

00521

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT SUPERIEUR POLYTECHNIQUE

04680



# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : EAUX et FORETS

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

## EVALUATION DES DIFFERENTS PROTOTYPES DE FOYERS AMELIORES EXISTANTS EN HAUTE-VOLTA

JUIN 1983

YAMEOGO Georges

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT SUPERIEUR POLYTECHNIQUE



01680

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : EAUX et FORETS

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

## EVALUATION DES DIFFERENTS PROTOTYPES DE FOYERS AMELIORES EXISTANTS EN HAUTE-VOLTA

JUIN 1983

YAMEOGO Georges

- SOMMAIRE -

	Pages
Remerciements	
Présentation de l'Institut Voltaïque de l'Energie .....	1
Introduction générale .....	2
 Première partie : Situation énergétique et description des principaux projets foyers améliorés en Haute-volta.	
 <u>Chapitre I</u> : les sources d'énergie et leur utilisation en Haute-Volta.	
Introduction .....	5
1.1. Sources d'énergie provenant de la biomasse végétale.....	7
1.1.1. Le bois de chauffe.....	7
1.1.2. Les résidus agricoles.....	10
1.2. Les sources d'énergies provenant des produits pétroliers.	10
1.2.1. Le butane.....	11
1.2.2. Le pétrole.....	11
1.2.3. L'essence et le gasoil.....	11
1.2.4. L'électricité.....	11
1.3 Le potentiel forestier.....	12
Conclusion.....	14
 <u>Chapitre II</u> : Description des principaux projets de foyers améliorés en Haute-Volta	
Introduction.....	15
2.1. Le projet de Mission Forestière Allemande.....	15
2.1.1. Historique du foyer Nouna.....	16
2.1.2. Personnel et formation.....	16
2.1.3. Vulgarisation.....	18
2.1.3.1. Méthode de diffusion.....	18
2.1.3.2. Nombre de foyers construits.....	19
2.1.4. Problèmes rencontrés.....	20
2.1.5. Perspectives.....	21

2.2.	Le Projet A.I.D.R.....	21
2.2.1.	Personnel et formation .....	22
2.2.2.	Vulgarisation.....	22
2.3.	Les foyers Titao.....	23
2.3.1.	Historique du foyer Titao.....	23
2.3.2.	Sensibilisation, formation et vulgarisation..	24
2.3.3.	Problèmes rencontrés.....	25
2.4.	Les unités départementales de vulgarisation .....	25
2.4.1	L'amélioration des foyers à la Volta Noire..	27
2.4.1.1.	Les activités du projet Bois de Village....	27
2.4.1.2.	Les activités du projet MFA .....	29
2.4.1.3.	Création et activités de l'unité départementale .....	29
2.4.2.	L'amélioration des foyers au Centre-Nord.	30
2.4.2.1.	Historique du foyer Kaya.....	31
2.4.2.2.	Création de l'entreprise FMK.....	32
2.4.2.3.	Les activités du projet bois de village .....	34
2.4.2.4.	Création et activités de l'AFCN..	34
2.5.	Les structures nationales de vulgarisation.....	
2.5.1	La commission nationale interministérielle.	36
2.5.2	Le service F.A.....	37
	Conclusion.....	38

Deuxième partie : caractéristiques du bois et test en atelier.

Chapite III Le bois : propriétés, combustion, transfert de chaleur.

3.1.	composition chimique.....	44
3.1.1.	Les composés des parois de la cellule	
3.1.2.	Les extraits.....	45
3.1.3.	Les cendres.....	45
3.2.	Propriétés physiques du bois.....	45
3.2.1.	Taux d'humidité .....	45
3.2.2.	Pouvoir calorifique.....	46
3.2.3.	Conductibilité thermique .....	48
3.2.4.	Densité.....	48



3.3.	Combustion du bois.....	48
3.3.1.	Phases de la combustion.....	49
3.3.2.	Facteurs influençant la combustion.....	51
3.3.3.	Notion d'air primaire et d'air secondaire	54
3.4.	Transfert de chaleur	
3.4.1.	Rayonnement.....	55
3.4.2.	Conduction.....	56
3.4.3.	Convection.....	57

Chapitre IV : Différentes parties d'un foyer amélioré massif avec cheminée, description des foyers existants en Haute-Volta.

4.1	Différentes parties d'un foyer amélioré massif avec cheminée.....	59
4.1.1.	La porte.....	59
4.1.2.	La chambre de combustion.....	60
4.1.3.	La grille.....	60
4.1.4.	Le monticule.....	60
4.1.5.	Le canal de communication.....	61
4.1.6.	la dalle.....	61
4.2.	Description des foyers existants en Haute-Volta	

Chapitre V : Méthodologie utilisée pour les tests en atelier.

5.1.	Phases préliminaires .....	75
5.2	Méthodologie de test.....	77
5.3	Définition des pourcentages de chaleur utilisés et des puissances.....	79
5.4.	Puissances.....	82

Chapitre IV : Les résultats des test d'ébullition de l'eau .

6.1.	Présentation et analyse des résultats.....	84
6.1.1	Rendement thermique de la première marmite par rapport aux autres.....	84
6.1.2.	Rendement thermique à l'ébullition et au mijotage.....	
6.1.3.	Rendement thermique moyen avec charbon et sans charbon.....	87
6.1.4.	Puissance .....	87
6.1.5.	Analyse des erreurs.....	88

6.2.	Comparaison des foyers testés.....	89
6.2.1.	Les foyers légers.....	89
6.2.2	Foyers Banfora sans cheminée.....	90
6.2.3	Foyers lourds avec cheminée.....	90
6.2.4.	Les foyers 3 pierres, Nouna (1), Titao.....	92
6.2.5.	Représentation graphique.....	93

#### Chapitre VII : Test de cuisine contrôlé : préparation du tôle.

7.1.	Méthodologie.....	95
7.2.	Résultats et interprétation.....	96
7.3	Relation entre rendement thermique et consommation de bois.....	97
7.4.	Remarque : test de récupération de chaleur.....	98

### Troisième partie : Analyse financière sur la rentabilité des F.A.

#### Chapitre VIII : Analyse financière sur la rentabilité des F.A.

8.1.	Dépenses mensuelles actuelles pour l'achat du bois	100
8.2.	Détermination des coûts des foyers.....	101
8.3.	Calcul des annuités mensuelles.....	103
8.4.	Les économies réalisées sur la base des rendements thermiques.....	105
8.4.1.	Dépenses mensuelles pour le bois en fonction du $n_{ct}$	106
8.4.2	Les dépenses mensuelles totales "	107
8.5.	Les économies réalisées lors des tests du tôle.....	108
8.5.1.	Les dépenses mensuelles pour le bois.....	108
8.5.2.	Dépenses mensuelles totales.....	110

Conclusion générale.....	112
--------------------------	-----

Annexe 1 : Résultats des tests

Annexe 2 : Tableaux d'intervalles de confiance

Annexe 3 : Test de comparaison de Hartley

Bibliographie.

## REMERCIEMENTS

La fin du stage nous donne l'occasion de témoigner notre gratitude et notre reconnaissance à :

- Monsieur SIMONIS Philippe, chef du Projet Spécial Energie au sein de l'Institut Voltaïque de l'Energie qui a bien voulu consacrer de son temps pour nous encadrer.
- Monsieur Rigobert YAMEOGO, chargé de fonction de Directeur de l'Institut Voltaïque de l'Energie
- Monsieur Pim VISSER, coordonnateur du projet bois de village financement Néerlandais, pour le soutien matériel qu'il nous a apporté.
- Monsieur Rainer GEPPERT, pour sa collaboration dans l'élaboration de la partie analyse financière.
- Monsieur Samuel BALDWIN coordonnateur technique du CILSS pour sa disponibilité permanente.
- Madame Marguerite KABORE, chef de service Foyers Améliorés, pour avoir contribué de façon positive à cette étude.
- Monsieur Paul BUSMANN du "Wood Burning Stove Group".
- Professeurs Jerry GROSENICK et Boulet GERCOURT.
- Tous les vulgarisateurs de foyers améliorés.
- Animatrices Alice YARO, Léocadie SAMANDOULOGOU, Téné ZIZIEN Isabelle DABONE.
- Techniciens Issouf OUEDRAOGO, Sylvain ZONGO, Philippe OUEDRAOGO.
- Tous les chercheurs de l'Institut Voltaïque de l'Energie.
- Mesdames Christa BAMBARA et Suzanne KAMBOU qui ont accepté de dactylographier ce travail.
- Tous ceux qui nous ont apporté leur soutien moral.

PRESENTATION DE L'INSTITUT VOLTAÏQUE  
DE L'ENERGIE (I.V.E)

*L'Institut Voltaïque de l'Energie (I.V.E.) qui est le cadre dans lequel nous avons effectué notre travail est un institut spécialisé du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique. Il a pour attribution de :*

- *assurer la collecte et l'analyse des données et l'inventaire des potentialités énergétiques ;*
- *proposer la planification énergétique du pays ;*
- *étudier et proposer toute mesure visant à garantir l'indépendance énergétique et la sauvegarde de l'environnement en Haute-Volta ;*
- *coordonner les activités liées aux problèmes énergétiques dans le cadre des plans nationaux de développement ;*
- *entreprendre la recherche et l'innovation scientifique et technologique dans le domaine de l'énergie ;*
- *servir de référence scientifique et technologique pour le test des prototypes, le diagnostic énergétique, l'évaluation et l'étude de faisabilité des projets énergétiques ;*
- *oeuvrer à la diffusion des technologies par l'information, la formation, l'assistance technique, la fabrication de matériel et le suivi du matériel installé ;*
- *étudier les problèmes techniques, socio-économiques posés par l'introduction des nouvelles technologies dans le domaine de l'énergie.*

*Depuis un certain temps l'I.V.E. a entrepris des travaux de recherche sur le biogaz, l'énergie solaire (chauffe-eau, séchoir...) et le test des différents prototypes de foyers améliorés existants en Haute-Volta.*



## Introduction

Au cours de l'année Universitaire 1982-1983, nous avons eu à effectuer un stage à l'Institut Voltaïque de l'Energie (I.V.E.), où nous avons traité du thème "Evaluation des différents prototypes de foyers améliorés existants en Haute-Volta".

Cette évaluation basée sur les tests des prototypes existants s'avèrait nécessaire car depuis 1979, la Haute-Volta a vu une prolifération de différents types de foyers améliorés dont la conception résultait généralement d'une approche plus intuitive que scientifique.

Cette étude comporte trois grandes parties :

- les sources d'énergies utilisées en Haute-Volta et la description des principaux projets de foyers améliorés ;
- les principes de combustion, de transfert de chaleur, et les tests en ateliers.
- l'impact financier que les foyers améliorés peuvent avoir sur les revenus familiaux.

Avant d'aborder la partie test des différents prototypes, nous avons jugé nécessaire de faire une analyse générale de la situation énergétique de la Haute-Volta en nous basant sur les travaux du colloque national sur l'énergie tenu à Ouagadougou au mois de mars 1982, sur les enquêtes de consommation de bois de chauffe faites par le projet PNUD/FAO et enfin sur les résultats de l'inventaire des ressources forestières du pays.

De ces différentes études, il ressort que le bois constitue et constituera encore pour longtemps la principale source d'énergie du pays, et que par conséquent des mesures urgentes doivent être prises pour réduire sa consommation.

Pour parer à cette future pénurie du bois de chauffe, des actions de reboisement et d'aménagement forestier ont été entreprises par les services forestiers. A cela s'est ajoutée la vulgarisation de foyers améliorés faite par différents projets, des organisations non gouvernementales et des particuliers. Le but principal recherché dans la vulgarisation des foyers améliorés est la réduction de la consommation du bois de chauffe. Cela est d'autant plus nécessaire que cette consommation n'est pas un choix, mais une nécessité.

Chacun des projets utilise des méthodes de sensibilisation et de vulgarisation souvent différentes ; par ailleurs les modèles mis à la disposition des ménages sont également différents.

La question qui se pose est de savoir si effectivement les types de foyers vulgarisés contribuent à la réalisation d'une économie de bois.

La réponse donnée par les différents projets est toujours positive. Certains avancent des économies de bois de l'ordre de 50 %.

Plusieurs missions sont également venues de l'extérieur pour évaluer les foyers. A cela s'ajoute l'étude (mémoire I.S.P.) faite par ZANGO Marguerite en 1981 et qui donne une économie moyenne de bois de 17 %

La caractéristique principale de ces différentes évaluations est qu'elles ont été faites avec des méthodologies différentes, ce qui ne donne pas la possibilité de comparer les différents prototypes vulgarisés dans le pays.

Pour permettre cette comparaison l'I.V.E. a soumis les différents modèles à la même méthodologie de test appliquée dans les mêmes conditions.

Cette méthodologie consiste à porter une quantité déterminée d'eau à l'ébullition, et ensuite à faire mijoter cette eau pendant une heure.


Après les tests nous avons calculé les rendements thermiques et les puissances et comparer les foyers sur la base des rendements thermiques.

Il nous a été aussi possible de faire des tests de cuisine contrôlée de préparation de tôle sur certains foyers.

Notons que le but de ces différents tests n'est pas de choisir un prototype de foyer amélioré à imposer à tout le pays. Ils ont pour but de comprendre les principes de fonctionnement des différents foyers afin de voir dans quelle mesure ils peuvent être améliorés. Ces améliorations devront s'adapter aux conditions locales d'utilisation, et si possible à chaque région suivant les facilités disponibles pour leur réalisation.

Pour terminer, nous avons réuni quelques éléments d'analyse financière pour voir dans quelle mesure l'utilisation d'un foyer amélioré peut être rentable.

 REMIERE

 ARTIE

SITUATION ENERGETIQUE ET DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PROJETS  
FOYERS AMELIORES EN HAUTE-VOLTA

-----



## Chapitre I

### LES SOURCES D'ENERGIE ET LEUR UTILISATION EN HAUTE-VOLTA

#### Introduction

Pour la satisfaction des besoins énergétiques, plusieurs sources d'énergie sont actuellement utilisées en Haute-Volta et cela à des degrés divers. Les principales sources d'énergie peuvent être regroupées en :

- biomasse

par biomasse on entend les matières végétales et animales susceptibles d'être transformées en énergie (bois, pailles, déchets animaux ...). Elle constitue la source d'énergie non importée (E.N.I)

- produits pétroliers

(essence, super, gasoil, pétrole, distillate diesel oil (D.D.O.), fuel oil lourd (F.O.L), butane). Les produits pétroliers constituent les sources d'énergie importées (E.I.)

- soleil et vent

qui constituent des sources potentielles d'énergie encore inexploitées à grande échelle. Leur utilisation est en phase expérimentale.

Le tableau 1 donne le pourcentage des différentes formes d'énergie qui sont actuellement utilisées. Ce tableau est tiré des travaux du colloque national sur l'énergie tenu au mois de mars 1982. Nous l'avons rectifié au niveau de la consommation individuelle de bois en considérant la moyenne donnée par des enquêtes de consommation menées par le projet PNUD/FAO, et aussi au niveau du pouvoir calorifique du bois. Cela a entraîné une modification des différents pourcentages.

Pour permettre la comparaison des différentes sources d'énergie nous avons fait la conversion en kilowatt-heure (kWh). Les pourcentages de la consommation totale d'énergie sont relatifs à cette conversion en kWh.

Tableau 1

Consommation énergétique (1981)

Source	Densité (t/m <sup>3</sup> )	Pouvoir Calorifique (kcal/kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Poids (t)	Energie (10 <sup>6</sup> kWh)	% E.I. % E.N.I.	% Energie totale
Super	0,72	10.400	8.894	6.404	77,4	4,8	0,35
Essence	0,72	10.400	61.872	44.548	538,7	33,5	2,49
Gasoil	0,85	10.100	30.275	25.734	302,2	18,8	1,39
Pétrole	0,82	9.750	14.935	12.247	138,8	8,6	0,64
DDO	0,87	9.800	36.191	31.486	358,8	22,3	1,65
F.O.L.	0,97	9.500	17.062	16.550	182,8	11,4	0,84
Aviation 100/130	0,8	10.200	348	278	3,3	0,2	0,015
Butane	-	10.900	-	565	7,2	0,4	0,033
Total E.I.	-	-	169.577	137.812	1.609,2	100	7,4
Bois	0,8	4.300	0,758m <sup>3</sup> /hab/ an	606,4kg/hab/ an	19.320	96,5	89,4
Pailles	-	3.000	-	31kg/hab/an	689,1	3,5	3,2
Total E.N.I.	-	-	-	-	20.009,1	100	92,6
Total Général	-	-	-	-	21.618,3	-	100

Référence: Rapport de synthèse du colloque national sur l'énergie (3.1982)

Le graphe 1 donne la répartition de ces énergies suivant l'utilisation.

### 1.1. Les sources d'énergie provenant de la biomasse végétale

La biomasse végétale constitue la principale source d'énergie de la Haute-Volta. Elle représente 92,6 % (1) de la consommation totale d'énergie.

#### 1.1.1. Le bois de chauffe

Le bois de feu occupe la première place parmi les combustibles utilisés dans le pays. Il constitue 89,4 % (1) de la consommation totale d'énergie. Les familles voltaïques sont, pour la cuisson de leurs aliments tributaires du bois de feu et de son dérivé le charbon de bois.

La consommation du bois de feu, toujours croissante menace l'équilibre écologique. Au niveau national, on estime que chaque voltaïque consomme en moyenne 1,65 kg (2) de bois par jour, ce qui donne des besoins annuels de 0,758 m<sup>3</sup> (2) par personne.

Les consommations, les modes de ravitaillement, les distances de ravitaillement, les prix de vente etc... restent tout de même différents suivant que l'on se trouve en zone rurale, semi-urbaine et urbaine. (cf. tableau 2).

#### a) La zone rurale

L'examen du tableau 2 montre que c'est en zone rurale que la consommation individuelle est la plus élevée. Cela à cause du fait que le bois constitue le combustible le plus accessible aux populations rurales.

L'approvisionnement de la zone rurale en bois de chauffe commence à poser un certain nombre de problèmes. Les femmes à qui incombent traditionnellement la collecte du bois, ne le trouvent plus à ramasser autour des concessions ou de retour des champs. Elles sont obligées de consacrer des journées entières pour le ramassage du bois.

Tableau 2

Données	Zone rurale	Zone semi-urbaine	Zone urbaine	Moyenne	Total
Population (1980)	5.722.899	163.511	402.490		6.288.900
Pourcentage population (%)	91	2,6	6,4		100
Taux de croissance pop. (%/an)	1,5	4,5	6,5	2,06	
Consommation journalière bois pour la cuisson (kg/pers./j.)	1,52	1,17	0,96	1,46	
Consommation journalière pour artisanat (kg/pers./j.)	0,16	0,15	0,29	0,17	
Consommation annuelle m <sup>3</sup> /pers.	0,772	0,629	0,648	0,758	
Besoins annuels totaux (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )					
1980	4.318	114	332		4.764
1990	5.226	184	645		6.055
2000	5.835	277	1.188		73.000
Distance ravitaillement (km)	3 à 5	non déterminé	40 à 60		
Prix moyen du bois (FCFA/kg)	2,5	5,5	11		
Famille moyenne	11,1	9,1	9,5		
Depenses mensuelles par famille moyenne pour la cuisson (FCFA)	1.265	1.760	3.010		

référence: la consommation du bois de feu en Haute Volta (UPV/78/004



Pour cela elles parcourent de longues distances (3 à 5 km) (2) pour couper le bois de faible diamètre et parfois humide qu'elles conservent plusieurs jours avant de pouvoir l'utiliser.

L'éloignement des lieux de récolte a nécessité l'utilisation des vélos et des charrettes à traction asine pour la collecte du bois en zone rurale. C'est également à partir de ce moment que la commercialisation du bois est apparue.

Le bois qui se vend moins cher en milieu rural est surtout acheté par les femmes faisant un petit commerce ou les femmes des fonctionnaires travaillant dans la région.

Le chiffre de 1.265 FCFA (2) comme dépense mensuelle par famille moyenne en milieu rural, ne représente pas la dépense effective. Il a été calculé en tenant compte du coût de l'arbre et des temps de travaux.

b) Zone semi-urbaine

Bien que la consommation individuelle dans cette zone soit la plus faible, son approvisionnement commence à poser plus de problèmes qu'en zone rurale. On estime que seulement 28 % des ménages de cette s'auto approvisionnent. Les dépenses mensuelles effectives par ménage connaissent une hausse par rapport à la zone rurale ; 1.760 FCFA (2) sont consacrés par mois pour l'achat du bois.

c) Zone urbaine

En zone urbaine, la consommation totale est élevée à cause de l'artisanat. La consommation pour le ménage est plus faible dans cette zone que dans les autres (cf. tableau 2).

L'auto approvisionnement est devenu quasi-impossible à cause de l'éloignement des lieux de récolte. La distance de ravitaillement varie entre 40 et 60 km.

L'approvisionnement de la zone urbaine en bois de chauffe se fait essentiellement par les cyclistes, les charrettes à traction asine, les camionnettes et les camions. Cette pratique a pour conséquence l'augmentation du prix du bois.

Les dépenses mensuelles pour l'achat du bois sont très élevées et grèvent énormément le budget familial..  
(3.010 FCFA par famille moyenne)

#### 1.1.2. Les résidus agricoles

Avec une consommation individuelle de 31 kg (2) par an, les résidus agricoles représentent 3,2 % (1) du total de l'énergie consommée dans le pays. Leur consommation est surtout élevée en milieu rural où après les récoltes, les tiges de mil et de coton sont rassemblées pour être utilisées notamment comme combustible.

Les résidus agricoles sont utilisés sans être mélangés à d'autres combustibles lors de la préparation des repas. Ils sont souvent utilisés pour amorcer la combustion du bois. Les cendres issues de la combustion des tiges de mil servent à la préparation de la potasse.

#### 1.2. Les sources d'énergie provenant des produits pétroliers

Ces sources sont utilisées en grande partie par l'industrie, l'administration, le commerce et en faible partie par les ménages.  
(cf. tableau 1 et graphe 1).

../..

#### 1.2.1. Le butane

L'utilisation du gaz butane n'est pas très répandue en Haute-Volta. Bien que les brûleurs à gaz aient un rendement élevé, le butane ne représente qu'un faible pourcentage de l'énergie consommée dans le pays (0,033 %) (1). En zone urbaine, seulement 3 % des familles utilisent le gaz. Sa consommation est estimée à 0,02 kg (2) par personne et par mois. En zone semi-urbaine cette consommation est de 0,0002 kg (2) par mois. Le gaz est utilisé par les familles de niveau de vie élevé.

#### 1.2.2. Le pétrole

Le pétrole représente 0,64 % (1) de la consommation totale d'énergie. On le rencontre aussi bien en milieu rural où sa consommation est de 0,18 l/personne/mois (2) qu'en zone semi-urbaine et urbaine avec des consommations respectives de 0,56 l (2) et 0,68 l (2) par personne et par mois.

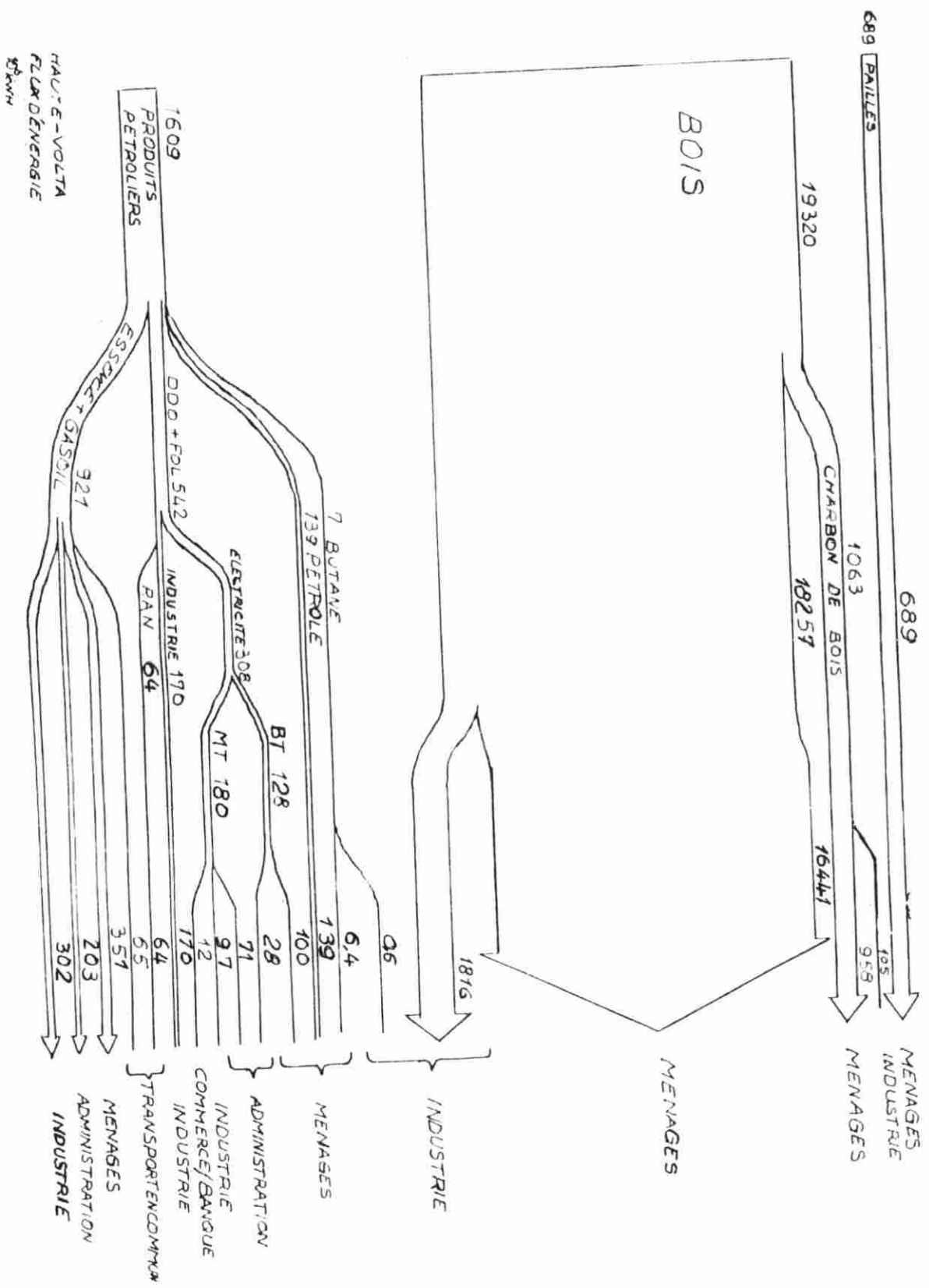
Le pétrole est employé partout pour l'éclairage. Il est également employé en petite quantité pour amorcer la combustion du bois. Dans certaines familles peu nombreuses, le pétrole est utilisé pour la préparation des repas. Cette utilisation est également limitée car les réchauds ne sont pas adaptés à la préparation de certains mets locaux (Tô).

#### 1.2.3. L'essence et le gasoil

Ils représentent respectivement 2,45 % et 1,39 % (1) du total énergétique. Ils sont utilisés pour le transport et pour assurer le fonctionnement de certaines machines (moulins etc).

#### 1.2.4. L'électricité

L'électricité est produite à partir de l'utilisation des produits pétroliers (D.D.O., F.O.L.); Les centrales actuelles en Haute-Volta sont des centrales thermiques.





L'électricité se rencontre en zone urbaine et dans certaines zones semi-urbaines. C'est également une source d'énergie peu employée à cause de sa cherté. On estime qu'en zone urbaine chaque habitant utilise 1,16 kWh (2) par mois et en zone semi-urbaine 0,05 kWh/mois. (2)

L'électricité est surtout utilisée pour les usages domestiques autres que la préparation des repas (éclairage, climatisation...).

Dans l'ensemble, l'énergie importée représente 7,4 % (1) de l'énergie totale utilisée en Haute-Volta. La plupart des besoins énergétiques reste assurée par le bois ce qui nous amène à parler du potentiel forestier.

### 1.3. Le potentiel forestier (cf. tableau 3)

L'examen du tableau 3 montre que certains départements comme le Nord et le Centre-Nord connaîtront un déficit en bois d'ici à 1990. D'ici à l'an 2000 ce déficit atteindra les départements du Centre et du Centre-Est

Bien que le bilan pour l'ensemble du pays reste positif au-delà de l'an 2000, les différentes évolutions montrent la nécessité qu'il y a à résoudre le problème de la désertification.

\* Le volume effectif disponible représente le volume total disponible duquel on aura soustrait les quantités de bois inaccessibles à cause de la distance, les espèces que les outils actuellement utilisés ne permettent pas de couper et enfin les espèces qui ne sont pas utilisées comme bois de feu.

Il est à noter que ce volume effectif a plusieurs formes d'utilisation (bois d'oeuvre, bois de service, bois de feu etc;).

Pour parer à la future pénurie du bois de service et de chauffe, il a été entrepris depuis les années 1972-73 des actions de reboisement avec l'aide de différentes sources de financement. Ces reboisements revêtent plusieurs formes :

../..

Tableau 3

Evaluation des Ressources Forestières

Prévision des Volumes totaux disponibles par Département

pour les années 1990 et 2000 (en milliers de m<sup>3</sup>)

Département	Volume total disponible 1980	Volume effectif disponible 1980	Volume effectif disponible 1990	Volume effectif disponible 2000
Sahel	30.031	22.523	18.868	13.912
Est	74.350	59.480	55.127	48.919
Centre	19.741	13.226	2.078	- 15.038
Centre-Ouest	37.996	29.637	20.737	7.071
Centre-Est	10.485	7.759	3.248	- 3.678
Centre-Nord	5.254	4.571	- 2.463	- 13.263
Nord	2.341	1.966	- 4.006	- 13.176
Volta Noire	26.972	16.183	9.538	213
Hauts-Bassins	42.275	31.706	27.222	20.754
Sud-Ouest	25.446	16.540	12.605	6.928
Comoe	74.456	67.755	65.824	63.039
TOTAL	349.347	271.346	208.778	115.681

- Les reboisements industriels mécanisés qui sont réalisés autour des grands centres urbains. Du début jusqu'en 1982 ces reboisements ont couvert une superficie de 11.520 ha (3).

- Les reboisements villageois réalisés dans le but de conscientiser les populations aux problèmes de la désertification. Ils ont démarré en 1979. De 1979 à 1982 on estime que le reboisement villageois a couvert environ 3.000 ha.

- Enfin les reboisements de la jeunesse qui couvrent 180 ha. A ces différentes formes, il faut ajouter des actions ponctuelles menées un peu partout à travers le pays par certains particuliers.

D'ici à 1990, 13.820 (ha) seront exploités par l'approvisionnement des populations en bois de chauffe et de service. Les productions cumulées attendues durant toute cette période seront de l'ordre de 235.500 m<sup>3</sup> (3).

Comme on le voit malgré les efforts faits en matière de reboisement, la plupart des besoins des populations sera couverte par les forêts naturelles. C'est ce qui explique les actions d'aménagement de forêts naturelles, menée par les services forestiers.

#### CONCLUSION

Avec une consommation élevée du bois de chauffe, et des ressources forestières en régression, il devient urgent de trouver des solutions afin de prévenir les phénomènes de désertification.

Etant donné les difficultés de remplacer dans l'immédiat le bois de feu par d'autres sources d'énergie, cela en raison des problèmes techniques, sociaux, économiques... il est indispensable d'encourager activement la production et l'utilisation plus rationnelle des ressources ligneuses par :

- l'accroissement de la productivité des ressources actuelles par l'aménagement des forêts naturelles ;
- la création de nouvelles ressources forestières, par l'intensification des actions de reboisement industriel et villageois ;
- la mise au point de cuisinières améliorées performantes et adaptées permettant d'économiser le bois.

### Références

- (1) Rapport de synthèse du colloque national sur l'énergie.
- (2) La consommation de bois de feu. M de Backer UPV/78/004.
- (3) Rapport du M.T.E.T. présenté au Colloque National sur l'énergie.



## Chapitre II

### DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PROJETS DE FOYERS AMELIORES EN HAUTE-VOLTA

#### Introduction :

La plupart des foyers traditionnels pour la préparation des repas entraînent une mauvaise utilisation de la chaleur dégagée lors de la combustion du bois (cas du feu ouvert), ce qui a pour conséquence une consommation individuelle élevée. Cette forte consommation favorise le phénomène de déforestation qui est déjà très ressenti autour des grands centres urbains.

Pour parer aux problèmes dus à la raréfaction du bois et plus particulièrement du bois de chauffe, il a été entrepris depuis 1979 la vulgarisation de foyers améliorés dont le but principal est de permettre la réduction de la consommation de bois de chauffe, c'est ainsi que plusieurs prototypes ont été mis au point et vulgarisés par différents projets avec des méthodes de sensibilisation, de formation et de diffusion souvent différentes.

#### 2.1. Le projet de la Mission Forestière Allemande (MFA)

Le projet de la MFA est placé sous la tutelle directe du Ministère des Transports, de l'Environnement et du Tourisme. C'est un projet intégré qui s'occupe du reboisement (industriel et villageois), de l'aménagement forestier et de la vulgarisation des foyers améliorés (F.A.). Ce projet a débuté en 1974 en ce qui concerne le reboisement et l'aménagement forestier autour de Ouagadougou et dans le département du Sahel. Le volet F.A. a vu le jour au mois d'août 1979. Le projet F.A. de la MFA vulgarise partout des foyers à deux et à trois trous dénommés foyers Nouna à deux ou trois trous.

#### 2.1.1. Historique des foyers Nouna

Le foyer Nouna a été conçu au Tchad par Madame Rosemarie KEMPERS de nationalité allemande qui s'est inspirée des foyers qui existaient en Europe.

Mutée à Nouna en Haute-Volta en 1977, elle continue son action par l'installation des premiers prototypes : d'où le nom Nouna donné à ce type de foyer.

Pour assurer la vulgarisation, elle recrute un maçon avec qui elle travaille. C'est ainsi que compte tenu des habitudes culinaires (préparation du tô et de la sauce), ils ont mis au point un foyer à deux trous avec une grande chambre de combustion et une cheminée pour l'évacuation de la fumée.

Les premiers foyers qui ne présentaient aucun aménagement intérieur étaient complètement réalisés en banco avec un léger crépissage en ciment. Par la suite, on a aménagé le monticule à l'intérieur et on a adopté les briques en terre cuite et en ciment pour la construction afin d'augmenter la résistance.

Suite aux missions d'évaluation (et en tenant compte du fait que les foyers étaient bien accueillis par les femmes à Nouna), l'Agence Allemande de Coopération Technique (GTZ) a décidé de financer un projet pilote de diffusion dans certaines villes du pays : Ouagadougou, Koudougou et Dédougou.

#### 2.1.2. Personnel et formation

Comme personnel assurant la vulgarisation des F.A., le projet de la M.F.A. emploie 3 maçons pour le centre de Ouagadougou et un par centre en ce qui concerne Koudougou et Dédougou.

Les animatrices sont au nombre de deux pour Ouagadougou et une par centre pour Koudougou et Dédougou.

Les maçons de la M.F.A. ont été formés par le premier maçon. La formation dure environ 2 à 3 semaines et a lieu dans les centres de démonstration puis sur le terrain dans les familles.

Avant d'être détaché pour assurer la construction, celui qui a été formé doit construire un certain nombre de foyers sous la supervision du formateur.

Notons que pour faciliter l'assimilation des méthodes de construction, les personnes recrutées pour la formation doivent avoir des notions en maçonnerie.

Au mois de mai 1982, une phase test de formation de maçons a été entreprise en milieu rural, dans la région de Gonsé (30 km à l'est de Ouagadougou). Pour cela, dix (10) villages aux alentours de Gonsé ont été retenus. Chaque groupement villageois a choisi deux stagiaires pour suivre la formation. Toutes les personnes retenues se sont retrouvées à Gonsé pour l'apprentissage de la construction des F.A. La formation qui a duré une semaine a été assurée par les constructeurs du projet venus de Ouagadougou.

Après ces journées de formation, chaque formateur a suivi un certain nombre de maçons dans leur village, afin qu'ils réalisent des foyers sous sa supervision, avec la participation des populations. Lors de la formation, les villageois ont appris la construction des foyers en banco avec crépissage en ciment.

La M.F.A. a également assuré la formation de constructeurs envoyés par des organisations non gouvernementales (ONG) et des groupements villageois.

Les animatrices s'occupent de la sensibilisation dans les familles possédant ou non des F.A. Elles assurent le suivi des foyers construits et sensibilisent les utilisatrices à leur entretien. Après la construction du foyer, l'animatrice assiste au premier allumage afin de montrer à la ménagère comment utiliser le foyer. Trois mois après, elle repasse pour s'assurer que l'utilisatrice ne rencontre pas de problèmes et s'il y a des défauts elle les corrige.

La formation des animatrices consiste à leur montrer :

- l'utilisation du foyer
- l'entretien du foyer
- comment effectuer le suivi
- les méthodes de sensibilisation et d'animation.

Durant la première semaine de formation, l'animatrice reste au centre de démonstration pour apprendre à utiliser le foyer. Les semaines qui suivent elle visite les foyers dans les familles et elle corrige les erreurs des ménagères. Elle se déplace avec les maçons pour assister aux réparations.

### 2.1.3. Vulgarisation

#### 2.1.3.1. Méthode de diffusion

##### a) en milieu urbain

Dans les villes la méthode de diffusion adoptée est celle des petits ateliers commerciaux avec des équipes mobiles qui se déplacent dans les familles pour l'installation du foyer. L'équipe se rend en véhicule dans la famille avec tous les matériaux nécessaires à la construction.

Les foyers qui sont complètement en dur sont livrés au prix de 5.500 FCFA pour les foyers à 3 trous et 2 entrées et à 4.500 FCFA pour les foyers à 2 trous. Il est à noter que ces prix sont fortement subventionnés, car les prix de revient sont nettement plus élevés

Depuis le mois de janvier 1983, on procède à la réduction des quantités de matériaux afin de diminuer les coûts de revient, plutôt que d'augmenter les prix de vente du foyer.

Actuellement le projet enregistre plusieurs demandes de la part de la population. Compte tenu du nombre réduit de constructeurs, l'attente pour l'obtention d'un F.A peut durer 2 semaines.

../..



b) en milieu rural

A Gonsé, la construction des foyers est assurée par les maçons formés. Dans son village, le maçon construit des foyers pour ceux qui en font la demande. La famille fournit les matériaux nécessaires à la construction, le prix de l'installation est laissé à l'appréciation du constructeur.

2.1.3.2. Nombre de foyers construits

a) en milieu urbain

Pour le nombre de foyers construits, nous donnons ici les chiffres de Ouagadougou et de Koudougou. (Pour Dédougou voir la partie AFVN) ; les chiffres des deux premières années sont des estimations car au début du projet on n'enregistrait que les foyers qui avaient été payés.

Notons que le règlement de la facture se fait après l'installation du foyer.

Années	Atelier Ouagadougou	Atelier Koudougou	Total
1979	20	-	20
1980	400	-	400
1981	800	160	960
1982	400	80	480
Total	1.620	240	1.860

Pour 1979, les travaux de construction ont effectivement commencé vers la fin du dernier trimestre. La baisse en 1982 par rapport à 1981 est due à un certain nombre de problèmes :

../..

- rupture dans l'approvisionnement en matériaux de construction (ciment, briques cuites etc...) ;
- compression de personnel au niveau du projet, ce qui a ramené le nombre d'équipes de 4 à 2.
- extension du programme dans les villages par les constructeurs de Ouagadougou.

b) en milieu rural

Pour les villages de Gonsé, du mois de mai au mois de décembre 1982, il n'y a eu qu'un seul foyer construit après la formation. Les raisons de cet état de fait sont diverses :

- après la formation, les villageois ont enchaîné avec les activités agricoles ;
- compte tenu de la saison l'obtention des briques en banco a posé des problèmes ;
- le ciment est un matériau que l'on ne trouve pas facilement dans les villages ;
- dans certains villages, en plus des problèmes précédents, il y a les contraintes coutumières qui veulent que toute activité de construction soit suspendue à certaines périodes de l'année.

Des 20 maçons formés, deux ont émigré en ville. Au mois de janvier 1983 un stage de recyclage a été organisé à Gonsé pour les 18 autres maçons.

2.1.4. Problèmes rencontrés

Le projet enregistre des plaintes en ce qui concerne le fonctionnement des foyers ; entre autre on peut citer le fait que :

- le feu prend très lentement ;
- la deuxième marmite ne chauffe pas bien ;
- la cheminée se bouche, ce qui peut amener l'abandon du foyer ;

../..

- les constructeurs sont parfois obligés de percer la toiture pour faire passer la cheminée, ce qui cause des problèmes de nettoyage. En plus en saison pluvieuse, des gouttes d'eau peuvent rentrer par la cheminée, entraînant ainsi un mauvais fonctionnement du foyer

Pour parer aux problèmes inévitables dans le cas d'une nouvelle technologie, un système de suivi a été mis en place, suivi qui est fait par les animatrices. Il est également demandé aux utilisatrices de passer au centre de démonstration si elles rencontrent des problèmes.

#### 2.1.5. Perspectives

Pour les programmes à venir le projet compte entreprendre l'extension de la diffusion des F.A. appropriés à Ouagadougou, en collaboration avec les entrepreneurs privés.

L'accent sera mis sur l'organisation et l'équipement des centres existants, afin qu'ils puissent donner satisfaction aux populations.

On procèdera à la formation de maçons et d'animatrices villageois dans les départements du Centre, Centre-Ouest et Volta-Noire.

Il y aura création de centres sous-régionaux qui serviront en priorité les zones rurales pour tenter de vulgariser des foyers en banco à des prix abordables. Ces centres seront créés dans les départements du Centre et du Centre-Ouest.

Pour les villages, la sensibilisation se fera avec les images du Groupe de Recherche et d'Appui pour l'Auto-Promotion Paysanne (GRAAP).

#### 2.2. Le Projet A.I.D.R. (Association Internationale pour le Développement Rural)

L'A.I.D.R., qui est une O.N.G. a débuté ces activités foyers améliorés en Haute-Volta au mois de mai 1980. En plus de la vulgarisation des F.A., l'A.I.D.R. s'occupe de la fabrication des pierres à lécher (Kaya) et a installé quelques cuves de biogaz.

L'A.I.D.R. n'intervient qu'en milieu urbain en ce qui concerne la vulgarisation des F.A. Les zones d'intervention sont :

- Ouagadougou avec deux ateliers dans les quartiers Dapoya et Zogona.
- Bobo-Dioulasso avec un seul atelier.

L'A.I.D.R. vulgarise le modèle Kaya à deux ou trois trous avec une seule entrée.

#### 2.2.1. Personnel et Formation

Comme personnel, l'A.I.D.R. emploie actuellement :

- 6 maçons (4 pour les deux ateliers de Ouagadougou, et 2 pour l'atelier de Bobo-Dioulasso).
- 2 animatrices pour les ateliers de Ouagadougou. En ce qui concerne Bobo-Dioulasso, le projet bénéficie de la collaboration de la responsable du service de la promotion féminine.

Le premier maçon de l'A.I.D.R. a été formé à Kaya. C'est lui qui par la suite a assuré la formation des autres. Avant d'être indépendants, ils doivent suivre le maçon formateur pendant deux semaines pour apprendre à réaliser les foyers.

Notons que les personnes recrutées doivent avoir au préalable des notions en maçonnerie.

L'A.I.D.R. a également assuré la formation de maçons envoyés par quelques O.N.G. travaillant en Haute-Volta et en Côte d'Ivoire. La première animatrice du projet a été formée à Kaya. Le rôle des maçons et des animatrices est le même que pour le projet de la M.F.A.

#### 2.2.2. Vulgarisation

Depuis sa date de fonctionnement au mois de mai 1980 et jusqu'à la fin de l'année 1982, l'A.I.D.R. a construit le nombre de foyers suivant :



Années	Atelier Ouaga	Atelier Bobo	Total
1980	379	89	468
1981	733	286	1.019
1982	671	282	953
Total	1.763	657	2.440

Un foyer A.I.D.R. 2 trous est vendu au consommateur au prix de 4.000 FCFA, celui à 3 trous est livré à 5.000 FCFA. Comme moyen de déplacement assurant le transport des équipes et des matériaux dans les familles, l'A.I.D.R. utilise pour les ateliers de Ouagadougou un véhicule 404 bâché. Pour l'atelier de Bobo-Dioulasso, elle emploie des mobylettes Camico qui tractent des charrettes légères. Le mode de diffusion est le même que celui de la M.F.A.

L'A.I.D.R. enregistre plusieurs demandes de la part de la population. Ces demandes sont élevées pour les foyers à 3 trous. Ce projet reçoit des plaintes de la part des ménagères. Les problèmes rencontrés sont du même ordre que ceux de la M.F.A.

### 2.3. Les foyers Titao

Titao est une localité située dans le nord de la Haute-Volta, à 45 km de Ouahigouya en bordure de la route Ouahigouya-Djibo.

Les activités d'amélioration des foyers à bois ont commencé en 1979 dans cette localité avec un volontaire du Corps de la Paix américain qui travaillait en collaboration avec un instituteur.

#### 2.3.1. Historique du foyer Titao

Au commencement, plusieurs recherches ont été faites pour déterminer les meilleurs matériaux à utiliser (banco, argile, sable etc...)

Ces tests ont donné de mauvais résultats car les foyers construits n'étaient pas résistants.

Compte tenu de l'importance de la poterie dans la région, ils ont pensé à travailler avec les potières. C'est ainsi qu'ils sont arrivés à mettre au point une dalle en terre cuite à deux trous. Cette dalle est montée sur des briques de soubassement en banco. Cette forme de dalle présentait des fissures à la suite de l'utilisation. Ces fissures étaient difficiles à réparer et pouvaient entraîner l'abandon du foyer. Pour éviter cet état de fait, actuellement les trous des marmites sont délimités par des anneaux en terre cuite.

La caractéristique principale du foyer Titao est qu'il est complètement réalisé en matériaux locaux : briques de soubassement et de cheminée en banco, anneaux en terre cuite, crépissage en banco.

Après le départ du volontaire du Corps de la Paix américain, les activités F.A. à Titao ont continué avec les Volontaires Français du Progrès. Pour assurer la vulgarisation, ces volontaires ont recruté un jeune à Titao à qui ils ont appris à construire les foyers.

#### 2.3.2. Sensibilisation, formation et vulgarisation

Pour assurer la vulgarisation des foyers Titao, les responsables procèdent par des réunions de sensibilisation dans les villages. Les réunions sont organisées avec la collaboration des agents d'ORD. Après cette séance de sensibilisation, on attend que les villageois viennent manifester le désir de posséder des F.A.

Suite à la demande faite par les populations, l'équipe de Titao (une Volontaire Française du Progrès, et un maçon) se déplace dans le village pour assurer la construction de foyers de démonstration. En même temps, elle forme un maçon pour le village.

../..

Notons qu'il n'y a pas de construction de foyers gratuitement pour une famille ou un village. Ceux pour qui le foyer est construit doivent payer les anneaux au prix de 350 à 400 FCFA et rémunérer le constructeur à 300 FCFA, ce qui donne un prix de 650 à 700 FCFA. On estime que depuis le début de la vulgarisation et jusqu'au mois d'octobre 1982, le nombre de foyers construits est environ de 100.

### 2.3.3. Problèmes rencontrés

Le personnel assurant la vulgarisation des foyers Titao étant très restreint, et compte tenu du fait qu'il n'y a aucun financement pour permettre de prendre en charge un certain nombre de personnes, il n'existe aucun dispositif de suivi. A cause de ce manque de suivi, on constate que certaines ménagères abandonnent le foyer soit parce qu'elles ne savent pas s'en servir, soit par suite des fissures.

Les anneaux étant en terre cuite, il est indispensable que la potière les réalise en respectant les dimensions de la marmite si non on peut constater une fuite de fumée au niveau de la première marmite ce qui ne permet pas de bien chauffer la seconde. Certains anneaux ont un diamètre très petit ce qui ne donne pas une grande surface de contact entre la marmite et les flammes.

Notons que les foyers Titao sont également vulgarisés dans les régions de Séguénéga, Tikaré (département du Centre Nord), dans certains villages du département de la Volta-Noire par les Volontaires Français du Progrès.

### 2.4 Les unités départementales de vulgarisation des foyers améliorés

Depuis un certain temps, plusieurs organismes interviennent dans différents départements du pays, dans le cadre de la promotion du monde rural.

.../...

Certains d'entre eux assurent la vulgarisation des F.A. C'est ainsi que dans certains départements, plusieurs organisations interviennent chacun à sa façon pour assurer la diffusion des F.A. On aboutit quelquefois à des situations qui tendent vers l'anarchie, ce qui n'est pas de nature à faciliter l'adoption des F.A. par les populations concernées. Le but recherché par la diffusion des foyers améliorés étant le même, le Service Foyer Amélioré du Ministère des Transports, de l'Environnement et du Tourisme, a proposé la création dans les différents départements du pays d'Unités départementales de Vulgarisation des F.A.

La création de l'unité départementale a pour but de conjuguer les efforts afin d'assurer une vulgarisation cohérente des F.A. L'organisation et la composition de l'unité départementale sont définies comme suit ; L'unité qui relève administrativement de l'inspection forestière est autonome du point de vue gestion, et son budget est distinct de celui de l'inspection. Elle se compose :

- du chef de l'inspection forestière, qui doit veiller à la bonne marche de l'unité ;
- d'un responsable de la cellule d'exécution à qui incombe la tâche de fournir un rapport mensuel d'activités des différentes équipes ; il collabore avec tous les organismes du département oeuvrant pour l'amélioration des conditions socio-économiques des populations. Il veille au bon déroulement des activités quotidiennes du programme établi ;
- des représentants des structures nationales intéressées (ORD, Affaires Sociales etc...) ;
- des représentants d'organismes non gouvernementaux ;
- du personnel assurant la diffusion. Ce personnel est réparti en équipes composées d'animateurs/constructeurs et d'animatrices/constructrices.

Les animateurs/constructeurs sont chargés de la sensibilisation tant en milieu rural qu'urbain. Ils assurent également la formation des populations intéressées.



Les animatrices/constructrices assurent également la sensibilisation des populations et la formation des groupes de femmes aidées par l'animateur/constructeur. Elles ont aussi pour rôle de faire une démonstration pratique de l'allumage du feu, de l'utilisation et de l'entretien du foyer.

Dans les départements où il y a des projets relevant directement de l'inspection forestière, l'homologue expatrié assistant du projet assistera le chef de l'inspection pour la bonne marche de l'unité départementale.

Notons que l'unité est une structure souple ce qui donne la possibilité à d'autres partenaires intéressés de se joindre au programme.

#### 2.4.1. L'Amélioration des Foyers à la Volta-Noire (AFVN)

C'est la structure départementale de vulgarisation des F.A. dans le département de la Volta-Noire. Avant la mise en place de cette unité, on notait depuis février 1982 l'intervention du "Projet Bois de Village" financement Néerlandais, du projet de la M.F.A. et de certains volontaires travaillant dans le cadre du développement rural.

##### 2.4.1.1 Les activités du Projet Bois de Village

En plus des actions de reboisement villageois, le Projet Bois de village s'est fixé comme objectif la réduction de la consommation de bois de chauffe par la vulgarisation des F.A. dans les villages. Pour assurer cette action, le projet a recruté un agent constructeur/formateur pour la diffusion.

##### a) Sensibilisation

Avant l'installation des foyers dans le village, on procède à des séances de sensibilisation.

Cette sensibilisation se fait par l'agent du projet chargé de la diffusion en collaboration avec les agents forestiers, les encadrateurs et les animatrices de l'ORD. Elle est faite avec les figurines du GRAAP traitant du thème : "Les changements dans notre environnement".

Ces figurines montrent d'abord l'environnement d'autrefois, ensuite celui d'aujourd'hui, expliquent les causes de la dégradation du milieu et les possibilités de sa reconstitution.

Dans le cadre de la sensibilisation, des diapositives ont été mises au point par la cellule audio-visuelle de l'ORD. Les images comparent les avantages et les inconvénients du F.A. et du foyer traditionnel.

#### b) Formation

Après les séances de sensibilisation, l'agent du projet chargé de la vulgarisation des F.A. procède à la formation d'un maçon par village. Ce maçon est choisi par les villageois et il suit l'agent du projet lors de la construction des foyers de démonstration dans le village. Ces foyers de démonstration sont au nombre de 3 à 4 par village et d'un foyer pour dolo dans les villages où la préparation de cette boisson est répandue.

L'agent de projet construit les 2 ou 3 premiers foyers et le maçon villageois observe. Ce dernier construit le dernier foyer du village sous la supervision du formateur.

Après sa formation, le maçon villageois reçoit un crédit composé d'un sac de ciment, d'une barre de fer de 8, ce qui doit lui permettre de construire 4 foyers pour les familles qui en font la demande. Ces 4 foyers construits, il reçoit une somme de 600 FCFA comme prime d'encouragement.

Le modèle de foyer vulgarisé est le modèle Kaya construit avec des briques de soubassement en banco crépies et une dalle en béton armé. Ce type de foyer est vendu au prix de 1.300 FCFA.

Cette méthode de formation n'a pas connu le succès escompté car certains maçons formés ont quitté leur village ; de plus le ciment et le fer sont difficiles à trouver dans les villages, et le crédit accordé n'a pas toujours été remboursé.

c) Vulgarisation

De février 1981 à février 1983, le nombre de foyers construits s'élève à :

- foyers pour cuisine : 33
- foyers pour dolo : 3

Cela représente uniquement le nombre de foyers construits dans les villages. Dans ces mêmes villages, il y a eu la formation de 15 maçons.

Compte tenu de l'importance de la poterie dans la région, le projet a commencé à travailler en collaboration avec certaines potières pour la fabrication de foyers à 2 trous. Cette pratique est en phase expérimentale et pourrait connaître un développement appréciable.

2.4.1.2. Les activités du projet de la M.F.A.

Ce projet a débuté en 1981 et avait pour objectif la vulgarisation des F.A. dans la ville de Dédougou. Il emploie comme personnel un maçon et une animatrice. Il n'a pas connu le succès attendu car les populations ne s'y sont pas beaucoup intéressées. Après une année d'activité, il n'a pu construire que 40 foyers environ. Les raisons profondes de cet état de fait sont mal connues.

2.4.1.3. Création et activités de l'unité départementale

Pour assurer une vulgarisation plus soutenue, le projet de la M.F.A. et le Projet Bois de Village financement Néerlandais ont décidé de mettre en commun leurs efforts.

Ils ont invité les autres organismes travaillant dans le département pour la promotion du monde rural à se joindre à eux. C'est ainsi que furent posées les bases de l'AFVN.

Comme méthode de sensibilisation, l'AFVN utilisera pour les campagnes à venir les séries d'images portant sur le thème : "Sensibilisation pour une meilleure utilisation du bois de chauffe" ; cette série élaborée par les différents projets F.A. en collaboration avec le GRAAP traite des difficultés rencontrées pour l'approvisionnement en bois de chauffe, des conditions de la femme lors de la préparation des repas sur le foyer traditionnel, des risques que présentent ce type de foyer (brûlures, incendies...) des améliorations qui étaient déjà faites sur certains foyers traditionnels. Enfin, elle aborde le F.A. avec ses avantages ; elle montre comment l'utiliser et l'entretenir.

Pour ce qui est de la formation, on procèdera à la formation de plusieurs maçons par village, et on leur apprendra la construction de foyers en banco.

Pour la campagne écoulée (1982), l'AFVN a construit 107 foyers dont 47 en milieu rural.

#### 2.4.2. L'Amélioration des Foyers au Centre-Nord (AFCN)

C'est la structure départementale de vulgarisation des F.A. au Centre-Nord (Kaya). Avant sa création, on notait déjà dans le département l'intervention de l'entreprise "Fourneau Moderne de Kaya" (FMK) et celle du "Projet Bois de Village" (financement Néerlandais). Le modèle de foyer vulgarisé par ces deux organismes est le modèle Kaya.

../..



#### 2.4.2.1. Historique du foyer Kaya

Les travaux de recherche sur les F.A. ont commencé en 1979 avec Mr Jonathan Hooper, volontaire du Corps de la Paix Américain travaillant dans la région de Kaya. Il a mené des travaux de recherche avec ses propres moyens dans la cour de l'inspection forestière. Il est arrivé à mettre au point un type de foyer fermé avec deux trous pour les marmites, une porte d'entrée de bois, une chambre de combustion et une cheminée. Tous ces éléments se trouvent sur le même axe. Il donna le nom Kaya à ce type de foyer pour l'avoir conçu dans cette ville.

Par la suite, il a orienté ses recherches sur la résistance des matériaux. C'est ainsi qu'il a eu à construire des foyers avec un mélange de sable-argile, de sable-argile-ciment, et des foyers entièrement en dur. C'est cette dernière forme qui a été retenue jusqu'à ces dernières années. La raison profonde de l'adoption du foyer en dur est que les commandes étaient faites par les fonctionnaires. Ces derniers avaient une préférence pour le ciment qu'ils trouvaient plus durable et plus esthétique.

Au début, le foyer Kaya était préfabriqué. La dalle était confectionnée dans l'atelier et transportée ensuite avec les briques au lieu de l'installation pour être montée. La porte était faite d'un cadre métallique de forme rectangulaire.

Cette méthode d'installation des foyers comportait certains inconvénients :

- le transport des dalles et des autres matériaux était difficile ;
- le foyer après installation ne constituait pas un ensemble homogène car la dalle ne collait pas bien aux briques.

Aussi les vulgarisateurs ont ils décidé de construire désormais le foyer sur place. L'utilisation de l'encadrement métallique a également été abandonnée parce qu'il se détachait.

../..

#### 2.4.2.2. Création de l'entreprise FMK

Au mois d'août 1980, un atelier (entreprise FMK) a été construit dans la pépinière de l'inspection forestière, et deux voltaïques ont été engagés pour assurer la vulgarisation des foyers et continuer les recherches pour la mise au point de prototypes à vulgariser.

Dépuis sa création et jusqu'à la fin de l'année 1981, l'entreprise FMK a pu réaliser environ 200 foyers dans la ville de Kaya et dans certains villages. Les foyers réalisés dans les villages sont des foyers de démonstration commandés par le projet Bois de Village. Ils sont souvent en banco.

Les constructions dans la ville sont faites sur demande. Au début les foyers étaient livrés aux ménages au prix de 1.500 FCFA puis par la suite à 3.500 FCFA. En plus des foyers pour cuisine, FMK a construit des foyers pour dolo vendus au prix de 20.000 FCFA

Pour la sensibilisation, l'entreprise FMK utilisait des affiches publicitaires. Elle avait également construit un foyer au marché de Kaya.

#### 2.4.2.3. Les activités du projet "Bois de Village"

Pour soutenir ses efforts en matière de reconstitution du couvert végétal, le projet "Bois de Village" financement Néerlandais a décidé à partir de 1981 d'entreprendre une phase expérimentale de diffusion des F.A. dans le département du Centre-Nord. Pour cela, le projet a recruté un agent qui devait s'occuper de la sensibilisation et de la vulgarisation.

L'action du projet concernait seulement les villages. C'est ainsi que pour cette phase expérimentale, 20 villages avaient été retenus.

##### a) Sensibilisation

L'introduction des foyers dans un village était précédée d'une séance de sensibilisation.

Les journées de sensibilisation étaient animées par l'agent du projet qui faisait réunir les villageois (hommes, femmes et enfants) à un endroit qu'ils avaient choisi librement.

La méthode de sensibilisation consistait en une causerie appuyée par une présentation d'images. Une première série d'images montre les changements intervenus dans l'environnement ; une deuxième série concerne l'utilisation du foyer traditionnel avec tous ses inconvénients, enfin une troisième série d'images est consacrée aux F.A. Ces images sont largement commentées afin de bien présenter les avantages du F.A.

Quelques jours après la séance de sensibilisation, on procédait à l'installation des foyers dans le village. Le lieu de l'installation était laissé au libre choix des villageois. Chaque village recevait deux foyers en dur, deux en banco et un foyer pour dolo. C'est ainsi qu'en 1981, 49 foyers pour cuisine et 7 foyers dolo ont été installés dans 23 villages

#### b) Formation

Quelques jours après la séance de sensibilisation, on procédait à la formation des villageois. Chaque village choisit 10 personnes qui au cours d'une formation apprennent à construire le modèle en banco (mélange sable-argile). Après sa construction, le foyer est crépi au ciment.

Suite à la séance de formation, le projet donnait à chaque village le matériel suivant :

- un moule formé de 4 planches
- un moule spécial pour les briques de cheminée
- deux truelles (une petite et une grande)
- un mètre maçon
- un sac de ciment.

Avec ce matériel, les villageois devaient pouvoir construire des foyers pour les familles qui en feraient la demande. Après installation du foyer dans une famille, les constructeurs récupéraient une somme allant de 400 à 500 FCFA. Cette somme devait constituer un fond de roulement qui permettrait d'acheter le ciment et de continuer les travaux.

Cette méthode de formation des villageois ne s'est pas avérée très concluante car après les séances de formation on a pu constater une certaine réticence de la part des villageois à assurer la vulgarisation des F.A. Le nombre de foyers construits était très faible par rapport au nombre de maçons formés.

#### 2.4.2.4. Création et activités de l'AFCN

Afin de conjuguer les efforts et assurer une bonne vulgarisation des F.A. aussi bien dans les villages que dans la ville de Kaya, le projet "Bois de Village" et l'entreprise FMK ont fusionné depuis janvier 1982. Avec eux, ils ont réuni l'ORD, le PPIK (Plan de Parainage International de Kaya), l'ADRK (Association pour le Développement de la Région de Kaya) et d'autres organismes travaillant dans le cadre de la promotion du monde rural. C'est de ces différentes réunions qu'est née l'A.F.C.N.

L'A.F.C.N. emploie actuellement 12 personnes dont 5 constructeurs, 4 animatrices, une volontaire du Progrès Français, un volontaire et une volontaire du Corps de la Paix américain.

Pour l'organisation du travail, ce personnel est réparti en équipes. Chaque équipe est composée de deux animateurs/constructeurs et de deux animatrices/constructrices.

Chaque équipe doit se déplacer dans le village et y rester pendant une semaine pour assurer la sensibilisation et la formation des villageois. Auparavant, une enquête aura permis de savoir dans quelle mesure l'eau et les différents matériaux de construction du foyer sont disponibles dans le village intéressé.

Le premier jour de la semaine est réservé à la sensibilisation. Celle-ci est faite à l'aide des images du GRAAP. Les autres jours sont consacrés à la construction des foyers. Les villageois se répartissent en groupes et chaque constructeur assure la formation d'un groupe.



Les animatrices/constructrices assurent la formation du groupe des femmes. A la fin des constructions, les animatrices montrent aux femmes comment utiliser le foyer et l'entretenir.

Le prix du foyer est de 500 FCA. Les familles dans lesquelles on installe les foyers de démonstration payent une somme de 250 FCFA, le projet supporte l'autre moitié. Notons qu'il s'agit de foyers en banco avec un crépissage en ciment.

Une évaluation faite à la fin de la campagne 1982 a montré que pour 20 villages et la ville de Kaya, il a été installée 650 foyers dont 175 réalisés par les villageois eux-mêmes après leur formation.

Les activités ne se limitent pas seulement aux volets sensibilisation et formation. Etant donné que l'efficacité du F.A. dépend aussi de son utilisation, on a inclu un volet suivi. C'est ainsi que quelques temps (environ une semaine) après l'installation du foyer, une animatrice repasse dans le village pour assister au premier allumage. Un mois après, elle revient dans le même village afin de s'assurer du fonctionnement du foyer et recueillir les impressions des ménagères et des villageois.

Pour cela une fiche de suivi a été établie. Ce suivi dans les villages a permis de ce rendre compte que sur 650 foyers construits 98 étaient endommagés (cassure de la cheminée, élargissement des trous des marmites, de la porte...) et 110 n'étaient pas utilisés. Les raisons principales de cette non utilisation sont que :

- les foyers sont complètement endommagés,
- la ménagère n'a pas assimilé les consignes pour l'utilisation et l'entretien du foyer. Cette dernière lacune est vite corrigée par l'animatrice.

A ces différents problèmes, s'ajoute un autre engendré par l'utilisation des tiges de mil en milieu rural. Les cendres issues de la combustion de ces tiges obstruent le trou de la première brique de cheminée et la chambre de combustion.

Pour la campagne 1983, la sensibilisation et la formation ne se feront plus dans la même semaine.

Les mois de janvier et de février 1983 ont été consacrés à la sensibilisation. Les formateurs et les animatrices sont répartis dans les villages pour assurer la sensibilisation avec les figurines du GRAAP. Parmi les villages sensibilisés, on choisira de former ceux qui sont les plus motivés. On attendra que les populations viennent elles-mêmes manifester leur désir de posséder des F.A.

Pour une plus grande efficacité des activités de la campagne 1983, l'AFCN a organisé au mois d'octobre 1982 une session de formation qui a regroupé tous les constructeurs/formateurs, les animatrices, les Volontaires français du Progrès et du Corps de la Paix américain. Au cours de cette session de formation on a enseigné aux participants :

- des méthodes pour s'intégrer en milieu rural et comment organiser et mener une séance de sensibilisation ;
- comment déterminer les bons matériaux pour un foyer et le bon dosage de ces matériaux ;
- les méthodes d'utilisation correcte d'un foyer et les techniques d'entretien ;
- la construction des foyers en banco et en dur.

## 2.5. Les structures nationales de vulgarisation

### 2.5.1. La commission technique interministérielle

La diffusion des F.A. ne pourra connaître un succès que s'il y a une volonté affirmée de la part de tous ceux qui sont intéressés d'apporter leur contribution à l'édification d'un système national cohérent.

../..

C'est pour atteindre ce but qu'a été créée au sein du Ministère des Transports de l'Environnement et du Tourisme une commission Technique Interministérielle. Elle est composée :

- d'un représentant du Ministère des Transports, de l'Environnement et du Tourisme ;
- d'un représentant du Ministère du Travail et de la Fonction Publique ;
- d'un représentant du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique ;
- d'un représentant du Ministère des Affaires Sociales ;
- d'un représentant du Ministère de l'Information des Postes et Télécommunications.

Cette commission est chargée de l'étude de la construction et de la diffusion des F.A. Elle a pour rôle de superviser, coordonner, orienter les actions des projets sur les F.A. au niveau des différents ministères concernés. Elle a pour organe d'exécution le service Foyer Amélioré du Ministère des Transports de l'Environnement et du Tourisme et doit se réunir au moins deux fois par an.

#### 2.5.2. Le service F.A.

Le service Foyer Amélioré créé au sein du Ministère des Transports de l'Environnement et du Tourisme est chargé de la coordination des différentes actions intéressant l'utilisation du bois de feu et exécutées dans le cadre des divers projets relevant du Ministère des Transports de l'Environnement et du Tourisme. Il est en outre chargé d'établir des relations étroites avec tous les autres projets de cuisinières améliorées en activité en Haute-Volta, en vue de mettre sur pied un programme national de promotion et de diffusion des F.A. Il travaille également en étroite collaboration avec les unités départementales.

### Conclusion

En plus des différents projets décrits ci-dessus, il faut ajouter les activités individuelles menées à travers le pays par les volontaires du Corps de la Paix américain, les Volontaires Français du Progrès et la Fondation du Développement Communautaire à Dori. Il faut également noter l'intervention du Bureau de la Fédération des Eglises et Missions Evangéliques en Haute-Volta qui a formé un maçon pour assurer la vulgarisation des F.A. à Nagbangré. Il y a également les scouts de Haute-Volta et certains particuliers. La liste n'est pas exhaustive. La mise en place des structures départementales doit permettre de recenser toutes les activités F.A. dans une région afin de mieux les coordonner.

Depuis le début de la vulgarisation des F.A. jusqu'à la fin de l'année 1982, le nombre total des foyers construits peut être estimé à 5345 (cf. tableau 4). Au vu de ces chiffres, on s'aperçoit de la nécessité d'intensifier les différentes activités afin de toucher le plus grand nombre de familles et cela dans les meilleurs délais.

Les principaux problèmes rencontrés lors de la diffusion des F.A. sont :

a) en milieu urbain

- l'information et la sensibilisation souvent insuffisantes
- le prix de vente qui varie de 4.000 à 5.000 FCFA ne permet pas à un grand nombre de familles de se procurer les F.A.
- le nombre réduit de constructeurs dans les différents ateliers
- les ruptures dans l'approvisionnement en matériaux de construction.

b) en milieu rural :

- le manque d'information et de sensibilisation



Tableau n° 4

Années	MFA			AIDR			Proj. Bois village			Titao	Total
	Ouaga	Koudougou	Dédougou	Ouaga	Bobo	Kaya	Dédougou				
1979	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
1980	400	-	-	379	89	-	-	-	-	-	868
1981	800	160	40	733	286	49	33	~ 50			2151
1982	400	80	66	671	282	650	107	~ 50			2306
Total	1620	240	106	1783	657	699	140	~ 100			5345

- le prix du foyer qui varie de 500 à 1.500 FCFA
- le manque de volonté de ceux qui sont formés pour assurer la vulgarisation des F.A. et leur formation souvent insuffisante.
- le ciment est un matériau très difficile à trouver dans certains villages.

Avant d'entreprendre une vulgarisation beaucoup plus large, il est nécessaire de :

1. Mettre au point des foyers performants, résistants, faciles à réaliser et utilisant au maximum des matériaux locaux : c'est l'objectif que s'est fixé l'Institut Voltaïque de l'Energie.
2. sensibiliser les populations :  
en matière de sensibilisation, des efforts particuliers doivent être déployés afin que les populations puissent être informées des problèmes généraux causés par le déboisement, et de l'existence des F.A. qui leur permettront d'économiser le bois. Pour cela, on doit intensifier dans un premier temps les émissions radio-diffusées par le biais des radio-clubs et des émissions féminines.

De plus l'utilisation de la méthode GRAAP pour la sensibilisation peut connaître un succès appréciable, cela compte tenu du fait que la première série "les changements dans notre environnement" a contribué à conscientiser dans quelques régions les populations rurales sur les problèmes de l'environnement. La série sur les F.A. apparaît comme une autre solution (en plus du reboisement et de l'aménagement forestier) à la protection du patrimoine ligneux. Cette méthode est basée sur le principe de la responsabilisation et de la prise en charge de l'amélioration des conditions de vie des paysans par eux-mêmes.

Par un système de questionnaires, l'animateur incite les participants à dire eux-mêmes les problèmes qu'ils rencontrent, les causes de ces problèmes et les solutions pour y remédier.

L'utilisateur de la méthode GRAAP doit avoir un certain dynamisme afin de bien communiquer avec les populations. Il doit aussi avoir une bonne connaissance des F.A. pour pouvoir répondre aux questions qui lui seront posées. Il est aussi nécessaire que lors de l'utilisation des images, l'animateurs mette beaucoup l'accent sur la consommation de bois qui est la raison primordiale de l'adoption des F.A.

3. mettre au point des méthodes de diffusion larges :  
pour assurer la vulgarisation des F.A. une formation des constructeurs s'avère nécessaire. pour cela on doit rassembler tous les constructeurs (constructeurs des projets volontaires, particuliers.....) afin de leur apprendre les principes du F.A. et les former à la construction. A chaque agent formé on livrera une carte de constructeur qui lui permettra d'installer des F.A. dans les familles. Pour eux on organisera des stages périodiques de recyclage. La diffusion des F.A. pourra se faire notamment d'après les 3 modes suivants :

- l'auto-construction :

on formera ceux qui sont intéressés et ils assureront l'installation des foyers pour leur famille, leurs voisins et bien d'autres personnes. Cette pratique permettra à ceux qui n'ont pas les moyens financiers et désirant un foyer de pouvoir se le procurer. Pratique à encourager pour le milieu rural à condition de mettre en place un suivi suffisant et un modèle de F.A. assez simple et performant.

../..

- La diffusion par les petits ateliers commerciaux comme pratiquée actuellement dans les centres urbains. Dans ce cas, le constructeur peut amener les matériaux nécessaires à la construction dans la famille et installer le foyer, ou la famille peut rassembler les matériaux et solliciter les services du constructeur qu'elle remunerera. Cette dernière pratique est à envisager car même quand les projets prendront fin il faut que la diffusion des F.A. puisse continuer. La fin des projets entraînant l'arrêt des subventions. La recherche de moyens de déplacement moins coûteux est également à envisager.
- Les entreprises privées de production qui peuvent revêtir un aspect artisanal ou semi-industriel. Par cette méthode on produira des foyers qui seront pour la plupart transportables que l'on mettra sur le marché. Cette pratique est peut-être applicable en zone urbaine pour les foyers métalliques, et en zone rurale pour les foyers en terre cuite.

Dans les méthodes de diffusion tout doit être mis en oeuvre pour que par la suite l'installation des F.A. ne soit pas liée à l'existence d'un projet.

#### 4. D'assurer un suivi :

Le volet suivi est un élément très important dans la diffusion des F.A. Nous pensons que les foyers améliorés ne doivent pas être évalués en nombre de foyers construits mais en nombre de foyers réellement utilisés. Il est bon d'avoir un foyer amélioré mais on en tire vraiment profit que quand on sait l'utiliser. Les problèmes dus à la mauvaise utilisation ne seront résolus que par un suivi des ménagères après l'installation du foyer.

.../...



Il est donc nécessaire de mettre en place un système de suivi très adéquat aussi bien en milieu rural que urbain. Au niveau rural, les animatrices des projets doivent former des animatrices villageoises (choisies librement par les populations) que les femmes pourront consulter lorsqu'elles auront des problèmes avec leur foyer.

Afin d'assurer une vulgarisation beaucoup plus soutenue des F.A., les services compétents doivent travailler en collaboration avec les associations de jeunesse, les associations féminines, les groupements villageois... cela permettra de résoudre les problèmes de sensibilisation, de formation et de suivi.

//) EUXIEME

//) ARTIE

CARACTERISTIQUES DU BOIS ET TESTS EN ATELIER

-----

### Chapitre III

#### LE BOIS : PROPRIETES, COMBUSTION ET TRANSFERT DE CHALEUR

Avant d'aborder les principes de fonctionnement d'un foyer (traditionnel ou amélioré), nous commencerons par décrire les différentes propriétés du bois qui est le combustible le plus couramment utilisé et les modes de propagation de la chaleur.

##### 3.1 Composition chimique du bois

Le bois est formé de 3 catégories de constituants :  
les composés des parois de la cellule, les extraits et les cendres

##### 3.1.1. Les composés des parois de la cellule

Ce sont principalement la lignine, la cellulose et l'hemicellulose. Le taux de lignine varie de 25 à 40 %, celui des deux derniers de 40 à 60 %.

La cellulose est un polymère linéaire formé à partir de monomères de glucose. Elle contribue à la résistance du bois à la traction.

L'hemicellulose est un polymère à chaîne ramifiée formée à partir de monomères de pentosane tel que le xylose. Elle est associée à la paroi de la cellule.

../..

La lignine est un polymère relié aux macromolécules de cellulose. Elle est formée d'un grand nombre de cycles aromatiques. Elle assure la rigidité du bois.

### 3.1.2. Les extraits

Ils sont présents dans le bois en quantités variables de 4 à 15 %. Ce sont des produits issus de la cellule vivante à savoir : terpènes, résines, tannins...

### 3.1.3. Les cendres

Pour la plupart des bois, les cendres représentent 1 à 3 % de la masse totale du bois. Elles sont composées principalement de K, Ca, Na, Mg, Si, Fe, P...

L'analyse centésimale du bois en carbone, hydrogène, oxygène a permis d'aboutir à une formule brute moyenne valable pour la plupart des bois :



cette formule a été établie à partir des analyses élémentaires qui ont montré que d'une manière générale le bois contient :

50 % de carbone

44 % d'oxygène

6 % d'hydrogène.

## 3.2. Propriétés physiques du bois

### 3.2.1. Taux d'humidité

La teneur en humidité d'un bois influence la plupart de ses propriétés (dureté, pouvoir calorifique, conductibilité thermique...)

.../...



La méthode la plus courante pour déterminer le taux d'humidité d'un bois ( $H_s$ ) consiste à le peser et à le placer dans un four à une température de 105°C jusqu'à ce que son poids devienne constant.

$$H_s = \frac{\text{Poids bois humide} - \text{poids bois sec}}{\text{Poids du bois sec}} \times 100$$

$$H_s = \frac{\text{Poids de l'eau}}{\text{Poids du bois sec}} \times 100$$

### 3.2.2. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique d'un combustible mesure la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de poids (cas des combustibles solides et liquides) ou de l'unité de volume mesurée dans les conditions normales de température et de pression (cas des combustibles gazeux) du combustible considéré. Il convient de distinguer en général deux types de pouvoir calorifique :

a) le pouvoir calorifique supérieur (PCS)

Dans le cas où la vapeur d'eau provenant de l'humidité ou de la combustion du combustible est totalement condensée, on parle de pouvoir calorifique supérieur.

b) le pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Si l'eau provenant de l'humidité ou de la combustion du combustible est supposée rester à l'état de vapeur, on parle de pouvoir calorifique inférieur.

Il est à noter que la combustion du bois dans le foyer ne produit jamais une énergie égale au pouvoir calorifique du bois. Cela compte tenu du taux d'humidité du bois et de la combustion incomplète qui est toujours observée.

D'une manière générale, le pouvoir calorifique varie avec le taux d'humidité, ce qui nous conduit à la notion de pouvoir calorifique réel (PCR).

La formule de Boie permet d'exprimer le pouvoir calorifique réel de la manière suivante :

$$PCR = PCI \left( 1 - \frac{H_s}{100} \right) - \frac{H_s}{100} \times Q_r$$

$Q_r$  = énergie de vaporisation de l'eau (kJ/kg). Dans le cadre de notre étude, il nous a été possible de déterminer le pouvoir calorifique de quelques essences de bois collectés en Haute-Volta. Les analyses faites au laboratoire du TNO aux Pays-Bas ont donné les résultats suivants :

Espèces	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	18.800	17.375
<i>Detarium microcarpum</i>	20.350	19.000
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	19.750	18.325
<i>Butyrospermum parkii</i>	20.125	18.725

Nous avons eu aussi la possibilité de déterminer le pouvoir calorifique de l'*Eucalyptus camaldulensis* à l'aide de la bombe calorifique à oxygène (marque PARR) du laboratoire de physiologie animale de l'Institut Supérieur Polytechnique de l'Université de Ouagadougou.

Cette détermination nous a donné un pouvoir calorifique de 4325,25 kcal/kg soit 18105 kJ/kg.

Notons qu'il s'agit là du pouvoir calorifique inférieur car dans la bombe calorifique avant les mesures on a ajouté 2 ml d'eau. On a donc travaillé à vapeur saturante ce qui ne permet pas à l'eau provenant de la combustion de se condenser.

### 3.2.3. Conductibilité thermique du bois

La conductibilité thermique représente la quantité de chaleur échangée au travers de l'unité de surface et par unité de temps pour un gradient normal unitaire de 1°C par mètre de longueur. Elle s'exprime en W/mK ou en kcal/mh°C.

Le bois par sa structure est un mauvais conducteur de la chaleur. La présence d'humidité augmente la conductibilité thermique du bois.

La conductibilité du bois est beaucoup plus importante dans le sens longitudinal, que dans le sens transversal.

### 3.2.4. La densité

La densité varie suivant les espèces et pour une même espèce suivant les sols, également suivant la partie de l'arbre récoltée pour l'analyse.

$$D = \frac{\text{Poids sec}}{\text{Volume sec}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Notons qu'il ya pas de corrélation entre densité et pouvoir calorifique.(CTFT/197

### 3.3. Combustion du bois

La combustion consiste en la combinaison chimique d'éléments tels que le carbone, l'hydrogène et le soufre ou leurs composés avec l'oxygène.

Cette réaction est accompagnée d'un fort dégagement de chaleur : c'est une réaction exothermique.

Nous nous limiterons à la combustion du bois. Cette combustion s'effectue en plusieurs phases.

### 3.3.1. Phases de la combustion

#### a) Précombustion.

Elle a lieu entre 100 et 250°C. Elle est endothermique et peut être schématisée de la manière suivante :



Lors de cette phase, les particules de bois sont chauffées de la température ambiante à des températures pouvant atteindre 250°C. Il s'en suit l'échauffement puis le séchage du bois et la libération de certains produits.

Pour sécher du bois, il faut le chauffer avec son contenu en eau (4,2 kJ/kg°C) à 100°C puis vaporiser cette eau (2260 kJ/kg). L'énergie totale Q (kJ/kg) nécessaire pour sécher le bois vaut donc :

$$Q = P_O \times C_B \times (100 - T_B) + \frac{H_S}{100} \times 4,2 \times P_O \times (100 - T_B) + \frac{H_S}{100} \times P_O \times L$$

$P_O$  = poids du bois sec (kg)

$C_B$  = chaleur spécifique du bois sec (kJ/kg°C)

$T_B$  = température initiale du bois (°C)

$L$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau ( 2260 kJ/kg)

$H_S$  = taux d'humidité du bois (%)



#### b) Inflammation

Après la précombustion, vient la phase d'inflammation qui a lieu entre 250 et 500 °C. Elle est exothermique avec un dégagement gazeux rapide et peut être schématisée de la manière suivante :



Lorsque la température atteint une valeur nécessaire à la pyrolyse, les molécules de bois subissent un craquage thermique. C'est alors que commence les réactions en chaînes pour leur décomposition et la formation des gaz de combustion. Ce sont les petites molécules issues de la décomposition de la cellulose et de l'hemicellulose qui sont responsables de la formation des gaz.

Ces gaz ainsi libérés sont portés à incandescence et produisent la flamme. La flamme agit sur le morceau de bois et provoque la décomposition de la couche extérieure qu'elle enveloppe et lèche. Sous l'effet de la flamme les produits volatiles de décomposition se combinent à l'oxygène de l'air et brûlent. Il y a dégagement de chaleur qui accélère la décomposition du bois resté intact. En plus du dégagement des gaz de combustion, il y a formation du charbon de bois. Le charbon provient de la recondensation des grosses molécules issues de la décomposition de la cellulose et de l'hémicellulose, mais surtout de la lignine.

#### c) Incandescence du charbon de bois

C'est la dernière phase. Elle a lieu à des températures supérieures à 500°C. Elle est exothermique et peut être schématisée de la manière suivante :



../..

Elle s'effectue avec abandon de cendres. Elle débute au moment où le dégagement des gaz de combustion prend fin et où la flamme baisse et s'éteint à la surface. Le charbon se trouve alors en contact avec l'oxygène de l'air et devient incandescent.

Dans un feu réel, la distinction n'est pas nette entre ces différentes phases. Elles ont lieu presque simultanément à différents endroits du foyer.

Le bois est l'un des combustibles les plus riches en gaz. Sa combustion fournit 80 % de volatiles et 20 % de charbon. Les études faites sur les 4 espèces citées plus haut donnent les résultats suivants. Les résultats ont été obtenus au laboratoire du TNO (Pays-Bas).

Espèces	Matières volatiles (%)	Cendres(%)
<i>Ar.ogeissus leiocarpus</i>	84,9	3,3
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	88,5	0,5
<i>Detarium microcarpum</i>	80,1	2
<i>Butyrospermum parkii</i>	83,7	2

### 3.3 2. Facteurs influençant la combustion

La combustion du bois est influencée par différents facteurs :

#### a) Structure du bois

La structure du bois influence les phénomènes de combustion principalement au niveau du nombre et de la largeur des pores. Plus le volume des pores augmente plus l'inflammabilité augmente. Aussi les bois de faible diamètre brûlent beaucoup plus rapidement que ceux de gros diamètre.

b) Humidité du bois

Bien que la conductibilité thermique du bois à taux d'humidité élevé soit plus grande que celle du bois sec, ce dernier brûle beaucoup plus rapidement.

Ceci est dû au fait que l'énergie propagée à grande vitesse dans le cas du bois à taux d'humidité plus élevé est utilisée en grande partie pour le séchage, puis le reste pour l'inflammation. Par contre dans le cas du bois sec, cette même quantité sera utilisée en faible proportion pour le chauffage et le reste pour l'inflammation.

c) Excès d'air

L'oxygène est le carburant utilisé pour la combustion du bois. Cet oxygène provient en partie du bois, mais surtout de l'oxygène de l'air.

Si on ne fournit au combustible que le volume d'air strictement nécessaire pour assurer la combustion, on peut craindre que celle-ci ne soit incomplète car la structure du bois ne permet pas à l'air de passer entre les différentes molécules et faciliter la combustion des différents éléments. Cela conduit à une perte énergétique importante, donc à un gaspillage de combustible.

Afin d'obtenir une combustion complète, il est nécessaire d'introduire un excès d'air. Cet excès d'air doit être limité car s'il est très important, il réduit la température de la flamme au point de compromettre l'obtention d'une combustion complète. L'expérience a montré que le coefficient d'excès d'air doit être de 1,5 à 2. (Bussmann 1982).

La quantité d'air nécessaire pour obtenir une combustion stoechiométriquement complète d'un kilogramme de bois peut être calculée de la manière suivante connaissant le pourcentage des différents éléments du bois:

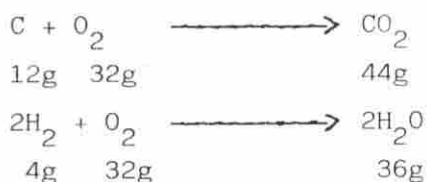
soit un kg de bois contenant :

50 % de carbone ce qui correspond à 500g

44 % d'oxygène ce qui correspond à 440 g

6 % d'hydrogène ce qui correspond à 60 g.

Réactions de combustion :



L'oxygène nécessaire pour la combustion du carbone

$$\frac{32}{12} \times 0,5 = 1,33 \text{ kg d'O}_2$$

l'oxygène nécessaire pour la combustion de l'hydrogène :

$$\frac{32}{4} \times 0,06 = 0,48 \text{ kg d'O}_2$$

un kg de bois contient 0,44 d'oxygène qui est aussi utilisé lors de la combustion.

La quantité totale d'oxygène nécessaire devant provenir de l'air est de :

$$1,33 + 0,48 - 0,44 = 1,37 \text{ kg d'O}_2/\text{kg de bois.}$$

Une mole occupe un volume de 22,4 l dans les conditions normales de température et de pression. Le volume de 1370 g d'O<sub>2</sub> correspond à :

$$\frac{1370 \times 22,4}{32} = 959 \text{ l soit environ } 0,96 \text{ m}^3 \text{ d'oxygène.}$$

La quantité d'air nécessaire pour obtenir ce volume d'oxygène sachant qu'un volume d'air contient 21 % d'oxygène

$$\frac{0,96}{0,21} = 4,6 \text{ m}^3 \text{ d'air.}$$

Notons que cette quantité d'air calculée n'est valable que pour l'air sec. Si l'air est humide il en faudra une quantité supérieure.



d) La température de la flamme.

Il est difficile de déterminer avec exactitude la température de la flamme car la température des produits de combustion est variable dans le foyer. Cette température détermine la quantité de chaleur disponible et est très influencée par l'excès d'air. Pour obtenir une température élevée de la flamme, il est préférable de préchauffer l'air avant son entrée dans le foyer.

### 3.3.3. Notion d'air primaire et d'air secondaire.

#### . L'air primaire

C'est l'air qui intervient au niveau du lit de combustible. Il est à la base du processus de combustion, en plus il entretient la combustion du charbon. Il est donc nécessaire d'avoir une entrée d'air primaire assez importante pour faciliter les premières étapes de la combustion et entretenir la combustion du charbon de bois.

#### .L'air secondaire

C'est l'air qui intervient au dessus de la couche de combustible pour entretenir la combustion des volatiles dégagés après la phase d'inflammation. Si la quantité d'air primaire est suffisante, l'excès peut jouer le rôle d'air secondaire.

### 3.4. Transfert de chaleur

On distingue généralement trois modes de transmission de la chaleur qui sont le rayonnement, la conduction et la convection.

.../...

### 3. 4.1. Le rayonnement

Le rayonnement énergétique ne consiste pas en chaleur à proprement parler. Il s'agit d'énergie qui se propage sous la forme d'un rayonnement électromagnétique. Lorsque cette énergie est absorbée par la surface d'un corps, la température de celle-ci s'élève, il correspond à un transfert de chaleur. Tous les corps liquides, solides et gazeux émettent des rayonnements. Les échanges thermiques issus du rayonnement mutuel de deux corps résultent d'un équilibre entre les rayonnements émis et absorbés, le corps le plus froid recevant plus d'énergie qu'il n'en émet.

Dans le cas de la transmission de chaleur par rayonnement au niveau du foyer, on constate que le charbon de bois, la flamme, les parois du foyer et la marmite rayonnent. Dans tous les cas, l'intensité de la chaleur émise par rayonnement est proportionnelle à la quatrième puissance de la température.

$$\begin{aligned} R &= h G_0 T^4 \\ R &= \text{rayonnement émis (W)} \\ h &= \text{facteur d'émission du corps gris} \\ G_0 &= \text{coefficient de rayonnement du corps noir} \\ &\quad (5,73 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4) \\ T &= \text{température absolue du corps considéré (K)} \end{aligned}$$

Le rayonnement du charbon de bois est plus intense que celui des flammes dont l'intensité varie en fonction de la température.

Pour la transmission de chaleur par rayonnement à la marmite, plus celle-ci est proche du feu, plus l'intensité de la chaleur reçue augmente. Il faut également que la plus grande surface de la marmite soit exposée à la source rayonnante, de manière à pouvoir capter le maximum de chaleur émise par le charbon et les flammes.

Les parois du foyer et celles de la marmite rayonnent vers l'ambiance. L'importance des pertes de chaleur par rayonnement est fonction du type de foyer (ouvert ou fermé) et des types de matériaux utilisés pour la construction : exemple les foyers métalliques perdront plus de chaleur par rayonnement que les foyers en banco.

Le transfert de chaleur par rayonnement d'une source chaude à une autre de température plus basse peut être exprimé de la manière suivante :

$$Q_r = F_{12} A_1 G_0 (T_1^4 - T_2^4)$$

$Q_r$  = chaleur transmise par rayonnement

$G_0$  = constante de Stefan-Boltzmann  $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

$F_{12}$  = facteur géométrique qui est fonction de la forme des surfaces et de leur position relative.

$A_1$  = surface du corps le plus chaud ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  = température absolue de la surface chaude (K)

$T_2$  = température absolue de la surface froide (K)

#### 3.4.2 La conduction

La conduction est le processus de propagation de la chaleur qui s'effectue dans un milieu matériel solide. Dans le phénomène de conduction, la chaleur qui prend la forme d'une énergie de vibration des molécules du corps se propage par transmission de cette énergie d'une molécule à l'autre.

La propagation de la chaleur provenant de la combustion du bois, dans le sol et les parois du foyer se fait par conduction. La conduction est également responsable du transfert de chaleur entre la marmite et son contenu. Il y a également conduction entre les parois du foyer et celles de la marmite.

L'équation de la conduction dans le cas d'une plaque infinie est de la forme :

$$Q_{cd} = \frac{kA (T_1 - T_2)}{e}$$

$Q_{cd}$  = chaleur transmise par conduction (W)

$A$  = surface de la plaque traversée par le flux de chaleur ( $\text{m}^2$ )

- $k$  = conductibilité thermique de la plaque ( $W / m^{\circ}C$ )  
 $e$  = épaisseur de la plaque (m)  
 $T_1$  = température absolue de la surface chaude (K)  
 $T_2$  = température absolue de la surface froide (K)

Nous donnons ici des valeurs de  $k$  suivant les types de matériaux.  
Les valeurs sont données par Eckert et Drake (1972)

Matériaux	valeurs de $k$ ( $W/m^{\circ}C$ )
argile	1,3
sable	0,4
ciment	0,8 - 1,4
aluminium	160 - 200
acier	30 - 60
grès	1,63-2,1

### 3.4.3 La convection

La convection thermique apparaît lorsque les particules constitutives du milieu sont libres de se mouvoir.

Il y a échange de chaleur par convection entre les gaz de combustion et les parois de la marmite.

La quantité de chaleur perdue par convection vers l'ambiance est importante pour les feux ouverts et varie en fonction de certaines conditions climatiques tel le vent. Quand il y a beaucoup de vent les pertes par convection augmentent.

La quantité de chaleur échangée par convection s'exprime par :

$$\begin{aligned} Q &= aA_C (T_1 - T_2) \\ Q &= \text{chaleur échangée par convection (W)} \\ a &= \text{coefficient de convection (il dépend du type d'écoulement)} \\ &\quad (W/m^2K) \end{aligned}$$

../..



$A_C$  = surface de contact entre le corps solide et le fluide en mouvement ( $m^2$ )

$T_1$  = température absolue du fluide (K)

$T_2$  = température absolue du corps solide (K)

Pour les 3 modes de transfert de chaleur la surface joue un rôle important. C'est ainsi que la quantité de chaleur reçue par rayonnement, conduction et convection est proportionnelle à la surface. On recueillera donc plus de chaleur au niveau de la marmite en exposant le maximum de surface aux gaz chauds.

Notons que la marmite reçoit le maximum de la chaleur par rayonnement et par convection.

Bien que la chaleur reçue par rayonnement soit importante quand la marmite est proche du feu, il est à souligner que plus elle est proche du feu, plus la combustion des volatiles devient incomplète ( la combustion des gaz cesse dès que la flamme touche le fond de la marmite) ce qui réduit la quantité de chaleur dégagée. Il y a donc une position optimale à trouver pour que la marmite reçoive le maximum d'énergie émise par rayonnement et convection tout en ne perturbant pas le déroulement du processus de combustion.

## Chapitre IV

### DIFFERENTES PARTIES D'UN FOYER MASSIF AVEC CHEMINEE ET DESCRIPTION DES FOYERS EXISTANTS EN HAUTE-VOLTA

D'une manière générale les foyers améliorés ont été conçus dans le but de réduire les pertes de chaleur. C'est ainsi que plusieurs types de foyers améliorés ont été mis à point parmi lesquels les foyers à plusieurs trous avec cheminée.

Le principe des foyers améliorés massifs avec cheminée est le même. En plus du corps du foyer généralement construit avec des briques et la dalle avec les trous pour marmites, il se compose des parties suivantes :

- une porte d'entrée pour le bois et l'air ,
- une chambre de combustion avec ou sans grille
- une chambre de chauffage sous les deuxième et troisième marmites
- un canal qui permet l'acheminement des gaz de combustion de la chambre de combustion vers la chambre de chauffage et la cheminée
- un monticule situé généralement sous la deuxième marmite
- une cheminée

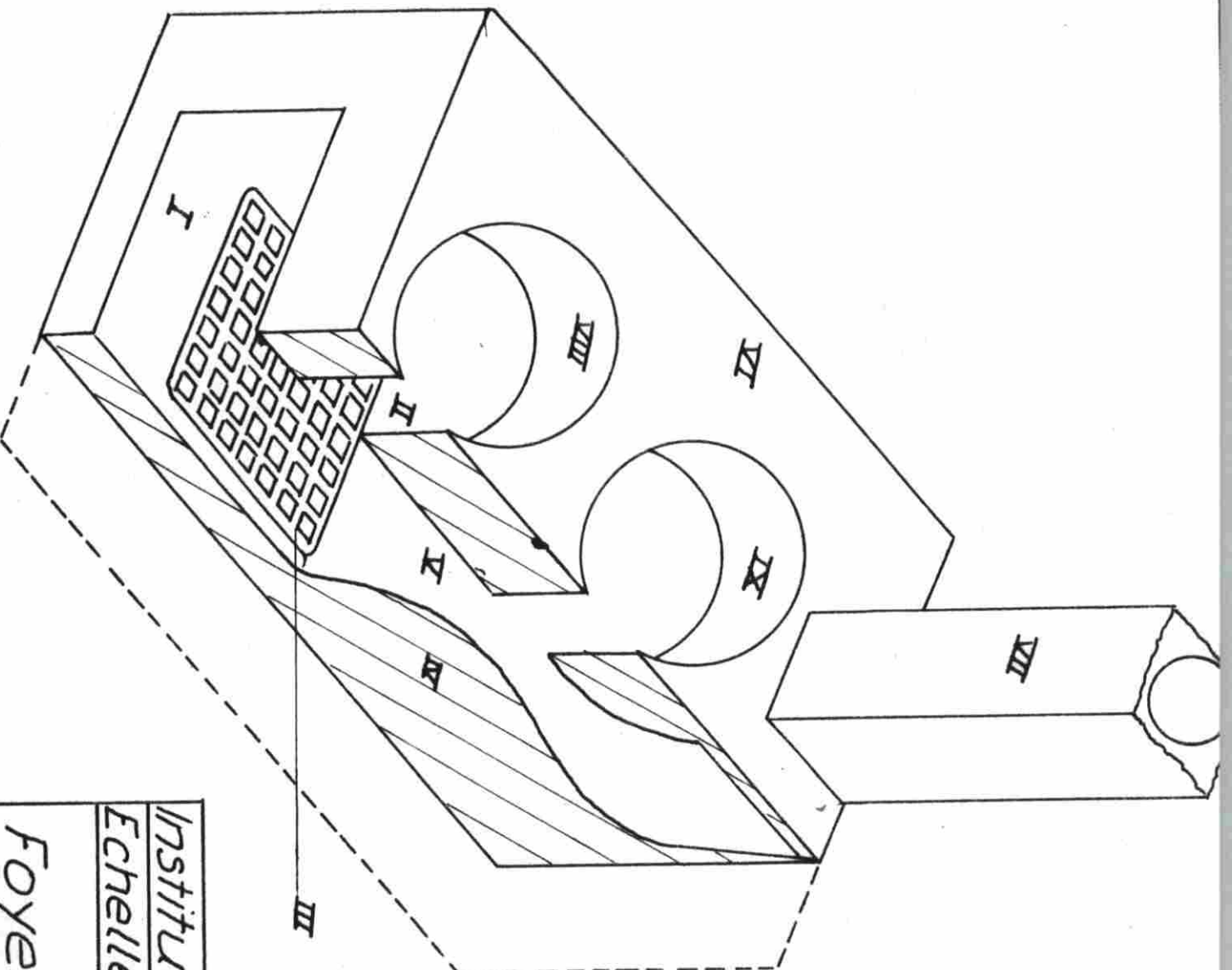
Chacune de ces parties bien qu'ayant des fonctions spécifiques influence les autres.

#### 4.1. Différentes parties d'un foyer amélioré massif avec cheminée

##### 4.1.1. La porte

Elle a deux fonctions : l'introduction du bois pour la cuisson, et de l'air pour la combustion dans le foyer. Ses dimensions et sa forme influencent

- I : Porte  
 II : Chambre de combustion  
 III : Grille  
 IV : Morticule  
 V : Canal de communication  
 VI : Dalle  
 VII : Cheminée  
 VIII : Trou de la première marmite  
 IX : Trou de la deuxième marmite



Institut Voltaïque de l'Énergie Ouaga

Echelle 1/50

Bruf

Le 29-03-83

Foyer amélioré

SCHEMA GENERAL

la combustion et l'efficacité du foyer. Les grandes portes permettent d'utiliser beaucoup de bois dans le foyer, de plus la quantité d'air qui y entre est très importante ce qui diminue la température de la flamme (cf. excès d'air).

La tendance actuelle est l'utilisation des portes de forme parabolique ou de forme trapézoïdale. Ces formes de porte à base large permettent d'avoir une quantité d'air primaire suffisante pour amorcer la combustion du bois et entretenir la combustion du charbon de bois. Le sommet beaucoup moins large réduit la quantité d'air secondaire qui intervient au niveau des volatiles.

#### 4.1.2. La chambre de combustion

Le processus de combustion s'effectue dans cette partie du foyer. Elle est délimitée par les parois du foyer, le monticule, et la porte. C'est au-dessus de la chambre de combustion que se trouve la première marmite. Les dimensions de la chambre de combustion doivent être bien définies afin que la marmite reçoive le maximum de chaleur émise par rayonnement et convection.

#### 4.1.3. La grille

Certains foyers comportent une grille dans la chambre de combustion. La grille permet une bonne circulation de l'air primaire qui passe sous elle et entretient la combustion du bois et du charbon. De plus l'air traversant la grille est préchauffé avant d'atteindre la zone de combustion.

#### 4.1.4. Le monticule

Pour les foyers à plusieurs trous et à une entrée, le bois est placé dans la chambre de combustion sous la première marmite. Ce sont donc les gaz de combustion qui doivent assurer le chauffage des autres marmites. Si le fond du foyer était complètement plat, les gaz s'échapperaient directement par la cheminée sans chauffer les marmites. Pour éviter cet état de fait,

un monticule est généralement placé sous la deuxième marmite. Le but de ce monticule est de diriger les gaz chauds autour des marmites.

Le monticule permet d'améliorer le transfert de chaleur par convection. C'est un élément vital pour les foyers à plusieurs marmites. Grâce à ce monticule les limites de la chambre de combustion sont bien définies. Il empêche ainsi de pousser le bois trop loin. En retardant le départ des gaz chauds, il améliore les conditions de combustion des volatiles.

L'introduction du monticule permet d'augmenter le degré d'absorption de la chaleur par toutes les marmites.

La hauteur du monticule et sa position ne sont pas encore optimisées.

#### 4.1.5. Le canal de communication

Un canal permet la communication entre la chambre de combustion et la chambre de chauffage sous les autres marmites. Ce canal doit être assez large afin de faciliter le passage des gaz de combustion. Le canal relie également les chambres de chauffage à la cheminée.

#### 4.1.6. La dalle

Elle supporte les marmites. Avec les types de marmites utilisées actuellement, plus la dalle est épaisse, plus la surface de la marmite exposée à la chaleur est réduite. Quand elle est mince, elle résiste moins bien aux chocs thermiques et mécaniques.

#### 4.1.7. La cheminée

La cheminée a une grande influence sur le fonctionnement du foyer. Elle permet d'évacuer la fumée et d'assurer l'introduction d'air dans la chambre de combustion, grâce au tirage.

L'intensité du tirage est fonction de la hauteur et du diamètre de la cheminée. Elle est également fonction de la différence de température entre les gaz dans la cheminée et la température ambiante.



Au niveau du foyer chacune de ces parties a une influence sur le fonctionnement de l'autre :

- avec une porte large, un monticule bas, et une cheminée haute, on a une entrée d'air importante dans le foyer et un tirage élevé ce qui entraîne la diminution de l'efficacité du foyer.
- quand le monticule est très haut il peut opposer une résistance au passage des gaz de combustion si le tirage de la cheminée n'est pas important, ce qui entraîne un refoulement de la fumée par la porte, et l'étouffement du feu.

Ces différentes interactions montrent la nécessité qu'il y a d'optimiser les paramètres afin d'améliorer la performance des foyers.

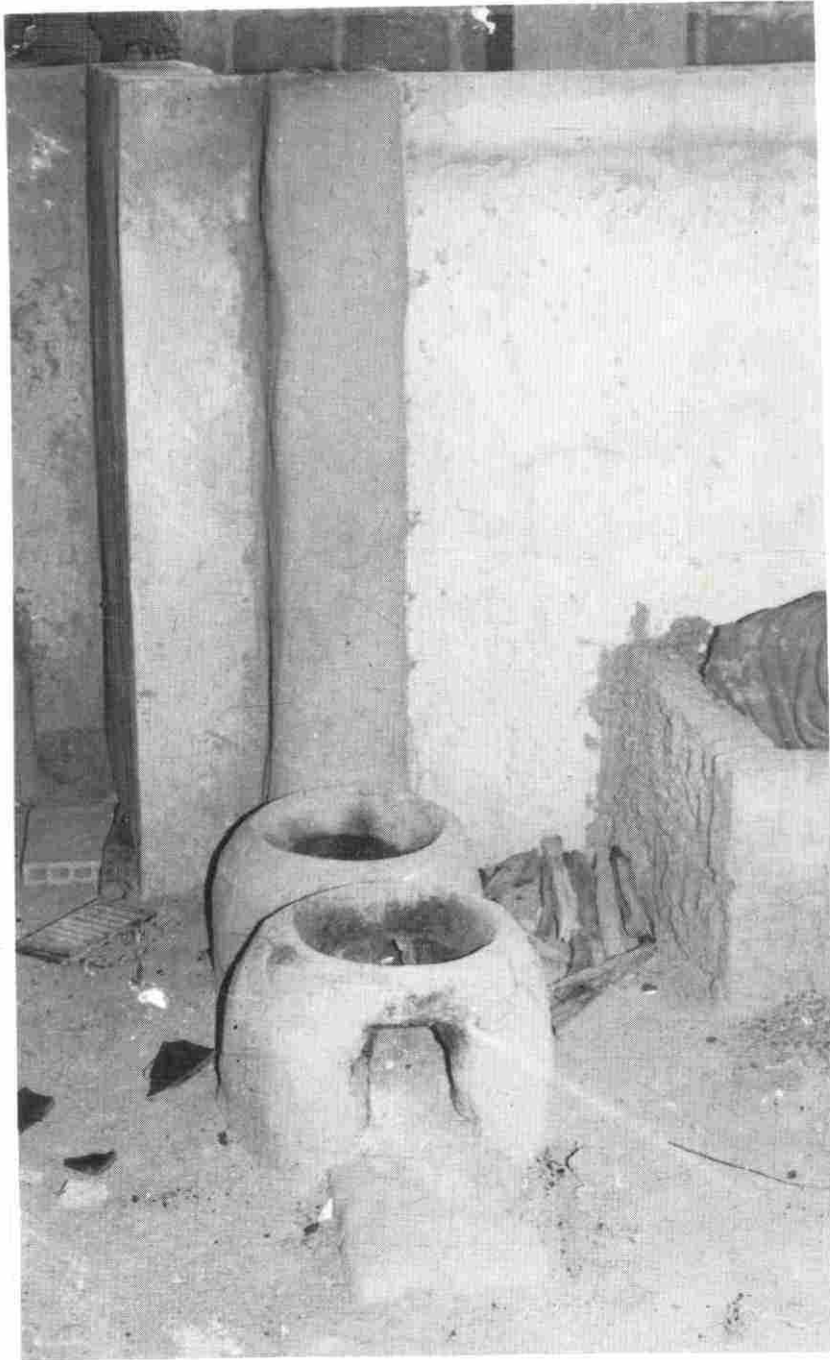
#### 4.2. Description des foyers existants en Haute-Volta

Nous ferons une description sommaire de chaque prototype. Cette description comportera les principales caractéristiques. Il sera joint le plan détaillé de chaque foyer.

##### 4.2.1. Les foyers traditionnels trois pierres

C'est le type de foyer le plus utilisé en Haute-Volta. Trois grosses pierres sont disposées de façon triangulaire sur la dalle en béton pour supporter la marmite. Pour nos tests nous avons maintenu une distance de 10 cm entre la dalle et le fond de la marmite.

## TITAO



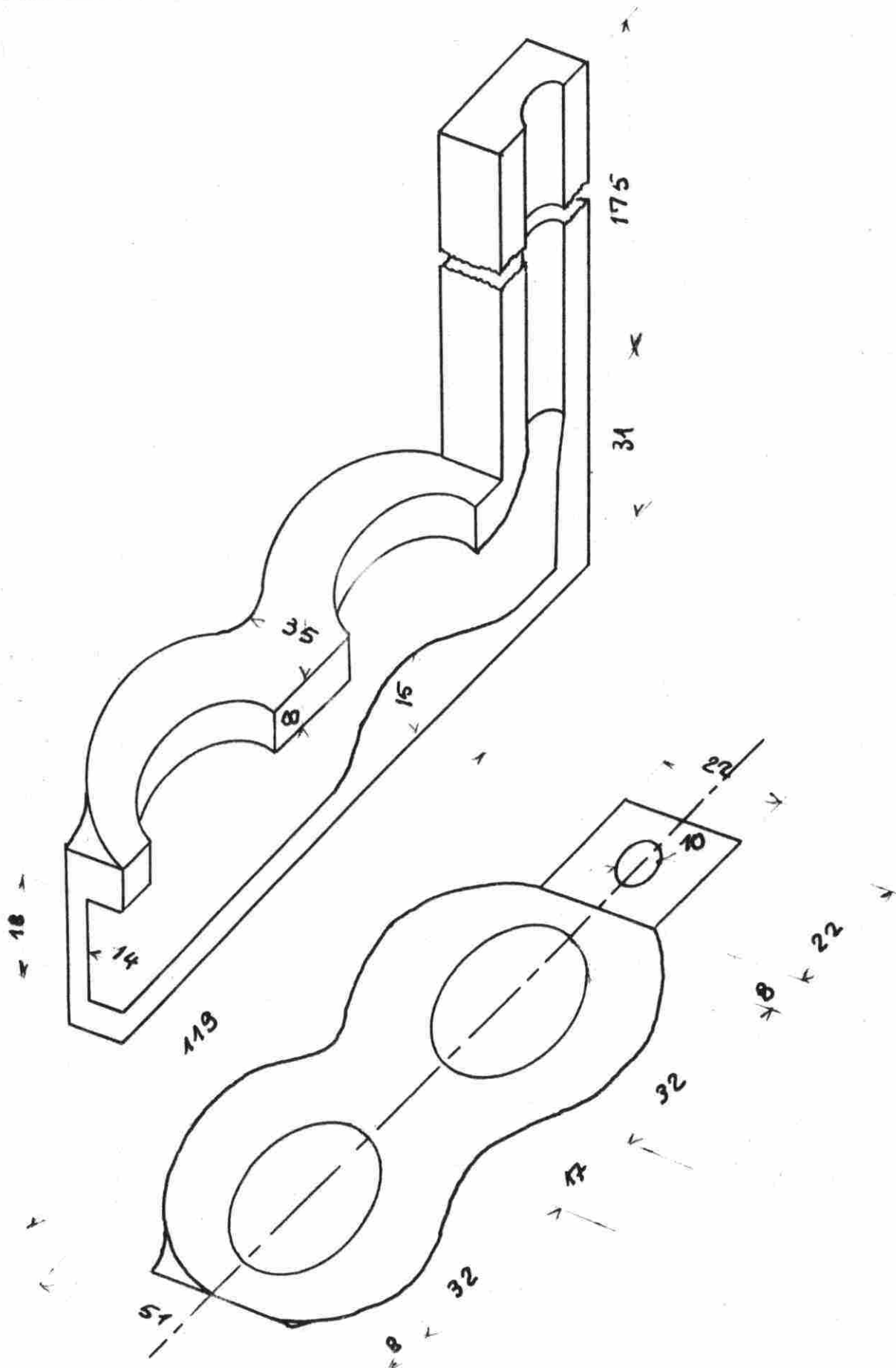
Le foyer Titao est complètement construit en matériaux locaux (banco, terre cuite).

Les briques de soubassement et de cheminée sont en banco.

La dalle est constituée de 2 anneaux en terre cuite qui délimite l'emplacement des marmites.

Le crépissage est fait en banco.

La porte de forme parabolique n'est pas renforcée.



Institut Voltaïque de l'Energie Ouagadougou

Echelle 1:10

Le 6-04-83

Foyer Titao

## BANFORA



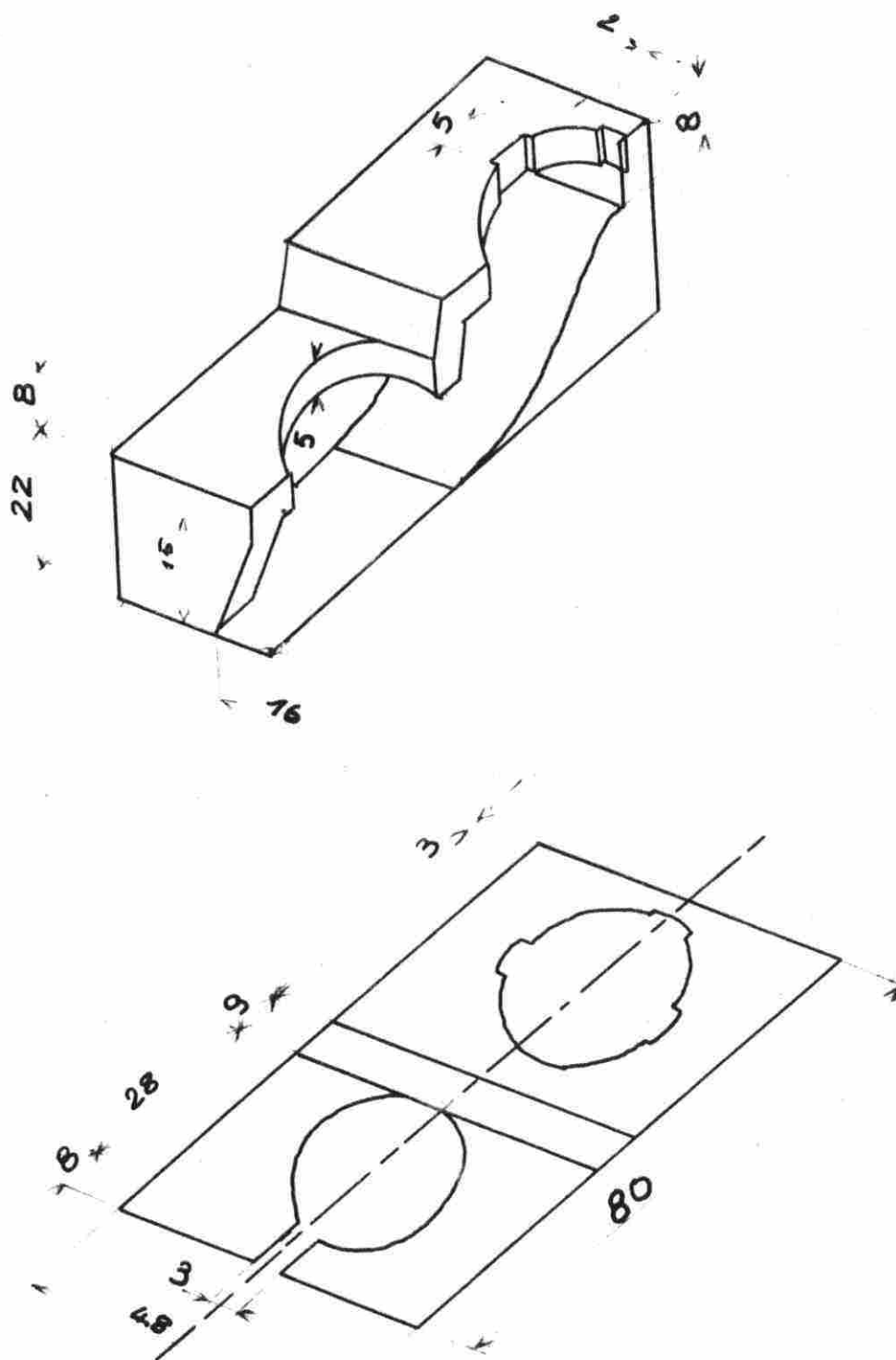
C'est un foyer dont les briques de soubassement sont en banco. La dalle et l'intérieur du foyer sont en mélange de sable et d'argile.

Tout le foyer est crépi au ciment.

Entre la porte et le premier trou de marmite, une fente similaire à celle du foyer Kaya en banco permet d'éviter l'apparition des fissures.

Le second trou de foyer Banfora est un peu surelevé par rapport au premier. Au second trou 3 petites ouvertures permettent l'évacuation de la fumée.

La porte de forme parabolique n'est pas renforcée.



Institut Voltaïque de l'Energie Ouaga

Echelle 1:10

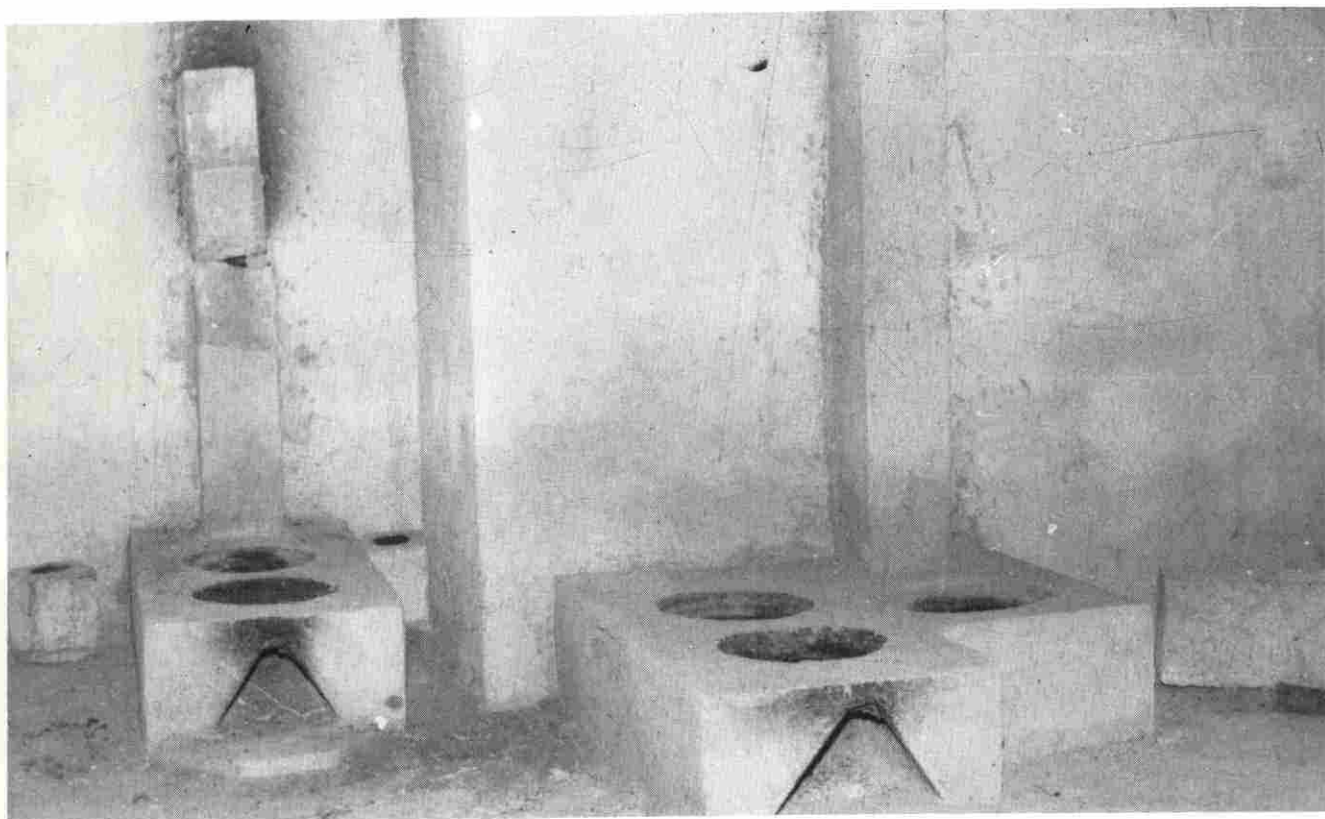
Le 6-04-83

Foyer Banfora 2 trous



**AIDR 2**

**AIDR 3**



Nous réunirons la description de ces deux foyers, car les caractéristiques sont les mêmes.

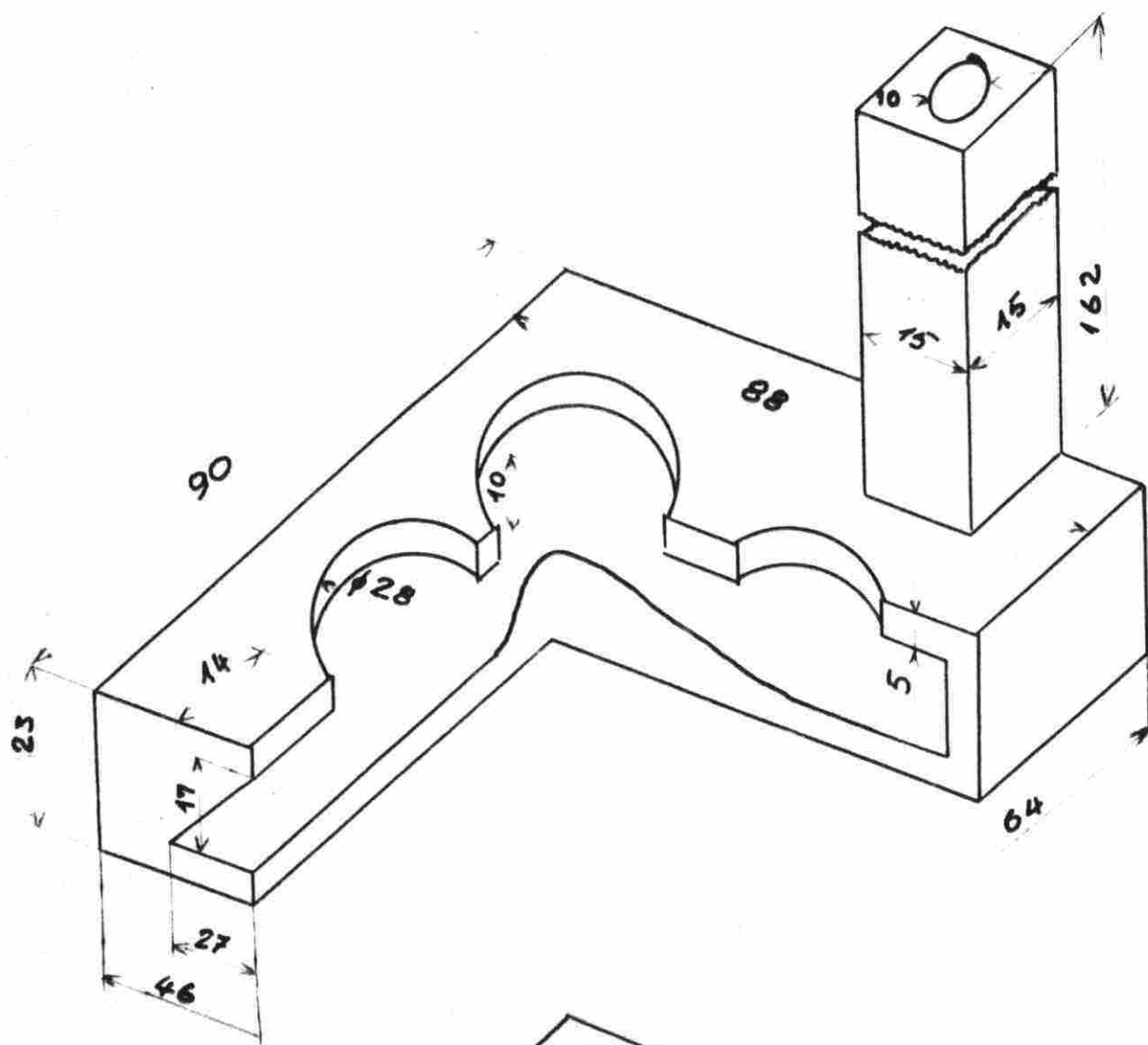
Les briques de soubassement de ces foyers sont en banco et crépies en ciment.

La dalle est en béton armé. Son armature en fer de 6, encadre tous les trous dans le cas du foyer à deux trous, et n'encadre que les deux premiers trous dans le cas du foyer à 3 trous.

L'intérieur des foyers est confectionné en banco.

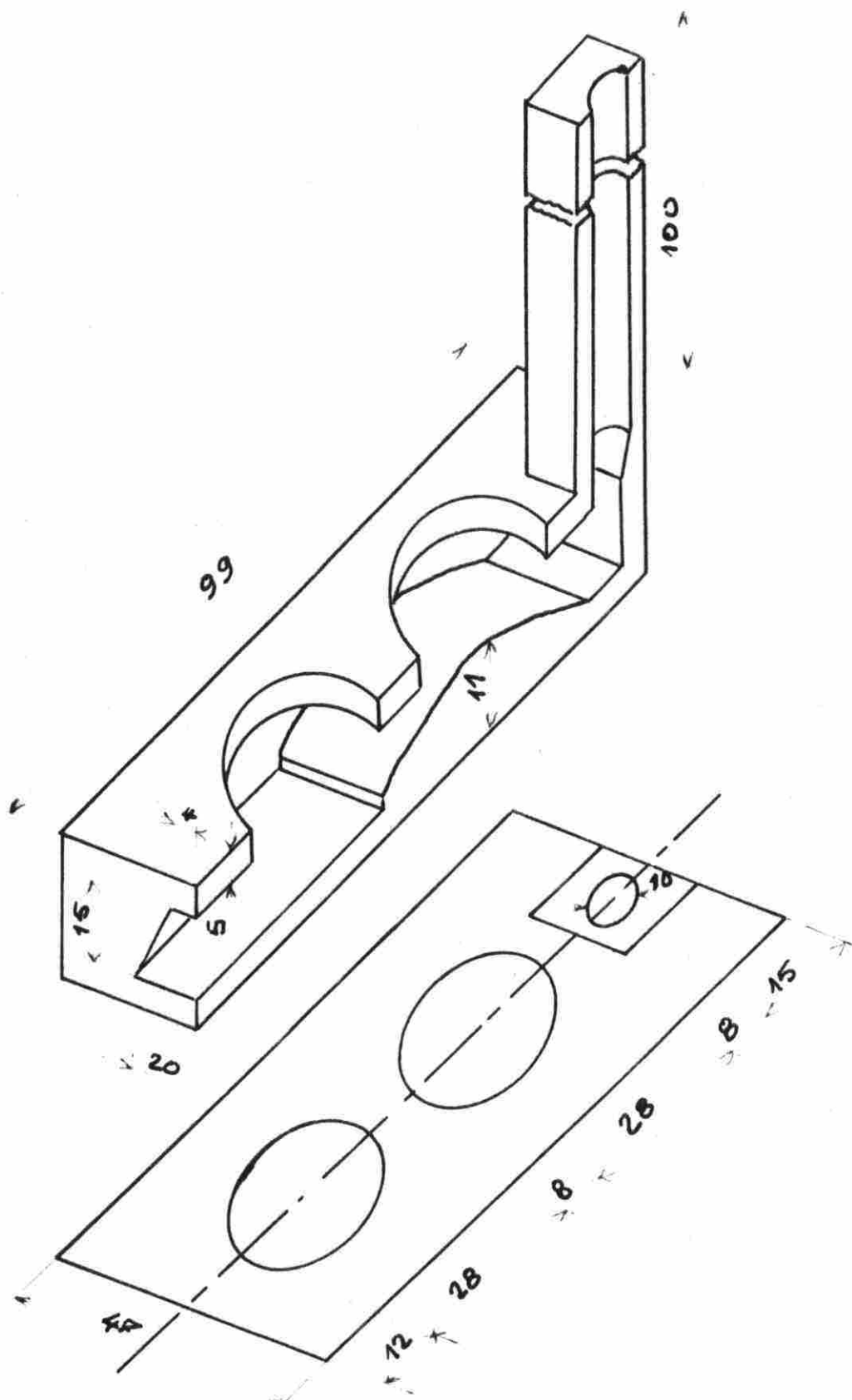
La porte de forme trapézoïdale est renforcée par un encadrement métallique. Un petit socle est situé devant.

La dernière brique de cheminée est surmontée d'un drain en terre cuite.



Institut Voltaïque de l'Energie Ouagadougou

Foyer A.I.D.R. 3trous



Institut Voltaïque de l'Energie Ouaga.

Echelle 1:10

Le 6-04-83

Foyer A.I.D.R. 2 trous

## NOUNA 3

## NOUNA 2



Les éléments caractéristiques du foyer Nouna 2 trous et Nouna 3 trous sont les mêmes à quelques différences près.

Les briques de soubassement de ces foyers sont en ciment. Tout le foyer est complètement en dur.

La dalle est constituée de morceaux de briques cuites recouverts de béton. Dans le béton, des morceaux de fer de récupération de 2 mm d'épaisseur sont encastrés entre la porte et le premier trou, ainsi qu'entre les deux trous.

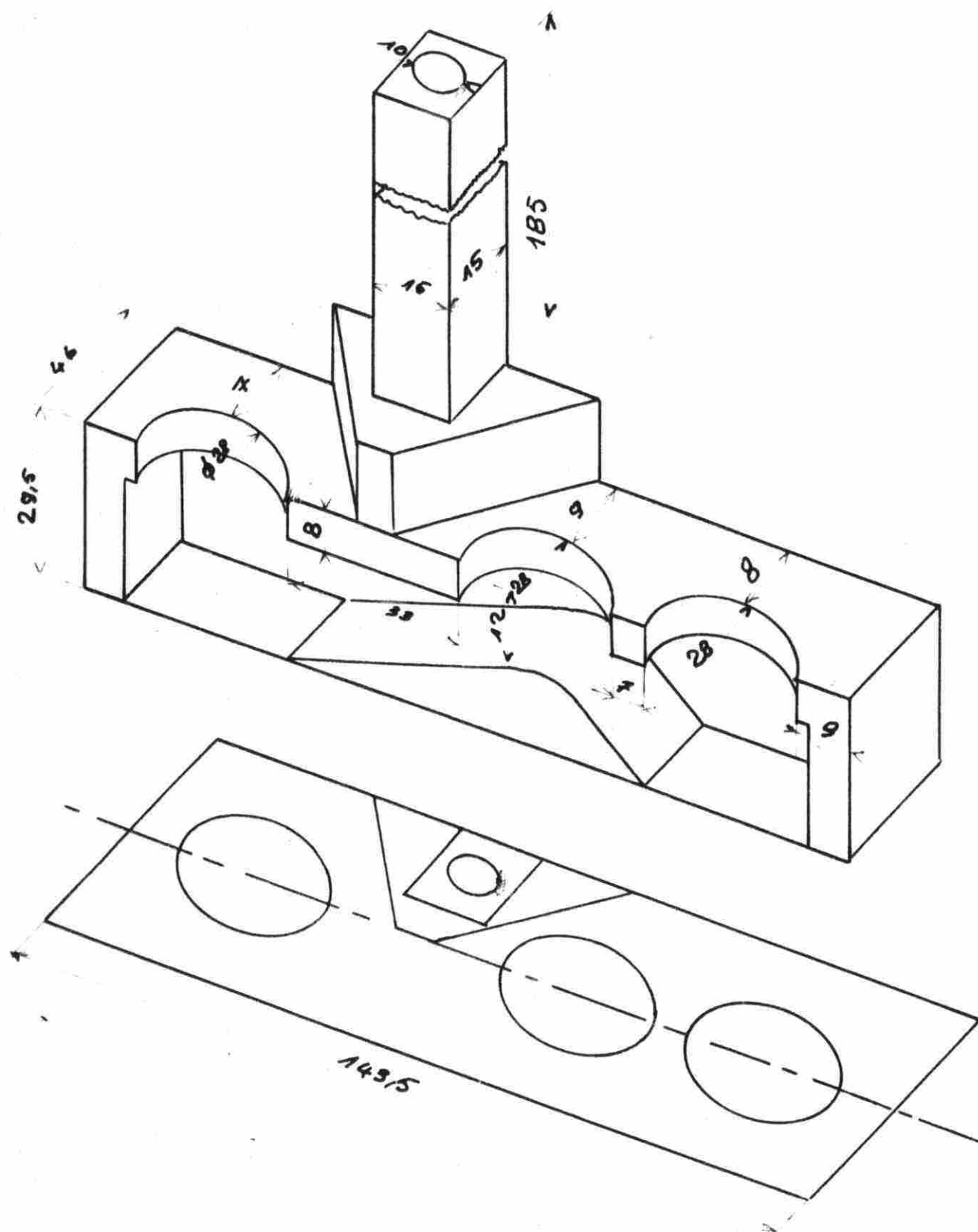
L'intérieur est confectionné avec des morceaux de briques cuites recouvert de mortier.

Devant la porte de forme rectangulaire non enfoncée il y a un socle.

La dernière brique de cheminée est surmontée d'un drain en tôle galvanisée.

Le Nouna 3 trous est à deux entrées. Le troisième trou est indépendant des deux autres. La cheminée est commune aux deux entrées.





Institut Voltaïque de l'Energie Ouaga

Echelle 1:10

Foyer Nouna 3trous

Le 6-04-83





## KAYA 2



Les briques de soubassement sont en banco.

La dalle est un mélange de sable et d'argile.

L'intérieur du foyer est en banco.

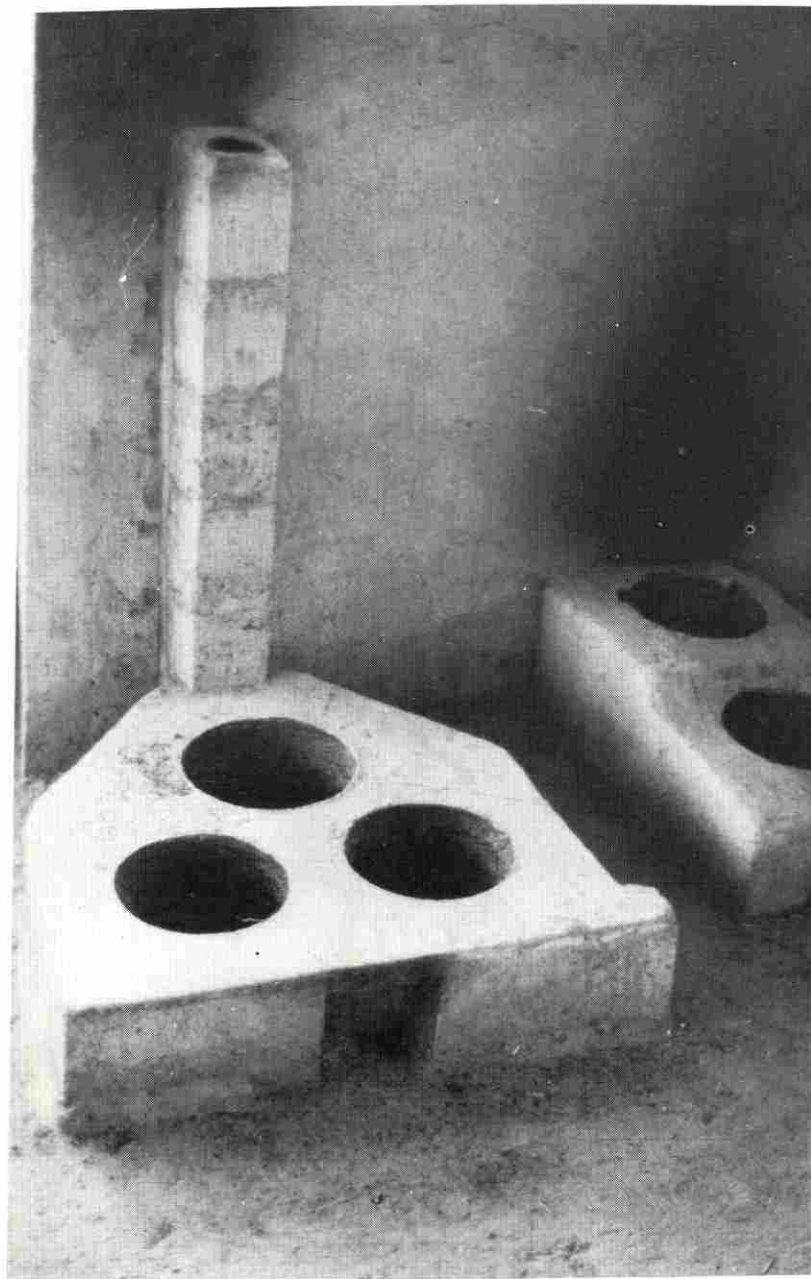
Tout le foyer est crépi en ciment.

Entre le premier trou de marmite et la porte, une petite fente de 2 cm de largeur permet d'éviter l'apparition des fissures.

La porte de forme parabolique n'est pas renforcée.



## KAYA 3



Les briques de soubassement sont en ciment.

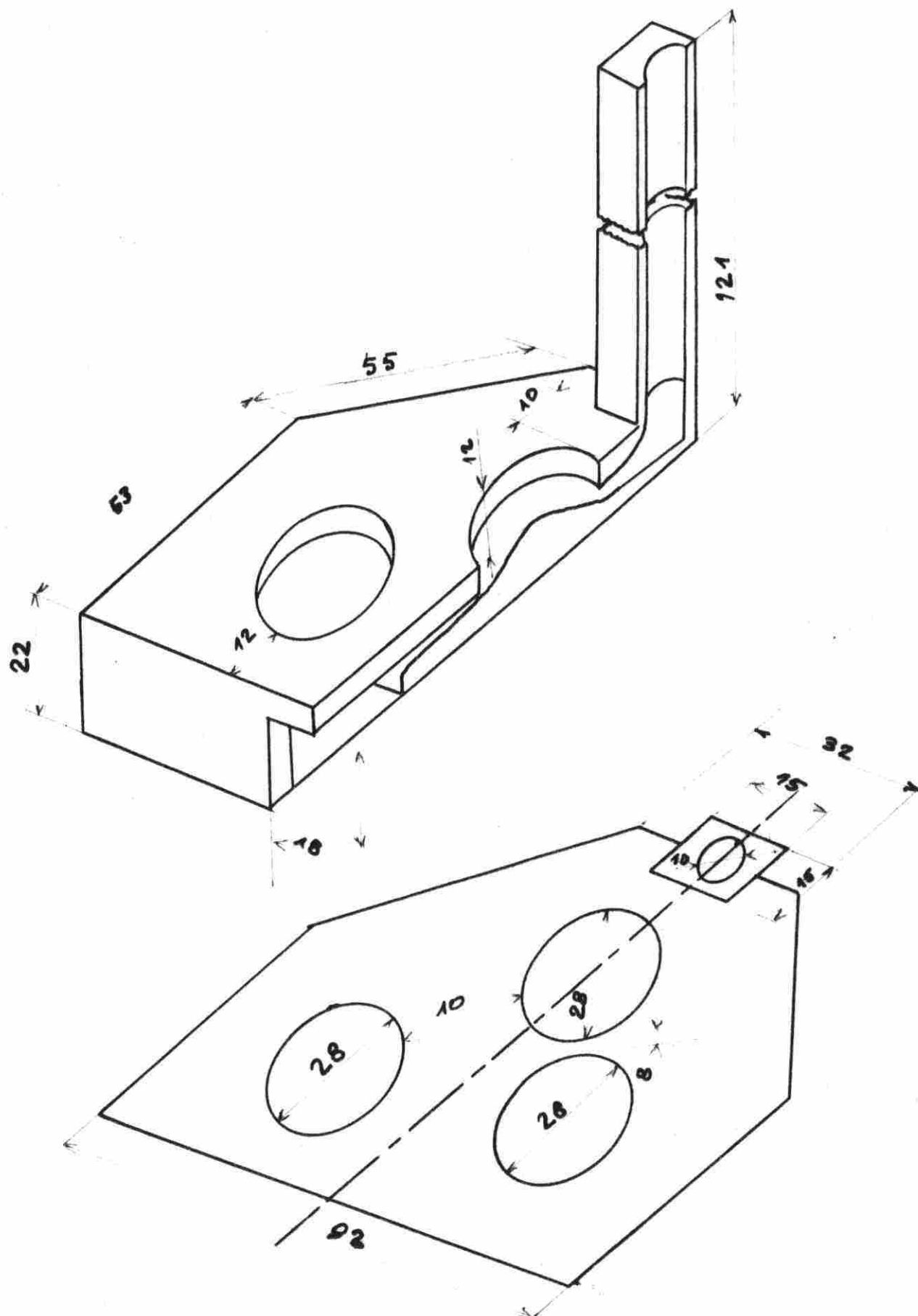
La dalle est faite en béton armé.

Chacune des marmites en parallèles, communique avec la troisième par un canal de gaz.

L'intérieur du foyer est confectionné en banco.

La porte de forme rectangulaire n'est pas renforcée par un encadrement métallique.





Institut Voltaïque de l'Energie Ouagadougou

Echelle 1:10

Foyer Kaya 3 trous

Le 6-04-83



## CATRU



Le foyer CATRU est semi transportable. Ses parois sont constituées de 4 dalles en béton armé montées à l'aide de boulons et d'écrous. L'intérieur du foyer est en banco.

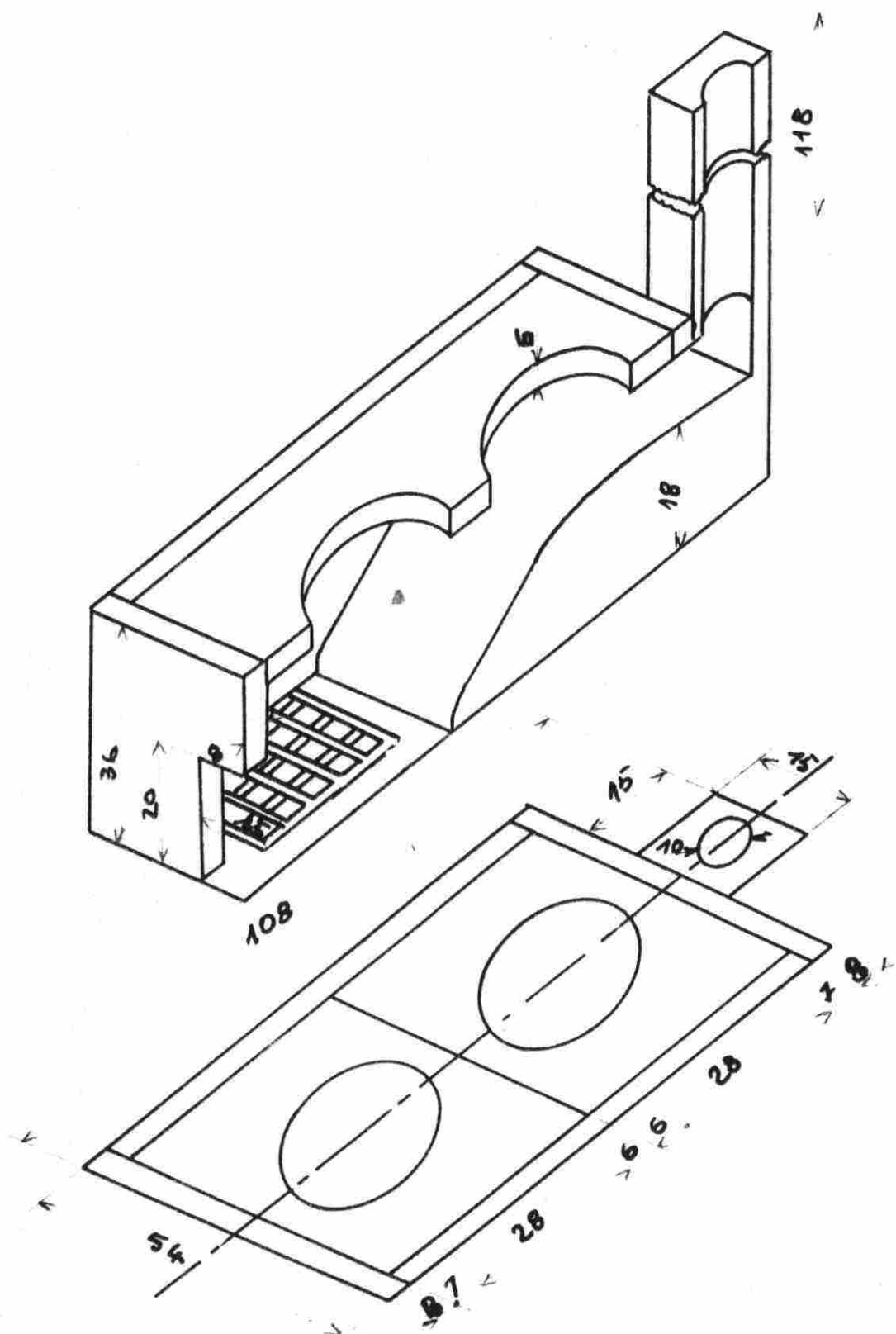
La dalle devant supporter les marmites est faite de deux plaques carrées en fonte d'aluminium.

Les marmites du foyer CATRU sont modifiées de manière à ce qu'elles pénètrent le plus profondément possible dans le foyer.

La partie inférieure de la chambre de combustion est munie d'une grille.

Des fois un chapeau métallique surmonte la dernière brique de cheminée.

La porte de forme rectangulaire est renforcée au moyen d'un cadre métallique.



Institut Voltaïque de l'Énergie Ouagadougou

Echelle 1:10

Foyer C.A.T.R.U.

Le 6-04-83

## CILSS



C'est un foyer transportable, muni de grille perforée de 19 trous de 1,5 cm de diamètre.

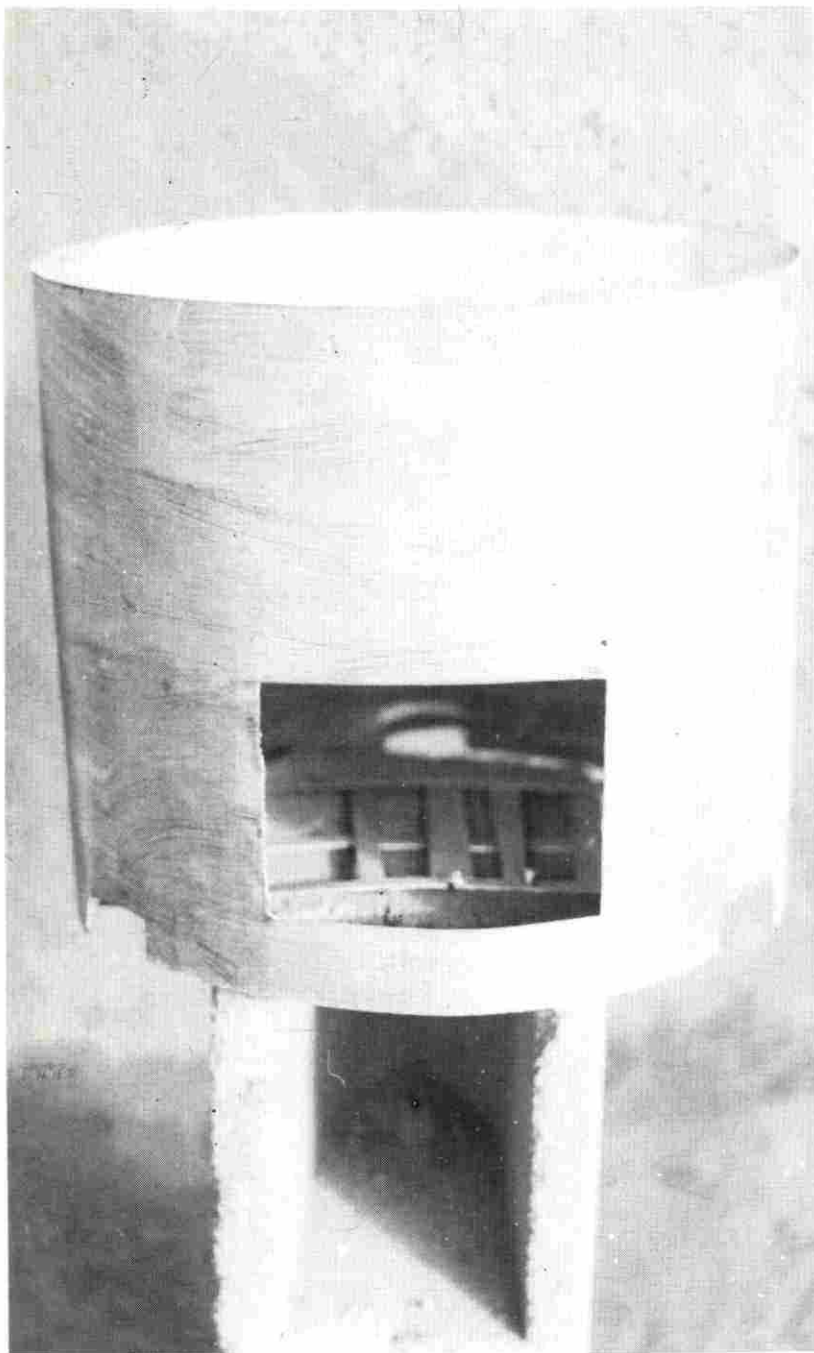
A la base du foyer, il y a 18 trous d'air primaire pour permettre le passage de l'air sous la grille.

L'air secondaire pénètre dans le foyer par deux lignes décalées de 18 trous chacune de 0,8 cm de diamètre. Les trous sont situés à 3 cm de la grille.

La porte supérieure est évasée et munie de trois supports pour la marmite.

La porte a une forme parabolique.

## METALLIQUE



C'est un foyer de forme cylindrique. Il est construit avec du métal de 2 mm d'épaisseur.

Il est muni de grille et de trous d'air primaire.

A une distance de 13 Cm de la grille, il y a trois supports métalliques pour maintenir la marmite.

Un intervalle de 1 cm est maintenu entre la parois du foyer et celle de la marmite.

La porte a une forme rectangulaire.

C'est l'ensemble de ces foyers existants que nous avons testés dans les même conditions, avec la même méthodologie afin de pouvoir mesurer leurs rendements thermiques et leurs puissances.



Tableau recapitulatif

Foyers Eléments										
	Titao	CATRU	AIDR 3 et 2	Kaya 2	Kaya 3	Banfora	Nouna 3 et 2			
Parois	briques en banco	dalle en beton armé	briques en banco	briques en banco	briques en banco	briques en banco	briques en ciment			
Porte	parabolique non renforcée	rectangulaire renforcée par un cadre métallique	trapézoïdale renforcée par un cadre métallique	parabolique non renforcée	rectangulaire non renforcée	parabolique non renforcée	rectangulaire non renforcée			
Intérieur	banco	banco	banco	banco	banco	banco	mortier + morceaux briques cuites			
Dalle	2 anneaux en terre cuite	2 plaques en fonte d'aluminium	béton armé	sable + argile + crépis-sage, ciment	béton armé	sable + argile + crépis-sage, ciment	béton armé + morceaux de briques cuites			
Cheminée	briques en banco	briques en ciment + peau métallique	briques en ciment + drain en terre cuite	briques en ciment	briques en ciment		briques en ciment + drain en tôle galvanisée			

## Chapitre V

### METHODOLOGIE UTILISEE POUR LES TESTS DES FOYERS EN ATELIER.

#### 5.1. Phases préliminaires

Afin de pouvoir comparer les différents prototypes de foyers, nous avons adopté la démarche suivante :

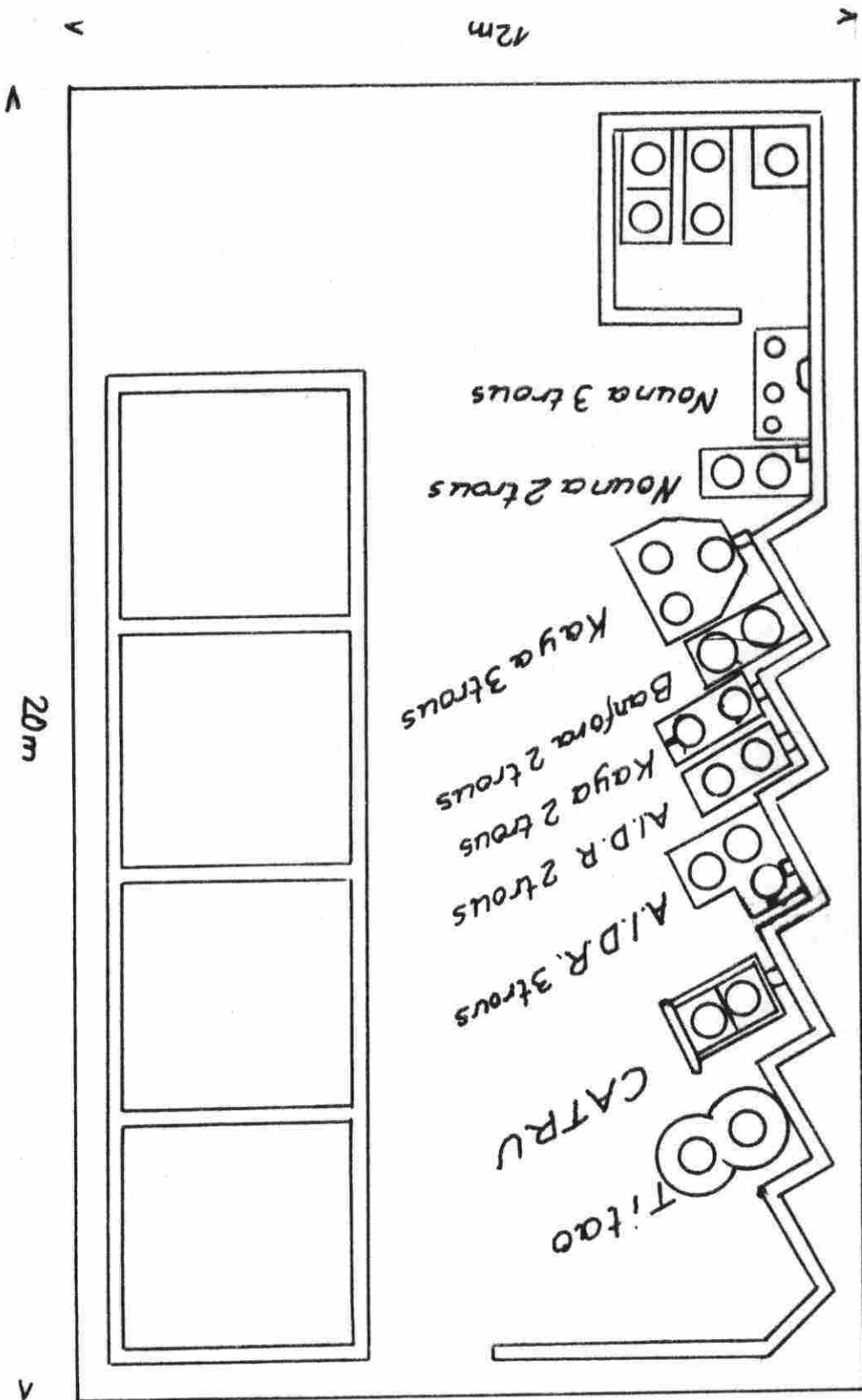
- L'Institut Voltaïque de l'Energie a invité les constructeurs des différents projets à venir installer eux-mêmes leurs foyers. Il a été demandé à chaque constructeur de faire le travail en respectant les différentes dimensions fixées par sa structure de vulgarisation. Après installation il donne les instructions concernant l'utilisation et l'entretien du foyer.  
Les foyers ont été installés sous un hangar contre un mur. Ils sont protégés par une maisonnette construite également sous le hangar et situé au côté Est. (Voir plan ci-joint).
- pour tous les foyers nous avons utilisé des marmites en fonte d'aluminium de mêmes dimensions. Toutes les marmites ont été achetées chez le même artisan. Il s'agit de marmites n° 3 avec les dimensions moyennes suivantes :

Volume	:	8,5 litres
hauteur	:	19 cm
diamètre au bord supérieur	:	25 cm
poids	:	1,39 kg

Pour les foyers à 3 trous, nous avons choisi une marmite n° 4 pour le troisième trou. Ses dimensions sont les suivantes :

../..

North



Institut Voltaïque de l'Énergie Ouaga

Echelle 1/400

HANGAR FOYER AMELIORE

Le 23-3-83

Volume : 11,5 litres

hauteur : 20,5 cm

diamètre : 26,5 cm

poids : 1,54 kg

ces différentes grandeurs ne sont pas absolues. Elles varient d'une marmite à l'autre. Ces chiffres sont des indications qui permettront d'avoir une idée sur les types de marmites utilisées. Pour le choix des marmites, nous nous sommes basés sur le fait qu'au niveau du projet AIDR, la fréquence d'utilisation des marmites n° 3 est élevée lors de la construction des foyers dans les familles urbaines.

- Nous avons utilisé une même espèce de bois pour les tests. Il s'agit du bois de l'Eucalyptus camaldulensis issu de la plantation industrielle de l'Autorité de l'Aménagement des Vallées des Voltas. Le choix de cette espèce a été guidé par le fait que son obtention est beaucoup plus facile par rapport aux espèces locales que l'on ne trouve pas en plantation pure déjà exploitable. Les mesures de l'étuve à 105 °C de son taux d'humidité nous ont donné une valeur de 6 %.

- Les tests ont été faits par 4 enquêteurs. Le travail a été organisé de sorte que chaque enquêteur puisse tester chacun des 13 types de foyers.

- Tout a été mis en oeuvre pour que tous les foyers soient allumés le même jour afin de les placer à peu près dans les mêmes conditions atmosphériques.

- Comme matériel de mesure nous avons utilisé une balance de marque SARTORIUS (précision 1 g) pour les pesées, des thermomètres à mercure et une sonde électronique pour les relevés de températures. Le temps a été relevé à l'aide de chronomètres et de montres. Nous n'avons pas d'appareil pour déterminer la composition des gaz de fumée.

../..



- Le pétrole a été utilisé pour allumer le bois.

La méthodologie de test que nous avons utilisée est décrite en détail ci-dessous. Elle consiste à porter à ébullition une quantité d'eau donnée, d'arrêter le feu puis de faire mijoter cette eau pendant une heure.

Le test de l'eau est un test assez simple qui permet une comparaison rapide des différents foyers.

## 5.2. Méthodologie de test

La méthodologie de test suivie est basée sur le projet développé au cours de la réunion du groupe de travail pour standardiser les tests de terrain sur les foyers à bois (Marseille 12-14 mai 1982) et par le Dr Tim Wood coordonnateur technique du CILSS (1980-1982). La procédure est la suivante :

- 1 - le foyer et l'endroit où il est placé sont nettoyés, les cendres et tous les débris sont déblayés. On s'assure au toucher que le foyer est froid. Compte tenu du fait que les foyers massifs prennent du temps pour se refroidir, nous avons décidé de ne les allumer qu'une seule fois par jour.
- 2 - Sur une fiche de test (voir modèle ci-joint) on note la température ambiante, l'intensité du vent (vent fort ou de faible intensité)...
- 3 - Les marmites destinées au test sont pesées à vide et leur poids noté. On y verse environ 3 litres d'eau. On pèse le poids total et on note.
- 4 - On pèse une quantité de bois destinée à être utilisée. Notons que dans le cadre de ce travail, le bois avait des dimensions variables. Nous n'avions donc pas de contrôle sur sa longueur et son épaisseur.



- 5 - On place une quantité suffisante de bois dans le foyer, on l'arrose d'une toute petite quantité de pétrole et on allume. En attendant la prise du bois, on relève la température de l'eau dans les différentes marmites et on note. Lorsque le bois commence à bien brûler on pose les marmites sur le foyer et on met le chronomètre en marche.
- 6 - La température de l'eau est enregistrée toutes les cinq minutes jusqu'à ce que l'eau commence à bouillir dans la première marmite. Est considérée comme première celle qui est au dessus de la chambre de combustion.  
Pour atteindre l'ébullition, on met beaucoup de bois de façon à obtenir un grand feu, tout en évitant d'en faire un brasier. Cela est laissé à l'appréciation des enquêteurs.  
Les observations sur le fonctionnement du foyer sont dûment notées.
- 7 - Dès que l'eau commence à bouillir, dans la première marmite, on relève la température de l'eau dans les différentes marmites et on éteint le feu.  
Le bois restant est pesé et noté. Toutes les marmites sont pesées et leur poids noté.
- 8 - On remet ensuite une petite quantité de bois dans le foyer ; on rallume le feu, on relève la température de l'eau, on replace les marmites sur le foyer, et on met le chronomètre en marche.
- 9 - Les températures sont notées également toutes les cinq minutes. Le feu est maintenu à un niveau constant, à une intensité plus faible que celle de la phase d'ébullition, de façon à ce que l'eau ne bout pas vigoureusement. C'est la phase de mijotage.
- 10 - Après 60 minutes de mijotage on relève la température de l'eau dans les marmites, on éteint le feu. On pèse la quantité de bois restante, les marmites, et le charbon. Toutes ces données sont notées.

ETUDE EN LABORATOIRE

Essai N° -----

Date -----

Nom de l'enquêteur -----

Température ambiante -----

Heure -----

Type de marmites -----

Type de foyer -----

Commencement

Poids marmite A -----

Poids de la marmite A et de l'eau -----

Poids marmite B -----

Poids de la marmite B et de l'eau -----

Poids marmite C -----

Poids de la marmite C et de l'eau -----

Poids du bois -----

Phase d'ébullition

Heure	Minute	Température eau marmite A	Température eau marmite B	Température eau marmite C	Remarques
-----	0	-----	-----	-----	-----
-----	5	-----	-----	-----	-----
-----	10	-----	-----	-----	-----
-----	15	-----	-----	-----	-----
-----	20	-----	-----	-----	-----
-----	25	-----	-----	-----	-----
-----	30	-----	-----	-----	-----
-----	35	-----	-----	-----	-----
-----	40	-----	-----	-----	-----
-----	45	-----	-----	-----	-----

Poids du bois restant -----

Poids de la marmite A et de l'eau -----

Poids de la marmite B et de l'eau -----

Poids de la marmite C et de l'eau -----

# MIJOTAGE

Heure	Minutes	Température eau marmite A	Température eau Marmite B	Température eau marmite C	Remarques
-----	0	-----	-----	-----	-----
-----	5	-----	-----	-----	-----
-----	10	-----	-----	-----	-----
-----	15	-----	-----	-----	-----
-----	20	-----	-----	-----	-----
-----	25	-----	-----	-----	-----
-----	30	-----	-----	-----	-----
-----	35	-----	-----	-----	-----
-----	40	-----	-----	-----	-----
-----	45	-----	-----	-----	-----
-----	50	-----	-----	-----	-----
-----	55	-----	-----	-----	-----
-----	60	-----	-----	-----	-----

Poids du bois restant -----

Poids du charbon -----

Poids de la marmite A et de l'eau -----

Poids de la marmite B et de l'eau -----

Poids de la marmite C et de l'eau -----

Remarques :

Chaque type de foyer a été testé de cette façon 10 fois. Précisons que pour la phase d'ébullition et de mijotage, les marmites sont restées sans couvercle.

Les thermomètres à mercure dont nous disposons ne nous permettaient pas d'utiliser des couvercles, car l'utilisation de couvercles aurait nécessité à chaque fois de le soulever pour relever la température ce qui pouvait influencer les résultats.

Nous avons utilisé cette méthodologie car elle se rapproche beaucoup plus de la réalité. Dans la pratique, les ménagères introduisent beaucoup de bois dans le foyer pour obtenir une ébullition rapide de l'eau, et quand elles mettent l'aliment à cuire, elles diminuent l'intensité du feu pour assurer une bonne cuisson.

### 5.3. Définition des pourcentages de chaleur utilisée ou rendement thermique et des puissances .

Après les tests nous avons procédé au calcul des rendements thermiques et des puissances qui constituent les deux éléments essentiels pour apprécier l'efficacité d'un foyer.

#### 5.3.1. Rendements thermiques

Le rendement thermique se définit comme étant le rapport entre la quantité de chaleur absorbée par le contenu des marmites et la quantité totale de chaleur produite par le bois. Il est exprimé en pourcentage.

Nous avons calculé plusieurs rendements thermiques en fonction de la méthodologie utilisée. Les rendements thermiques calculés comprennent :

a) Rendement thermique total à l'ébullition.

Il correspond à la somme des rendements thermiques de toutes les marmites pour la phase d'ébullition. Pour faciliter la compréhension

../..

de la formule, nous donnons ici celle qui est utilisée pour le calcul du rendement thermique dans une seule marmite :

$$n'_x = \frac{m_e \times (T_f - T_i) \times C_p + m_v \times L}{m_B \times P_c} \times 100$$

- $n'_x$  = rendement à l'ébullition dans la marmite considérée (%)  
 $m_e$  = masse initiale de l'eau dans la marmite considérée (kg)  
 $T_f$  = température à l'ébullition de l'eau (°C)  
 $T_i$  = température initiale de l'eau (°C)  
 $C_p$  = chaleur spécifique de l'eau (4,18 kJ/kg °C)  
 $m_v$  = masse de l'eau évaporée dans la marmite considérée (kg)  
 $L$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau (2260 kJ/kg)  
 $m_B$  = masse du bois utilisée (kg)  
 $P_c$  = pouvoir calorifique inférieur du bois (kJ/kg)

#### b) Rendement thermique total au mijotage

Il est égal à la somme des rendements thermiques dans toutes les marmites pour la phase de mijotage. Pour le calcul nous avons utilisé une formule analogue à la précédente. Les changements résident seulement au niveau des quantités et des températures.

$$n''_x = \frac{m'_e (T'_f - T'_i) C_p + m'_v \times L}{m'_B \times P_c} \times 100$$

- $n''_x$  = rendement au mijotage dans la marmite considérée (%)  
 $T'_f$  = température finale après le mijotage (°C)  
 $T'_i$  = température de l'eau au début du mijotage (°C)



$m'_e$  = masse de l'eau au début du mijotage de la marmite considérée (kg)  
 $m'_v$  = masse de l'eau évaporée durant le mijotage (kg)  
 $m'_B$  = masse de bois consommée pendant le mijotage (kg)

Il est à noter que pour l'ébullition et le mijotage, la température finale n'est pas toujours égale à la température la plus élevée. Cela se remarque souvent au niveau des deuxième et troisième marmites. Pour les calculs nous avons considéré la température finale au lieu de la température la plus élevée, car la baisse de température est compensée par la quantité d'eau évaporée.

Dans les calculs de rendements thermiques à l'ébullition et au mijotage, nous n'avons pas pris en considération la quantité de charbon. Cela pour la simple raison que nous ne l'avons pas mesuré à la fin de chaque phase.

#### C) Rendement thermique total

Le rendement thermique moyen total qui n'est pas égal à la moyenne des rendements thermiques à l'ébullition et au mijotage a été calculé de deux manières : - Le rendement thermique moyen sans tenir compte du charbon récupéré.

$$n_x = \frac{m_e (T_f - T_i) \times C_p + m'_e (T'_f - T'_i) \times C_p + (m_v + m'_v) L}{(m_B + m'_B) P_c} \times 100$$

- Le rendement thermique moyen en tenant compte du charbon récupéré  
 Dans ce cas nous considérons que le charbon a été récupéré pour d'autres usages. La formule utilisée est la même que la précédente, mais on a soustrait la quantité d'énergie récupérable dans le charbon.

La formule devient :

$$n_{cx} = \frac{m_e (T_f - T_i) C_p + m'_e (T'_f - T'_i) C_p + (m_c + m'_v) L}{(m_B + m'_B) P_c - Q_c \times m_c} \times 100$$

$Q_c$  = pouvoir calorifique du charbon (29.000 kJ/kg)

$m_c$  = masse du charbon (kg)

Pour ce deux derniers cas les rendements thermiques moyens totaux sont obtenus en faisant la somme des rendements thermiques obtenus dans toutes les marmites.

### 5.3.2. Puissances

La puissance d'un foyer se définit comme étant le rapport de la quantité de bois consommé que multiplie son pouvoir calorifique par le temps de combustion en secondes. Elle s'exprime en Kilowatt.

En fonction de la méthodologie utilisée, nous avons calculé plusieurs puissances.

#### a) Puissance à l'ébullition

Elle détermine la quantité de bois brûlé par unité de temps pour porter l'eau à l'ébullition. Elle est calculée par la formule suivante :

$$P' = \frac{m_B \times P_c}{t} \quad (\text{kW})$$

P' représente théoriquement la puissance maximale du foyer. C'est à dire la quantité maximum de bois qui peut être brûlée dans le foyer en fonction de la forte intensité du feu pendant la phase d'ébullition. Cependant nous estimons que cette notion est très abstraite car chaque enquêteur a sa façon d'apprécier l'intensité du feu.

#### b) Puissance au mijotage

Elle correspond à la quantité de bois consommée par unité de temps pour faire mijoter l'eau pendant une heure.

$$P'' = \frac{m'_B \times P_c}{3600}$$

P'' représente théoriquement la puissance minimale du foyer pour maintenir l'eau à une température comprise entre 95° et 100°C. Cette notion est également abstraite. L'obtention d'une puissance minimum ne relève pas uniquement de la performance du foyer, mais aussi de la patience de celui qui fait le test.

Il faut que ce dernier reste à proximité du foyer afin d'ajouter de petits morceaux de bois au feu ou d'en retirer. Dans notre cas nous ne pouvons pas parler de puissance minimum du foyer quand bien même le feu pendant la phase de mijotage est moins intense que pendant l'ébullition.

#### C) Puissance moyenne

Elle représente la quantité moyenne de bois consommée par unité de temps pendant toute la durée du test.

$$P = \frac{(m_B + m'_B) \times P_c}{t + 3600}$$

Ce qui importe au niveau des foyers, c'est la connaissance du rendement thermique.

Le calcul de la puissance a pour but de déterminer s'il existe une relation entre rendement thermique et puissance au niveau des foyers à bois. L'objectif est d'aboutir à un type de foyer qui a un rendement thermique élevé avec une consommation de bois faible.

## Chapitre VI

### LES RESULTATS DES TEST D'EBULLITION DE L'EAU

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats des tests, et nous ferons la comparaison des différents prototypes de foyers améliorés.

#### 6.1. Présentation et analyse des résultats

Les résultats détaillés des différents tests sont présentés en annexe.

Le tableau 5 ci-joint donne les moyennes des différents rendements thermiques et des différentes puissances des foyers testés.

Du point de vue valeur numérique, à l'exception du foyer Titao, le rendement thermique du foyer traditionnel est le plus bas cela aussi bien pour la phase d'ébullition que de mijotage.

Les rendements les plus élevés sont obtenus avec les foyers légers (foyers en terre cuite du CILSS et foyer métallique) ensuite vient le foyer à deux trous sans cheminée, les foyers à plusieurs trous avec cheminée, le foyer traditionnel 3 pierres et enfin le foyer Titao.

##### 6.1.1. Le rendement thermique de la première marmite par rapport aux autres.

Pour un même foyer à plusieurs trous, le rendement thermique de la première marmite est plus élevé que celui des autres, et le rendement thermique dans les autres marmites diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la première.

./..

Tableau n° 5

Foyers	$\bar{n}'_1$	$\bar{n}'_2$	$\bar{n}'_3$	$\bar{n}'_t$	$\bar{P}'$	$\bar{n}''_1$	$\bar{n}''_2$	$\bar{n}''_3$	$\bar{n}''_t$	$\bar{P}''$	$\bar{n}_1$	$\bar{n}_2$	$\bar{n}_3$	$\bar{n}_t$	$\bar{P}$	$\bar{n}_{c1}$	$\bar{n}_{c2}$	$\bar{n}_{c3}$	$\bar{n}_{ct}$
3 Pierres	11,4	-	-	11,4	9,8	15,5			15,5	6,2	13,8	-	-	13,8	7,1	15,6	-	-	15,6
Nouna3(1)	12,6	-	-	12,6	9,8	15,9	-	-	15,9	6,9	14,8	-	-	14,8	7,6	16,2	-	-	16,2
CM	20,8	-	-	20,8	9,8	27,7	-	-	27,7	5	25,5	-	-	25,6	5,8	27,6	-	-	27,6
CILSS	23,6	-	-	23,6	6,4	32,1	-	-	32,1	4	28,9	-	-	28,9	4,5	30,4	-	-	30,4
Banfora	12,0	5,4	-	17,4	9,4	16,5	6,8	-	23,3	7,1	14,8	6,2	-	21,1	7,8	17,7	7,4	-	25,2
Nouna 2	10,7	4,8	-	15,6	9,4	15,1	6,6	-	21,8	7,6	13,4	5,9	-	19,4	8,1	14,7	6,6	-	21,3
Nouna3(2)	11,4	3,9	-	15,3	10,5	15,0	4,5	-	18,8	9,2	13,6	4,3	-	17,4	8,6	15,3	4,8	-	19,5
AIDR 2	10,1	4,9	-	15	10,2	15,4	5,0	-	20,5	8,1	13,5	5,0	-	18,5	8,6	14,8	5,5	-	20,3
Kaya 2	8,8	4,5	-	13,3	10,5	14,2	5,3	-	19,6	7,4	11,7	4,9	-	16,6	8,5	12,9	5,9	-	18,7
CATRU	12,5	3,1	-	15,6	8,9	15,8	5,6	-	21,4	8,1	14,7	4,9	-	19,6	8,3	16,0	5,3	-	21,3
Titao	7,7	3,1	-	10,8	11,3	11,1	3,7	-	14,8	8,9	9	3,4	-	12,3	9,8	10,5	3,9	-	14,4
AIDR 3	9,2	3,2	1,8	14,2	13,9	13,7	4,3	2,3	20	10	12,3	3,9	2,2	18	10,8	13,8	4,3	2,4	20,3
Kaya	7,5	3,5	3,1	14,1	12,7	9,9	5,6	3,7	19,1	10,1	8,8	4,7	3,5	17	10,9	10,2	5,5	4,0	19,6



$n'_1$  = rendement thermique à l'ébullition dans la première marmite  
 $n'_2$  = rendement thermique à l'ébullition dans la deuxième marmite  
 $n'_3$  = rendement thermique à l'ébullition dans la troisième marmite  
 $n'_t$  = rendement total à l'ébullition  
 $P'$  = puissance à l'ébullition

$n''_1$  = rendement thermique au mijotage dans la première marmite  
 $n''_2$  = rendement thermique au mijotage dans la deuxième marmite  
 $n''_3$  = rendement thermique au mijotage dans la troisième marmite  
 $n''_t$  = rendement thermique total au mijotage  
 $P''$  = puissance au mijotage

$n_1$  = rendement thermique moyen avec charbon dans la première marmite  
 $n_2$  = rendement thermique moyen avec charbon dans la deuxième marmite  
 $n_3$  = rendement thermique moyen avec charbon dans la troisième marmite  
 $n_t$  = rendement thermique moyen total avec charbon  
 $P$  = puissance moyenne

$n_{c1}$  = rendement thermique moyen sans charbon dans la première marmite  
 $n_{c2}$  = rendement thermique moyen sans charbon dans la deuxième marmite  
 $n_{c3}$  = rendement thermique moyen sans charbon dans la troisième marmite  
 $n_{ct}$  = rendement thermique moyen total sans charbon.

Cela s'explique par le fait que le rayonnement qui constitue le mode de transfert de chaleur le plus important s'effectue uniquement sous la première marmite. Celle-ci reçoit la chaleur rayonnée par les flammes, mais surtout par le charbon de bois, et également la chaleur émise par convection.

Les autres marmites reçoivent la plus grande partie de leur chaleur par la convection des gaz de combustion. L'intensité de la chaleur reçue est fonction de la disposition et de la dimension du monticule et aussi de l'intensité du tirage. Les gaz de combustion perdent progressivement leur chaleur au contact des marmites et des parois du foyer.

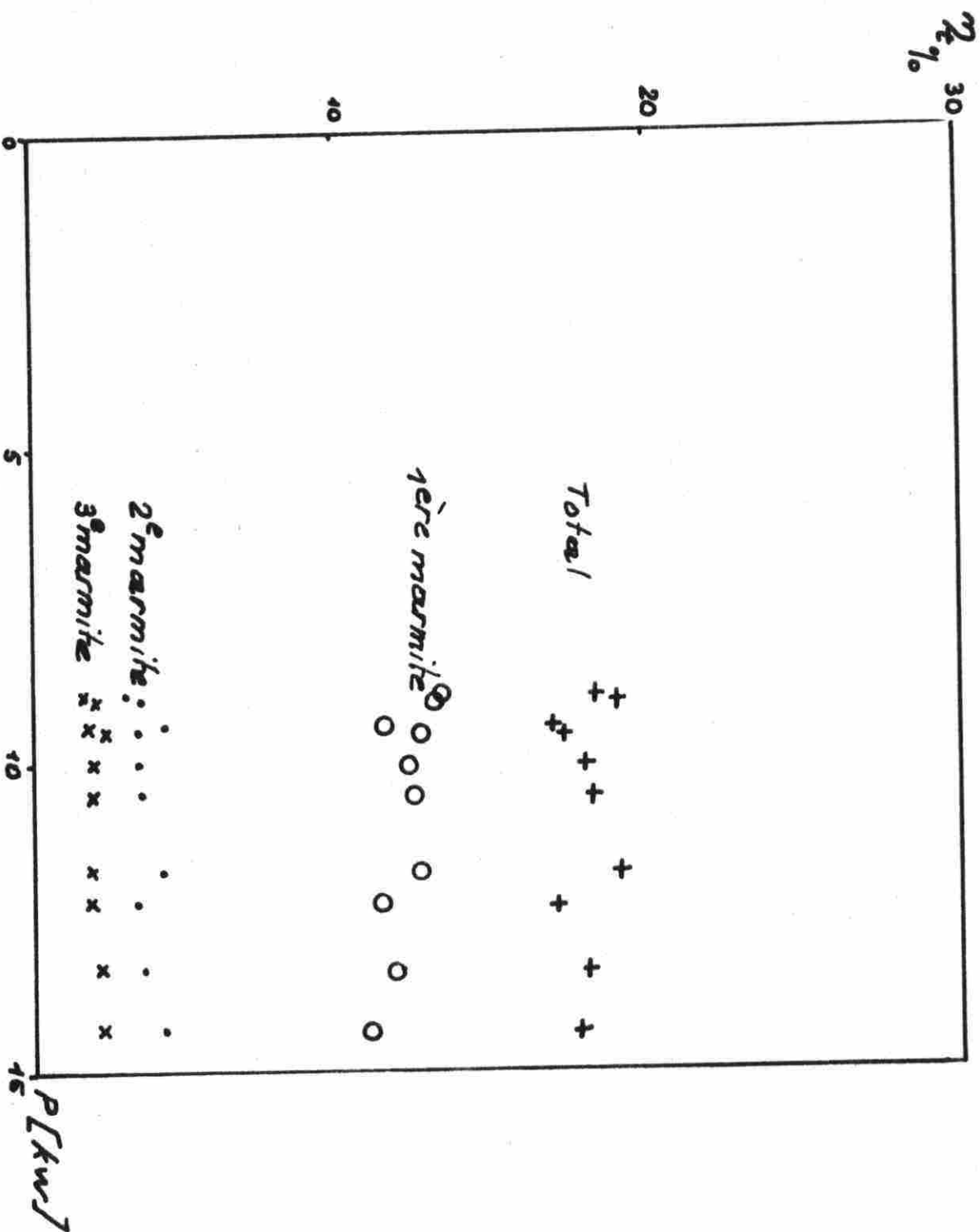
Afin de visualiser l'importance du rendement thermique dans la première marmite par rapport aux autres, nous avons fait la représentation graphique des rendements thermiques en fonction des puissances. Cela pour le foyer AIDR 3 trous, le foyer Nouna 2 trous, et le foyer Banfora sans cheminée. Pour ces représentations, nous avons considéré les rendements thermiques moyens avec charbon pour les différentes marmites et la puissance moyenne.

Nous remarquons que les points sont beaucoup plus étalés dans le cas du foyer AIDR 3 trous alors que pour les foyers à deux trous les points sont plus resserrés. Il est à noter que pour le foyer Banfora sans cheminée, les rendements dans la première et deuxième marmite sont plus élevés que pour les autres foyers. Aussi pour le foyer AIDR 3 trous, on remarque que la présence du troisième trou provoque la diminution du rendement de la deuxième marmite.

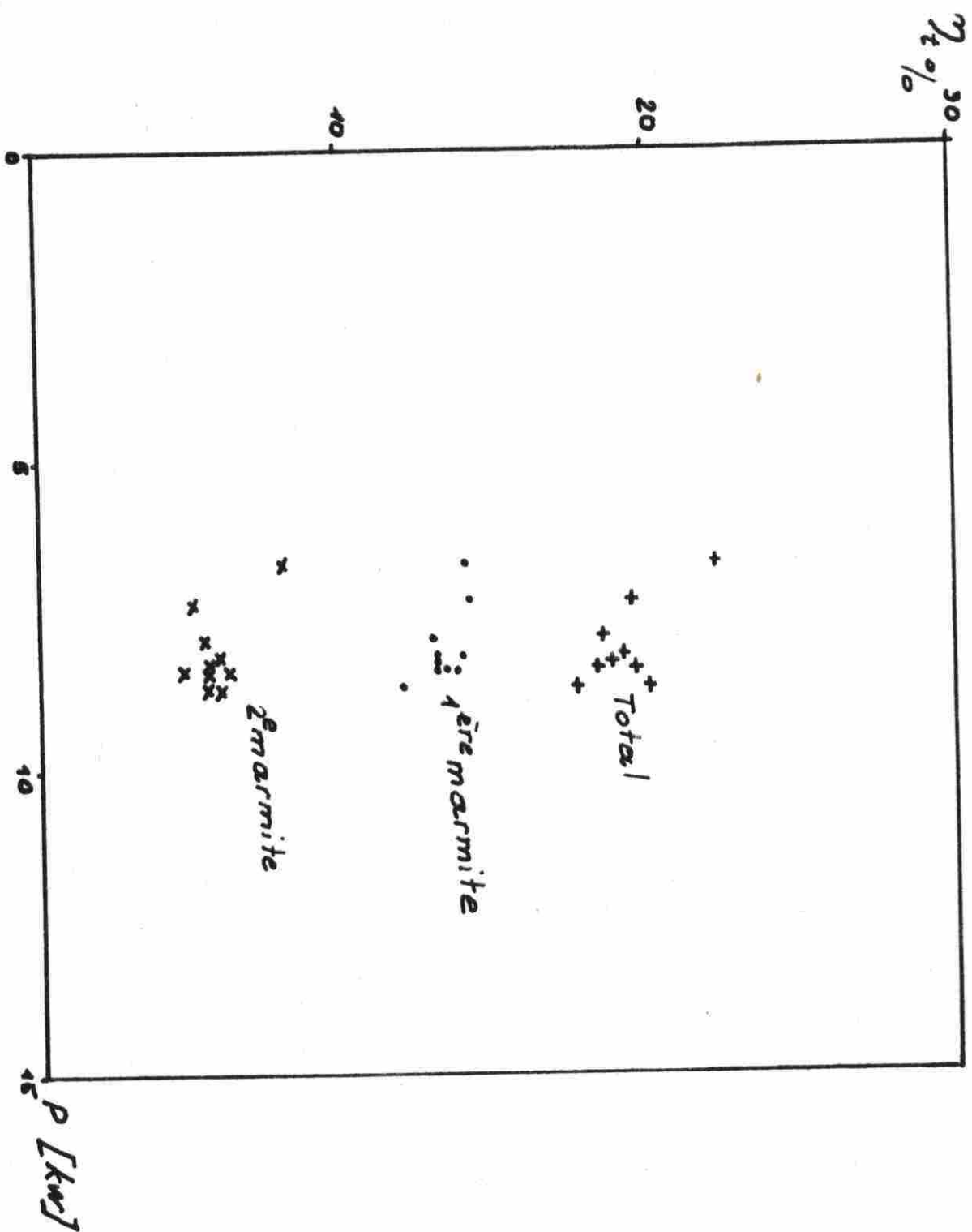
#### 6.1.2. Les rendements thermiques à l'ébullition et au mijotage

Pour tous les foyers les rendements thermiques à l'ébullition sont plus faibles que ceux au mijotage. Nous pensons que cela s'explique par le fait que pendant la phase d'ébullition, l'intensité du feu est très forte ce qui permet un échauffement rapide de la cheminée, et a donc pour conséquence l'augmentation du tirage. La majeure partie de la chaleur produite par le bois n'a pas le temps de pénétrer dans la marmite qu'elle est évacuée par le tirage. A cela il faut ajouter une certaine quantité de chaleur utilisée pour le chauffage des parois du foyer qui étaient froides avant le test.

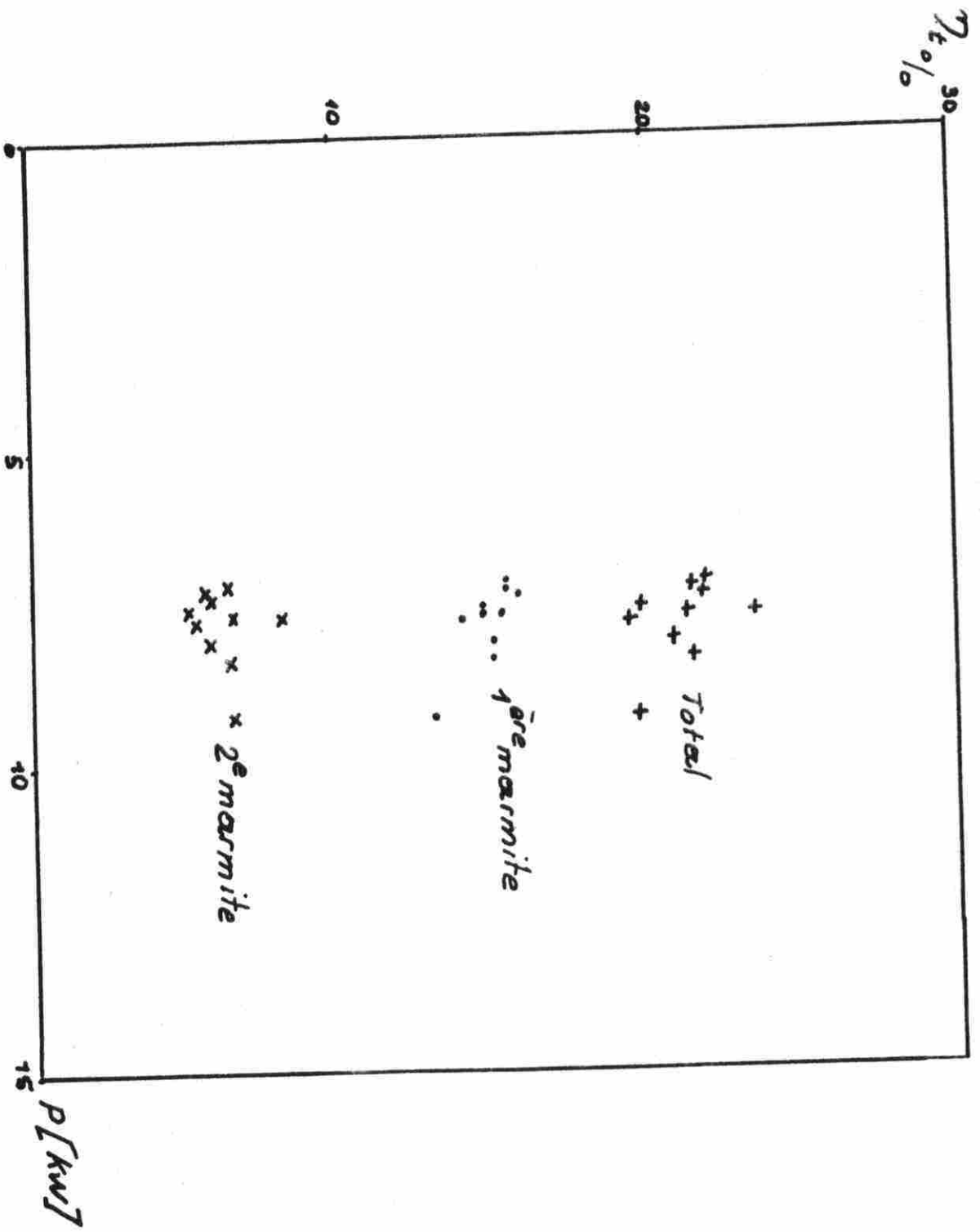
# A.I.D.R. 3trous



# Nouna 2 trous



# Banfora





Pendant la phase de mijotage, la chaleur produite est beaucoup mieux utilisée par les marmites que dans le premier cas. Lors de cette phase, les parois du foyer sont déjà chaudes et rayonnent. De plus c'est au mijotage que s'effectue la combustion du charbon de bois produit pendant la première phase.

#### 6.1.3. Le rendement thermique moyen avec charbon ( $n_t$ ) et sans charbon ( $n_{ct}$ )

Ces deux types de rendements thermiques varient numériquement d'un foyer à un autre. Pour un même foyer, ces rendements varient d'un test à un autre bien que la plupart du temps ces variations soient très faibles.

Ils sont élevés pour les foyers améliorés à un trou sans cheminée, ensuite viennent ceux du foyer amélioré sans cheminée, puis des foyers à plusieurs trous avec cheminée à l'exception du foyer Titao.

Les rendements moyens avec et sans charbon du foyer traditionnel et du foyer Nouna 3 (1) sont à peu près les mêmes.

Les plus petites valeurs sont obtenues avec le foyer Titao.

Pour tous les types de foyers, le  $n_t$  est inférieur au  $n_{ct}$ . Cette différence est faible pour les foyers à un trou avec grille et sans cheminée car la présence de la grille permet l'obtention d'une bonne combustion du bois et du charbon de bois.

Pour le foyer Banfora sans cheminée, la différence est assez grande.

L'absence de cheminée ne permet pas d'avoir suffisamment d'air dans la chambre de combustion pour assurer une bonne combustion du charbon. La quantité de charbon récupérée après le test reste donc assez importante.

Dans le cas des foyers avec cheminée, le tirage assure l'introduction d'une quantité importante d'air dans le foyer, mais l'absence de grille fait que le charbon ne peut pas bien brûler. Nous pensons que c'est la raison pour laquelle la différence entre le  $n_{ct}$  et le  $n_t$  de ces types de foyers est comprise entre celle des foyers à un trou possédant une grille, et celle du foyer Banfora sans cheminée.

#### 6.1.4. Les puissances

Les puissances varient d'un foyer à l'autre. Elles sont moins élevées dans le cas des foyers améliorés à un trou sans cheminée, et plus élevées pour les foyers à trois trous.

Pour un même foyer, il y a des variations d'un test à l'autre. La puissance à l'ébullition est plus élevée que celle au mijotage ce qui est conforme à la méthodologie utilisée.

#### 6.1.5. Analyses des erreurs

Il s'est avéré très difficile de faire un calcul détaillé d'erreur aussi bien pour les rendements thermiques que pour les puissances parce que les calculs sont basés sur quelques suppositions implicites :

- la chaleur spécifique de l'eau a été supposée 4,18 kJ/kg et la chaleur latente de vaporisation à 2260 kJ/kg
- le pouvoir calorifique du bois a été pris constant (18000 kJ/kg) tout au long des tests ce qui est difficile à justifier quand on sait que le pouvoir calorifique varie avec l'humidité qui à son tour varie légèrement avec les jours.
- le pouvoir calorifique du charbon a été supposé à 29000 kJ/kg. On peut dire que l'erreur due à ces valeurs est négligeable car elle reste la même pour tous les tests.

Les erreurs les plus importantes sont celles dues au vent et aux enquêteurs.

- le vent : bien que les foyers soient protégés par un bâtiment, on a remarqué tout de même une influence du vent sur les foyers. Cette influence varie d'un jour à l'autre. Nous avons essayé de réduire l'effet du vent pour les différents foyers en les allumant le même jour, mais des erreurs subsistent tout de même entre les tests d'un même foyer.
- les opérateurs : chaque opérateur a effectué les essais en contrôlant le feu différemment.

C'est tous ces facteurs qui concourent à l'obtention des variations entre les différents résultats d'un même foyer.

Compte tenu de ces difficultés pour un calcul d'erreur, nous avons préféré encadrer nos résultats aux intervalles de confiance de 95 et 99 %

Ces encadrements signifient que pour les différents tests, on a 95 % et 99 % de chance que la valeur trouvée soit comprise entre les deux limites mentionnées. (cf. tableau 6 et 7 joints en annexe).

## 6.2. Comparaison des foyers testés

Pour la comparaison des différents prototypes de F.A., nous avons utilisé la méthode de Tukey-Hartley basée sur le principe de comparaison des moyennes. (Méthode de calcul en annexe).

Nous avons comparé les foyers sur la base des rendements thermiques moyens sans charbon ( $n_{ct}$ ), et cette comparaison nous a permis de les classer de la manière suivante :

- le foyer CILSS en terre cuite est le meilleur, suivi du foyer métallique (CM). Ce sont tous des foyers légers transportables.
- le foyer Banfora sans cheminée
- après le foyer Banfora on a tous les autres foyers à deux trous et à trois trous avec cheminée à l'exception du foyer Titao. Nous avons trouvé sur la base des rendements thermiques moyens, et du point de vue statistique il y a pas de différence significative entre ces foyers.
- Enfin sur la même base, nous avons trouvé également qu'il n'y a pas de différence significative entre le foyer 3 pierres, le foyer Nouna 3 (1) et le foyer Titao.

### 6.2.1. Les foyers légers

Les foyers légers à un trou ont un rendement thermique élevé à cause du fait qu'une grande surface de la marmite est exposée à la chaleur. Pour le foyer métallique, la marmite pénètre presque totalement dans le foyer. La surface de la marmite en contact avec l'air ambiant est très réduite, ce qui diminue les pertes de chaleur. Aussi le petit espace entre les parois de la marmite et le foyer oblige les gaz chauds à s'élever autour de la marmite avant leur évacuation.

Dans le cas du fourneau en terre cuite, la marmite ne pénètre pas bien dans le foyer, mais ce dernier a été conçu de telle sorte que les gaz chauds puissent s'élever autour des parois de la marmite, ce qui augmente la superficie d'échange de chaleur.



Aussi bien pour le foyer en terre cuite que pour le foyer métallique, la présence d'une grille contribue à augmenter les rendements thermiques. Bien que le rendement thermique du foyer métallique soit assez élevé, il est inférieur à celui du foyer en terre cuite. Cela s'explique par le fait que le rayonnement vers l'ambiance des parois du foyer métallique est assez important ce qui engendre des pertes de chaleur. De plus le fond de la marmite est assez proche de la grille. Les volatiles dégagés n'ont pas le temps de bien brûler qu'ils entrent en contact avec la marmite. Cette combustion incomplète se traduit par une abondance de fumée noire.

#### 6.2.2. Le foyer Banfora sans cheminée

Parmi les foyers massifs, le foyer Banfora a le rendement thermique le plus élevé. Sans cheminée, son tirage est donc de faible intensité et la combustion y est incomplète. On devrait donc s'attendre à un rendement thermique assez faible.

Une étude faite par le "Wood Burning Stove Group" aux Pays-Bas a montré que les pertes de chaleur par la cheminée sont plus importantes que celles dues à une combustion incomplète. Nous pensons donc que le rendement élevé du foyer Banfora est dû à l'absence de cheminée.

L'absence de cheminée permet un meilleur contact entre les gaz et la seconde marmite. Aussi la production de charbon est abondante dans le foyer.

#### 6.2.3. Les foyers lourds avec cheminée

Nous avons abouti par la méthode de comparaison de Tukey-Hartley qu'à l'exception du foyer Titao, il n'y a pas de différence significative entre les autres foyers à plusieurs trous et avec cheminée. La raison en est que les principales caractéristiques de tous les foyers massifs testés sont les mêmes à quelques variations près au niveau de la construction. Ces variations ne sont pas assez importantes pour influencer le fonctionnement du foyer.

La baisse de rendement thermique par rapport au foyer Banfora est due à la présence d'une cheminée dont le tirage est mal contrôlé, entraînant ainsi d'importantes pertes de chaleur. En plus de cela il faut ajouter les pertes par combustion incomplète bien qu'elles soient plus faibles que celles du foyer sans cheminée.

D'une manière générale, pour les foyers avec cheminée, à l'exception du foyer CATRU, une grande partie de la surface des marmites reste en contact avec l'air ambiant ce qui diminue la surface exposée à la chaleur.

Certains foyers présentent des particularités.

#### a) Le foyer CATRU

Le foyer CATRU aurait pu avoir un rendement thermique plus élevé que celui des autres foyers car les marmites ont été modifiées de telle sorte qu'elles pénètrent bien dans le foyer. De plus ce foyer a une grille dans la chambre de combustion. Son rendement thermique du même ordre que tous les autres foyers à cheminée peut s'expliquer par le fait que les deux marmites qui pénètrent bien dans le foyer récupèrent une grande partie de la chaleur produite par le bois, ce qui entraîne un chauffage lent de la cheminée. Il ne se crée donc pas une différence de pression assez rapide permettant le tirage. Cela est aggravé dans notre cas par le monticule qui est mal positionné et ne permet pas le passage de la chaleur en direction de la cheminée. Cette absence de tirage maintient les gaz de combustion dans le foyer et empêche le bois de brûler. De temps en temps, ces gaz ressortent par la porte.

#### b) Le foyer Kaya 3 trous

Le foyer Kaya trois trous avec un rendement thermique équivalent aux autres comporte également un certain nombre de problèmes particuliers. Le plan fait apparaître deux trous en parallèle et un troisième situé en arrière. Deux canaux permettent la communication entre chacune des deux marmites en parallèle avec le troisième. Il ya dès lors deux possibilités de mettre le bois dans le foyer.



- Le bois peut être placé au niveau de l'espace compris entre les deux marmites en parallèle. Dans ce cas, c'est le tirage qui dirige les flammes et une partie de l'énergie rayonnée par le charbon vers les deux marmites en parallèle et le gaz à la troisième marmite. Aucune marmite ne profite pleinement de la chaleur rayonnée par le charbon de bois. Cette énergie et une partie de celle des flammes sont utilisées pour chauffer la dalle. Pour obtenir l'ébullition, il faut donc mettre beaucoup de bois dans le foyer ce qui entraîne une grande consommation.
- La deuxième possibilité consiste à répartir le bois sous chaque marmite en parallèle, on obtient ainsi deux chambres de combustion ce qui a également pour conséquence une consommation de bois élevée.

D'une manière générale pour tous les foyers massifs les pertes de chaleur par rayonnement et convection sont réduites. Par contre une grande partie de la chaleur produite est accumulée dans les parois du foyer.

#### 6.2.4. Le foyer 3 pierres, Nouna 3 (1) et Titao

Ils constituent le dernier groupe du point de vue rendement thermique. Statistiquement il n'y a pas de différence significative entre eux.

Le foyer Nouna 3 (1) et en fait le trou indépendant du foyer Nouna 3 trous que nous avons testé. Bien que le foyer soit fermé on constate que les rendements thermiques sont à peu près du même ordre que ceux du foyer traditionnel. Nous pensons que cela s'explique par le tirage, mais aussi comme dans le cas des foyers massifs par la petite surface de la marmite exposée au feu et l'accumulation de la chaleur dans les parois du foyer.

Pour le foyer Titao qui a deux trous et une cheminée, le rendement thermique est inférieur à celui des 3 pierres cela peut être expliqué par :

- la distance assez grande entre le fond du foyer et le fond de la première marmite, ce qui réduit l'intensité de la chaleur reçue par rayonnement.
- le monticule qui est très bas. Les gaz n'ont donc pas la possibilité de toucher le fond de la deuxième marmite avant d'être évacués par la cheminée.
- le manque d'étanchéité entre les trous des anneaux et les marmites ce qui au niveau de la première marmite provoque des fuites de gaz.
- L'épaisseur des anneaux qui diminue la surface de contact entre les marmites et la chaleur.

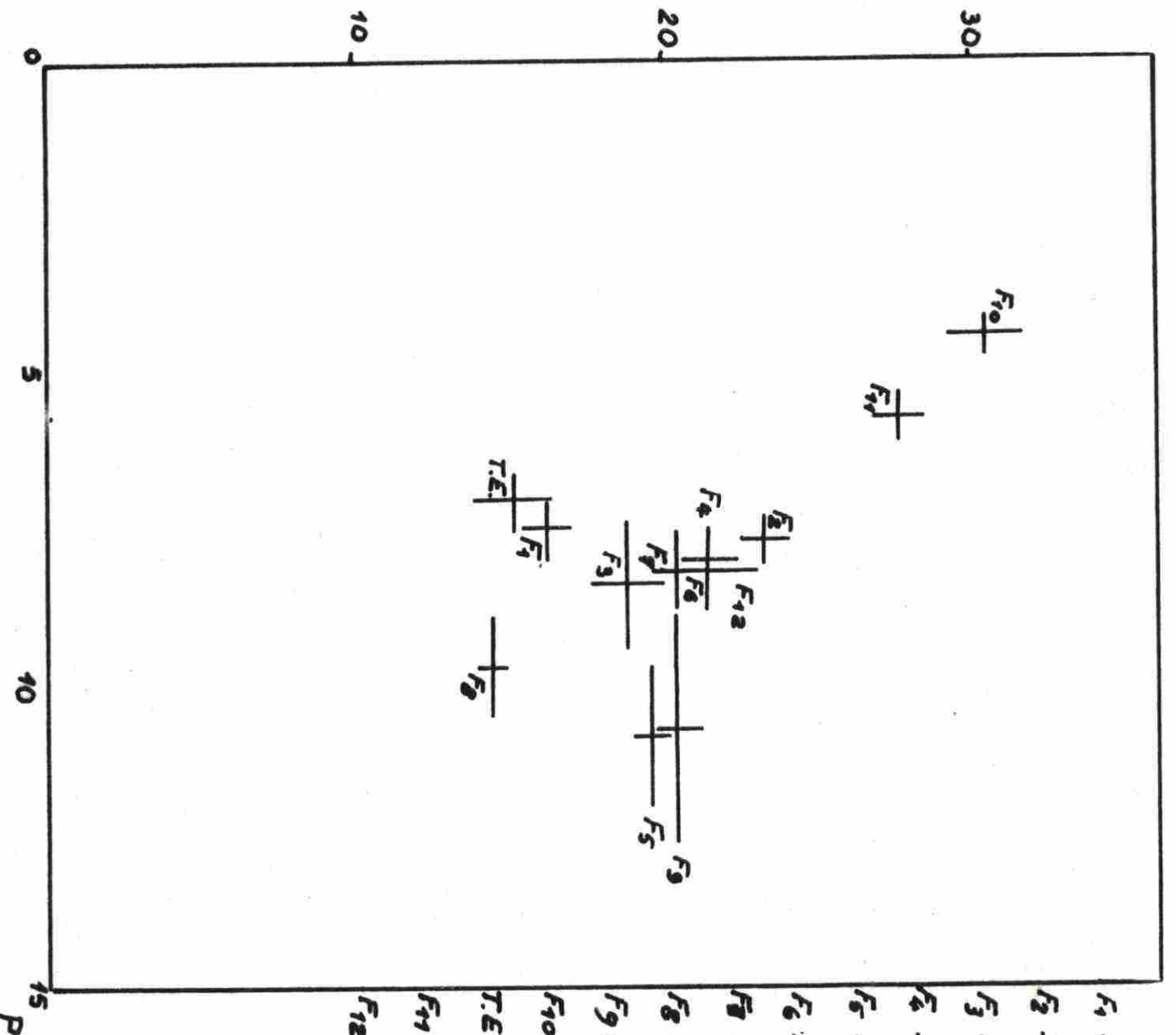
Le foyer traditionnel 3 pierres dont les faibles rendements s'expliquent par les pertes de chaleur par convection et rayonnement, présente un rendement thermique supérieur à ceux annoncés dans la littérature. Ce rendement thermique a été vérifié par une étude faite sur le terrain au quartier Dapoya à Ouagadougou. Pour un échantillon de trente familles, nous avons trouvé un rendement thermique moyen de 14 %, ce qui correspond au rendement de 13,8 % trouvé en atelier.

#### 6.2.5. Représentation graphique

A partir des intervalles de confiance à 95 %, nous avons fait une représentation graphique qui montre la position de chaque foyer par rapport aux autres. Cette représentation a été faite à partir des intervalles de confiance des rendements thermiques moyens sans charbon ( $n_{ct}$ ) et des puissances moyennes (cf graphe ci-joint).

Ce graphique montre les différents regroupements avec la méthode de comparaison utilisée. On voit également que les foyers à trois trous avec les mêmes rendements thermiques que ceux à deux trous ont des puissances élevées et très variables.

7d



F<sub>1</sub> : Nouna 3trous (1)

F<sub>2</sub> : Banfere

F<sub>3</sub> : Kaya 2trous

F<sub>4</sub> : Nouna 2trous

F<sub>5</sub> : Kaya 3trous

F<sub>6</sub> : A.I.D.R. 2trous

F<sub>7</sub> : Nouna 3trous (2)

F<sub>8</sub> : Titao

F<sub>9</sub> : A.I.D.R. 3trous

F<sub>10</sub> : C.I.L.S.S.

T.E. : Témoir (3 pierres)

F<sub>11</sub> : C M Foyer métallique

F<sub>12</sub> : C.A.T.R.U.

### Conclusion

De ces différentes expérimentations, il ressort que les meilleurs rendements thermiques ne sont pas obtenus avec les foyers à plusieurs marmites et que les foyers fermés ne sont pas nécessairement meilleurs au foyer traditionnel.

Elles confirment également que la grille est un élément indispensable pour l'amélioration de l'efficacité du foyer et que pour récupérer le maximum d'énergie, il faut maximiser la surface de la marmite exposée à la chaleur.

Par ces tests on est arrivé à la conclusion que du point de vue rendement thermique il n'ya pas de différence significative entre les différents foyers à plusieurs trous avec cheminée (exception faite du Titao) et que des efforts doivent être faits afin de les optimiser.

## Chapitre VII

### TESTS DE CUISINE CONTROLEE :

#### PREPARATION DU TÔ

Après le test d'ébullition de l'eau qui nous a permis de calculer les rendements thermiques des différents foyers, nous avons fait des tests de cuisine contrôlée. Le but de ces tests est de mesurer les économies de bois et de voir s'il est possible d'établir une certaine relation entre les rendements thermiques et l'économie de bois réalisée.

Ces tests ont consisté en la préparation de tôle et de sauce.

Un foyer de chaque type a été retenu.

- Le foyer traditionnel 3 pierres,
- le foyer métallique
- le foyer Nouna 2 trous. Ce foyer a été retenu parce que parmi les foyers à deux trous avec cheminée c'est lui qui a en valeur numérique le rendement le plus élevé.  
foyer Banfora sans cheminée
- le foyer AIDR 3 trous choisi parce que plus vulgarisé que le foyer Kaya 3 trous.

Les tests ont été faits par quatre animatrices et chaque animatrice a testé chaque foyer une fois, ce qui donne quatre tests par foyer.

Notons que chacun des foyers non retenus a été testé une seule fois sauf le foyer en terre cuite qui s'est fissuré lors des tests d'ébullition de l'eau.

#### 7.1. Méthodologie

Par un premier test nous avons déterminé les quantités de condiments pour la sauce, de farine pour le tôle que l'on peut utiliser pour préparer dans une marmite n° 3. (cf feuille de test).

Ces quantités restent les mêmes pour chaque test.

La marmite de sauce est placée au premier trou, et celle du tôle au second trou, cela pour les foyers à plusieurs trous. Dans le cas du foyer AIDR 3 trous,



## TEST DU TÔ

### Données

#### Sauce

- huile : 100 g  
- viande : 450 g  
- fruits de tomate : 300 g  
- purée de tomate : 50 g  
- eau : 2500 g  
- oignons : 70 g  
- gombo : 100 g  
- cube maggie, soumbala,  
sel : 50 g

#### Tô

- eau : 4000 g  
- farine : 1000 g  
- eau de tamarin : 500 g

Début -----heure

Poids du bois -----

#### Sauce

#### tô

Poids marmite de tô	-----	Poids de la marmite	
Poids marmite de sauce	-----	+ eau	-----
Poids de la marmite + huile	-----	Poids de l'assiette	
Poids d'une assiette vide	-----	+ farine	-----
Poids de l'assiette + viande	-----	Poids eau de tamarin	-----
Poids de l'assiettes + fruits de tomate	-----		
Poids de l'assiette + purée de tomate	-----		
Poids de l'assiette + soumbala, cube maggie, sel	-----		
Poids de l'assiette + oignons	-----		
Poids de l'assiette + gombo	-----		
Poids de l'eau	-----		

Fin tô ----- heure

fin sauce ----- heure

Poids de la marmite + sauce après cuisson -----  
Poids de marmite + tô après cuisson -----  
Poids de bois qui reste -----

Remarques -----  
-----  
-----

le troisième trou est occupé par une marmite contenant de l'eau.  
 Pour les foyers à un trou, (métallique et 3 pierres), le tô et la sauce sont préparés sur deux foyers identiques.  
 La manière de préparer le tô et de contrôler le feu est laissée à l'appréciation de chaque animatrice.

## 7.2 Résultats et interprétation

Après les tests, nous avons calculé les quantités de bois consommées par foyer et par préparation. Les résultats en kg sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Animatrices Foyers	1	2	3	4	Moyenne par foyer
3 pierres	2,02	2,29	2,18	1,96	2,11
Métallique	1,23	1,23	1,25	1,37	1,27
Nouna 2 trous	1,86	1,92	1,90	2,12	1,95
Banfora	1,92	2,06	1,56	1,90	1,86
AIDR	2,22	2,39	2,09	2,53	2,31

Bien que les tests aient été faits par des animatrices différentes, on constate que les variations dans la consommation de bois pour un même foyer sont faibles.

Comme le montre les résultats, c'est le foyer métallique qui a consommé le moins de bois pour la préparation. Ensuite on a le foyer Banfora puis le foyer Nouna 2 trous, le foyer traditionnel. Le foyer AIDR 3 trous a une consommation de bois supérieure à celle du foyer traditionnel 3 pierres.

On remarque que la différence de consommation entre le foyer traditionnel et les foyers améliorés à plusieurs trous n'est pas grande.

Nous pouvons expliquer cela de la manière suivante :

Lors des tests, la cuisson de la sauce prend fin sur le premier trou avant que la deuxième marmite ne commence à bouillir. Etant donné que l'énergie récupérée par la deuxième marmite n'est pas suffisante pour faire bouillir l'eau et permettre la préparation du repas, il fallait la ramener au premier trou après la cuisson de la sauce pour terminer la préparation du tô. Néanmoins comme elle est déjà chaude, il faut lui fournir peu d'énergie pour atteindre l'ébullition. C'est cette pratique qui contribue à rapprocher la consommation de bois des foyers à plusieurs trous de celle du foyer traditionnel. Plus le rendement thermique de la deuxième marmite est élevé, moins la consommation de bois sera importante.

Cette nécessité d'interchanger les marmites peut être source de problèmes lorsque les deux trous sont de diamètres différents.

L'ébullition de l'eau peut être obtenue au deuxième trou, mais il faut mettre beaucoup de bois dans le foyer, ce qui engendrera une consommation de bois qui peut être supérieure à celle que nous avons obtenue.

Le foyer métallique bien qu'ayant la consommation de bois la plus faible présente un certain nombre de problèmes, notamment des problèmes de stabilité (le foyer bouge par rapport au sol lors de la préparation du tô, et la marmite bouge sur ses supports dans le foyer) et de la fumée qui n'est pas évacuée hors de la cuisine.

Le foyer AIDR 3 trous a la consommation de bois la plus forte. Cela est dû au fait que le rendement thermique du deuxième trou de ce foyer est plus faible, il faut après le changement des marmites mettre beaucoup de bois pour terminer la préparation.

### 7.3. Relation entre rendement thermique et consommation de bois

Sur la base des rendements thermiques, nous avons trouvé que les foyers pouvaient être classés de la manière suivante par ordre décroissant :

- foyer métallique	(27,6 %)
- foyer Banfora sans cheminée	(25,2 %)
- foyer Nouna 2 trous	(21,3 %)
- foyer AIDR 3 trous	(20,3 %)
- foyer traditionnel	(15,6 %)

Si nous considérons la consommation de bois lors de la préparation du repas, on constate qu'à l'exception du foyer AIDR 3 trous, dont la consommation est supérieure à celle du foyer traditionnel, on peut dire que les meilleures économies sont obtenues avec les foyers à rendement thermique élevé.

Le cas du foyer AIDR 3 trous s'explique par le fait que pour un rendement thermique équivalent à celui des foyers à deux trous avec cheminée, il faut utiliser une quantité plus importante du bois. C'est ce qui s'est concrétisé lors de ce test de cuisine contrôlée.

#### 7.4. Remarque : Test de récupération de chaleur

Une des argumentations en faveur des foyers massifs est la possibilité de récupérer la chaleur accumulée dans les parois du foyer pour chauffer l'eau qui servira à des usages familiaux.

Afin de mesurer la quantité d'énergie récupérable, nous avons fait un test de récupération de chaleur après les tests de préparation de tô sur certains foyers.

Pour cela nous avons retiré le charbon de bois du foyer, fermer la porte et la cheminée, et poser des marmites contenant chacune 3 litres d'eau sur le foyer.

La température de l'eau est relevée toutes les cinq minutes. dès qu'elle commence à redescendre, on retire les marmites et on calcule le rendement thermique. Les calculs nous ont donné les valeurs suivantes :

../..



Foyers	Kaya 2 trous	Titao	Banfora	AIDR 3 trous	Nouna 3(2)	AIDR 2	Nouna 2
% de chaleur récupérée	0,6	0,6	0,7	0,7	1	1	1,3

Bien que la chaleur accumulée dans les parois soit assez importante on constate que la partie récupérable est assez faible.

Nous pensons que cette faible récupération s'explique par le fait que la conduction qui est le processus de transfert de chaleur le plus important dans ce cas, s'effectue entre les parois de la marmite et les parois de la dalle du foyer. La surface de contact entre la dalle et la marmite n'est généralement pas élevée ce qui réduit l'intensité de la chaleur reçue par cette dernière.

En même temps qu'il y a transfert de chaleur par conduction à la marmite, il y a des pertes dues au fait que tout le foyer et une partie de la marmite sont en contact avec l'air ambiant, ce qui entraîne leur refroidissement rapide.

#### Conclusion

A partir de ces tests de cuisine contrôlée, on peut dire que si l'on veut obtenir la réduction de la consommation de bois, il faut mettre au point des foyers à rendement thermique élevés.

Un foyer à rendement thermique élevé obligera les ménagères à réduire la quantité de bois à introduite dans le foyer pour ne pas brûler le repas.



// ROISIEME // ARTIE

ANALYSE FINANCIERE SUR LA RENTABILITE DES F.A.

-----

## Chapitre 8

### ANALYSE FINANCIERE SUR LA RENTABILITE DES FOYERS AMELIORES

Le but de ce chapitre est d'évaluer dans quelle mesure les familles utilisant un foyer amélioré peuvent s'attendre à réaliser une économie financière, surtout en ces périodes où le prix du bois connaît une hausse aussi bien en zone urbaine semi-urbaine que rurale.

Pour cette analyse nous avons retenus 5 types de foyers qui sont:

- le foyer traditionnel
- le foyer Nouna 2 trous
- le foyer Banfora
- le foyer AIDR 3 trous
- le foyer métallique.

Comme méthode de calcul, nous utiliserons celle des annuités car elle permet de comparer différents investissements sur la base de dépenses périodiques (mensuelles dans notre cas). Elle permet également de comparer des investissements d'un montant et d'une durée de vie différents, en tenant compte des taux d'intérêts.

L'analyse financière se fera en calculant d'abord les économies sur la base des rendements thermiques et par la suite en tenant compte des économies de bois du test de t<sub>0</sub>.

#### 8.1. Les dépenses mensuelles actuelle pour l'achat du bois.

Nous rappelons ici les dépenses mensuelles par famille moyenne pour l'achat du bois réservé uniquement à la cuisson des aliments.

../..

	Zone rurale	Zone semi-urbaine	Ouagadougou
Famille moyenne	11,1	9,1	9,5
Consommation de bois kg/prs/jour	1,52	1,17	0,86
Prix du kg de bois (F CFA)	2,5	5,5	15
Dépenses mensuelles par famille moyenne	1265	1760	3657

Ces consommations de bois et ces dépenses mensuelles sont engendrées par l'utilisation du foyer traditionnel.

#### 8.2. Détermination des coûts des foyers

Les ménages désirant un foyer amélioré doivent investir une certaine somme d'argent dont la valeur varie en fonction des types de foyers, et suivant les zones.

Pour les coûts nous avons décidé de considérer les prix de vente actuels, car c'est ce qui intéresse les ménages.

Nous supposons que tous les foyers retenus sont vulgarisés aussi bien en milieu urbain et semi-urbain que rural. Dans les zones où un type de foyer n'est pas vulgarisé, nous essayerons d'estimer le prix qui pourra être demandé aux ménages si ce foyer venait à y être introduit.

##### - foyer Nouna 2 trous

Le foyer Nouna 2 trous est vulgarisé en milieu urbain et semi-urbain où son prix est respectivement de 4500 et 3.500 francs. Le prix retenu pour le milieu rural est une estimation faite sur la base du foyer Kaya 2 trous qui est diffusé dans toutes les zones. Ce prix a été calculé de la manière suivante :

$$\frac{\text{Prix du Nouna 2 trous en milieu urbain}}{\text{Prix du Kaya 2 trous en milieu urbain}} \times \text{Prix du Kaya en zone rurale}$$

Application :  $\frac{4\ 500}{4\ 000} \times 1300 = 1462$  soit environ 1500 F.

- Foyer AIDR.3 trous

Il est vulgarisé en zone urbaine où son prix est de 5000 F. Son prix pour le milieu semi-urbain et rural est respectivement de 4100 et 1600 F. estimé également sur la base du Kaya 2 trous

- Foyer Banfora

Le foyer Banfora construit en banco avec un léger crépissage en ciment n'est vulgarisé à grande échelle dans aucune zone. Nous avons estimé son prix à 2000 F CFA pour le milieu urbain sur la base du foyer Kaya en banco vendu à 1500 francs en zone urbaine.

Les travaux de construction du foyer Banfora demandent beaucoup plus de temps raison pour laquelle nous avons augmenté le prix de 500 F CFA. Son prix en milieu semi-urbain et rural qui a été également calculé sur la base des prix du foyer Kaya est respectivement 1750 et 650 F CFA.

- Foyer métallique

Il est en phase expérimentale et n'est pas encore vulgarisé. Il peut être produit par des entreprises privées. Le premier essai de production fait par la M.F.A. en collaboration avec un atelier de soudure de Ouagadougou a permis d'aboutir à un prix de 1030 francs, qui tient compte de la marge bénéficiaire du constructeur. Nous pensons donc que ce foyer pourra être livré aux ménages à ce prix.

Pour le milieu semi-urbain et rural, les prix doivent en principe être plus élevés car il faut tenir compte du coût du transport. Même si le foyer devait être produit sur place, il y aura des problèmes dans l'approvisionnement en matériaux.

Néanmoins pour toutes les zones, nous avons retenu le prix de 1030 francs en supposant une production locale et un coût moindre pour la main-d'oeuvre en zone semi-urbaine et rurale, ce qui permettra d'équilibrer les différents coûts;

N.B - Le prix de 1030 francs reste valable pour les foyers conçus pour l'utilisation de marmite n° 3. Il est évident que pour des foyers plus petit ou plus grand, les prix varieront

- Foyer traditionnel

Le prix du foyer traditionnel 3 pierres a été pris égal à zéro car la matière première est gratuite et le temps nécessaire à l'installation pratiquement négligeable.

Le tableau ci-dessous donne le prix des foyers suivant les zones :

Foyers	Zone rurale	Zone semi-urbaine	Ouagadougou
Traditionnel	0	0	0
AIDR 3 trous	1600	4100	5000
Nouna 2 trous	1500	3500	4500
Banfora	650	1750	2000
Métallique	1030	1030	1030

Notons que tous ces prix sont subventionnés ou calculés sur la base des prix subventionnés, à l'exception du foyer métallique.

8.3. Calcul des annuités mensuelles

Pour cela plusieurs suppositions sont faites :

- Les familles pour installer les foyers prennent un crédit qu'elles devront rembourser par intervalle de temps constant (par mois).



Ces annuités tiennent compte des taux d'intérêts appliqués :

Dans notre cas, nous utiliserons le taux d'intérêt réel pour ne pas tenir compte du taux d'augmentation du prix du bois.

Ce taux d'intérêt réel calculé à partir du taux d'intérêt nominal, et du taux d'inflation est de 8 % par an soit 0,6434 % par mois.

Ce taux d'intérêt réel a été calculé à partir de la formule suivante :

$$i = \frac{100 + P}{100 + a} \times 100 - 100$$

P : taux d'intérêt nominal 17,5 % (source BICIA HV)

a : taux d'inflation moyen il a été de 9 % pendant les 4 dernières années (source : comptes nationaux)

- La durée de vie des foyers AIDR 3 trous et Nouna 2 trous a été estimée à deux ans (durée donnée par les différents projets). Celle du foyer Banfora et du foyer métallique ont été prises égales à un an.

Pour ces deux derniers foyers il faut renouveler l'investissement au bout du douzième mois pour permettre une comparaison entre les foyers. Connaissant les valeurs actuelles des différents foyers et le taux d'intérêt on peut calculer l'annuité mensuelle par la formule suivante :

$$A = \frac{S_a \times i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}$$

$S_a$  = valeur actuelle (FCFA)  
 $i$  = taux d'intérêt réel  
 $n$  = nombre de période

Pour le foyer Banfora et le foyer métallique, il faut renouveler l'investissement et calculer la valeur actuelle avant de déterminer les annuités. La valeur actuelle pour ces deux types de foyers devient :

$$S_a = I_0 + \frac{I_1}{(1+i)^n}$$

$I_0$  = Investissement au mois 0  
 $I_1$  = réinvestissement  
 $n$  = nombre de période (12 mois)

../..

Le tableau ci-dessous donne les différentes annuités mensuelles pour les foyers

Annuités par zone (FCFA)	Zone rurale	Zone semi-urbaine	Ouagadougou
Foyers			
Traditionnel	-	-	-
Nouna 2 trous	68	158	203
Banfora 2 trous	57	152	174
AIDR 3 trous	72	185	226
Métallique	90	90	90

#### 8.4. Les économies réalisées sur la base des rendements thermiques

Dans ce cas on suppose que c'est le rendement thermique qui détermine directement l'économie de bois partant des dépenses mensuelles pour l'achat du bois.

##### 8.4.1. Dépenses mensuelles pour le bois en fonction du rendement thermique

L'utilisation d'un foyer amélioré de rendement thermique plus élevé que le foyer traditionnel, permet de réaliser une économie de bois. Economie que l'on peut calculer de la manière suivante.

$$\text{Economie (\%)} = \frac{n_{\text{ctx}} - n_{\text{ctf}}}{n_{\text{ctx}}} \times 100.$$

$n_{\text{ctx}}$  = rendement thermique du foyer amélioré

$n_{\text{ctf}}$  = rendement thermique du foyer traditionnel

A partir des économies calculées pour l'ensemble des foyers retenus, nous avons déterminé (voir tableau ci-joint) l'économie financière sur les dépenses mensuelle

Foyers	n ct (%)	Economie (%)	Ouagadougou		Zone semi-urbaine		Zone rurale	
			Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA	Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA	Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA
3 pierres	15,6	-	3657	-	1760	-	1265	-
Nouna 2 trous	21,3	27	2670	987	1285	475	923	342
Banfora 2 trous	25,2	38	2267	1390	1091	669	784	481
AIDR 3 trous	20,3	23	2816	841	1355	405	974	291
Métallique	27,6	43	2084	1573	1003	757	721	544

Le tableau montre que sur la base des rendements thermiques, l'ensemble des foyers assure une économie financière par rapport au foyer traditionnel pour l'achat du bois.

8.4.2. Les dépenses mensuelles totales

Connaissant les annuités et les dépenses mensuelles pour l'achat du bois, nous calculons les dépenses mensuelles totales en faisant la somme des deux. Les valeurs sont dans le tableau ci-dessous.

Dépenses mensuelles totales (FCFA) Foyers	Zone rurale	Zone Semi-urbaine	Ouagadougou
Traditionnel	1265	1760	3657
Nouna 2 trous	991	1442	283
Banfora 2 trous	840	1244	2446
AIDR 3 trous	1046	1540	3042
Métallique	811	1093	2174

Malgré le remboursement des frais du foyer on constate que l'économie financière obtenue par l'utilisation des F.A. est assez importante dans toutes les zones.

Le foyer métallique est de loin le plus rentable, suivi du foyer Banfora et du foyer Nouna, enfin du foyer AIDR. Ainsi les familles qui achètent un F.A. tout en contribuant à la protection de la nature, réalisant une économie financière qui leur permettra d'augmenter leur niveau de vie.

#### 8.5. Les économies réalisées sur la base du test de tôle.

Nous baserons l'analyse financière sur les consommations de bois obtenues lors des tests du tôle.

Les prix des foyers et les annuités mensuelles resteront les mêmes que ceux calculés précédemment. Seuls les pourcentages d'économies subiront un changement.

##### 8.5.1. Les dépenses mensuelles pour le bois

Les économies seront calculées à partir des consommations moyennes de bois (tableau du paragraphe 7.2), en utilisant la formule suivante :

$$\text{Economie \%} : \frac{C_{FT} - C_{FA}}{C_{FT}} \times 100$$

$C_{FT}$  = consommation moyenne du foyer traditionnel

$C_{FA}$  = consommation moyenne du foyer amélioré.

Le tableau ci-joint donne les économies de bois par foyer, les dépenses mensuelles, et les économies réalisables par l'utilisation de chaque type de foyer.



Foyers	Consommation moyenne en kg;	Economie (%)	Zone rurale		Zone semi-urbaine		Ouagadougou	
			Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA	Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA	Dépenses Mensuelles FCFA	Economie FCFA
3 pierres	2,11	-	1265	-	1760	--	3657	--
Nouna 2 trous	1,95	8	1164	101	16619	141	3364	293
Banfora 2 trous	1,86	12	1113	152	1549	211	3218	439
AIDR 3 trous	2,31	- 10	1387	- 127	1936	- 176	4023	- 366
Metallique	1,27	40	759	506	1056	704	2194	1463

Il ressort de ce tableau que c'est le foyer métallique qui permet la plus grande économie suivi du foyer Banfora. et foyer Nouna 2 trous.

Le foyer AIDR 3 trous a une consommation plus élevée que le foyer traditionnel, ce qui engendre des dépenses mensuelles plus importantes.

#### 8.5.2. Les dépenses mensuelles totales

Pour les dépenses mensuelles totales nous tenons compte des remboursements mensuelles des frais des foyers, et des dépenses mensuelles pour l'achat du bois que nous venons de calculer.

Les résultats des calculs sont regroupés dans le tableau ci-joint.

Dépenses mensuelles totales par zone	Zone rurale	Zone-semi urbaine	Ouagadougou
Foyers			
Traditionnel	1265	1760	3657
Nouna	1232	1778	3563
Banfora	1170	1701	3397
AIDR 3 trous	1463	2121	4249
Métallique	849	1146	2284

Le tableau montre que c'est le foyer métallique qui présente la dépense mensuelle la plus faible.

Le foyer Nouna 2 trous présente une dépense mensuelle légèrement inférieure à celle du foyer traditionnel en zone rurale et urbaine. En zone semi-urbaine, elle est plus élevée que celle du foyer traditionnel. La raison est que les annuités mensuelles sont supérieures à l'économie réalisée pour l'achat du bois.

Pour le foyer AIDR, les dépenses mensuelles sont plus élevées que celles du foyer traditionnel cela pour toutes les zones.

## CONCLUSION

Aussi bien sur la base des rendements thermiques que sur la base des tests de t $\hat{o}$ , la plupart des foyers améliorés permettent de réaliser une économie financière. Les économies calculées sur la base des rendements thermiques sont plus élevées que celles des tests de t $\hat{o}$ .

En fait la méthode de calcul sur la base des rendements thermiques donne l'économie maximale que l'on pourra s'attendre à obtenir par l'utilisation d'un foyer amélioré.

Le foyer métallique offre la plus grande économie, ensuite vient le foyer Banfora sans cheminée, le foyer Nouna 2 trous et enfin le foyer AIDR 3 trous.

Quand on considère les économies réalisées lors de la préparation du t $\hat{o}$ , on constate une baisse par rapport à la première méthode de calcul. Le foyer métallique reste le plus performant suivi du foyer Banfora. En zone urbaine et rurale le foyer Nouna 2 trous présente une économie légèrement supérieure à celle du foyer traditionnel. En zone semi-urbaine ce foyer tout en permettant une économie de bois, à une dépense mensuelle plus élevée que celle du foyer traditionnel. Pour le foyer AIDR 3 trous, les dépenses mensuelles sont plus élevées que celles du foyer traditionnel, car sa consommation de bois est plus importante.

Ces tests de t $\hat{o}$ , tout en nous permettant d'avoir une idée sur les performances réelles des foyers doivent être complètes par une étude de terrain, car dans la pratique il n'y a pas que le t $\hat{o}$  qui est préparé comme repas et parfois il y a plus d'un repas par jour.

Cette analyse financière nous a montré que certains foyers améliorés, tout en assurant l'économie de bois, et contribuer à la protection de l'environnement permettent aux ménages de réaliser des économies financières grâce auxquelles ils pourront augmenter leur niveau de vie.

### CONCLUSION GENERALE

Cette étude qui a comparé les différents foyers existants en Haute-Volta, est la première étape dans la mise au point de meilleurs prototypes de F.A. à vulgariser à grande échelle. Elle nous a donné l'occasion de comprendre les principes généraux de fonctionnement de ces différents types de foyers.

Nous n'avons pas l'intention de prétendre les avoir tous cernés, mais ce qui a été trouvé constituera désormais une base pour les activités de recherches à venir.

Nous avons montré que les meilleurs rendements thermiques sont obtenus avec les foyers améliorés à un trou sans cheminée. La raison en est que ces types de foyers sont conçus de sorte qu'une grande partie de la namite soit exposée au feu. De plus ce sont des foyers munis de grille et de trous d'air primaire pour l'amélioration du processus de combustion.

Bien que ces foyers aient des rendements thermiques élevés ils présentent un certain nombre de problèmes :

- le manque de stabilité lors de la préparation du tô
- la fumée qui n'est pas évacuée de la cuisine
- la faible résistance mécanique surtout pour le foyer en terre cuite
- la fabrication qui nécessite la formation d'artisans spécialisés et/ou l'utilisation d'un certain niveau de technologie.

Par contre en plus du fait qu'ils permettent une grande réduction de la consommation de bois, ils présentent comme autres avantages :

- la possibilité de transport
- les coûts réduits.

En ce qui concerne les foyers massifs à plusieurs trous avec cheminée, les raisons de leurs faibles rendements thermiques par rapport aux foyers légers sont :

.../...



- la surface de la marmite en contact avec la chaleur est réduite. Les marmites utilisées actuellement ne permettent pas d'exposer une grande surface au feu.

- Le tirage mal contrôlé engendre des pertes de chaleur importantes.
- Le monticule dont la position, les dimensions, la forme ne sont pas encore optimisées ne permet pas d'assurer un bon échange de chaleur par convection et de bien régler le tirage.
- L'épaisseur des parois du foyer qui accumulent une bonne partie de la chaleur fournie par le bois. Nous avons montré que la chaleur accumulée ne peut pas être récupérée et qu'elle constituait donc une perte.

D'une manière générale, pour tous les types de foyers l'accent doit être mis sur l'amélioration des rendements thermiques, car les tests de tô nous ont montré que les meilleures économies de bois sont obtenues avec les foyers qui ont les rendements thermiques les plus élevés.

Il serait bon que le foyer amélioré tout en assurant l'économie de bois permette aux familles qui les utilisent de pouvoir obtenir une économie financière d'où la nécessité de réduire aussi les coûts d'investissements.

Au vu de ces différents résultats, on constate qu'il est nécessaire d'intensifier les actions de recherche afin d'améliorer l'efficacité des foyers. Ainsi donc pour le futur l'accent doit être mis sur l'optimisation. Cette optimisation doit se faire étape par étape en modifiant les différents paramètres (dimension de la chambre de combustion, de la cheminée, du monticule...). Les modifications ne doivent pas porter sur les foyers uniquement mais également sur les marmites afin de pouvoir augmenter la surface d'échange de chaleur.

Parallèlement aux tests d'amélioration de l'efficacité, il doit être entrepris des recherches sur les différents matériaux afin d'améliorer la solidité, la durée de vie des foyers et rendre l'entretien et les réparations beaucoup plus faciles. Les matériaux à utiliser doivent permettre



de réduire les coûts des foyers. Pour atteindre ces objectifs, il sera nécessaire de travailler en collaboration avec les autres services compétants (par exemple le Ministère des Travaux Publics et de l'Urbanisme) et aussi en collaboration avec les villageois qui utilisent des matériaux autres que le ciment pour la construction de leur maison.

Les tests en atelier doivent être complétés par une étude sur le terrain afin d'évaluer les performances de l'ensemble des foyers testés dans les conditions réelles d'utilisation.

L'importance du F.A. pour réduire la consommation actuelle du bois de chauffe n'est plus à démontrer. Cela est d'autant plus nécessaire que le reboisement et l'aménagement forestier ne peuvent pas à eux seuls résoudre les problèmes de désertification si l'on devait maintenir les besoins actuels. L'amélioration des foyers à bois s'avère donc indispensable afin que le slogan "Pour une HAUTE-VOLTA VERTE" devienne une réalité, afin de contribuer au développement économique et social d'un pays dont l'économie est tributaire de l'agriculture et de l'élevage.

II-) N N E X E I

-----

Foyer en terre cuite du CILSS

N°	n'	P'	n''	P''	n	P	n <sub>c</sub>
25	27,5	5,9	34,8	3,8	32,8	4,2	32,8
35	25,2	7,7	33	3,4	30,6	4,1	31,4
37	26,1	6,2	32,7	3,9	30,9	4,3	31,6
42	19,1	7,5	35	3,2	29,1	4,1	30
47	24,1	5,8	28,8	5,9	27,9	5,8	29,4
55	24,5	6	33,5	4	31,5	4,4	32,2
68	24,6	6	30	3,8	28,5	4,2	29,7
72	22,6	6,1	29,4	4,2	21,1	4,6	28
78	19,7	5,2	28	4,7	25,3	4,9	26,5
84	22,7	7,4	36,2	3,2	31,5	4	32,2

3 Pierres

N°	n'	P'	n''	P''	n	P	nc
7	12	7	16,7	5,6	14,9	6,1	16,5
33	11,6	8,1	14	7,5	13,1	7,7	14
44	11,5	13,9	16,1	6,6	14,5	8	15,8
45	9	15,3	22,1	4,1	15,3	6,5	17
54	12,8	7,2	15,2	6,6	14,4	6,8	16
58	9,2	9,8	11,2	6,1	10,1	7,7	10,5
79	9,4	8,1	11,9	7,5	10,7	7,8	16
105	12,5	11,2	15,6	6,3	14,5	7,4	17
106	13,1	9,4	17	6	15,5	6,7	17
111	13,4	8,6	15,6	5,7	14,9	6,4	16,5

N o u n a 3 trous (1)

N°	n'	P'	n''	P''	n	P	n <sub>c</sub>
6	17,2	9	17	6,2	17	6,9	18,4
22	13	10,3	16,9	6,3	15,6	7,2	16,9
30	12,5	8,4	14,5	5,5	14,1	6,4	15,4
40	12	10,5	16,3	7,3	14,9	8,1	16,5
48	11,8	11,7	15,9	6,2	14,5	7,4	15,6
62	12,6	9,3	15,8	8,2	14,8	8,5	16,3
69	11,6	7,7	16,8	6,8	14,6	7,1	16,1
87	11	13,4	14	6,6	12,9	8,1	14,3
98	11,3	11,2	15,5	8,5	14,2	9,2	15,9
103	13	7,1	16	7,5	15	7,4	17



Foyer cylindre métallique

N°	n'	P'	n''	P''	n	P	n <sub>c</sub>
127	21,2	11,6	26	5,1	24,7	6,1	25,9
128	21	8,3	25,2	5,7	24,2	6,2	27
129	20,5	7,4	28,8	6,4	26,9	6,6	29,3
130	23,2	7,0	26,3	4,9	25,5	5,1	27,2
131	17,9	7,9	33	3,1	27,1	4,0	29,9
132	21,8	9,2	26,6	5,2	25,2	6	27,4
133	19,8	10,9	29,6	4,5	26,2	5,5	27,6
134	19,8	13,2	27,1	5,1	24,9	6,3	25,9
135	22	9,6	28,3	4,9	26,6	5,7	28,6
136	21,2	12,7	26,7	5,1	24,9	6,2	27,4

B a n f o r a

Nº	n'1	n'2	n't	P'	n"1	n"2	n"t	P"	n1	n2	nt	P	nc1	nc2	nc3
2	11,7	5,5	17,2	9,9	18,1	7	25,1	6	15,5	6,4	21,9	7,1	18	7,4	25,4
11	13,8	4,8	18,6	8,8	16,8	6,2	23,0	6,8	15,9	5,9	21,8	7,3	18,7	6,9	25,6
17	14	5,7	19,7	7,6	15	7	22	7,7	14,7	6,6	21,3	7,6	17,2	7,8	25,0
28	11,2	4,3	15,5	8,8	16,6	5,5	22,1	6,9	14,7	5,1	19,8	7,5	17,4	6	23,4
38	9,9	4,3	14,2	11,2	18,4	6,6	25	6,7	15	5,8	20,8	8	17,3	6,6	23,9
52	10,5	6,3	16,8	10,5	14,3	6,7	21	8,6	13,1	6,6	19,7	9,2	16,6	8,4	25
64	12,2	7,6	19,8	8	17,2	6,4	23,6	6,9	15,5	5,7	21,5	7,2	18,6	7	25,5
74	13,3	5,8	19,1	8,8	16,4	9,5	25,9	7,1	15,3	8,2	23,5	7,6	18	9,5	27,5
89	12,1	4,6	16,7	11,8	16,3	7,3	23,6	7,4	15	6,5	21,5	8,3	18,4	8	26,4
95	11,6	4,6	16,2	8,8	15,8	5,9	21,3	7,2	14	5,4	19,4	7,7	17,4	6,7	24,1

K a y a

2 trous

Nº	n'1	n'2	n't	P'	n"1	n"2	n"t	P"	n1	n2	nt	P	nc1	nc2	nc't
3	9,4	3,9	13,3	8	16,2	4,2	20,4	5,6	12,8	4,1	16,9	6,6	13,6	4,3	17,9
9	10,2	4,2	14,4	8,2	11,6	5,1	16,7	8,5	11,1	4,8	15,9	8,4	12,1	5,2	17,3
16	7,5	5,1	12,6	13,9	12,6	5,5	18,1	8,4	10,6	5,3	15,9	10	11,7	5,8	17,5
18	8,1	4,9	13	10,8	14,8	5,6	20,4	6,8	11,6	5,3	16,9	8,3	12,4	5,6	18
27	9	4,2	13,2	8	12,7	5,5	18,2	8,8	11,2	5	16,2	8,5	12,2	5,4	17,6
46	8,7	4,3	13	9,2	13,9	4,5	18,4	7,2	11,4	4,4	15,8	8	12,6	10	22,6
57	6,7	4,9	11,6	14,7	12,8	5,7	18,5	9,3	10,2	5,3	15,5	11,1	11,5	6	17,5
73	8,3	5,1	13,4	11,1	15,8	6,3	22,1	7,3	12,1	5,7	17,8	8,7	13,3	6,3	19,6
86	7,7	4,6	12,3	13,9	15,6	5,2	20,8	6,9	11,8	4,9	16,7	9,2	12,7	5,3	18
97	12,6	3,4	16	6,9	16,4	5,7	22,1	5	14,2	4,4	18,6	6	16,4	5	21,4

C a t r u

Nº	n' <sub>1</sub>	n' <sub>2</sub>	n' <sub>t</sub>	P'	n'' <sub>1</sub>	n'' <sub>2</sub>	n'' <sub>t</sub>	P''	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>t</sub>	P	n <sub>c1</sub>	n <sub>c2</sub>	n <sub>ct</sub>
117	13,5	3,2	16,7	7,9	16,6	7,4	24,0	8,9	15,8	6,3	22,1	8,6	16,9	6,7	23,6
110	11,9	3,4	15,3	11,5	13,1	9,4	22,5	8,1	12,7	7,6	20,3	8,9	13,2	7,9	21,1
119	11,7	3,3	15,0	10,7	13,6	3,1	16,7	9,9	13,1	3,2	16,3	10,1	14,3	3,4	17,7
120	7,5	3,2	10,7	10,2	17,5	5,0	22,5	7,6	14,2	4,4	18,6	8,3	15,5	4,8	20,3
121	13,9	2,8	16,7	6,7	13,9	2,9	16,8	8,6	13,9	2,9	16,8	7,9	15,5	3,2	18,7
122	11,3	2,1	13,4	8,4	18,8	5,4	24,2	7,0	16,2	4,3	20,5	7,4	17,6	4,7	22,3
123	12,4	2,0	14,4	8,4	14,5	3,5	18,0	9,1	13,8	3,0	16,8	8,9	14,8	3,2	18,0
124	14,2	3,5	17,7	8,6	16,1	6,9	23,0	8,1	15,6	5,8	21,4	8,2	17,3	6,5	23,8
125	15,6	4,2	19,8	7,1	16,1	7,6	23,7	6,7	15,9	6,6	22,5	6,8	17,6	7,4	25,0
126	13,2	3,6	16,8	9,2	17,5	4,9	22,4	7,0	16,1	4,4	20,5	7,6	17,8	4,9	22,7

T i t a o

Nº	n'₁	n'₂	n'ₜ	P'	n''₁	n''₂	n''ₜ	P''	n₁	n₂	nₜ	P	n <sub>c1</sub>	n <sub>c2</sub>	nₜ
67	7,4	3,1	10,5	10,9	9,6	3,8	13,4	13	8,8	3,5	12,3	12,1	10,6	4,2	14,8
70	7,5	3,2	10,7	11,2	11,4	4,6	16	8,4	9,4	3,9	13,3	9,7	10,1	4,2	14,3
83	6,9	3,5	10,4	11	13,9	3,7	17,6	6,6	9,8	3,6	13,4	8,6	10	3,6	13,6
92	7,7	3,4	11,1	13,9	16,4	2,8	19,2	8,1	9,1	3,1	12,2	10	11	3,7	14,7
93	6,7	3,5	10,2	12,1	11,5	4,6	16,1	11,5	9,1	4	13,1	11,8	11,3	5	16,3
100	9,2	3,5	12,7	7,3	8,3	2,8	11,1	8,7	8,6	3	11,6	8,2	10,3	3,6	13,9
101	7,4	3	10,4	9,4	9,5	3,5	13	10,1	8,5	3,3	11,3	9,8	10	4	14
109	10,4	1,3	11,7	16	9,1	3,3	12,4	7,4	9,7	2,5	12,2	9,7	12	3	15
113	6,7	3,3	11	9,7	10,3	3,7	14	8,2	8,4	3,4	11,8	8,9	9,8	4	13,8
112	7,1	2,9	10	11	11,4	3,8	15,2	7	8,9	3,3	12,2	8,9	10,2	3,8	14



N o u n a      3 trous (2)

N°	n'1	n'2	n't	P'	n"1	n"2	n"t	P"	n1	n2	nt	P	nc1	nc2	nct
10	12,9	3,7	16,6	7,2	12,7	4,2	16,9	8,7	12,8	4,1	16,9	8,2	14,1	4,5	18,6
14	10,5	4,5	15	10,3	14,3	4,5	18,8	7,3	12,9	4,5	17,4	8,2	14,4	5	19,4
21	12,6	3,3	15,9	7,3	16,6	2,1	18,7	7,6	15,3	2,5	17,8	7,5	17,4	2,8	20,2
34	11,5	4,2	15,7	11,9	15,3	4,7	20	7,2	14	4,5	18,5	8,3	15,4	4,9	20,3
43	12,1	4,4	16,5	13,1	12,4	5	17,4	12,4	12,3	4,9	17,2	12,5	14,2	5,6	19,8
50	8,4	4,1	12,5	17,4	16,1	5	21,1	16,6	12,9	4,6	17,5	8,9	14,4	5,2	19,6
63	12,4	4,6	17	8,3	14,6	4,6	19,2	7,5	13,9	4,6	18,5	7,8	16,1	5,3	21,4
71	10,3	4,2	14,5	10,7	16	4,9	20,9	7,1	13,4	4,6	18	8,1	15,4	5,2	20,6
90	10,4	3,6	14	12,6	16,9	5,6	22,5	6,3	14,3	4,8	19,1	7,8	15,8	5,3	21,1
104	12,9	3	15,9	5,8	15,4	4,2	19,6	6,6	14,5	3,7	18,2	6,2	16	4	20

A. I. D. R.

2 trous

N°	n'1	n'2	n't	P'	n"1	n"2	n"t	P"	n1	n2	nt	P	nc1	nc2	nct
1	12,3	4,3	16,6	8,4	15,4	5	20,5	7,9	14,5	4,8	19,3	8	15,8	5,2	21
8	11,4	4	15,4	10,5	14,4	5,5	19,9	8,9	13,5	5,1	18,6	9,3	14,7	5,5	20,2
15	10,5	4,6	15,1	9	16,3	4,7	21	6,9	13,4	4,7	18,1	7,6	15	5	20
23	4,5	8,4	12,9	10,3	16,5	5,1	21,6	7,6	12,2	6,2	18,4	8,4	13,3	6,8	20,1
26	10,8	3,8	14,6	7,3	14,9	4,3	19,2	7,7	13,5	4,1	17,6	7,5	14,8	4,5	19,3
36	9,8	5,1	14,9	14,2	15,7	4,9	20,6	8	13,7	5	18,7	9,3	15,2	5,5	20,7
49	9,3	4,5	13,8	13,1	15,5	5,2	20,5	8,3	13,2	5	18,2	9,5	14,2	5,4	19,6
60	11,8	4,8	16,6	9	15,9	5	20,9	6,9	14,4	4,9	19,3	7,6	15,4	5,3	20,7
77	8,7	3,9	12,6	10,8	15,6	5,3	20,9	7,4	13	4,8	17,8	8,4	14,3	5,3	19,6
81	12,3	5,6	17,9	9,8	14,1	5,3	19,4	11	13,7	5,4	19,1	10,7	15,6	6,2	21,8

N o u n a

2 trous

N°	n'1	n'2	n't	P'	n"1	n"2	n"t	P"	n1	n2	nt	P	nc1	nc2	nct
4	10,5	5	15,5	8,7	12,8	6,1	18,9	8,7	12	5,7	17,7	8,7	13,2	6,3	19,5
13	8,9	4,7	14,6	7,6	15	6,1	21,1	8,6	13,2	5,7	18,9	8,3	14,7	6,4	21,1
19	11,8	6,2	18	5,2	15,5	9,4	24,9	7,3	14,1	8,2	22,3	6,7	14,9	8,6	23,5
31	11,4	4,7	16,1	8,6	14,1	7,2	21,3	8,2	13,2	6,4	19,6	8,4	14,3	6,9	21,2
51	11	4,8	15,8	10,1	15,1	6,1	21,2	7,7	13,8	5,7	19,5	8,4	15,3	6,3	21,6
66	7,8	3,4	11,2	12,5	18	7,4	25,4	5,8	13	5,6	18,6	7,9	14,5	6,2	20,7
76	10,1	4,2	14,3	10,8	15,5	5,3	20,8	7,4	13,5	4,9	18,4	8,4	15	5,4	20,4
88	10,1	4,8	14,9	11,7	15	6,9	21,9	7,1	13,2	6,1	19,3	8,2	14,5	6,7	21,2
94	12,9	5,3	18,2	11	14,6	6,6	21,2	7,8	14	6,1	20,1	8,7	15,9	7	22,9
102	12,3	4,9	17,2	7,8	15,5	5,3	20,8	7,1	14,3	5,2	19,5	7,3	15	6	21

A I D R

3 trous

N°	n' <sub>1</sub>	n' <sub>2</sub>	n' <sub>3</sub>	n' <sub>t</sub>	P'	n'' <sub>1</sub>	n'' <sub>2</sub>	n'' <sub>3</sub>	n'' <sub>t</sub>	P''	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>t</sub>	P	n <sub>cl</sub>	n <sub>c2</sub>	n <sub>c3</sub>	n <sub>ct</sub>
5	8,3	4,7	1,6	14,6	10,6	13,2	4,4	2,2	19,8	8,8	11,5	4,5	2	17	9,4	12,7	4,9	2,2	19,8
12	8,2	2,4	2,1	12,7	15,2	13,7	4,4	2,6	20,7	12,6	11,9	3,8	2,4	18,1	13,3	13,2	4,1	2,7	20
24	9	3,1	1,8	13,9	14,2	14,7	3,8	2	20,5	8,1	12,7	3,6	2,6	17,3	9,5	14,2	3,9	2,1	20,2
29	10	3	2,1	15,1	13,2	13,5	4	2,1	19,6	9,8	12,5	3,7	2,1	18,3	10,5	13,9	4,1	2,3	18
41	9,7	2,8	1,7	14,2	12,9	12	3,9	2,3	18,2	11,9	11,4	3,6	2,1	17,1	12,2	13,4	4,2	2,5	20,1
56	6,9	3,2	1,7	11,8	23,4	13	5,2	2,7	20,9	11,9	11	4,5	2,4	17,9	14,3	12,4	5,1	2,7	20,2
65	8,7	3,7	1,9	14,3	18,9	14,5	4,8	2,3	21,6	9,9	12,7	4,4	2,1	19,2	11,7	14,1	5	2,4	21,5
80	10	3	1,9	14,9	10,6	13,6	3,9	2,3	17,5	9,7	12,3	3,6	2,1	18	10	14	4,1	2,4	20,5
91	10,7	3,3	2,1	16,1	9,7	14,5	3,9	2,3	20,7	8,6	13,1	3,7	2,2	19	9	14,2	4	2,4	20,4
108	10,3	2,7	1,5	14,5	10,1	14,7	3,4	1,9	20	8,5	13,4	3,2	1,8	18,4	8,9	16	4	2	22

K a y a      3 trous

N°	n'1	n'2	n'3	n't	P'	n"1	n"2	n"3	n"t	P"	n1	n2	n3	n't	P	nc1	nc2	nc3	nct
32	9,9	2,9	2,9	15,7	8,4	10,6	3,6	3,6	17,8	9,7	10,4	3,4	3,4	17,2	9,2	11,8	3,8	3,8	19,4
59	6,3	4,9	3,0	14,2	12,6	8,9	7,7	4,1	20,7	10,7	7,6	6,3	3,6	17,5	11,5	8,4	7	4	19,4
39	7,2	4,1	3,2	14,5	12,9	9,6	5,7	3,7	19	9,9	8,5	5	3,5	17	11	9,5	5,6	4	19,1
75	8,7	1,2	3,1	13	13,5	10,5	2,8	3,5	16,8	9,9	9,9	2,4	3,4	15,7	11	11,6	3	4	18,6
85	7,4	4,5	3,2	15,1	12,1	7,3	5,8	4,4	17,5	12,9	7,4	5,2	3,9	16,5	12,5	8,5	6,1	4,5	19,1
96	5,5	4	4,5	14	18,2	8,1	7,1	2,3	17,5	12,1	6,9	5,7	3,3	15,9	14,3	8,2	6,7	4	18,9
107	8,5	3,1	2,7	14,3	8,7	12,8	4,6	4,4	21,8	7,9	10,8	3,9	3,6	18,3	8,3	13	5	4	22
110	8,9	3,7	2,5	15,1	7,8	9,8	5,7	3,1	18,6	9,5	9,5	4,9	2,9	17,3	8,7	10,8	5,6	3,3	19,7
114	6,9	3,3	3	13,2	17,2	10,9	5,7	3,7	20,3	9,3	9,2	4,7	3,4	17,3	11,6	10,5	5,4	4	19,9
137	5,8	3,5	2,8	12,1	15,7	10,1	7,1	4,2	21,4	9,2	8,1	5,5	3,5	17,1	11,3	9,5	6,4	4,1	20



II-) N N E X E II

-----

Intervalle de confiance 95 %

Foyers	n' <sub>t</sub>	P'	n'' <sub>t</sub>	P''	n <sub>t</sub>	P	n <sub>ct</sub>
3 Pierres	10,3-12,5	8,1-11,5	13,6-17,4	5,6-6,8	12,6-15	6,7-7,5	14,4-16,8
CILSS	21,9-25,3	5,9- 6,9	30,3-33,8	3,5-4,5	26,7-31	4,2- 4,8	29,2-31,6
Nouna 3(1)	11,5-13,7	8,6-11	15,3-16,5	6,3- 7,5	14,2-15,4	7,1- 8,1	15,5-16,9
Banfora	16,2-18,6	8,5-10,3	22,2-24,4	6,7- 7,5	20,4-21,8	7,4-8,2	24,5-26
Nouna 2	14,3-17	8 -10,8	20,6-23	7,1- 8,1	18,6-20,1	7,7- 8,5	20,6-22
AIDR 2	13,9-16	8,9-11,5	20 -21	7,4- 8,8	18,1-18,8	8 - 9,2	19,8-20,8
Kaya 2	12,5-14	8,7-12,3	18,5-20,7	6,5- 8,3	16 -17,2	7,5- 9,4	17,5-19,8
Nouna 3(2)	14,4-16,2	8,3-12,7	18,4-20,5	6,7-10,7	17,5-18,3	7,3- 9,3	19,6-20,6
CATRU	14,1-17,1	7,8- 9,8	19,5-23,3	7,5- 8,7	18,2-21	7,7- 8,9	19,7-22,9
Titao	10,3-11,3	9,8-12,8	13,3-16,3	7,7-10,1	11,8-12,7	9 -10,6	14 -14,9
AIDR 3	13,5-15	11,2-16,6	19,2-20,8	9 -11	17,6-18,4	9,6-12	19,6-21
Kaya 3	13,4-14,8	10,5-14,9	17,9-20,2	9,2-11	15,7-18,4	9,8-12	19 -20,2
CM	19,9-21,7	8,4-11,1	26,3-28,5	4,5- 5,5	25 -26,2	5,4- 6,2	26,8-28,4

Intervalle de confiance à 99 %

Foyers	n' <sub>t</sub>	P'	n'' <sub>t</sub>	P''	n <sub>t</sub>	P	n <sub>ct</sub>
CILSS	21,4-25,8	5,7- 7,1	29,7-34,4	3,3- 4,6	26 -31,7	4,1- 5	28,7-32
Nouna 3(1)	11,2-14	8,2-11,4	15,2-16,6	6,2- 7,6	14 -15,6	7 - 8,2	15,3-17
3 Pierres	10 -12,8	7,5-12	13 -18	5,5- 7	12,2-15,4	6,5- 7,6	14 -17,2
Banfora	15,8-19	8,3-10,5	22 -24,7	6,6- 7,6	20,2-22,1	7,3- 8,3	24,2-26,2
Nouna	13,8-17,3	7,6-11,2	20,2-23,3	7 - 8,3	18,4-20,4	7,6- 8,6	20,4-22,2
AIDR	13,6-16,4	8,5-11,9	20 -21	7,1- 9,1	18 -19	7,8- 9,4	19,6-21
Nouna 3(2)	14,2-16,4	7,6-13,3	18,1-20,9	6,1-11,3	17,4-18,4	7 - 9,6	19,4-20,8
Kaya 2	12,3-14,3	8,1-12,8	18,1-21,1	6,3- 8,5	15,8-17,3	7,3- 9,7	17,2-20,2
CATRU	13,6-17,6	7,7-10,1	18,9-23,8	7,3- 8,9	17,7-21,5	7,6- 9,0	18,4-24,1
Titao	10,1-11,4	9,3-13,3	12,7-16,8	7,3-10,5	11,7-12,8	8,7-10,8	13,7-15,1
AIDR 3	13,2-15,2	10,3-17,5	19 -21	8,7-11,3	17,4-18,6	9,2-12,3	19,4-21,2
Kaya 3	13,2-15	9,7-15,6	17,6-20,6	8,9-11,3	16,4-17,6	9,4-12,4	18,8-20,3
CM	19,6-21,9	8 -11,6	25,9-29,5	4,3- 5,7	24,8-26,4	5,2- 6,4	26,5-28,7

/-) N N E X E I I I

-----

- TEST DE TUKEY-HARTLEY -

Pour la comparaison des différents prototypes de F.A., nous avons utilisé la méthode de Tukey-Hartley basée sur la comparaison des moyennes. Cette comparaison est faite sur la base des rendements thermiques sans charbon ( $n_{ct}$ ).

Après avoir donné le tableau des résultats pour tous les foyers, nous donnons le tableau d'analyse de variance ci-dessous.

Variation	SCE	ddl	Variance
Totale	2777,46	129	-
foyers	2526,14	12	210,5
tests	16,46	9	1,83
résiduelle	234,83	108	2,17

x SCE : somme des carrés des écarts

x ddl : degré de liberté

Par le test du F on s'assure s'il y a ou non des différences significatives entre les tests et entre les foyers.

- Entre les tests

$$F = \frac{2,17}{1,83} = 1,18$$

$$F_{0,95} (107 ; 8) = 2,98$$

On constate que  $1,18 < 2,98$  à 95 %. Il n'y a pas de différence significative entre les tests.

- Entre les foyers

$$F = \frac{210,5}{2,17} = 97$$

$$F_{0,95} (511 ; 107) = 2,45$$

97 est très grand par rapport à 2,45. Il ya donc une différence hautement significative entre les foyers.

On procèdera au test individuel de comparaison entre les foyers par la méthode de Tukey-Hartley.



Tableau des  $n_{ct}$  par tests et par foyer

Tests Foyers										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F <sub>1</sub>	18,4	16,9	15,4	16,5	15,6	16,3	16,1	14,3	15,9	17
F <sub>2</sub>	25,4	25,6	25	23,4	23,9	25	25,5	27,5	26,4	24,1
F <sub>3</sub>	17,9	17,3	17,5	18	17,6	22,6	17,5	19,6	18	21,4
F <sub>4</sub>	19,5	21,1	23,5	21,2	21,6	20,7	20,4	21,2	22,9	21
F <sub>5</sub>	20	19,4	19,4	19,1	18,6	19,1	18,9	22	19,7	19,9
F <sub>6</sub>	21	20,2	20	20,1	19,3	20,7	19,6	20,7	19,6	21,8
F <sub>7</sub>	18,6	19,4	20,2	20,3	19,8	19,6	21,4	20,6	21,1	20
F <sub>8</sub>	14,8	14,3	13,6	14,7	16,3	13,9	14	15	13,8	14
F <sub>9</sub>	19,8	20	20,2	18	20,1	20,2	21,5	20,5	20,4	22
F <sub>10</sub>	32,8	31,4	31,6	30	29,4	32,2	29,7	28	26,5	32,2
F <sub>11</sub>	25,9	27	29,3	27,2	29,9	27,4	27,6	25,9	28,6	27,4
F <sub>12</sub>	23,6	21,1	17,7	20,3	18,7	22,3	18,	23,8	25	22,7
TE	16,5	14	15,8	17	16	10,5	16	17	17	16,5

Pour cela on classe les foyers par ordre de croissances de moyenne des rendements thermiques.

$\bar{x}_8$	TE	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_5$	$\bar{x}_7$	$\bar{x}_9$	$\bar{x}_6$	$\bar{x}_4$	$\bar{x}_{12}$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_{11}$	$\bar{x}_{10}$
14,44	15,6	16,4	18,74	19,61	20,1	20,27	20,3	21,31	21,32	25,18	27,62	30,1

On construit le tableau de comparaison.

L'analyse du tableau donne les regroupements suivants.

$\bar{x}_8$	$\bar{T}_E$	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_5$	$\bar{x}_7$	$\bar{x}_9$	$\bar{x}_6$	$\bar{x}_4$	$\bar{x}_{12}$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_{11}$	$\bar{x}_{10}$
groupe 1			groupe 2									

Le regroupement de différents foyers signifie qu'il n'y a pas de différences significatives entre eux.

Le foyer CILSS ( $\bar{x}_{10}$ ) est le meilleur, suivi du foyer métallique ( $\bar{x}_{11}$ ), du foyer Banfora ( $\bar{x}_2$ ). Ensuite on les foyers du groupes 2, enfin ceux du groupe 1

$N_B$  : Explication des  $\bar{x}_i$

$\bar{x}_8$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Titao

$\bar{x}_1$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Nouna (1)

$\bar{x}_3$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Kaya 2 trous

$\bar{x}_5$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Kaya 3 trous

$\bar{x}_7$  : moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Nouna (2)

$\bar{x}_9$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer AIDR 3 trous

$\bar{x}_6$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer AIDR 2 trous

$\bar{x}_4$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Nouna 2 trous

$\bar{x}_{12}$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer CATRU

$\bar{x}_a$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer Banfora

$\bar{x}_{11}$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer métallique

$\bar{x}_{10}$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer CILSS

$T_E$  : Moyenne des  $n_{ct}$  du foyer traditionnel.

[illegible]

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - A Wood Stove Compendium. G. de Lepeleive, K. Krishna Prasad  
W.B.S. Eindhoven University of Technology Postbus 513  
5600 MB Eindhoven The Netherlands (Août 1981)
- 2 - A comparaison of the performance of three wood stoves  
J. Claus, F. Sulilatu. TNO P.O box 342 7300AH Apeldoorn
- 3 - Some studies on open fires, shielded fires and heavy stove  
K. Krishna Prasad. (WBS)
- 4 - Elements sur la transmission de chaleur (Gilbert Burney Institut  
de Thermodynamique. Université de Liège.
- 5 - Test en laboratoire sur les fourneau en terre refractaire, Economie  
des fourneaux améliorés, et la déperdition régulière de la chaleur  
dans les fourneaux massifs. (Yaméogo Georges, Ouédraogo Issouf, Sam  
Baldwin) CILSS/VITA octobre 1982
- 6 - Analysis of Heat and mass transfert. Eckert and Drake Megrauhill INC .1972.
- 7 - Utilisation rationnelle du bois de chauffe par les foyers améliorés.  
Analyse des réalisations et perspectives en Haute-Volta  
Zango K. Marguerite juin 1981.
- 8 - Helping people in poor country Develop Fuel-saving cookstoves  
(GATE 10/80)
- 9 - Developpement des ressources forestières et renforcement du service  
forestier Haute-Volta.  
La consommation de bois de feu. M de Backer UPV/78/004.
- 10 - Rapport de synthèse du colloque national sur l'énergie.
- 11 - Pouvoir calorifique des bois tropicaux J. Doat.  
Bois et forêts des tropiques n° 172- Mars-Avril 1977.
- 12 - Les conversions thermiques du bois. Xavier Deglise, Université de Nancy I.
- 13 - Performance of the Tunku Lowon woodstove J. Claus, Sulilatu, and  
Verwoerd. W.B.S
- 14 - Eléments sur la combustion. Gilbert Burney, Université de Liège. Institut  
de thermodynamique.
- 15 - Comptes nationaux et indicateurs économiques de la Haute-Volta. Institut  
National de la Statistique et de la Démographie. Juin 1981
- 16 - Rapport d'activités du projet Bois de Village financement Néerlandais.
- 17 - Rapport d'activités du projet F.A. de la Mission Forestière Allemande.
- 18 - Rapport du M.T.E.T présenté au Colloque National sur l'énergie.



## E R R A T U M

Présentation I.V.E. : au lieu de planifiacion lire planification  
potentialités énergétiques.

Page 3 : cette méthodologie.

Page 48 : CTFT 1977)

Page 51 : troisième paragraphe : "combustible"

Page 52 : au lieu de : "l'oxygène est le carburant" lire l'oxygène est le  
comburant.

Page 61 : paragraphe 416 ; au lieu de damme lire dalle.

Foyer Titao : 2 anneaux en terre cuite qui délimitent

Foyer CILSS : au lieu de porte supérieure lire bord supérieur

Foyer métallique : au lieu de 2 mm lire 1 mm.

Page 74 : dans les mêmes conditions.

Tableau récapitulatif : Parois du foyer Kaya 3 : au lieu de briques en banco  
lire briques en ciment.

Page 81 : dernier paragraphe au lieu de pour ce deux, lire pour ces deux.

Page 91 : dernier paragraphe. Les marmites en parallèles avec la troisième.

Page 130 : prototypes.

## S I G L E S

A.I.D.R. : Association Internationale pour le Développement Rural

M.F.A. : Mission Forestière Allemande

F.A. : Foyer Amélioré

F.A.O. : Organisation Mondiale pour l'Alimentation.

I.V.E. : Institut Voltaïque de l'Energie

A.F.V.N. : Amélioration des Foyers à la Volta Noire.

C.I.L.S.S. : Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel.

C.A.T.R.U. : Centre d'Application des Technologies Rurales et Urbaines.

B.C.I.A.H.V. : Banque Internationale pour le Commerce, l'Industrie et  
l'Agriculture en Haute-Volta.

F.M.K. : Fourneau Moderne de Kaya.

M.T.E.T. : Ministère des Transports de l'Environnement et du Tourisme.

O.N.G. : Organismes non gouvernementaux.

O.R.D. : Organisme Régional de Développement.

G.R.A.A.P. : Groupe de Recherche et d'Appui pour l'Auto-promotion Paysanne.

A.F.C.N. : Amélioration des foyers au Centre-Nord.

P.N.U.D. : Programme des Nations-Unies pour le Développement.



