitesse de combustion du combustible (respectivement 25g/min et 27g/min pour la phase froide et 18g/min contre 28 pour la phase chaude.). Le foyer traditionnel consomme plus vite de combustible que le foyer amélioré. Cette remarque est confirmée par l'analyse de la quantité de bois consommé ; en effet lors des trois phases du test les quantités du bois consommé sont respectivement 1200g contre 1000g pour le démarrage à froid, 1000g contre 750 pour le démarrage à chaud, et 900g contre 600 pour le mijotage.

La puissance du feu constatée lors des différentes phases vient une fois de plus confirmée cette différence entre le foyer ouvert et le foyer amélioré. Par contre lors de la phase de mijotage la puissance du feu du foyer traditionnel est supérieure à celle du foyer amélioré ; cette différence à ce niveau s'explique par le fait qu'il est difficile de faire du mijotage avec un foyer ouvert, il est donc difficile de réguler la puissance du feu, c'est un système tout ou rien ; raison pour laquelle il n'y'a pas une grande différence entre la puissance en phase chaude et la puissance en phase de mijotage (respectivement 5176 W et 5272 W) .

En résumé le foyer traditionnel a un rendement thermique moyen de 13% contre 25% en moyenne pour le foyer amélioré soit une amélioration de 12% et une économie de bois de 22,58%.

III-2. Comparaison entre le foyer amélioré du centre et celui du Nord

Lors de notre visite sur le terrain, nous avons remarqué une différence entre les foyers améliorés du Nord et ceux du centre ; cette différence se situe en autre sur le matériau de fabrication, sur la technique de construction et aussi sur la conception. Nous avons donc testé les deux types de foyer et les résultats sont consignés sur le tableau ci-dessus.

De l'analyse de ces résultats nous remarquons que :

Lors du démarrage à froid, le F3PA du Nord a atteint le point d'ébullition en 29 min tandis que le F3PA du centre l'a atteint en 31min ; si on se limitait à ce constat on dirait que le foyer du Nord étant plus rapide est donc plus efficace que celui du centre. Il a fallu donc attendre la phase de démarrage à chaud pour voir le renversement de cette tendance (22 min pour le foyer du centre et 26 min pour celui du Nord).

Explication : la force du F3PA du Nord est liée certainement à la bonne conception de sa chambre de combustion qui est très bien dégagée et bien assise par rapport à celle du foyer du centre. Cette chambre de combustion bien faite permet un transfert rapide de la chaleur vers la marmite ; c'est ce qui explique sa rapidité lors de la première phase.

Cependant le renversement de la tendance lors de la deuxième phase s'explique par la très bonne conception de la cheminée du F3PA du centre. En effet l'espace paroi- marmite du F3PA du Nord qui représente la cheminée est très large ce qui favorise une fuite énorme de la chaleur conservée lors du démarrage à froid.

La grande vitesse de consommation du combustible et la faible puissance du feu du foyer du Nord sont des facteurs qui montrent sa faible performance. Cette remarque se confirme à travers la consommation du bois (1000g contre 1050g pour le démarrage à froid, 750g contre 850g pour le démarrage à chaud). Par contre lors de la phase de mijotage le F3PA du centre a consommé beaucoup de bois que le F3PA du Nord ; cela est tout à fait logique puisque le charbon produit est bien disposé sur la chambre de combustion transférant la chaleur à la marmite et par conséquent ne nécessite plus beaucoup de bois pour maintenir l'eau à l'ébullition.

En résumé, le F3PA du Nord a un rendement thermique moyen de 22% avec une économie moyenne du bois de 21%, et le F3PA du centre a un rendement de 25% avec une économie moyenne du bois de 23%.

IV- Résultats de l'analyse de fumées

Il est important de bien connaître le taux de dégagement des fumées lors de la cuisson des aliments. Dépendamment de la durée pendant laquelle l'utilisatrice est exposée à ces fumées, elle peut avoir des problèmes respiratoires qui peuvent devenir très sérieux à la longue.

Nous rappelons ci-dessous les caractéristiques de deux gaz très répandues dans les fumées dégagées lors de la combustion du bois et du charbon de bois.

IV-1. Le monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz toxique issu d'une combustion incomplète. Ses caractéristiques physiques (incolore, inodore et sans saveur) le rendent indétectable et donc dangereux.

Il se fixe sur l'hémoglobine du sang et forme une molécule stable, la carboxyhémoglobine, qui entraîne une diminution de l'oxygène cellulaire et peut, à de fortes concentrations ou pour des temps d'exposition importants, provoquer la mort.

Sa densité de 0,97 le rend plus léger que l'air, il diffuse donc rapidement dans l'atmosphère et s'accumule en milieu clos.

Dans l'habitat, les sources de CO sont : les systèmes de cuisson, et le chauffage (gaz, bois, charbon de bois, pétrole,...), les cuisinières, et le tabagisme ...

Le monoxyde de carbone peut provoquer :

Une intoxication subite et aiguë, entraînant des maux de tête, des vertiges, des nausées, des pertes de conscience, voir le décès ;

Une intoxication insidieuse et permanente (dite "**chronique**"), qui se manifeste par des maux de tête, des perceptions lumineuses, un sentiment de fatigue, des nausées.

Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé concernant les intoxications chroniques au CO conseillent de ne pas dépasser les **10 ppm sur 8 heures**.

III-2. Gaz carbonique (CO₂)

L'importance des effets du CO₂ sur l'homme, dépend de sa concentration dans l'air, de la durée d'exposition et de nombreux facteurs physiologiques (âge du sujet, état vasculaire) ou climatiques (température extérieure, pression en oxygène).

De faibles concentrations en CO₂ (plus de 5000 ppm) peuvent entraîner une accélération de la respiration et des maux de tête. A des concentrations supérieures à 10000 ppm (1%), des phénomènes d'insuffisance respiratoire accompagnés de maux de tête, nausées, vomissements, peuvent être observés.

Il faut noter que l'augmentation de la concentration en CO₂ renforce par un effet synergique, la toxicité du CO.

Nous avons analysé la fumée issue de la combustion des foyers à l'aide d'un analyseur de fumée appelé **TESTO 350 XL** ; chaque foyer a été testé deux fois et les résultats sont consignés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau IV : Résultats de l'analyse de fumée du F3PA du centre

Grandeurs mesurées	1^{er} Essai	2^{ème} Essai
CO ₂ (ppm)	1029	835
O ₂ (ppm)	1147	1227
CO (ppm)	3745	3676

Tableau V : Résultats de l'analyse de fumée du F3PA du Nord

Grandeurs mesurées	1^{er} Essai	2^{ème} Essai
CO ₂ (ppm)	560	919
O ₂ (ppm)	1517	1181
CO (ppm)	2351	2141

Les résultats des analyses montrent clairement que lors de la combustion du bois il y'a un énorme dégagement de gaz dans tous les foyers. Cependant le taux de CO dégagé par le foyer du Nord est faible par rapport au foyer du centre ; cette remarque est certainement liée à l'explication donnée plus haut sur l'étroitesse de la chambre de combustion du foyer du centre. Le F3PA du Nord ayant une chambre de combustion bien large favorise une combustion complète du bois. Force est de noter aussi que ce taux élevé de CO est lié à la caractéristique du bois (teneur en eau élevé lors de l'essai) et des conditions météorologiques (humidité relative de l'air).

IV- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les tests de performances des foyers trois pierres améliorés en banco de l'association Tii paalga viennent d'être réalisés au Laboratoire Biomasse, Energie et Biocarburant du 2IE.

En attendant de faire des tests complémentaires sur ces foyers (tests de cuissons contrôlée, enquête au près des familles), quelques commentaires s'imposent. Les foyers testés répondent tous à une préoccupation principale qui est l'économie de combustible par rapport aux systèmes traditionnels trois pierres. Les tests de laboratoires montrent que le foyer traditionnel a un rendement thermique moyen de 13% et le foyer amélioré en banco 25% en moyenne soit une amélioration de 12% et une économie moyenne du bois de 23% par rapport au F3PT.

Certains des foyers testés posent un certains nombres de problèmes durant leur utilisation ; on peut citer le manque de résistance thermique du banco qui provoque des fissures lorsqu'il est très chaud, l'étroitesse des chambres de combustion, et l'épaisseur de la cheminée sont autant de facteurs qui nécessitent une attention particulière des animatrices avant la mise en place d'une diffusion massive de ces foyers améliorés.

Ces aspects orientent vers les recommandations suivantes :

- ❖ Bien maîtriser les normes de fabrication en insistant sur le **choix des matériaux de qualité** ;
- ❖ Tenir compte du climat lors du séchage des foyers après leur construction, (en période de fraîcheur par exemple mettre plus du temps pour sécher le foyer avant d'utiliser) ;
- ❖ Lors de l'utilisation du foyer la porte doit être orientée perpendiculairement à la direction du vent.
- ❖ Eviter d'utiliser du bois humide,
- ❖ Eviter de mettre trop du bois dans la chambre de combustion car cela étoufferait l'admission d'air.
- ❖ Harmoniser la technique de fabrication pour bénéficier les avantages des foyers du Nord et ceux du centre afin d'améliorer le rendement thermique. En effet si la chambre de combustion du P3PA du centre était comme celui du Nord, et si l'espace paroi-marmite du F3PA du Nord était comme celui du centre, on pourrait atteindre des rendements thermiques moyens de 30 à 35% avec des économies moyennes de 40% du bois.

- ❖ Enfin, il faut noter que les tests de laboratoires ne donnent que des indications sur la performance des foyers ; le laboratoire ne pourra jamais dire si un foyer sera accepté ou non par les utilisatrices. Ce dernier point doit être acquis sur le terrain ; un suivi des opérations et des conseils d'entretiens et de réparation est très important d'où l'importance de l'action des animatrices et des monitrices locales en contact avec les femmes dans les régions concernées.

Bibliographie

[1] : http://bft.cirad.fr/cd/BFT_197_45-59.pdf

[2] : Revue Bois et Forêts des Tropiques, N° 197

[3] : Rapport final du PREDAS en 2004 sur l'étude de la consommation de combustible domestique au Burkina Faso.

[4] : Rapport sur l'Etat de l'Environnement au Burkina – REEB, édité par le Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable – CONEDD - en 2002.

[5] : <http://www.sudenergies.fr/La-combustion-du-bois>