

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT SUPERIEUR POLYTECHNIQUE

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

***CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DES
PARAMETRES DE CONSTRUCTION POUR
L'AMELIORATION DES FOYERS A BOIS
ET A CHARBON DE BOIS***

JUIN 1984

ZEBA Souleymane



(E M E R C I E M E N T S

Au terme de ce stage, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidé ou encourager. Nos sincères remerciements vont particulièrement :

- A Monsieur SIMONIS Philippe, Maître du stage, Chef du Projet Spécial Energie au sein de l'Institut Voltaïque de l'Energie
- Au Camarade Rigobert YAMEOGO, Directeur de l'Institut Voltaïque de l'Energie
- Au Camarade Joseph ZONGO, Directeur de l'Aménagement Forestier et du Reboisement
- Au Camarade Georges YAMEOGO, pour sa collaboration
- A la Camarade Marguerite KABORE, Chef du Service Foyers Améliorés
- Au Camarade Godefroy THIOBIANO, Chercheur à l'Institut Voltaïque de l'Energie
- Aux Professeurs KABRE Alphonse et BOULET-GERCOURT Bruno à l'I.S.P
- Au Camarade ZOURE Léonard, et à tous ses collaborateurs du Poste Forestier de Gonsé
- Aux techniciens Cécile QUATTARA, Léocadie SAMANDOULGOU, Téné ZIZIEN, Donatien ZERBO et Clément GUISSOU
- Aux Camarades Chercheurs de l'Institut Voltaïque de l'Energie
- A la G.T.Z. dont le financement a servi de support matériel à cette étude
- A tous ceux qui ont contribué à cette étude

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

...

TABLE DES MATIÈRES

	<u>pages</u>
INTRODUCTION GENERALE	5
PREMIERE PARTIE : LES FOYERS A BOIS	7
CHAPITRE I - ETAT DE DEVELOPPEMENT DES F. A. EN HAUTE-VOLTA	7
1-1 Analyse succincte de l'évolution de la vulgarisation	7
1-2 Les résultats atteints	8
1-3 Les goulots d'étranglement	11
1-3-1 Les difficultés socio-culturelles	11
1-3-2 Les difficultés économiques	11
1-3-3 Les difficultés techniques	12
1-3-4 La sensibilisation : moyens et méthodes	13
1-3-5 La formation	14
1-3-6 Le suivi	14
1-4 Les domaines prioritaires d'intervention de la recherche-développement	14
1-4-1 Les aspects techniques prioritaires des foyers existants	14
1-4-2 Conception de F. A. pour la production du dolo	15
1-4-3 La recherche de stratégies de vulgarisation plus adaptés	15
CHAPITRE II - PRESENTATION DES FOYERS ET DE LEURS PARAMETRES TESTES	17
2-1 Présentation des différentes composantes d'un F. A.	17
2-1-1 La porte	17
2-1-2 La chambre de combustion	17
2-1-3 Le canal de communication	19
2-1-4 La chambre de chauffage de la deuxième marmite	19
2-1-5 La cheminée	19
2-1-6 La dalle.	19
2-2 Présentation des foyers testés	20

	<u>pages</u>
CHAPITRE III - METHODOLOGIE DE TEST UTILISEE	27
3-1 Les tests d'ébullition d'eau (T.E.E)	27
3-1-1 Le matériel utilisé pour les tests	27
3-1-2 Conduite des essais en atelier	30
3-1-3 Les techniciens	32
3-1-4 Calcul des rendements thermiques	32
3-1-5 Calcul des puissances	34
3-2 Les tests de cuisine contrôlée (T.C.C.)	35
3-3 Relations existant entre les tests d'ébullition d'eau et les tests de cuisine contrôlée	36
CHAPITRE IV - ETUDE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DES F. A. A BOIS	39
4-1 Les effets de la porte sur le rendement thermique	39
4-1-1 Méthode de test	39
4-1-2 Le foyer sans cheminée	40
4-1-2-1 Résultats des tests	40
4-1-2-2 Interprétations statistiques des résultats	50
4-1-2-3 Observations et conclusions	53
4-1-3 Le foyer avec cheminée	5454
4-1-3-1 Les résultats des tests	54
4-1-3-2 Interprétations statistiques des résultats	59
4-1-3-3 Observations et conclusions	60
4-2 La chambre de combustion	62
4-2-1 La forme	62
4-2-2 Les dimensions	62
4-2-2-1 Introduction d'une grille dans la chambre de combustion	62
4-2-2-2 Optimisation de la position de la grille	69
4-2-2-3 Observations sur la position de la grille	82
4-3 La chambre de chauffage de la 2ème marmite des foyers à deux trous	84
4-4 La cheminée	88
4-4-1 Effets de la hauteur de la cheminée sur le rende- ment thermique	94

	pages
4-4-2 Effets du diamètre de la cheminée sur le rendement thermique	94
4-5 Distance entre les parois du foyer et la marmite	94
4-6 Influence de la marmite sur le rendement thermique	96
4-6-1 Influence du matériau de construction de la marmite	96
4-6-2 Influences de l'augmentation du calibre de la marmite	99
4-7 Les matériaux de construction du foyer	100
4-7-1 Effets sur le rendement thermique	100
4-7-2 La durée de vie des F. A.	103
4-8 Tentatives de conception d'un F. A. à dolo	104
4-8-1 Définition d'une méthodologie de conception	104
4-8-2 Les tests d'ébullition d'eau en atelier	105
4-9 Les tests de cuisine contrôlée	107
DEUXIEME PARTIE : LES FOYERS A CHARBON DE BOIS	109
CHAPITRE V - CARACTERISTIQUES DU CHARBON DE BOIS	110
5-1 Principe de la carbonisation	110
5-2 Propriétés physico-chimiques du charbon de bois	110
CHAPITRE VI - PROBLEMATIQUE DU CHARBON DE BOIS	112
6-1 Méthodes traditionnelles de carbonisation	112
6-2 Etat actuel de la consommation du charbon en Haute-Volta	113
6-3 Facteurs favorables à la carbonisation	114
6-4 Facteurs défavorables à la carbonisation	114
CHAPITRE VII - PRESENTATION DES FOYERS TESTES	118
CHAPITRE VIII - RENDEMENTS THERMIQUES DE QUELQUES PROTOTYPES DE FOYERS A CHARBON	126
8-1 Spécificités de la combustion du charbon	126

	<u>pages</u>
8-2 Méthodologie utilisée	126
8-3 Présentation des résultats	126
8-4 Analyse et interprétation des résultats	131
8-5 Interprétations statistiques	133
CHAPITRE IX - ETUDE DE QUELQUES ELEMENTS DES FOYERS A CHARBON	137
9-1 L'apport d'air	137
9-2 L'effet du banco sur la grille	139
9-3 La chambre de combustion	139
CONCLUSION GENERALE	143
ANNEXES :	
1 - Les fiches de suivi des tests	144
2 - Plans des foyers à bois	148
3 - Plans des foyers à charbon	153
4 - Tableaux récapitulatifs des résultats des tests sur les foyers à charbon de bois.	161
BIBLIOGRAPHIE :	

INTRODUCTION GENERALE

L'étude qui est l'objet de ce mémoire de stage effectué au cours de l'année universitaire 1983-1984, s'inscrit dans le cadre global de la recherche des solutions aux problèmes énergétiques qui se posent à la Haute-Volta. Elle entre dans l'esprit des recommandations formulées par le Colloque National sur l'Energie tenu à Ouagadougou du 9 au 12 Mars 1982.

En travaillant sur le thème : "Contribution à l'optimisation des paramètres de construction pour l'amélioration des foyers à bois et à charbon de bois", nous avons voulu participer à la connaissance et à la conception des foyers améliorés dans le souci de les adapter d'une part aux conditions locales et d'en tirer d'autre part un meilleur profit par rapport aux objectifs énergétiques fixés. L'opportunité de la vulgarisation de foyers améliorés efficaces a déjà été démontrée dans plusieurs rapports. Aussi, nous n'y reviendrons pas ici.

Cette étude se situe d'abord dans un contexte précis de l'évolution de la technologie des foyers améliorés à bois en Haute-Volta. Elle constitue également une ébauche d'évaluation et de conception de foyers à charbon de bois. Dans ce sens, elle contribue à éclaircir la problématique de l'utilisation de ce combustible.

Dans le domaine des foyers à bois, plusieurs études ont été réalisées avec des objectifs variés mais complémentaires. Celles-ci ont permis d'abord une connaissance des différents prototypes de foyers vulgarisés en Haute-Volta. Une analyse des efforts fournis et des résultats

.../...

obtenus par les organismes qui participent à la diffusion de ces foyers révèle des goulots d'étranglement de plusieurs natures. Ces contraintes objectives définissent pratiquement les domaines prioritaires d'intervention de la recherche-développement. C'est par rapport à ces priorités que le travail de l'Institut Voltaïque de l'Energie (I.V.E.) a consisté, dans un premier temps, à évaluer les différents modèles de foyers améliorés existants en Haute-Volta. Ainsi, on a pu comparer l'efficacité de ces foyers sur la base des tests effectués en atelier. Il est donc logique qu'à la suite de ce travail, on s'intéresse à une amélioration plus poussée de ces foyers en vue d'approcher davantage l'objectif qui est la réduction de la consommation du combustible ligneux. Cette phase impose la connaissance de l'influence que chaque élément du foyer joue sur sa performance. Ces influences ont été suivies en permanence avec une méthodologie de travail qui sera explicitée. Les travaux d'amélioration des foyers à dolo (bière de mil) nécessitent une méthodologie et une approche particulière. Les essais qui ont été menés dans ce cadre, nous permettront quelques réflexions utiles à la poursuite de ce programme.

Enfin, dans le domaine des foyers à charbon, nous avons jugé opportun de réfléchir d'abord aux inconvénients et aux avantages que peut conférer l'usage du charbon de bois. Les conclusions de ces réflexions étayent l'initiative d'amélioration de ces foyers. Ainsi en raison de certaines considérations qui seront précisées, nous avons mené des essais en atelier dans le but de :

- 1- Comparer un certain nombre de foyers du point de vue de leurs rendements thermiques.
- 2- Comprendre et apprécier l'influence de quelques facteurs entrant dans leur construction.
- 3- Concevoir des foyers adaptés aux conditions locales.

.../...

PREMIERE PARTIE : LES FOYERS AMELIORES (F. A.) A BOIS

INTRODUCTION

Au sahel, la crise énergétique s'exprime surtout par la raréfaction du bois qui résulte de la dégradation de l'environnement. Un déséquilibre s'est créé entre l'offre de bois en baisse et sa demande croissante. C'est dans ce contexte que, en appui aux différentes opérations de reforestation, un certain nombre de projets et d'organismes ont commencé la vulgarisation de F. A. en Haute-Volta en 1979, pour rationaliser l'utilisation du bois de chauffe, et améliorer les conditions de travail de la femme. La diffusion de ces foyers s'est donc faite sans savoir à quelle économie de bois on peut s'attendre. L'étude réalisée en 1981 par ZANGO Marguerite en site réel a apporté des précisions (17 % d'économie de bois). Puis, en 1983 des tests en atelier ont permis de comparer les différents prototypes de foyers existants (bibliographie n° 17). Ces tests avaient surtout pour but de comprendre les principes de fonctionnement de ces foyers afin de les améliorer.

Cette partie traite de l'optimisation des éléments constitutifs des F.A. en vue d'accroître leurs performances. Quelques réflexions y sont faites aussi par rapport aux contraintes rencontrées dans la vulgarisation.

CHAPITRE I : ETAT DE DEVELOPPEMENT DES F.A. EN HAUTE-VOLTA

I-1 Analyse succincte de l'évolution de la vulgarisation

Au début de la diffusion des F. A. en 1979, il n'y avait pas de coordination entre les activités des vulgarisateurs. Ceux-ci concevaient des modèles et les diffusaient selon leurs méthodes. C'était des prototypes à deux ou trois trous.

C'est en juin 1982 que sont créés au sein du ministère de l'Environnement et du Tourisme, une commission technique interministérielle et un service "Foyers Améliorés". La commission est composée de six membres et est chargée de l'étude, de la construction et de la diffusion des F. A. Elle a pour attributions la supervision, la coordination et l'orientation des activités des projets sur les F. A. au niveau des départements ministériels.

Le service "Foyers Améliorés" est rattaché à la Direction de l'Aménagement Forestier et du Reboisement. Il est chargé de la coordination des actions intéressant l'utilisation du bois de feu et exécutées dans les différents projets de reboisement relevant du Ministère de l'Environnement et du Tourisme. Il est chargé en outre d'établir des relations avec tous les projets vulgarisant des F. A. pour l'élaboration d'un programme national de diffusion de F. A. Ces institutions traduisent la volonté nationale de rationaliser l'utilisation du bois de chauffe. Cependant, les difficultés de réunir la commission, les moyens très insuffisants et la multitude des tâches n'ont pas permis au service F. A. d'exécuter tous ses programmes. Ainsi, la coordination n'est pas encore totale à l'échelle nationale. Toutefois, les structures ont été améliorées par la création progressive d'unités régionales opérationnelles dans les provinces du Sankatinga, du Houhour, d'Ouhritenga, du Bourkina, du Gourma et du Yatenga. Plusieurs activités ont été menées dans le cadre de ces unités avec l'aide de différents projets.

La création de l'I.V.E. en mars 1982 a permis d'entreprendre dans le cadre du volet recherche la comparaison de tous les prototypes de foyers dits "améliorés". Les conclusions de ce travail constituent une base pour une meilleure orientation des activités du Service F. A. De plus, les activités de conception ont atteint des résultats permettant de lever certaines contraintes : foyers métalliques et céramiques performants, transportables et moins chers foyer "3 pierres" amélioré appelé foyer Banfora un trou, facilement reproductible et efficace.

On remarque ainsi que, progressivement, les efforts fournis procurent des bases plus solides et fiables pour une opération de vulgarisation à grande échelle. L'amélioration des prototypes de F. A. existants renforcera ces bases.

Cependant, le manque de moyens propres au Service F. A. est un handicap pour les activités de formation des vulgarisateurs, d'information, de sensibilisation et de suivi, nécessaires / ^{pour} un avancement harmonieux de la vulgarisation.

1-2 Les résultats atteints

La mise en place de structures efficaces, le recrutement et la formation du personnel, l'information et la sensibilisation de la population

constituent les supports pour le lancement de toute opération de vulgarisation. Aussi, nous pensons qu'à l'étape actuelle de l'introduction des F. A. en Haute-Volta, le nombre de foyers construits est un facteur de moindre importance pour apprécier la somme des efforts fournis par tous les partenaires. De plus, le manque de coordination qui a caractérisé cette introduction a entraîné une duplication des initiatives et un gaspillage d'efforts.

Par conséquent, les chiffres que nous présentons dans le tableau ci-dessous doivent être considérés comme des références. Ils représentent le nombre de foyers construits par chaque projet par an.

ANNEES	OUAGADOUGOU		DEDOUGOU		KOUDOUGOU		KAYA		BOBO		FADA		TITAO
	M.F.A.	AIDR	M.F.A.	P.B.V. hollandais	M.F.A.		P.B.V. hollandais		AIDR		P.B.V. suisse		V.F.P.
1979	20	-	-	-	-		-		-		-		-
1980	400	379	-	-	-		-		89		-		-
1981	800	733	40	33	100		49		286		-		50
1982	400	671	66	107	80		650		282		-		50
1983	1.306	-	-	276	140		480		-		95		?

N.B. : M.F.A. : Mission Forestière Allemande

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

P.B.V. : Projet Bois de Village

V.F.P. : Volontaires Français du Progrès

1-3 Les Goulots d'étranglement

Les obstacles qui entravent la vulgarisation des foyers améliorés à grande échelle sont de plusieurs ordres. Des études de terrain ont posé de plus en plus clairement ces difficultés qui sont inhérentes à l'introduction d'une nouvelle technologie dans un milieu.

1-3-1 Les difficultés socio-culturelles

Le foyer traditionnel ouvert à 3 pierres procure un certain nombre d'avantages de par sa simplicité, son coût presque nul et son adaptation à tous les usages locaux courants. Une somme de traditions et d'habitudes renforce cette réalité. En effet, le foyer traditionnel permet :

- l'utilisation du bois, des tiges de mil, de la bouse comme combustible. Il s'adapte donc à la variation périodique de la nature des combustibles en milieu rural ;
- les changements fréquents de la taille des marmites dûs aux variations fréquentes du nombre de rationnaires de la famille.

De plus, ce foyer est entré dans les moeurs sociales si bien qu'on lui prête quelquefois des vertus occultes. Ainsi, la préparation de certains repas, le chauffage des plantes médicinales s'effectuent sur ce foyer.

Pour se substituer à celui-ci les F. A. doivent donc satisfaire tous les besoins de cuisson et de chauffage, et procurer beaucoup d'autres avantages à même de contrebalancer les habitudes et les coutumes.

1-3-2 Les difficultés économiques

Les coûts des foyers massifs proposés varient de 4.000 à 6.000 F en milieu urbain et de 500 à 1.300 F en milieu rural. Les foyers transportables (métalliques et céramiques) coûtent 800 à 1.300 F dans les deux milieux. En fait, il faut remarquer que tous ces prix constituent pour les paysans des investissements sérieux compte tenu de la multitude de leurs problèmes.

En effet, la nourriture et l'eau sont vitales mais insuffisantes. Les maladies sont fréquentes et les coutumes coûtent de plus en plus chers. Pour toutes ces raisons, les F. A. ne sont pas prioritaires pour eux quand bien même la sensibilisation met à nu les dangers pertinents de la désertification. Le fait que le foyer traditionnel ne nécessite aucun investissement préalable les rend conservateurs.

Pour tenir compte des difficultés économiques, les F. A. doivent être construits avec des matériaux locaux, faciles à trouver sur place. Puis, les techniques de construction doivent être simples pour permettre aux paysans de les maîtriser et d'envisager une vulgarisation par l'autoconstruction.

1-3-3 Les difficultés techniques

La maîtrise de la technologie est un facteur très important pour la réussite de la vulgarisation. La non utilisation des foyers construits est généralement due à un aspect technique défailant. Parmi les causes de la non utilisation, on rencontre fréquemment :

- le fait que la deuxième marmite des foyers à deux trous ne chauffe pas bien,
- la faible stabilité des foyers légers ; ce qui ne permet pas de préparer le tô (plat local préparé avec la farine de mil) ;
- la petitesse de la porte d'entrée du bois qui oblige les ménagères à fendre le bois en petits morceaux. Il est important de remarquer qu'en milieu rural, ce travail serait une corvée supplémentaire pour les femmes, déjà surchargées par d'autres tâches. ;
- la mauvaise performance du foyer (fonctionnement défectueux ou mauvais rendement). En effet, la faible maîtrise de la construction et la méconnaissance des principes de combustion du bois sont les causes de nombreuses erreurs qui compromettent l'économie de bois. On peut citer la faible exposition des marmites à la chaleur, l'inversion des trous (marmites du tô et de la sauce) des foyers qui en ont plusieurs et la mauvaise orientation de la porte d'entrée du bois par rapport au vent. De plus, les foyers à trois trous qui paraissent avantageux à priori, gaspillent autant d'énergie que les foyers traditionnels.
- La faible résistance des matériaux de construction aux chocs mécaniques et thermiques subis par le foyer : on remarque en général quelques mois après la construction que des fissures apparaissent aussi bien sur le banco que sur le ciment. Cette rapidité de détérioration décourage les ménagères.
- Au début de chaque préparation, le bois brûle très lentement. Cela est dû à la qualité de la combustion dans certains foyers massifs.

Ces différentes difficultés techniques sont souvent responsables de l'abandon du foyer amélioré. Ces problèmes doivent trouver des solutions dans le cadre de la recherche - développement.

1-3-4 La sensibilisation : Moyens et Méthodes

C'est un élément important pour la réussite de la vulgarisation. Elle est assurée par les inspections forestières en collaboration avec des projets et des organismes non gouvernementaux, au sein d'unités provinciales d'amélioration des foyers. Les activités de ces unités sont coordonnées au niveau national par le service "foyers améliorés".

Les méthodes de sensibilisation utilisées varient selon les projets, les organismes vulgarisateurs et le milieu concerné. Elle sont généralement basées sur les causes de la dégradation de l'environnement. En collaboration avec le Groupe de Recherche et d'Appui pour l'Autopromotion Paysanne, une série pédagogique de sensibilisation a été élaborée en 1982, et révisée en juin 1983, pour être utilisée aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural.

En milieu rural, on organise des séances de sensibilisation pendant lesquelles la nécessité de l'utilisation des foyers améliorés est démontrée suivant cette série pédagogique qui intègre la participation active des paysans. On constate très souvent que ceux-ci connaissent les problèmes qui sont posés. Ils se déclarent prêts à adopter les F. A. Mais, des difficultés apparaissent pour l'acquisition effective de cette technologie.

En milieu urbain, l'information se fait surtout par les médias (radio, télévision, journaux, pancartes). Les centres sociaux contribuent à informer les femmes. Il convient cependant de remarquer que l'utilisation des médias n'est pas adaptée en raison de certaines habitudes sociales. L'information par les médias est dépersonnalisée donc moins importante pour la plupart des gens. On accorde plus d'attention aux relations individuelles (parents, amis, collaborateurs). Une stratégie plus adaptée doit être élaborée.

En fait, la sensibilisation doit montrer qu'un foyer amélioré est avant tout un symbole de prise de conscience que le bois est à économiser. C'est la première étape importante à franchir. On peut disposer d'un foyer amélioré performant et gaspiller davantage de bois qu'avec le foyer traditionnel si la conscience n'est pas gagnée à la cause. Les avantages techniques du foyer constituent un appoint.

1-3-5 La formation

La formation ou le recyclage des constructeurs de foyers leur permet de corriger les nombreuses erreurs qui peuvent subvenir. Dans ce sens, beaucoup d'efforts sont déployés pendant la présente campagne (1983 - 1984) au niveau national et provincial avec l'appui technique du Service F.A. et de l'I.V.E. Le rythme devrait se maintenir pour atteindre un bon niveau de technicité d'une part, et augmenter le nombre d'agents formés d'autre part.

A leur tour, les constructeurs assurent la formation des maçons ruraux pour leur permettre de satisfaire les demandes dans leurs villages. Un suivi périodique et constant est nécessaire pour éviter la baisse de la qualité des constructions au fur et à mesure de la décentralisation.

1-3-6 Le suivi

Parmi les causes d'abandon de F. A., on peut citer le manque de suivi individuel des ménagères. Les difficultés d'entretien et d'utilisation des foyers sont fréquentes.

Le mauvais suivi est dû :

- au manque de personnel qualifié. La collaboration avec des agents d'autres structures rurales a souvent laissé des lacunes ;
- à la mauvaise programmation des activités ;
- au manque de conscience professionnelle de certains agents.

Le suivi est un moyen permettant aussi de déceler les inadéquations de la technologie aux conditions locales.

1-4 Les domaines prioritaires d'intervention de la recherche-développement

Ils sont définis par rapport aux différentes contraintes auxquelles les vulgarisateurs sont confrontés et par les autres secteurs où une importante économie de bois peut être réalisée si des améliorations sont faites. Ainsi, trois grands axes doivent être considérés dans un premier temps.

1-4-1 Les aspects techniques prioritaires des foyers existants

Il faut résoudre les contraintes techniques préjudiciables au programme foyer amélioré. Les difficultés que nous avons évoquées montrent la nécessité :

1°) d'améliorer les rendements des foyers existants par une meilleure conception des paramètres qui les constituent.

Dans le cas des foyers à deux trous, il faut augmenter le rendement du deuxième trou en optimisant les éléments qui assurent la bonne combustion du bois et les meilleurs échanges de chaleur : chambre de combustion, monticule, cheminée, etc...

Dans le cas des foyers à un trou, en plus de l'amélioration des rendements thermiques, il faut les rendre plus stable pour les adapter à la cuisine locale.

2°) de concevoir des prototypes plus simples, faciles à reproduire dans tous les milieux et efficaces pour l'économie de bois.

Dans ce sens, le foyer "3 pierres" amélioré, (voir page 21) semble assez bien adapté ;

3°) d'améliorer la résistance thermique et mécanique des matériaux de construction. Pour cela, il faudrait développer des techniques de préparation de matériaux locaux résistants et à la portée des populations rurales et urbaines.

1-4-2 Conception de foyers améliorés pour la production du dolo

Le dolo est une production artisanale de bière de mil dont la préparation exige beaucoup de bois. La conception et le développement de foyers adaptés à cette production est donc nécessaire. Des tentatives ont déjà eu lieu dans ce cadre par l'entreprise FMK à Kaya. Ainsi, cette entreprise a conçu un foyer en ciment à quatre trous pour grosses marmites en 1981. Ce foyer coûtait cher compte tenu des matériaux utilisés (20.000 F). Aussi, sa vulgarisation est difficile. D'autres importantes tentatives d'amélioration des foyers traditionnels à dolo ont été menées par des dolotières (femmes qui produisent le dolo) dans certaines régions de la Haute-Volta. Ces efforts méritent d'être complétés.

1-4-3 La recherche de stratégies de vulgarisation plus adaptées

Les difficultés rencontrées pour l'information et la sensibilisation proviennent en partie des moyens et des méthodes d'approche utilisés. Des tests de stratégies de vulgarisation, en étroite collaboration avec les structures chargées de la diffusion des foyers, permettront de proposer de nouvelles approches.

CONCLUSION

L'analyse de l'évolution de la vulgarisation des F. A. met en évidence un certain nombre de difficultés structurelles, socio-culturelles, économiques et surtout techniques. Ces contraintes déterminent les domaines d'intervention de la recherche-développement. C'est sur les aspects techniques que nos investigations portent en grande partie. Ainsi, nous avons ^{effectué} des mesures en atelier dans le but d'optimiser les éléments constitutifs des F. A. Mais auparavant, une présentation de ces éléments est nécessaire.

CHAPITRE II PRESENTATION DES FOYERS ET DE LEURS PARAMETRES TESTES

Un foyer amélioré est un foyer fermé construit en respectant les principes de la combustion du bois et de transfert de chaleur, donnant ainsi un rendement thermique supérieur à celui du foyer traditionnel ouvert à 3 pierres. Pour ces raisons, il présente un certain nombre de composantes ayant des effets plus ou moins importants sur sa performance. Les composantes varient selon le type de foyer considéré : foyers massifs à un ou deux trous avec ou sans cheminée, foyers légers à un trou. Ce chapitre présente d'abord les différents paramètres dont une meilleure conception permettrait d'améliorer les performances du foyer. Pour une meilleure compréhension des travaux effectués, les foyers testés seront décrits dans un deuxième temps.

2-1 Présentation des différentes composantes d'un foyer amélioré

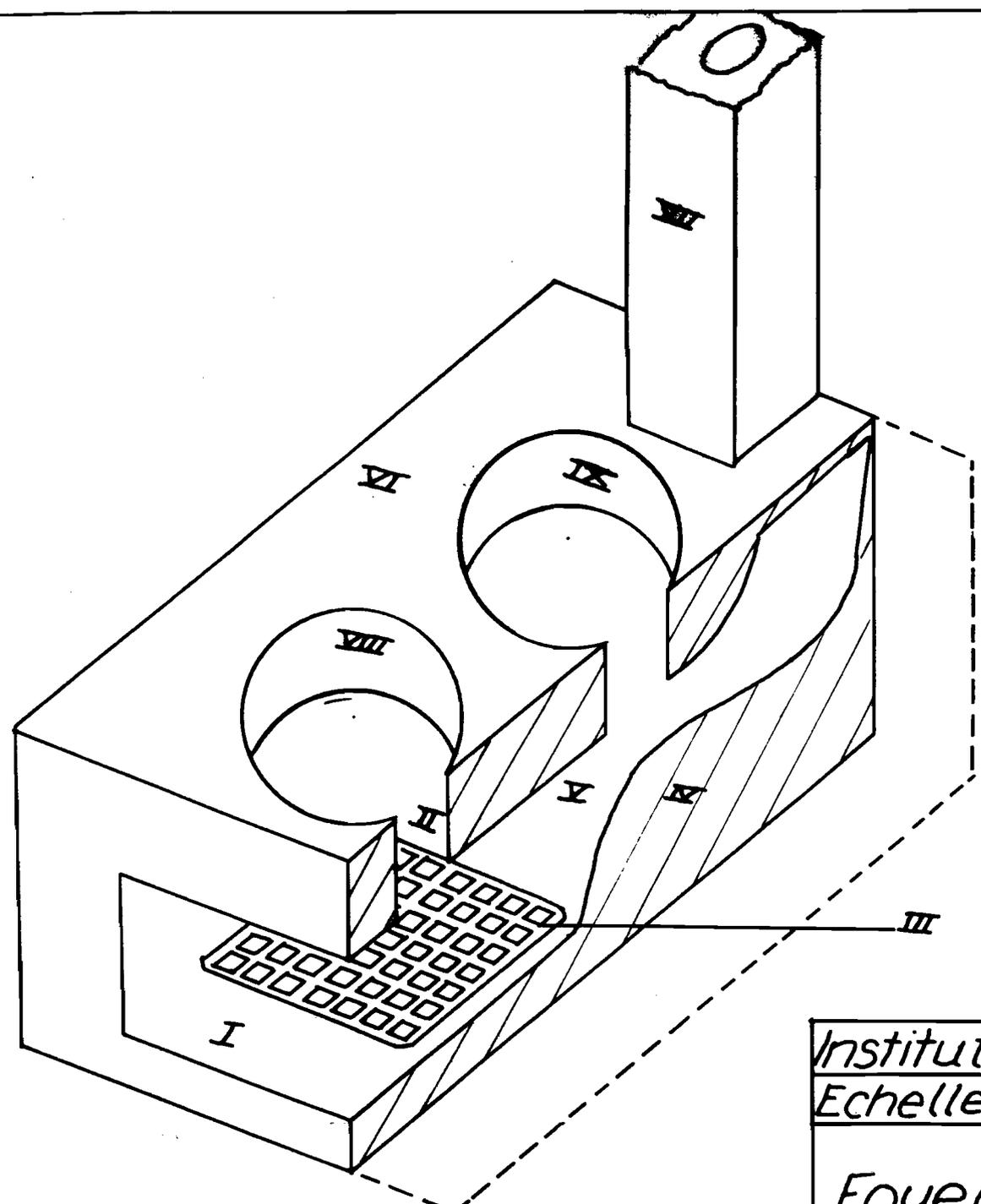
2-1-1 La Porte

C'est par elle qu'on introduit le bois dans la chambre de combustion du foyer. La surface restante permet à l'oxygène de l'air d'entrer dans la combustion. La forme et la surface de la porte interviennent dans l'efficacité du foyer. Elle doit être bien orientée par rapport au sens du vent pour que le fonctionnement soit correct.

2-1-2 La chambre de combustion

Par sa composition, elle doit permettre une bonne combustion du bois en assurant un bon mélange entre l'oxygène de l'air et les éléments solides et gazeux du combustible.

Par sa forme et ses dimensions, elle doit assurer un transfert optimal de la chaleur produite vers la marmite. La forme est définie par les contours des parois du foyer. Les dimensions varient selon la taille de la marmite. En introduisant une grille dans la chambre de combustion, on améliore le rendement du foyer d'une façon significative. La grille est une plaque métallique ou en argile cuite, percée de trous sur toute sa surface. Elle peut être ronde ou rectangulaire. Elle est suspendue sur un support mince par ses rebords ; ce qui permet à une partie de l'air (air primaire) de passer en dessous et de remonter par les trous pour entrer dans le processus de combustion.



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

Institut Voltaïque de l'Energie Ouaga	
Echelle 1/50	
Le 29-03-83	
Foyer amélioré	

2-1-3 Le canal de communication

Dans les foyers à deux trous, un canal permet à la chaleur d'atteindre la deuxième marmite grâce à la convection des gaz. Si le canal est réduit, le rendement du premier trou s'élève au détriment de celui du second trou. Les fumées ont tendance à ressortir par la porte. Le canal se prolonge après le deuxième trou pour rejoindre la cheminée. Ce prolongement doit être moins large pour éviter que les fumées ne se dégagent trop vite.

2-1-4 La chambre de chauffage de la deuxième marmite

C'est la chambre qui concentre la chaleur au bénéfice de la seconde marmite ; ses qualités influencent fortement la performance du foyer. Pour cela, elle comporte un mouticule dont le rôle est de réduire la vitesse de passage des fumées afin de les retenir le plus longtemps possible au contact de la marmite. Celle-ci doit être enfoncée au maximum possible dans son trou.

2-1-5 La cheminée

C'est un dispositif qui permet d'évacuer la fumée provenant de la combustion. Elle confère ainsi l'avantage de débarrasser la cuisine de la fumée. Sa hauteur et le diamètre de son conduit intérieur influence la qualité du tirage et le rendement du tirage. La différence de pression entre l'atmosphère et l'intérieur de la cheminée assure son fonctionnement. Certains foyers sont dépourvus de cheminée. La fumée se dégage alors :

- soit par un espace tout autour de la marmite ; dans ce cas la distance entre la marmite et les parois du foyer est très importante. C'est le cas du foyer métallique et du foyer "3 pierres" amélioré ;
- soit par des petits trous ouverts à même la dalle du foyer et communicants avec la chambre de chauffage de la deuxième marmite (pour les foyers à deux trous) ou avec la chambre de combustion (pour les foyers à un trou). C'est le cas du foyer Bamfora.

2-1-6 La dalle

C'est elle qui supporte les marmites des foyers à plusieurs trous. Elle est très souvent sujette à des fissurations qui finissent par endommager l'état général du foyer. Pour cela, elle est souvent renforcée par des barres de fer.

La dalle comporte les trous dans lesquels s'insèrent les marmites. Ces trous doivent permettre une bonne pénétration des marmites dans le foyer afin qu'une grande partie de leur surface soit exposée à la chaleur.

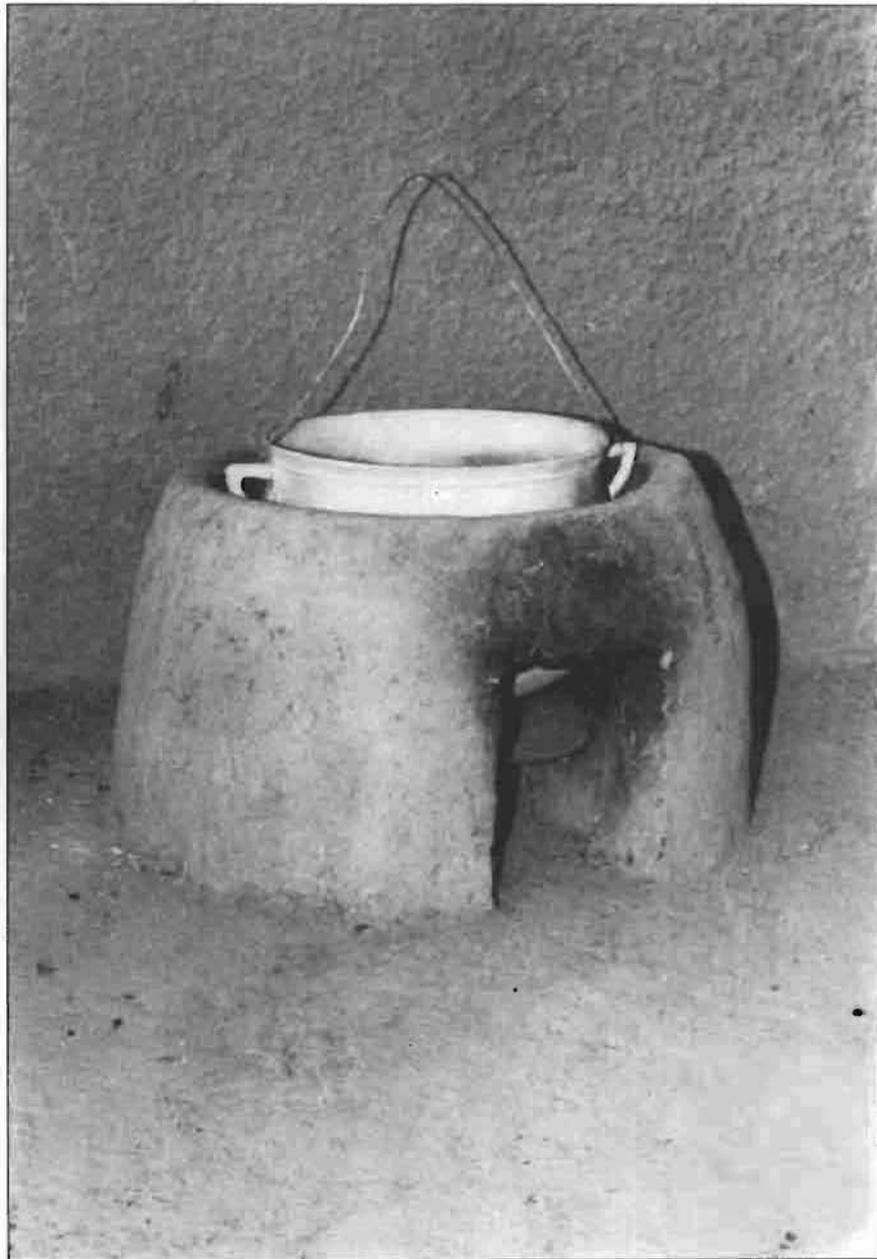
Ce sont les interactions entre ces différents éléments du foyer qui déterminent sa performance. Il y a surtout une complémentarité dans leurs rôles. A un stade donné de leurs optimisations, certains paramètres deviennent plus importants que d'autres. L'amélioration d'un foyer consiste à lever progressivement les contraintes techniques qui bloquent le rendement thermique à un niveau donné.

2-2 Présentation des foyers testés

Les tests effectués sur les foyers à bois dans le cadre de cette étude ont principalement pour objectif :

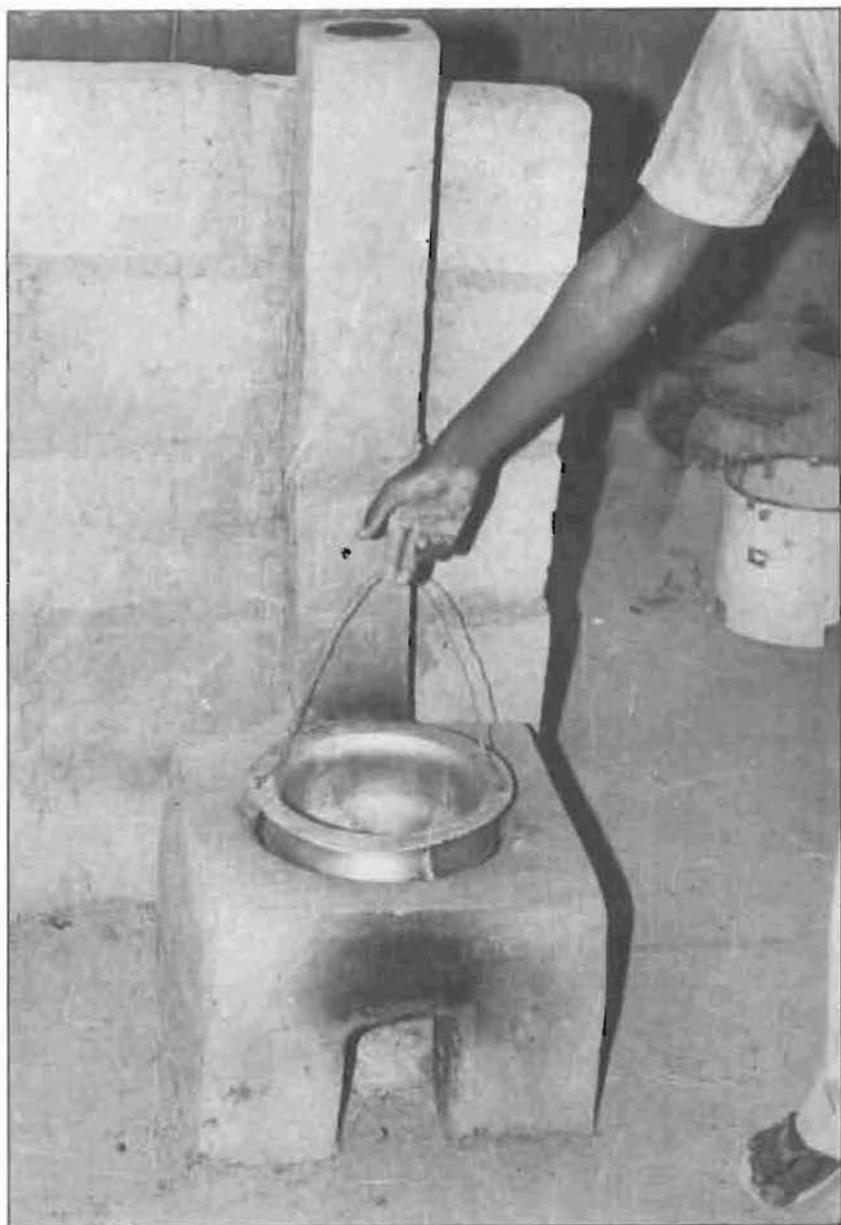
- l'optimisation des paramètres de construction des foyers existants en vue de leur amélioration : par rapport à cela, le foyer Houna (à deux trous), le foyer Banfora (à deux trous) et le foyer métallique sont assez représentatifs. Aussi, c'est sur ces prototypes que les investigations ont porté. En marge de cela, le foyer à deux trous parallèles a été conçu ;
- la conception d'un foyer plus adapté aux conditions locales de par la simplicité de sa construction, sa performance et son coût. De ce point de vue, le foyer "3 pierres" amélioré conçu par l'I.V.E., a été l'objet de plusieurs tests d'amélioration.

Enfin, le foyer I.V.E. VII à un trou avec cheminée et marmite modifiée a été testé dans le cadre de cette étude.



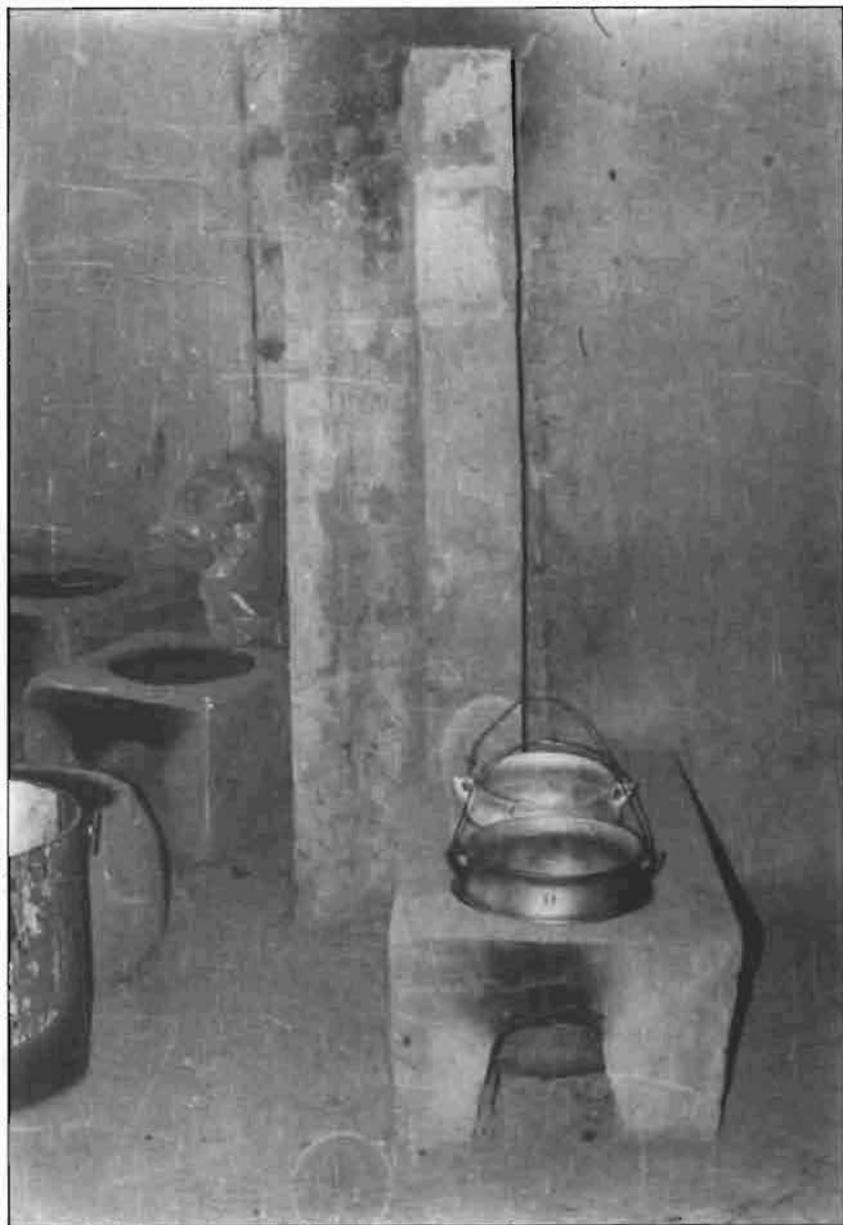
LE FOYER « 3 PIERRES » AMELIORE.

C'est un foyer massif sans cheminée, à un trou, construit en banco amélioré. 3 pierres incorporées servent de support à la marmite. Il est muni d'une grille métallique (ou en argile cuite). Sa conception est inspirée du foyer traditionnel ouvert à 3 pierres. Il est également appelé « foyer Banfora un trou ». Il est très stable pour la préparation du tô. Les techniques de construction sont facilement assimilables ; d'où la possibilité de le vulgariser en milieu rural par l'autoconstruction.



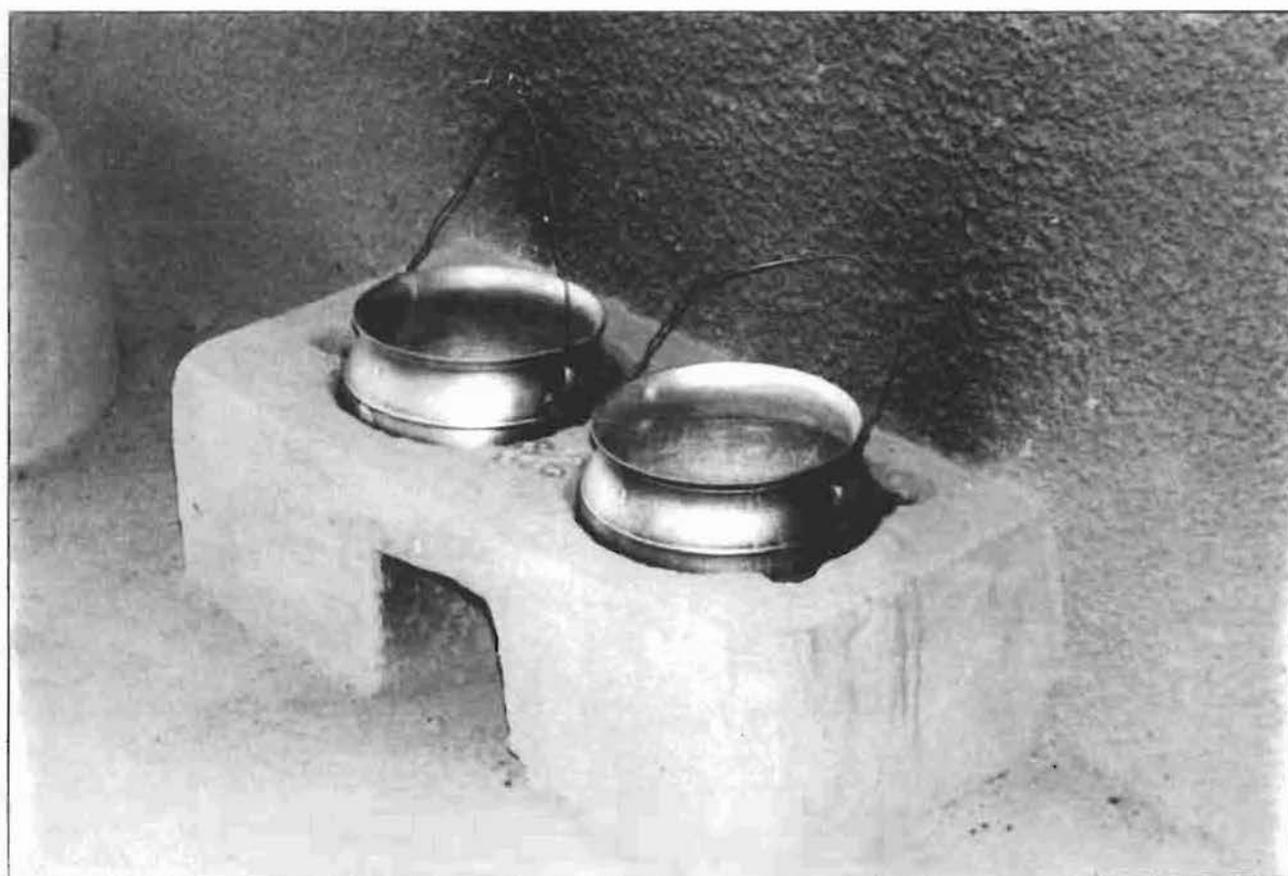
LE FOYER I.V.E. VII.

C'est un foyer à un trou pourvu d'une cheminée. Il est entièrement construit en banco amélioré : banco constitué d'un mélange d'un volume de banco ordinaire pour 1/4 de paille et 1/4 de bouse de vache. Sa chambre de combustion est munie d'une grille. Le fonctionnement de ce foyer nécessite une marmite à rebord modifié en couronne. Il n'est pas encore vulgarisé.



LE FOYER NOUNA 2 TROÛS.

C'est un foyer construit en briques de ciment avec une dalle en béton armé. Les parois internes, le canal de communication et le monticule qui constituent l'intérieur du foyer sont en banco dans ce cas, pour faciliter les modifications de dimensions qui se feront au fur et à mesure selon les besoins des essais d'optimisation. Ce foyer possède une cheminée en briques de ciment.



LE FOYER A 2 TROUS PARALLELES.

C'est un foyer conçu en vue de résoudre le problème du rendement du second trou des foyers dont les trous sont en série par rapport à la porte. Il est dépourvu de cheminée. Chacun des 2 trous porte 3 petites ouvertures permettant d'évacuer la fumée. Ce foyer est maçonné en banco. Il est toujours à l'état expérimental.



LE FOYER BANFORA A 2 TROUS.

Il est entièrement construit en banco avec un crépissage en ciment qui le protège contre les intempéries. Sa porte est plus ou moins parabolique avec une fente au-dessus permettant de voir les flammes afin de mieux régler la combustion. Les 3 petites encoches faites à l'arrière du second trou permettent d'évacuer la fumée car il n'y a pas de cheminée. La deuxième marmite est surélevée par rapport à la première.

CONCLUSION

Cette description sommaire des foyers utilisés pour les tests d'optimisation montre qu'il existe des différences entre les éléments qui les constituent. Certaines parties d'un foyer jouent un rôle plus important que d'autres. Si elles sont mal conçues, elles peuvent constituer un obstacle pour l'économie de bois. Ainsi, les constructeurs des premiers foyers ont commis des erreurs dues à la mauvaise compréhension des principes de fonctionnement de cette technologie. Une meilleure conception des foyers nécessite la connaissance de l'influence de chacune de leurs composantes; d'où l'opportunité de cette étude. Mais, pour ^{aboutir à des} résultats fiables, il est important que ce travail suive une méthodologie rigoureuse. Le chapitre suivant développe la méthodologie adoptée pour les tests sur les foyers à bois.

Afin de permettre une comparaison des résultats et d'obtenir des conclusions fiables, une méthodologie rigoureuse de travail s'impose. Deux types de test ont été effectués :

- des tests d'ébullition d'eau qui servent à comparer les performances d'un foyer dans des conditions opérationnelles différentes ;
- des tests de cuisine contrôlée qui permettent d'apprécier l'adaptation d'un prototype de foyer aux conditions locales de cuisine.

La méthodologie proposée par la réunion du groupe de travail international pour standardiser les tests sur les foyers à bois avait été adoptée à l'I.V.E. avec toutefois quelques adaptations. Elle s'était avérée satisfaisante. Aussi, elle a été conservée pour ce travail. Ce chapitre explicitera cette méthodologie de même que le matériel utilisé pour les essais. Enfin, des précisions seront données sur les quantificateurs utilisés pour évaluer les résultats des tests afin de les interpréter.

3-1 Les tests d'ébullition d'eau

3-1-1 Le matériel utilisé pour les tests

3-1-1-1 Le foyer

Plusieurs prototypes de foyer ont été utilisés pour étudier des paramètres précis. Chaque fois qu'un paramètre est concerné, tous les autres sont gardés constants afin d'éviter des interactions multiples. Cependant, quand plusieurs paramètres semblent liés, les variations les concernant sont effectuées alternativement. Au mieux, un seul et même foyer est utilisé pour tester les variations d'un facteur : ceci garantit la constance des autres facteurs. Quand plusieurs facteurs (porte, grille, hauteur des parois etc...) sont à tester sur un même prototype, celui-ci est reproduit en plusieurs exemplaires pour accélérer le déroulement des essais. Toutefois, un souci de fidélité dans la reproduction a prédominé.

3-2-1-2 Les marmites

Ce sont les marmites en aluminium couramment utilisées en Haute-Volta qui ont servi aux tests (voir page 63). Généralement ce sont des foyers correspondant aux marmites n° 3 qui ont été testés. Celles-ci sont utilisées sans couvercle, remplies d'eau aux 2/3 de leur volume. Ce qui représente approximativement 3 l d'eau. Des comparaisons ont été établies entre ces marmites et les caçaric en argile cuite d'une part, puis entre plusieurs marmites de calibres différents d'autre part. Ces effets sont détaillés dans le chapitre suivant.

3-2-1-3 Le bois

Afin de faciliter l'analyse des résultats, les essais ont été effectués avec le bois d'une même espèce végétale. L'Eucalyptus Camaldulensis a été choisi parce qu'il est facile à trouver en grande quantité. De plus, les propriétés de son bois sont assez bien connues. Mais, compte tenu du fait que les tests se sont déroulés aussi bien en hivernage qu'en saison sèche (juillet à mars), le taux d'humidité du bois a varié sensiblement. Des mesures systématiques du taux d'humidité ont été faites pendant toute cette période. L'on sait que le pouvoir calorifique du bois diminue quand le taux d'humidité augmente. C'est par ce facteur que l'humidité peut influencer les résultats. Il est donc nécessaire de déterminer le pouvoir calorifique réel du bois.

Celui-ci est donné par la formule de Boie ci-après :

$$P_e = P_o \times \frac{100 - E}{100} - 0,008E^2$$

avec E = taux d'humidité du bois en % du bois brut

P_e = pouvoir calorifique du bois au taux d'humidité E

P_o = pouvoir calorifique du bois sec (E = 0 %).

P_o = 10.000 kJ/kg pour l'Eucalyptus camaldulensis.

Le tableau suivant donne les taux d'humidité et les pouvoirs calorifiques réels correspondants par période de test.

DATE	DU 26/06/83	DU 11/08/83	DU 09/09/83	DU 13/10/83	DU 07/11/83	DU 11/12/83	DU 15/01/84
	AU 10/08/83	AU 08/09/83	AU 12/10/83	AU 06/11/83	AU 10/12/83	AU 15/01/84	AU 20/03/84
Taux d'humidité du bois	12 %	11 %	9 %	7 %	6 %	5 %	4 %
Pouvoir calorifique réel (en kj / kg)	15.810	16.019	16.435	16.851	17.059	17.268	17.476

Les rendements thermiques ont été calculés en tenant compte de cette différence de pouvoir calorifique car la plupart des essais s'étalent sur plusieurs périodes. Avant d'utiliser cette formule dans le calcul du pouvoir calorifique réel, nous avons vérifié sa fiabilité en testant un même foyer avec du bois à 12 % puis 5 % d'humidité : si on effectue des conversions à l'aide de la formule, on constate qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux séries de tests.

Le conditionnement du bois a été suivi. Cependant les diamètres et longueurs du bois utilisé ont varié en raison d'un manque de moyen de contrôle.

3-1-1-4 Les instruments de mesure

Durant les campagnes de mesures, les instruments utilisés sont :

- des thermomètres à mercure pour les mesures de température
- des chronomètres pour suivre la durée des tests
- des montres pour préciser les moments de déroulement des tests
- une balance de marque Sartorius de précision 1 g pour les différentes pesées (bois, marmite, eau, charbon).

La mesure de la teneur en eau est faite à l'étuve à une température de 105° jusqu'à une stabilisation du poids de l'échantillon de bois.

3-1-2 Conduite des essais en atelier

Les tests ont été effectués sous un hangar protégé du vent par deux obstacles latéraux : un bâtiment et un mur.

Les conditions climatiques n'ont pas été contrôlées en raison de leur complexité. Cependant, la faible variabilité interne des résultats permet de dire que les facteurs non contrôlés n'ont pas eu d'influence significative. C'est pour cette même raison que le nombre de tests pour une même valeur des paramètres n'est pas élevé (5 à 8 tests). Lorsqu'une amélioration passe par plusieurs phases intermédiaires, le nombre de tests par phase est limité quelquefois à 3.

Un test comprend une phase d'ébullition et une phase de mijotage. Avant de le commencer, des précautions préliminaires sont observées :

- s'assurer que le foyer est froid, enlever la grille et nettoyer l'intérieur
- peser une quantité suffisante de bois qui sera utilisée pendant tout le test
- peser la marmite vide d'abord, puis remplie d'eau aux 2/3 de son volume total (3 litres pour une marmite n° 3)
- relever la température de l'eau dans la marmite ainsi que la température ambiante du milieu
- mettre du bois dans le foyer et asperger le bout à allumer avec quelques gouttes de pétrole
- allumer et attendre que le bois commence à brûler avant de placer la marmite dans le foyer.

3-1-2-1. La phase d'ébullition

Une fois la marmite placée, on active la combustion de façon à atteindre l'ébullition le plus tôt possible.

On note l'heure à laquelle le test a commencé. Toutes les cinq minutes, on relève la température de l'eau dans la marmite jusqu'à l'ébullition puis on éteint le feu.

On pèse ensuite le bois restant ainsi que la marmite d'eau.

3-1-2-2. La phase de mijotage

On remet un peu de bois dans le foyer et on rallume. Puis on replace la marmite dans le foyer après avoir relevé la température de l'eau. Le mijotage consiste à maintenir la température de l'eau entre 95° et 100°C pendant un certain temps. Une durée d'une heure a été adoptée, pendant laquelle il faut :

- remettre le chronomètre en marche
- mettre le minimum de bois qui permet de maintenir la température au niveau indiqué
- relever toutes les 5 minutes la température pendant tout le temps que dure cette phase
- à la fin du temps imparti, éteindre le feu puis, peser le bois restant, le charbon restant sous forme de braises et la marmite d'eau restante.

Le suivi des tests se fait à l'aide de la fiche jointe en annexe page 14h.

3-1-3 Les techniciens

Les essais ont été menés par 3 animatrices de l'I.V.E. Chaque série de tests sur un foyer est effectuée à tour de rôle. La faible variabilité entre les résultats des tests montre que l'influence de l'expérience du technicien est négligeable quand les principes de la méthodologie sont bien respectés. De plus, une comparaison a été établie entre les résultats des tests effectués par ces animatrices sur un même foyer en janvier 1983 d'une part et en janvier 1984 d'autre part. Cette comparaison montre que les résultats sont les mêmes et que par conséquent il n'y a pas de variations de rendements dues à elles : l'amélioration des performances des foyers n'est pas due à l'augmentation de leur technicité dans le temps.

3-1-4 Calcul des rendements thermiques

Le rendement thermique d'un foyer est le pourcentage de chaleur utilisée pour chauffer et vaporiser l'eau de la marmite par rapport à la quantité totale de chaleur fournie par le bois. On distingue en rapport avec cette méthodologie, 4 types de rendements thermiques.

3-1-4-1 Le rendement thermique total à l'ébullition (n'_t)

C'est le pourcentage de chaleur utilisée pendant l'ébullition par la marmite. Dans le cas d'un foyer à 2 trous, n'_t est égal à la somme du rendement du premier trou (n'_1) et de celui du deuxième trou (n'_2). Pour un foyer à un trou :

$$n'_t = \frac{m_e (t_f - t_i) C_p + m_v L}{m_b \times P_e} \times 100$$

avec m_e = masse initiale d'eau dans la marmite (en kg)

t_f = température finale à l'ébullition de l'eau (en °C)

t_i = température initiale de l'eau (en °C)

C_p = chaleur spécifique de l'eau (4,18 kJ/kg °C)

m_v = masse d'eau évaporée pendant l'ébullition (kg)

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

m_b = masse de bois utilisé pour l'ébullition (kg)

P_e = pouvoir calorifique inférieur réel du bois (kJ/kg).

3-1-4-2 Le rendement thermique total au mijotage (n''_t)

C'est le pourcentage de chaleur utilisée par la marmite pendant la phase de mijotage. Pour un foyer à 2 trous, $n''_t = n''_1 + n''_2$ où n''_1 et n''_2 correspondent respectivement aux rendements du premier et du second trou.

Pour un foyer à un trou :

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

avec m'_e = masse d'eau au début du mijotage de la marmite (kg)

t'_f = température de l'eau à la fin du mijotage (°C)

t'_i = température de l'eau au début du mijotage (°C)

m'_v = masse d'eau évaporée pendant le mijotage (kg)

m'_B = masse de bois utilisé pendant le mijotage (kg)

3-1-4-3 Le rendement thermique total (n_t)

Il exprime le rendement global de deux phases du test. Sa valeur est comprise entre n''_t et n'_t mais ce n'est pas la moyenne de ces deux valeurs. On ne tient pas compte de la quantité de charbon restant à la fin du test dans le calcul de n_t .

$$n_t = \frac{m_e (t_f - t_i) C_p + m'_e (t'_f - t'_i) C_p + (m_v + m'_v) L}{(m_B + m'_B) P_c} \times 100$$

3-1-4-4 Le rendement thermique total en tenant compte du charbon récupéré (n_{ct})

Le charbon qui reste à la fin du test est issu de la combustion incomplète d'une partie du bois utilisé. La quantité de charbon ainsi récupéré est peu importante mais permet d'apprécier l'état de la combustion (plus ou moins complète) dans le foyer. En tenant compte de cette quantité, on peut diminuer les erreurs de calcul de la quantité totale de chaleur fournie par le bois. Toutefois, c'est n_t qui a servi de critère de comparaison statistique entre les conditions opérationnelles testées. Ceci se justifie par la forte variabilité de la quantité de charbon récupéré alors que l'objectif est la

conception d'un foyer où la combustion est complète et l'économie de bois élevée (donc avec peu de charbon récupéré).

Le pouvoir calorifique du charbon d'Eucalyptus camaldulensis est pris égal à 29.000 kJ/kg.

$$\eta_{ct} = \frac{m_e (t_f - t_i) C_p + m'_e (t'_f - t'_i) C_p + (m_v + m'_v) L}{(m_B + m'_B) \times P_c - Q_c \times m_c} \times 100$$

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

m_c = masse du charbon récupéré (en kg)

3-1-5 Calcul des puissances

La puissance d'un foyer est la quantité d'énergie utilisée pour le faire fonctionner par unité de temps. Elle est exprimée en kJ/s c'est-à-dire en kilowatt. On distingue selon la méthodologie une puissance à l'ébullition (P'), une puissance au mijotage (P'') et une puissance totale (P) correspondant à l'ensemble du test.

3-1-5-1 La puissance à l'ébullition (P')

C'est la plus forte puissance d'un foyer car il faut plus d'énergie par unité de temps pour porter l'eau de la marmite à l'ébullition que pour maintenir la température pendant le mijotage. C'est la puissance maximale du foyer.

$$P' = \frac{m_B \times P_c}{t}$$

avec t = temps en seconde mis pour atteindre l'ébullition.

3-1-5-2 La puissance au mijotage (P'')

C'est la puissance minimale d'un foyer par rapport aux principes de la méthodologie.

$$P'' = \frac{m'_B \times P_c}{t'}$$

avec t' = 3.600 secondes.

3-1-5-3 La puissance moyenne (P)

Elle correspond à la quantité moyenne d'énergie utilisée par seconde pendant tout le test. P n'est pas une moyenne arithmétique de P' et P". Elle est donnée par la relation :

$$P = \frac{(m_B + m'_B) \times P_c}{t + 3.600}$$

La méthodologie des tests d'ébullition d'eau a été conçue de manière à simuler étroitement les étapes des cuisines locales : la préparation du tô, du riz et de leurs sauces requiert les deux phases prises en compte. Cependant, les conclusions des analyses restent dépendantes de l'interprétation des résultats obtenus. Il faut choisir le quantificateur le plus représentatif des conditions de consommation de bois en cuisine locale. Ainsi, si l'on veut concevoir un foyer adapté aux repas à cuisson rapide (fritures), il serait plus opportun de baser l'analyse sur le rendement à l'ébullition. Dans les analyses statistiques qui suivent, c'est le rendement thermique total (η_t) qui a été choisi pour des raisons que nous préciserons plus tard.

3-2 Les tests de cuisine contrôlée (le T.C.C.)

Un foyer peut présenter une bonne performance du point de vue rendement thermique et ne pas satisfaire aux conditions de cuisine. Le test de cuisine contrôlée permet d'apprécier dans un premier temps, le comportement du foyer pendant la cuisine. Dans ce sens, ce test constitue une étape intermédiaire entre le test d'ébullition d'eau et le test de performance réelle du foyer dans les conditions de terrain. Le T.C.C. permet aussi de calculer les quantités moyennes de bois consommé par repas et de comparer sur cette base plusieurs foyers : évaluation de la quantité de bois économisé par un foyer par rapport à un autre. Pour atteindre ces différents objectifs, la méthodologie suivante a été adoptée pour la préparation du tô, plat le plus fréquent :

1 - déterminer les quantités et qualités d'ingrédients qui seront utilisés pour la préparation de la sauce d'une part et des quantités de farine, d'eau et de tamarin pour la préparation du tô d'autre part. Ces quantités ont été évaluées pour correspondre au repas d'une famille de dix personnes. Elles restent constantes pour tous les tests.

2 - pour commencer un test, peser une quantité de bois suffisante pour toute la cuisine.

- 3 - apprêter les différents éléments entrant dans la cuisine selon les quantités convenables déterminées.
- 4 - nettoyer le foyer et s'assurer qu'il est froid
- 5 - allumer le feu et noter l'heure
- 6 - mener la préparation comme dans les conditions ordinaires. Noter toutes les remarques sur le comportement du foyer (avantages et inconvénients) pendant toute la durée du test.
- 7 - noter l'heure à la fin de la préparation du t^ô puis de la sauce
- 8 - à la fin du test, peser les quantités de sauce et de t^ô préparées ainsi que le bois restant.

Le test est suivi à l'aide d'une fiche (voir annexe page 146) précisant les quantités et les qualités des aliments à cuire. Plusieurs tests sont faits par foyer afin de déterminer une moyenne représentative. La variabilité entre les consommations en bois par foyer est généralement inférieure à 10 % pour une série de mesures.

3-3 Relations existant entre les tests d'ébullition d'eau et les tests de cuisine contrôlée

Des tests de cuisine contrôlée du t^ô ont été effectués sur quatre prototypes de foyers de rendements thermiques différents (4 tests / foyer). Ces foyers sont :

- le foyer traditionnel à trois pierres
- le foyer Houma deux trous
- le foyer Bamfora deux trous
- le foyer métallique.

Des moyennes de consommation de bois par repas préparé ont été calculées par prototype de foyer.

FOYERS	η_t (%)	η_{ct} (%)	CONSUMATION	
			MOYENNE DE BOIS/REPAS = C_m (en kg)	P (EN L)
"3 pierres" traditionnel	13,6	15,6	2,11	7,1
Nouna 2 trous	19,4	21,3	1,95	8,1
Banfara 2 trous	21,1	25,2	1,66	7,5
Métallique	25,6	27,6	1,27	5,0

Coefficients de corrélation

(C_m, η_t)	r	=	- 0,92
(C_m, η_{ct})	r'	=	- 0,84
(C_m, P)	r	=	0,73

Nous pouvons tirer plusieurs conclusions sur cette base :

- L'ordre de classification des foyers suivant les consommations moyennes de bois par repas est le même que suivant les rendements thermiques.
- Le coefficient de corrélation entre le rendement thermique total (η_t) et la consommation moyenne de bois par repas (C_m) est $r = - 0,92$. Ce qui veut dire que η_t et C_m sont liés et que quand η_t augmente, C_m diminue. Donc, plus le rendement thermique total est élevé, plus la consommation de bois est réduite.

- Le coefficient de corrélation entre le rendement thermique η_{ct} (en tenant compte du charbon restant) et C_m est $r' = - 0,84$. $r' > - 0,87$. Ceci signifie que dans ce cas la corrélation est plus faible. Il en est de même avec P.

Pour cette raison, c'est le rendement thermique total η_t qui sera utilisé pour comparer les différentes conditions opérationnelles testées.

Les grandeurs statistiques utilisées pour ce faire portent sur η_t .

CONCLUSION

Cette méthodologie a servi de support pour les essais effectués en atelier. La pratique quotidienne reposait étroitement sur elle. D'autres facteurs (vitesse du vent, utilisation de bois locaux, composition des fumées) auraient dû être intégrés à la méthodologie mais cela n'a pas été possible en raison de leur complexité. Néanmoins, la faible variabilité des résultats au sein des groupes (coefficient de variation inférieur à 7 %) atteste la fiabilité de la méthodologie. Il convient toutefois de remarquer que, les conditions en atelier étant différentes des conditions de terrain, les tests d'ébullition d'eau et de cuisine contrôlée doivent être complétés par des tests de performance en site réel. Ceux-ci fourniront des renseignements plus précis sur l'économie réelle de bois obtenue par les familles utilisant cette technologie.

CHAPITRE IV ETUDE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DES FOYERS AMELIORES A BOIS :
OPTIMISATIONS

INTRODUCTION

Pour augmenter les performances d'un foyer amélioré, il est important de connaître les différentes influences que chacun de ses éléments constitutifs exerce sur son fonctionnement. La performance doit être envisagée sous deux angles distincts : l'économie de bois et l'adaptation aux usages courants du milieu. L'économie de bois dépend étroitement du rendement thermique. Le principal but visé par les travaux d'optimisation est en conséquence l'augmentation du rendement thermique. Toutefois, le souci de ne pas s'éloigner des réalités locales est resté permanent en raison des contraintes déjà rencontrées dans la vulgarisation.

entre Le nombre élevé de paramètres à prendre en compte, les interférences ces facteurs et la courte durée de l'étude n'ont pas permis d'épuiser le sujet. Aussi, ce chapitre donnera les résultats des tests et les interprétations possibles d'une part, et les insuffisances qui nécessitent des travaux complémentaires d'autre part.

4-1 Les effets de la porte d'entrée du bois et d'air sur le rendement thermique

Les dimensions et les formes adoptées dans la construction des premiers foyers améliorés en Haute-Volta relevaient d'une approche plutôt intuitive que scientifique. Ainsi, on trouve selon les organismes vulgarisateurs, des portes rectangulaires ou triangulaires avec quelquefois des fentes au-dessus. Généralement, après un an d'utilisation (ou même avant), la porte s'élargit sur les côtés et présente des fissures à sa partie supérieure. En fait que devient la performance du foyer après cette altération ? Les dimensions adoptées sont-elles conformes au maximum d'économie de bois ? Pour répondre à ces questions, nous avons travaillé de la façon suivante.

4-1-1 Méthode de test

En pratique, le problème se ramène à l'influence de la quantité totale d'air admis dans le foyer par la porte. C'est pourquoi quelque soit le type de foyer, la porte doit être orientée du côté d'où vient le vent (vers

la porte ou les fenêtres de la cuisine). Des mauvais exemples existent où le foyer ne fonctionne même pas. Cette quantité (le débit d'air) dépend de la surface de la porte et de la vitesse du vent. Cette vitesse (environ 0,6 m/s) est assez faible dans l'atelier où nous avons fait les tests. En conséquence, elle a été négligée dans le mode opératoire. Toutefois, quand des turbulences se manifestent, on les note sur la fiche de test pour en tenir compte dans l'interprétation des résultats. Le travail a été fait sur un foyer sans cheminée ("3 pierres" amélioré) et un foyer avec cheminée (I.V.E. VII).

Pour le foyer sans cheminée, nous avons considéré six surfaces rectangulaires différentes, une surface triangulaire et une autre trapézoïdale afin d'apprécier à la fois l'influence de la surface et de la forme de la porte.

FORMES DE LA SURFACE	SURFACES (EN CM ²)					
Rectangulaire	225	255	340	400	430 (fente)	500
Triangulaire	225	-	-	-	-	-
Trapézoïdale	340	-	-	-	-	-

Pour le foyer avec cheminée, nous avons testé quatre portes rectangulaires de surfaces : 300 cm², 260 cm², 273 cm² et 400 cm².

4-1-2 Le foyer sans cheminée

4-1-2-1 Résultats des tests

Ils sont consignés dans les tableaux ci-après (~~tableaux~~ A₁ à A₆) et représentés sur la courbe page 49.

TABLEAU A₁PORTE RECTANGULAIRE (20 x 25 cm²) ENLEVEE SUR TOUTE LA HAUTEUR DU FOYER

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
1	18,4 %	9,4	31,2 %	3,4	26,7 %	4,4	29,4 %
2	25,9 %	6,3	32,0 %	3,1	30,1 %	3,7	33,0 %
3	22,9 %	6,0	28,7 %	3,8	26,9 %	4,2	29,6 %
4	27,6 %	3,4	28,1 %	3,4	28,0 %	3,4	30,2 %
5	23,1 %	5,1	28,9 %	3,5	27,2 %	3,9	30,0 %
Moyennes	23,6 %	6,0 kw	29,8 %	3,4 kw	27,8 %	3,9 kw	30,4 %

$$\bar{n}_t = 27,78 \%$$

$$s_1 = 1,39$$

$$s_1^2 = 1,93$$

$$\text{Cov} = 5,0 \%$$

$$T_1 = \sum n_t = 138,9$$

$$T_1^2/n = 3.858,6$$

TABLEAU A₂

PORTE (20 x 20 cm²) AVEC UNE FENTE AU-DESSUS

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
7	18,5 %	9,6	29,7 %	3,7	25,9 %	4,7	28,0 %
8	23,6 %	7,9	33,3 %	3,7	30,6 %	4,4	33,6 %
9	19,2 %	8,5	30,1 %	3,6	26,3 %	4,5	29,2 %
10	22,0 %	7,8	33,6 %	3,8	30,2 %	4,3	32,6 %
11	21,6 %	8,7	32,5 %	3,6	28,1 %	4,8	30,0 %
Moyennes	21,0 %	8,5 kw	31,8 %	3,7 kw	28,2 %	4,5 kw	30,7 %

$$\bar{n}_t = 28,22 \%$$

$$S_2 = 2,16$$

$$S_2^2 = 4,67$$

$$\text{Cov} = 7,8 \%$$

$$T_2 = 141,1$$

$$T_2^2/N = 3.981,8$$

TABLEAU A₃

PORTE RECTANGULAIRE

S = 17 x 20 CM²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	P	n _{ct}
12	25,3 %	7,1	33,2 %	3,8	31,0 %	4,4	33,8 %
13	20,4 %	8,3	32,5 %	3,6	28,6 %	4,4	31,0 %
14	23,2 %	7,1	34,0 %	3,7	30,8 %	4,3	33,8 %
15	22,6 %	8,3	33,4 %	3,0	29,6 %	3,9	32,3 %
16	25,0 %	4,0	21,6 %	2,4	29,4 %	2,9	30,8 %
Moyennes	23,3 %	7,0 kw	33,1 %	3,3 kw	29,9 %	4,0 kw	32,3 %

$\bar{n}_t = 29,88$

$S_4 = 1,0$

$S_4^2 = 1,0$

$Cov = 3,4 \%$

$T_4^2 = 22.320,36$

$T_4 = 149,4$

$T_4^2/n = 4.464,07$

TABLEAU A₄

PORTE RECHERCHÉE

S = 20 x 20 cm²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	P	n _{ct}
17	20,6 %	9,2	34,8 %	3,0	29,6 %	3,9	31,8 %
18	26,7 %	5,2	38,7 %	2,9	32,7 %	3,4	35,5 %
19	24,2 %	5,8	32,2 %	3,4	29,7 %	3,9	32,7 %
20	25,4 %	6,4	37,0 %	2,8	33,3 %	3,5	35,1 %
21	25,3 %	6,0	35,2 %	3,0	31,2 %	3,4	34,2 %
Moyennes	24,4 %	6,5 kw	35,6 %	3,0 kw	31,3 %	3,6 kw	33,9 %

$$\bar{n}_t = 31,3 \%$$

$$S_8 = 1,69$$

$$S_8^2 = 2,86$$

$$\text{Cov} = 5,4 \%$$

$$T_8 = 156,5$$

$$T_8^2 = 24.492,25$$

$$T_8^2/n = 4.898,5$$

...

TABLEAU A₅

PORTE CARREE

S = 15 x 15 = 225 CM²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
22	23,7 %	6,8	31,0 %	3,2	28,6 %	3,8	30,3 %
23	22,7 %	6,9	33,5 %	3,3	29,9 %	3,9	31,4 %
24	24,6 %	4,7	31,4 %	2,9	29,0 %	3,4	30,3 %
25	26,4 %	4,8	30,8 %	3,1	29,4 %	3,6	32,0 %
26	24,5 %	5,8	32,0 %	3,1	29,9 %	3,7	31,5 %
Moyennes	24,4 %	5,8 kw	31,7 %	3,1 kw	29,4 %	3,7 kw	31,1 %

$\bar{n}_t = 29,36$

$S_3 = 0,57$

$S_3^2 = 0,32$

$Cov = 1,9 \%$

$T_3^2 = 21.550,24$

$T_3 = 146,8$

$T_3^2/n = 4.310,05$

TABLEAU A₆PORTE RECTANGULAIRE

$S = 15 \times 17 = 255 \text{ CM}^2$

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
27	28,6 %	2,8	31,8 %	2,5	29,8 %	2,5	30,6 %
28	24,7 %	3,8	32,8 %	3,2	30,1 %	3,5	31,5 %
29	28,7 %	3,4	29,1 %	2,5	29,0 %	2,8	30,7 %
30	20,7 %	4,7	45,9 %	1,7	31,5 %	2,7	32,8 %
31	25,5 %	4,0	35,4 %	2,4	31,3 %	2,9	32,1 %
Moyennes	25,6 %	3,7 kw	35,0 %	2,5 kw	30,3 %	2,9 kw	31,5 %

$\bar{n}_t = 30,34$

$S_5 = 1,05$

$S_5^2 = 1,103$

$\text{Cov} = 3,5 \%$

$T_5 = 151,7$

$T_5^2 = 23.012,89$

$T_5^2/n = 4.602,6$

...

TABLEAU A₇

PORTE TRIANGULAIRE

B = 22,5 cm

H = 20 cm

S = 225 cm²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
32	23,4 %	7,6	34,4 %	3,1	30,8 %	3,9	36,2 %
33	26,2 %	5,6	32,6 %	3,2	30,7 %	3,7	32,5 %
34	21,6 %	8,1	35,0 %	3,0	30,4 %	3,9	32,6 %
35	23,2 %	8,1	35,1 %	3,3	31,2 %	4,2	40,4 %
36	22,5 %	8,7	35,0 %	2,9	30,7 %	3,9	39,3 %
Moyennes	23,4 %	7,6 kw	34,4 %	3,1 kw	30,8 %	3,9 kw	36,2 %

$$\bar{n}_t = 30,76$$

$$S_6 = 0,29$$

$$S_6^2 = 0,08$$

$$\text{Cov} = 0,9 \%$$

$$T_6 = \sum n_t = 153,8$$

$$T_6^2/n = 4.730,89$$

TABLEAU A₈PORTE TRAPEZOIDALEB = 20 CMb = 10 CMh = 22,7 CMS = 340 CM²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
37	23,2 %	7,8	34,9 %	3,0	30,9 %	3,8	33,2 %
38	22,3 %	8,7	37,4 %	2,7	31,8 %	3,6	34,7 %
39	23,4 %	7,2	33,8 %	2,9	30,2 %	3,7	32,5 %
40	24,9 %	6,6	32,7 %	3,3	30,4 %	3,9	33,0 %
41	22,9 %	8,1	35,3 %	3,0	31,0 %	3,9	32,9 %
Moyennes	23,4 %	7,7 kw	34,8 %	3,0 kw	30,9 %	3,8 kw	33,3 %

$$\bar{n}_t = 30,86$$

$$S_7 = 0,62$$

$$S_7^2 = 0,39$$

$$\text{Cov} = 2,0 \%$$

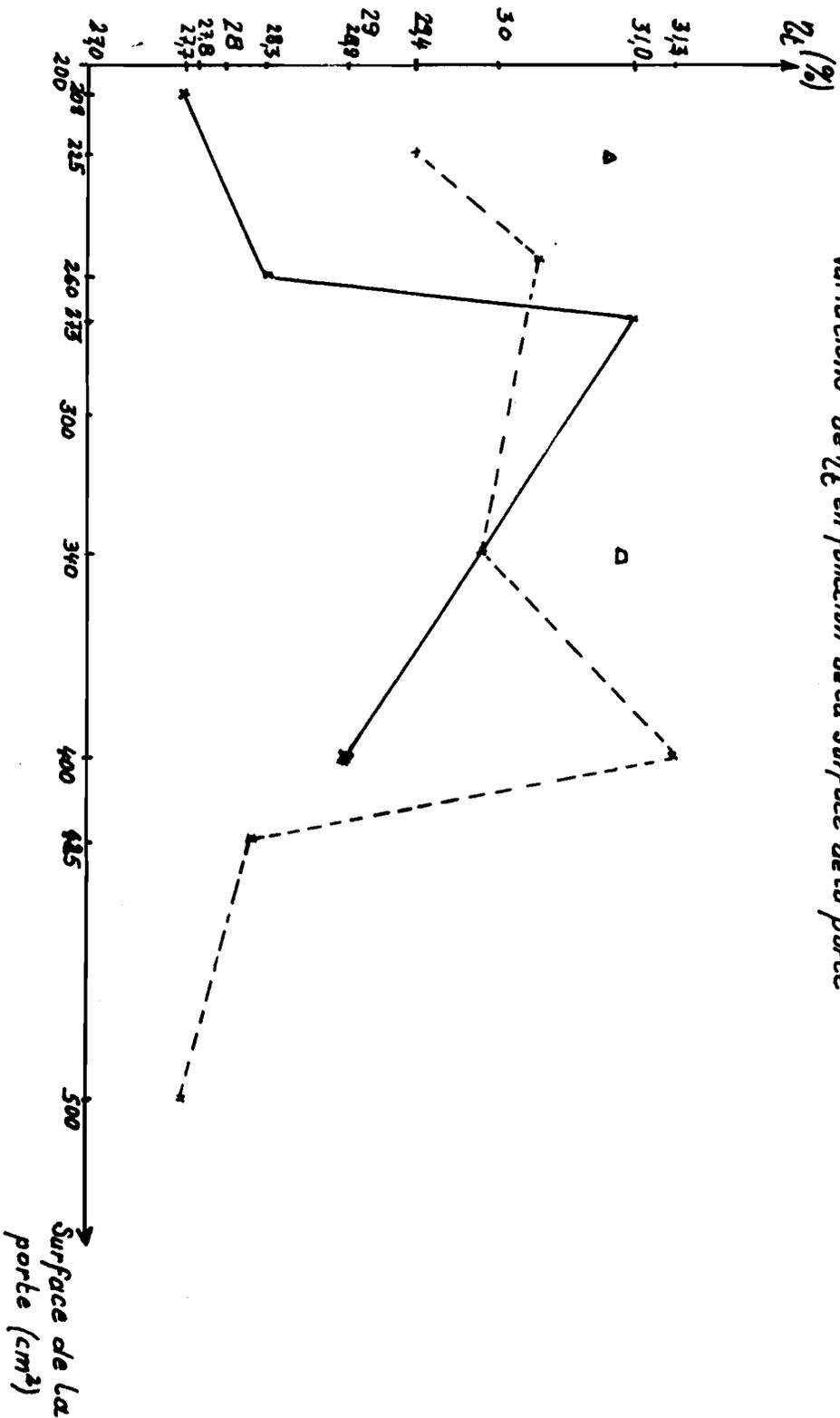
$$T_7 = \sum n_i = 154,3$$

$$T_7^2/n = 4.761,70$$

...

Courbe A.B

Variations de η_t en fonction de la surface de la porte



Legende:

- courbe correspondant au foyer à cheminée
- - - courbe correspondant au foyer sans cheminée
- △ porte triangulaire
- ◻ porte trapézoïdale

4-1-2-2 Interprétations statistiques des résultats :

Comparaison des différentes surfaces et formes de la porte par le test de Tukey - Hartley.

soit $x_1 = 27,8$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la porte de largeur 20 cm et de hauteur, la hauteur totale du foyer 25 cm

soit $x_2 = 28,2$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la porte de surface $20 \times 20 \text{ cm}^2$ portant une fente de 5 cm d'épaisseur en haut

soit $x_3 = 29,4$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la surface $15 \times 15 = 225 \text{ cm}^2$ de la porte

soit $x_4 = 29,9$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la surface $17 \times 20 = 340 \text{ cm}^2$ de la porte

soit $x_5 = 30,3$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la surface $15 \times 17 = 255 \text{ cm}^2$ de la porte

soit $x_6 = 30,8$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la porte triangulaire de 225 cm^2 de surface

soit $x_7 = 30,9$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la porte trapézoïdale de 340 cm^2 de surface

soit $x_8 = 31,3$ correspondant à $\bar{\eta}_t$ pour la surface $20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2$ de la porte.

a°) Classification des conditions opérationnelles par ordre de $\bar{\eta}_t$ croissant

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8)$

b°) Test d'homogénéité des variances de Hartley

$$H_{\text{cal}} = S_{\text{max}} / S_{\text{min}} = S_2 / S_6 = 2,16 / 0,29 = 7,45$$

$$(p, k) = (8, 4)$$

$$H_{0,95} = 37,5$$

$H_{\text{cal}} < H_{0,95}$: on admet l'homogénéité. On peut alors effectuer le test de comparaison individuelle suivant

c°) Test de comparaison de Tukey - Hartley

Estimateurs des tests de tous les groupes confondus

$$\bar{\eta}_t = 29,8 \%$$

$$\sum \eta_t = T = 1.192,5$$

$$T^2/H = 35.551,4$$

$$\sum n_{ti}^2 = 35.657,7$$

$$T^2/ni = 35.600,2$$

...

Tableau d'analyse de variances

VARIATION	S.C.E.	d.d.l.	VARIANCE
Totale	206,25	39	5,29
Entre les groupes	56,01	7	8,00
Résiduelle	49,44	32	1,55

$$\frac{s^2}{x} = \frac{1,35}{5} = 0,27$$

DIAGONALE N°	n	$Q_{0,95}(n, 32)$	$Q_{0,95} \times \frac{s^2}{x}$
1	3	4,58	2,56
2	7	4,44	2,49
3	6	4,23	2,40
4	5	4,09	2,29
5	4	3,83	2,14
6	3	3,48	1,95
7	2	2,661	1,61

x_i	$x_i - x_1$	$x_i - x_2$	$x_i - x_3$	$x_i - x_4$	$x_i - x_5$	$x_i - x_6$	$x_i - x_7$
$x_8 = 31,3$	3,5 (2,56)	3,1 (2,49)	1,9 (2,40)	1,4 (2,29)	1,0 (2,14)	0,5 (1,95)	0,4 (1,61)
$x_7 = 30,9$	3,1 (2,49)	2,7 (2,40)	1,5 (2,29)	1,0 (2,14)	0,6 (1,95)	0,1 (1,61)	
$x_6 = 30,8$	3,0 (2,40)	2,6 (2,29)	1,4 (2,14)	0,9 (1,95)	0,5 (1,61)		
$x_5 = 30,3$	2,5 (2,29)	2,12 (2,14)	0,9 (1,95)	0,4 (1,61)			
$x_4 = 29,9$	2,10 (2,14)	1,7 (1,95)	0,5 (1,61)				
$x_3 = 29,4$	1,6 (1,95)	1,2 (1,61)					
$x_2 = 28,2$	0,4 (1,61)						
$x_1 = 27,8$							

Ceci signifie que :

- la porte (x_1) ayant la hauteur totale du foyer, la porte (x_2) avec fente au-dessus, la porte carrée de 225 cm^2 (x_3) et la porte rectangulaire de 340 cm^2 (x_4) sont équivalentes entre elles du point de vue de leurs effets sur la performance du foyer. C'est le pire groupe par rapport aux autres dimensions testées.
- les portes (x_2), (x_3), (x_4) et la porte rectangulaire de 255 cm^2 (x_5) sont aussi équivalentes entre elles
- la porte (x_5) est meilleure à la porte (x_1)
- les portes (x_3), (x_4), (x_5), la porte triangulaire (x_6) de 225 cm^2 , la porte trapézoïdale de 340 cm^2 et la porte carrée (x_7) de 400 cm^2 sont équivalentes entre elles. C'est le meilleur groupe
- les portes (x_6), (x_7) et (x_8) sont meilleures aux portes (x_1) et (x_2).

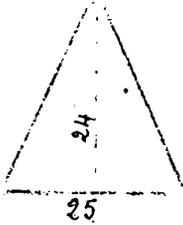
On constate de plus que pour une même surface de porte, la tendance est favorable aux portes à sommet étroit (triangle et trapèze) par rapport aux portes rectangulaires.

4-1-3-3 Observations et conclusions

L'augmentation de la surface de la porte de 225 à 400 cm^2 n'influence pas le rendement thermique total de façon significative. Cependant, pour une même surface de porte, la tendance est favorable aux portes à sommet étroit (triangle ou trapèze). Toutefois, il faudrait tenir compte des remarques suivantes :

- si on atteint 400 cm^2 , la largeur de la porte peut encourager les ménagères à mettre trop de bois à la fois dans le foyer ; ce qui diminue l'économie de bois ;
- si la surface est restreinte à 225 cm^2 , le fonctionnement sera défectueux dans les cuisines mal aérées. De plus, cela oblige à fendre le bois en morceaux de faible diamètre ; ce qui entraîne un travail supplémentaire qui serait insupportable surtout en milieu rural.

Par conséquent, nous recommandons la construction de ce type de foyer avec une porte triangulaire ou trapézoïdale d'environ 300 cm^2 de surface. D'où les suggestions résumées dans le tableau ci-après :

PORTE	TRIANGULAIRE		TRAPEZOÏDALE		
Caractéristiques	hauteur	base	hauteur	grande base	petite base
Dimensions (cm)	24	25	20	20	10
Schéma					

L'analyse statistique nous montre aussi que le fait d'ouvrir une fente au-dessus de la porte de 400 cm^2 entraîne une baisse significative du rendement. Il en est de même pour la surface 500 cm^2 de la porte ouverte sur toute la hauteur du foyer. Ceci signifie que :

- si on veut ouvrir une fente au-dessus de la porte, il faudra que sa largeur soit plus petite que 5 cm sinon les flammes ressortent par la fente et le rendement baisse. Des tests complémentaires sont nécessaires pour préciser cela car la fente permet à la ménagère de voir le feu brûler et de le régler mieux.
- si la porte s'élargit et atteint 430 cm^2 , elle doit être réparée, sinon la performance du foyer diminue. Cet élargissement est courant car, suite aux chocs mécaniques (dûs aux maladresses d'introduction du bois) et aux chocs thermiques provenant de la combustion, la porte s'altère progressivement. La résistance de la porte doit être envisagée avec l'étude sur la résistance des matériaux de construction des foyers.

4-1-3 Le foyer avec cheminée

4-1-3-1 Les résultats des tests

Ils figurent dans les quatre **tableaux** suivants (B_1 , B_2 , B_3 et B_4) et sont représentés sur la courbe page 49.

TABLÉAU B₁

PORTE TRIANGULAIRE

S = 13 x 16 = 208 cm²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
47	24,1 %	7,9	29,5 %	3,7	27,8 %	4,4	30,6 %
48	23,3 %	8,0	29,7 %	3,2	27,6 %	3,9	28,8 %
49	21,0 %	8,0	30,4 %	4,0	27,5 %	4,7	29,2 %
50	19,9 %	13,4	32,7 %	3,5	28,5 %	4,5	29,9 %
51	23,3 %	7,9	28,2 %	3,8	27,0 %	4,5	27,4 %
Moyennes	22,3 %	9,0 kw	30,1 %	3,6 kw	27,7 %	4,4 kw	29,2 %

$\bar{n}_t = 27,7$

$s_1 = 0,54$

$s_1^2 = 0,30$

$Cov = 2,0 \%$

$T = \dots n_t = 138,4$

$T^2/N = 3.830,91$

TABLEAU B₂

PORTE RECTANGULAIRE

S = 13 x 20 = 260 CM²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
42	22,1 %	7,4	29,1 %	3,7	27,0 %	4,4	27,7 %
43	18,1 %	14,3	34,7 %	3,6	28,6 %	5,0	30,2 %
44	21,9 %	9,6	29,8 %	3,1	27,1 %	4,0	28,5 %
45	18,0 %	14,4	35,5 %	3,7	29,7 %	5,0	31,3 %
46	21,1 %	12,7	29,8 %	3,7	28,9 %	4,8	31,0 %
Moyennes	20,2 %	11,7 kw	31,8 %	3,6 kw	28,3 %	4,6 kw	29,7 %

$\bar{n}_t = 28,3$

$S_2 = 1,18$

$S_2^2 = 1,38$

$Cov = 4,2 \%$

$T = \dots n_t = 141,3$

$T^2/N = 3.993,14$

TABLEAU B₃

PORTE CABREE

S = 20 x 20 = 400 cm²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
57	19,6 %	8,4	34,3 %	3,4	29,2 %	4,3	31,2 %
58	20,0 %	10,1	33,0 %	3,4	28,7 %	4,4	30,6 %
59	19,4 %	9,6	35,1 %	3,4	29,4 %	4,5	31,4 %
60	18,3 %	8,0	34,6 %	3,2	28,4 %	4,2	29,8 %
61	19,5 %	8,3	34,2 %	3,4	29,0 %	4,3	30,8 %
Moyennes	19,4 %	8,9 kw	34,2 %	3,4 kw	28,9 %	4,3 kw	30,7 %

$\bar{n}_t = 28,94$

$S_3 = 0,40$

$S_3^2 = 0,16$

$Cov = 1,4 \%$

$T = 144,7$

$T^2/n = 4.187,6$

TABLEAU B₄

PORTE RECTANGULAIRE

S = 14 x 19,5 = 273 CM²

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
52	28,0 %	4,7	33,8 %	2,6	31,8 %	3,0	33,1 %
53	22,8 %	7,5	34,8 %	2,9	30,6 %	3,7	31,7 %
54	21,7 %	8,9	34,7 %	3,2	30,3 %	4,1	32,4 %
55	25,6 %	5,6	33,4 %	3,2	30,9 %	3,6	33,0 %
56	23,4 %	5,8	35,7 %	2,8	31,5 %	3,5	32,6 %
Moyennes	24,3 %	6,5 kw	34,5 %	2,9 kw	31,0 %	3,0	32,6 %

$\bar{n}_t = 31,02$

$S_4 = 0,62$

$S_4^2 = 0,39$

$Cov = 2,0 \%$

$T = 155,1$

$T^2/n = 4.811,2$

4-1-3-2 Interprétations statistiques des résultats :

Comparaison 2 à 2 des 4 dimensions différentes de la porte du foyer I.V.E. VII

Analyse par le test du t de student au degré de liberté $n_1 + n_2 - 2 = 8$ et au niveau de confiance de 95 %.

$$t_{0,95} = 2,31$$

1°) Tableaux B₁ et B₄

$$t_{\text{calculé}} = \frac{n_{t_4} - n_{t_1}}{\left[\frac{s_4^2 + s_1^2}{5} \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{31,0 - 27,7}{0,37} = 6,19$$

$t_{\text{cal}} > t_{0,95} \Rightarrow$ la différence est significative : la porte rectangulaire de 273 cm² est meilleure à la porte rectangulaire de 200 cm².

2°) Tableaux B₁ et B₃

$$t_{\text{cal}} = \frac{28,9 - 27,7}{0,3} = 4,0$$

$t_{\text{cal}} > t_{0,95} \Rightarrow$ la différence entre les 2 groupes de tests est significative.

3°) Tableaux B₁ et B₂

$$t_{\text{cal}} = \frac{28,3 - 27,7}{0,53} = 1,08$$

$t_{\text{cal}} < t_{0,95}$ il n'y a pas de différence significative entre les 2 groupes de tests.

4°) Tableaux B₂ et B₃

$$t_{\text{cal}} = \frac{28,9 - 28,2}{0,55} = 1,08$$

$t_{\text{cal}} < t_{0,95} \Rightarrow$ il n'y a pas de différence significative.

5°) Tableaux B₃ et B₄

$$t_{\text{cal}} = \frac{31,0 - 28,9}{0,33} = 6,33$$

$t_{\text{cal}} > t_{0,95} \Rightarrow$ la différence entre le 2 groupes de tests est significative.

Ces comparaisons peuvent se résumer par le schéma suivant :



Ceci signifie que :

- les portes de 208 cm^2 (x_1) et de 260 cm^2 (x_2) sont équivalentes entre elles
- les portes de 260 cm^2 (x_2) et de 400 cm^2 (x_3) sont équivalentes entre elles
- la porte de 400 cm^2 (x_3) est meilleure à celle de 208 cm^2 (x_1)
- la porte de 273 cm^2 (x_4) est meilleure à toutes les autres.

de recommander

L'analyse statistique et la courbe (page 49) permettent/ des portes dont la surface est à peu près entre 270 et 340 cm^2 . Pour cela, on pourrait adopter une porte rectangulaire de longueur 17 à 19 cm et de largeur 16 à 17 cm. On peut aussi faire une porte trapézoïdale de hauteur 20 cm, de grande base 20 cm et de petite base 10 cm soit $S = 300 \text{ cm}^2$.

4-1-3-3 Observations et conclusions

La cheminée contribue à l'appel d'air dans la chambre de combustion. C'est pour cette raison que nous avons testé aussi l'influence de la porte sur ce type de foyer. Il ressort de l'analyse des résultats plusieurs observations :

- 1°) La variabilité de n_2 en fonction de la porte est beaucoup plus grande que dans le cas du foyer sans cheminée.
- 2°) En dessous de 260 cm^2 , il y a défaut d'air dans la chambre de combustion : les pertes de chaleur par combustion incomplète sont élevées. La puissance moyenne augmente. Il y a formation de beaucoup de fumée.
- 3°) Quand on atteint 400 cm^2 , le rendement baisse. Il y a excès d'air ; ce qui contribue à diminuer la température des flammes. Les pertes de chaleur par rayonnement et convection de l'air sont accentuées.
- 4°) Les meilleures dimensions de porte se situent entre 270 et 340 cm^2 . Aussi, les recommandations que nous avons faites dans le cas précédent de la porte du foyer sans cheminée restent valables.

La courbe ci-après donne les variations du rendement thermique total en fonction de la porte. Pour $S = 300 \text{ cm}^2$, $\eta_t = 30 \%$. La surface utile pour l'entrée d'air dépend des diamètres des morceaux de bois utilisés. En adoptant $S = 300 \text{ cm}^2$, même quand ces diamètres sont plus grands, la surface utile reste dans les bonnes proportions. De plus, il y a une grande marge pour que l'élargissement futur de la porte n'affecte pas très tôt la performance du foyer.

Cependant, les tests n'ayant été effectués que sur des foyers de calibre n° 3 ; le travail doit être poursuivi sur d'autres calibres.

4-2 La chambre de combustion

Elle doit, grâce à ses qualités assurer une bonne combustion du bois et un transfert optimal de la chaleur produite. Pour cela sa forme et ses dimensions doivent obéir aux principes de propagation de la chaleur par rayonnement, conduction et convection.

4-2-1 La forme

Par sa forme, la chambre de combustion doit permettre qu'une plus grande surface de la marmite soit exposée à la chaleur ; ce qui favorise un meilleur échange. Ce facteur est très important mais il a été souvent négligé par de nombreux constructeurs de foyers.

Les étapes de la conception du foyer "3 pierres" amélioré prouvent cette importance : c'est quand la hauteur de la paroi du foyer atteint ~~les~~ les anses de la marmite qu'on obtient les meilleurs rendements. Cependant, des contraintes dues à la forme de la marmite (voir plan ci-contre) empêchent de l'enfoncer dans les foyers à cheminée au-delà de son diamètre maximum qui se trouve à mi-hauteur. Pour lever cette contrainte, des modifications de marmite ont été envisagées. L'une d'elles s'adapte au foyer I.V.E. VII (page 22).

4-2-2 Les dimensions

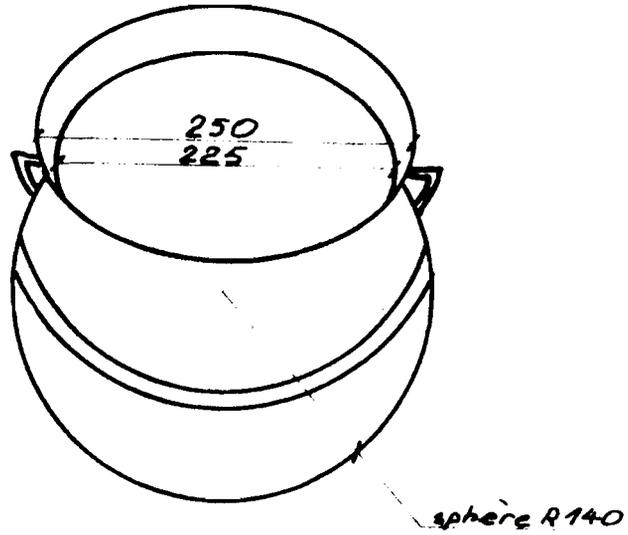
Pour assurer une bonne combustion du bois, il est important de placer une grille dans le foyer. En effet, la grille permet :

- une bonne répartition de l'air autour du bois qui brûle ;
- une diminution des pertes de chaleur par conduction dans le sol ; quand le bois est posé à même le sol, celui-ci absorbe plus la chaleur produite que si le bois brûle sur une grille ;
- un approvisionnement du processus de combustion en air préchauffé sous la grille. On distingue l'air primaire entrant dans la combustion directe du bois, et l'air secondaire qui sert à celle des gaz volatils issus du bois. C'est l'air primaire qui est préchauffé

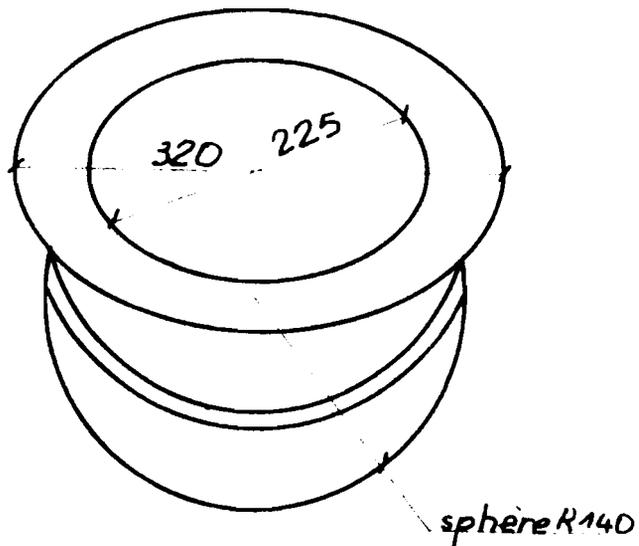
4-2-2-1 Introduction d'une grille dans la chambre de combustion

Ces trois propriétés entraînent une amélioration du rendement thermique. Pour vérifier cela, nous avons effectué des tests sur deux foyers distincts.

Marmite aluminium



Marmite à rebord



Les tableaux C₁ et C₂ ci-après et l'analyse statistique des résultats attestent l'effet de l'introduction d'une grille dans la chambre de combustion. Pour les tests, le même foyer a été testé d'abord avec une grille placée à 5 cm du sol. Puis, la grille a été enlevée et remplacée par une ^{couche}~~couche~~ de terre épaisse de 5 cm. Les distances sol - marmite et grille - marmite sont constantes.

EFFET DE L'INTRODUCTION D'UNE GRILLE DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION

TABLEAU C₁ FOYER "3 PIERRES" AMELIORE (I.V.E. 8) AVEC ET SANS GRILLE

		N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}	
sans grille distance sol- marmite = 7cm		62	23,0 %	3,8	33,0 %	2,1	27,6 %	2,7	28,3 %	$n_1 = 26,48$ $S_1 = 0,81$ $S_1^2 = 0,65$ Cov = 3,0 % $\Sigma n = 105,92$
		63	23,6 %	2,9	27,7 %	2,0	25,8 %	2,5	27,1 %	
		64	24,3 %	3,1	27,0 %	3,0	26,0 %	3,0	27,6 %	
		65	24,5 %	3,2	27,4 %	2,5	26,5 %	2,8	27,7 %	
		Moyennes	23,9 %	3,3 kw	28,8 %	2,4 kw	26,5 %	2,8	27,8 %	
avec grille distance grille - mar- mite = 7 cm		66	26,5 %	3,2	31,0 %	2,5	29,1 %	2,7	30,7 %	$n_2 = 29,9$ $S_2 = 1,90$ $S_2^2 = 3,62$ Cov = 6,4 % $\Sigma n = 119,6$
		67	24,1 %	4,0	38,4 %	2,3	32,6 %	2,8	34,3 %	
		68	25,8 %	3,6	32,2 %	2,5	29,7 %	2,8	31,1 %	
		69	25,2 %	3,5	30,3 %	2,8	28,2 %	3,1	28,8 %	
		Moyennes	25,4 %	3,6 kw	33,0 %	2,5 kw	29,9 %	2,9 kw	31,2 %	

TABLEAU C₂

FOYER "3 PIERRES" AMELIORE (I.V.E. 11) AVEC ET SANS GRILLE

	N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}	
sans grille (distance sol- marmite = 7cm)	70	25,5 ‰	3,1	25,3 ‰	3,6	25,3 ‰	3,4	28,7 ‰	$\bar{n}_1 = 26,14$ $S_1 = 1,17$ $S_1^2 = 1,37$ Cov = 4,5 ‰ n = 130,7
	71	25,5 ‰	4,2	30,6 ‰	2,9	27,8 ‰	3,2	30,1 ‰	
	72	22,9 ‰	4,2	26,0 ‰	3,1	24,8 ‰	3,4	27,6 ‰	
	73	24,0 ‰	2,7	28,3 ‰	3,4	26,6 ‰	3,1	30,2 ‰	
	74	24,8 ‰	4,3	26,9 ‰	3,3	26,2	3,6	29,5 ‰	
	Moyennes	24,5 ‰	3,7 kw	27,4 ‰	3,3 kw	26,1 ‰	3,3 kw	29,2 ‰	
avec grille (distance grille marmite = 7 cm)	75	29,6 ‰	3,7	30,3 ‰	2,4	30,1 ‰	2,7	31,2 ‰	$\bar{n}_2 = 29,06$ $S_2 = 0,88$ $S_2^2 = 0,77$ Cov = 3,0 ‰ n = 145,3
	76	24,5 ‰	2,2	32,0 ‰	2,2	28,3 ‰	2,2	29,4 ‰	
	77	26,8 ‰	3,8	30,7 ‰	3,2	29,4 ‰	3,3	31,7 ‰	
	78	27,0 ‰	2,3	32,0 ‰	2,4	29,5 ‰	2,3	30,4 ‰	
	79	25,0 ‰	2,9	30,3 ‰	2,5	28,0 ‰	2,6	28,9 ‰	
	Moyennes	26,6 ‰	3,0 kw	31,1 ‰	2,5 kw	29,1 ‰	2,6 kw	30,3 ‰	

TABLEAU C₃

COMPARAISON DE GRILLE RONDE - GRILLE RECTANGULAIRE DANS UN FOYER METALLIQUE

grille
rectangulaire

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
80	25,8 %	6,7	30,4 %	3,6	29,2 %	4,1	30,9 %
81	24,7 %	9,9	33,6 %	3,4	30,8 %	4,3	33,4 %
82	24,9 %	6,9	32,0 %	3,1	29,8 %	3,8	32,1 %
83	25,2 %	6,5	31,0 %	3,5	30,2 %	4,1	31,2 %
84	24,8 %	8,5	33,4 %	3,3	30,5 %	4,2	33,2 %
Moyennes	25,1 %	7,7 kw	32,1 %	3,4 kw	30,1 %	4,1 kw	32,2 %

n₁ = 30,1
S₁ = 0,62
S₁² = 0,39
Cov = 2,1 %

grille ronde

85	24,6 %	9,7	33,7 %	3,0	30,7 %	3,9	32,2 %
86	27,8 %	7,3	31,9 %	3,1	30,7 %	3,7	31,5 %
87	29,5 %	6,6	32,3 %	3,0	31,4 %	3,7	33,1 %
88	29,9 %	7,5	35,2 %	3,0	33,6 %	3,7	34,7 %
89	28,6 %	8,3	32,6 %	3,1	31,2 %	3,8	32,5 %
Moyennes	28,1 %	8,3 kw	33,1 %	3,0 kw	31,5 %	3,8 kw	32,8 %

n₂ = 31,5
S₂ = 1,20
S₂² = 1,45
Cov = 3,8 %

+ Analyse statistique

Comparaison du foyer "3 pierres" amélioré n° 8 sans grille et avec grille

Sur la table du t de student à 6 degrés de liberté (d.d.l.), $t_{0,95} = 2,45$

$$t_{\text{calculé}} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}}}{\frac{29,9 - 26,5}{1,03}} = 3,29$$

$t_{\text{calculé}} > t_{0,95}$ la différence entre les 2 conditions opérationnelles est significative.

Comparaison du foyer "3 pierres" amélioré n° 11 sans grille et avec grille

d.d.l. = 5 + 5 - 2 = 8

$t_{0,95} = 2,31$

$$t_{\text{calculé}} = \frac{29,1 - 26,7}{0,65} = 4,62$$

$t_{\text{calculé}} > t_{0,95}$ la différence entre les 2 cas est significative.

Comparaison entre la grille ronde et la grille rectangulaire du foyer métallique

Méthode du t de student

d.d.l. = 5 + 5 - 2 = 8

sur la table, on lit $t_{0,95} = 2,31$

$$t_{\text{calculé}} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}}}{\frac{31,5 - 30,7}{\sqrt{\frac{0,39 + 1,45}{2}}}} = 2,31$$

$t_{\text{calculé}} = t_{0,95}$ il n'y a pas de différence significative entre les 2 grilles.

+ Observations

Il y a une différence significative entre les 2 conditions opérationnelles (sans grille, avec grille) dans les 2 foyers "3 pierres" amélioré. Aussi, nous recommandons qu'une grille soit placée dans chaque foyer construit. Une comparaison de 2 formes de grille a été faite ensuite sur un foyer métallique (voir tableau C₃). Selon l'analyse statistique, que la grille soit ronde ou rectangulaire, les effets sont les mêmes. Mais, à quelles distances doit-on la placer pour obtenir les meilleurs rendements ?

4-2-3-2 Optimisation de la position de la grille

Dans ce cadre, nous avons utilisé deux calibres de foyers (n° 3 et n° 7). Les essais visent à déterminer, les distances optimales entre la grille et la marmite d'une part, puis entre la grille et le sol d'autre part. Pour ce faire, les distances (grille - marmite et grille - sol) consignées dans le tableau ci-dessous ont été testées.

FOYERS	DISTANCES (GRILLE - MARMITE)				DISTANCES (GRILLE - SOLS)		
	(en cm)				(en cm)		
Foyer n° 3	6	8	10	-	3	5	7
Foyer n° 7	8	10	13	15	3	5	10

Les résultats des tests figurent dans les tableaux ci-après :

- tableaux D₁, D₂, D₃, D₄ et D₅ pour le foyer n° 3
- tableaux E₁, E₂, E₃, E₄, E₅ et E₆ pour le foyer n° 7.

Les variations des résultats sont illustrées par deux courbes (page 61)

OPTIMISATION DE LA POSITION DE LA GRILLE

TABLEAU D₁

"3 PIERRES" AMELIORE N° 3 DISTANCE GRILLE - SOL = 5 cm GRILLE - MARGEITE = 10 cm

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
90	23,9 %	6,1	31,5 %	2,6	28,7 %	3,3	30,1 %
91	23,1 %	4,6	29,8 %	2,7	27,2 %	3,2	28,3 %
92	26,1 %	4,3	29,0 %	3,0	28,0 %	3,3	29,7 %
93	26,5 %	5,0	28,3 %	3,1	27,8 %	3,4	29,5 %
94	22,3 %	7,1	33,2 %	2,6	29,0 %	3,5	30,2 %
Moyennes	24,4 %	5,4 kw	30,4 %	2,7 kw	28,14 %	3,3 kw	29,6 %

$$\bar{n}_t = 28,14 \%$$

$$S = 0,72$$

$$s^2 = 0,52$$

$$\sum n_t = T = 140,7$$

$$T^2/N = 3.959,3$$

$$\text{Cov} = 1,0 \%$$

...

OPTIMISATION DE LA POSITION DE LA GRILLE

TABLEAU D₂ "3 PIERRES" AMELIORE N° 3 DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM GRILLE - MARMITE = 8 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
95	24,6 %	3,7	28,3 %	2,5	26,6 %	3,2	27,3 %
96	18,9 %	4,2	33,6 %	2,6	27,4 %	3,8	29,5 %
97	28,9 %	4,4	30,6 %	3,2	30,1 %	3,7	31,5 %
98	25,5 %	3,9	28,8 %	2,8	27,7 %	3,5	28,8 %
99	22,0 %	4,0	32,3 %	2,9	27,5 %	3,6	29,2 %
Moyennes	24,0 %	4,0 kw	30,7 %	2,8 kw	27,9 %	3,6 kw	29,3 %

$$\bar{n} = 27,86 \%$$

$$S = 1,32$$

$$S^2 = 1,74$$

$$\text{Cov} = 4,7 \%$$

$$\sum n = T = 139,3$$

$$T^2/N = 3.880,9$$

...

TABLEAU. D₃

"3 PIERRES" AMELIORE N° 3

DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM

GRILLE - MARMITE = 6 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
100	28,6 %	2,8	31,8 %	2,5	29,8 %	2,5	30,6 %
101	24,7 %	3,8	32,8 %	3,2	30,1 %	3,5	31,5 %
102	28,7 %	3,4	29,1 %	2,5	29,0 %	2,8	30,7 %
103	20,7 %	4,7	45,9 %	1,7	31,5 %	2,7	32,8 %
104	25,5 %	4,0	35,4 %	2,4	31,3 %	2,9	32,1 %
Moyennes	25,6 %	3,7 kw	35,0 %	2,5 kw	30,3 %	2,9 kw	31,5 %

$$x_1 = 30,3 \%$$

$$s_1 = 1,05$$

$$s_1^2 = 1,1$$

$$\text{Cov} = 3,5 \%$$

TABLEAU D₄

"3 PIERRES" AMELIGRE N° 3

DISTANCE GRILLE - SOL = 3 CM

GRILLE - MARRITE = 6 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
105	23,8 %	6,8	36,0 %	2,3	31,2 %	3,1	32,4 %
106	24,8 %	5,8	32,2 %	3,1	29,8 %	3,6	31,5 %
107	22,2 %	6,5	34,6 %	2,9	29,7 %	3,7	30,6 %
108	27,4 %	4,5	31,5 %	3,2	30,4 %	3,5	32,6 %
109	24,7 %	5,9	32,3 %	3,2	29,8 %	3,6	31,6 %
Moyennes	24,6 %	5,9 kw	33,3 %	2,9 kw	30,2 %	3,5 kw	31,7 %

$$x_2 = 30,2 \%$$

$$S_2 = 0,63$$

$$S_2^2 = 0,4$$

$$\text{Cov} = 2,1 \%$$

...

TABLEAU D₅"3 PIERRES" AMELIORE N° 3DISTANCE GRILLE - SOL = 7 CMGRILLE - MARMITE = 6 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
110	23,1 %	6,2	31,8 %	3,4	29,1 %	4,0	31,3 %
111	25,0 %	6,2	39,7 %	2,6	30,6 %	3,3	32,3 %
112	26,9 %	4,2	31,8 %	3,3	30,3 %	3,5	31,7 %
113	26,2 %	5,8	31,6 %	3,4	30,4 %	3,5	31,5 %
114	25,9 %	5,9	32,1 %	3,3	30,2 %	3,4	31,6 %
Moyennes	25,4 %	5,3 kw	32,2 %	3,2 kw	30,12 %	3,5 kw	31,7 %

$$n = 30,12$$

$$S = 0,59$$

$$S^2 = 0,35$$

$$\text{Cov} = 2,0 \%$$

$$\sigma n = T = 150,6$$

$$T^2/N = 4.530,1$$

...

TABEAU E₁

"3 PIERRES" AMELIORE N° 7

DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM

GRILLE - MARMITE = 13 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
125	22,0 %	12,2 kw	34,0 %	5,5 kw	29,4 %	7,0 kw	31,5 %
126	23,8 %	10,7 kw	32,7 %	5,6 kw	29,3 %	6,9 kw	31,4 %
127	27,1 %	8,2 kw	33,0 %	5,1 kw	30,9 %	7,6 kw	33,8 %
128	27,3 %	6,1 kw	33,8 %	4,2 kw	30,9 %	4,9 kw	32,6 %
129	24,1 %	6,3 kw	32,9 %	5,0 kw	29,5 %	5,2 kw	32,0 %
Moyennes	24,9 %	8,7 kw	33,3 %	5,9 kw	30,0 %	6,3 kw	32,3 %

$$\bar{n} = 30,0 \%$$

$$S = 0,82$$

$$S^2 = 0,68$$

$$\sum n = T = 150$$

$$T^2/N = 4.500$$

$$\text{Cov} = 2,7 \%$$

...

TABLEAU E₂

"3 PIERRES" AMELIORE N° 7

DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM

GRILLE - MARMITE = 15 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
130	27,3 %	9,5	32,3 %	5,2	30,4 %	6,2	33,2 %
131	24,9 %	5,8	35,0 %	3,5	30,1 %	4,4	31,7 %
132	22,8 %	12,3	32,9 %	6,3	29,1 %	7,7	32,2 %
133	23,1 %	11,6	32,8 %	6,1	29,4 %	7,3	32,0 %
134	25,6 %	6,5	33,2 %	3,7	29,7 %	5,4	31,9 %
Moyennes	24,7 %	9,1 kw	33,2 %	5,0 kw	29,7 %	6,2 kw	32,2 %

$$\bar{n} = 29,74 \%$$

$$s = 0,52$$

$$s^2 = 0,27$$

$$\text{Cov} = 1,8 \%$$

$$\sum n = T = 148,7$$

$$T^2/N = 4.422,3$$

TABLEAU E₃ "3 PIERRES" AMELIORE N° 7 DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM GRILLE - MARMITE = 8 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
135	23,2 %	8,2	39,5 %	3,7	31,3 %	5,1	33,5 %
136	24,1 %	9,8	34,8 %	4,9	30,2 %	6,2	32,3 %
137	23,6 %	7,6	35,8 %	4,4	30,5 %	5,4	33,0 %
138	26,6 %	8,4	36,3 %	4,1	32,0 %	5,3	34,4 %
139	27,9 %	6,7	36,0 %	4,6	32,6 %	5,2	34,5 %
Moyennes	25,1 %	8,1 kw	36,5 %	4,3 kw	31,3 %	5,4 kw	33,5 %

$\bar{n} = 31,32 \%$

$S = 1,0$

$S^2 = 1,0$

$Cov = 3,2 \%$

$\bar{n} = T = 156,6$

$T^2/N = 4.904,7$

TABLEAU E₄ "3 PIERRES" AMELIORE N° 7 DISTANCE GRILLE - SOL = 5 CM GRILLE - MARMITE = 10 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
140	26,0 %	5,2	35,5 %	3,7	30,9 %	4,3	32,0 %
141	26,1 %	6,9	35,4 %	4,0	30,9 %	5,0	32,6 %
142	31,0 %	6,8	33,4 %	3,4	32,2 %	4,5	33,0 %
143	29,8 %	6,8	35,1 %	3,8	32,9 %	4,7	34,7 %
144	28,1 %	6,6	34,2 %	4,3	31,7 %	5,1	33,4 %
Moyennes	28,2 %	6,5 kw	34,7 %	3,8 kw	31,7 %	4,7 kw	33,1 %

$$\bar{n} = 31,72$$

$$S = 0,86$$

$$S^2 = 0,74$$

$$\text{Cov} = 2,7 \%$$

$$\bar{n} = T = 158,6$$

$$T^2/N = 5.030,8$$

TABLEAU E₅ "3 PIERRES" AMELIORE N° 7 DISTANCE GRILLE - SOL = 3 CM GRILLE - MARMITE = 15 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
145	25,5 %	7,2	32,4 %	4,5	29,4 %	5,4	31,9 %
146	25,6 %	7,6	33,2 %	4,1	29,8 %	5,2	31,4 %
147	22,8 %	10,8	33,8 %	4,9	29,1 %	6,4	30,7 %
148	25,2 %	7,5	33,1 %	4,2	29,6 %	5,5	31,5 %
149	25,2 %	7,4	33,5 %	4,1	29,9 %	5,3	31,3 %
Moyennes	24,9 %	8,1 kw	31,2 %	4,4 kw	29,6 %	5,6 kw	31,4 %

$$x_1 = 29,56$$

$$S_1 = 0,32$$

$$S_1^2 = 0,10$$

$$\text{Cov} = 1,1 \%$$

$$T = \sum x = 147,8$$

$$T^2/n = 4.368,97$$

TABLEAU E₆ "3 PIERRES" AMELIORE N° 7 DISTANCE GRILLE - SOL = 10 CM GRILLE - MARMITE = 10 CM

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
150	27,6 %	7,8	38,5 %	4,0	33,8 %	5,1	35,3 %
151	25,5 %	9,1	34,8 %	5,2	31,2 %	4,4	34,5 %
152	22,8 %	11,0	30,7 %	4,8	30,8 %	6,4	33,0 %
153	29,4 %	7,5	44,3 %	2,9	36,6 %	4,3	38,2 %
154	25,6 %	5,5	35,9 %	4,8	31,8 %	5,1	34,6 %
Moyennes	26,2 %	8,2 kw	36,8 %	4,3 kw	32,8 %	5,1 kw	35,1 %

$$x_2 = 32,84$$

$$S_2 = 2,40$$

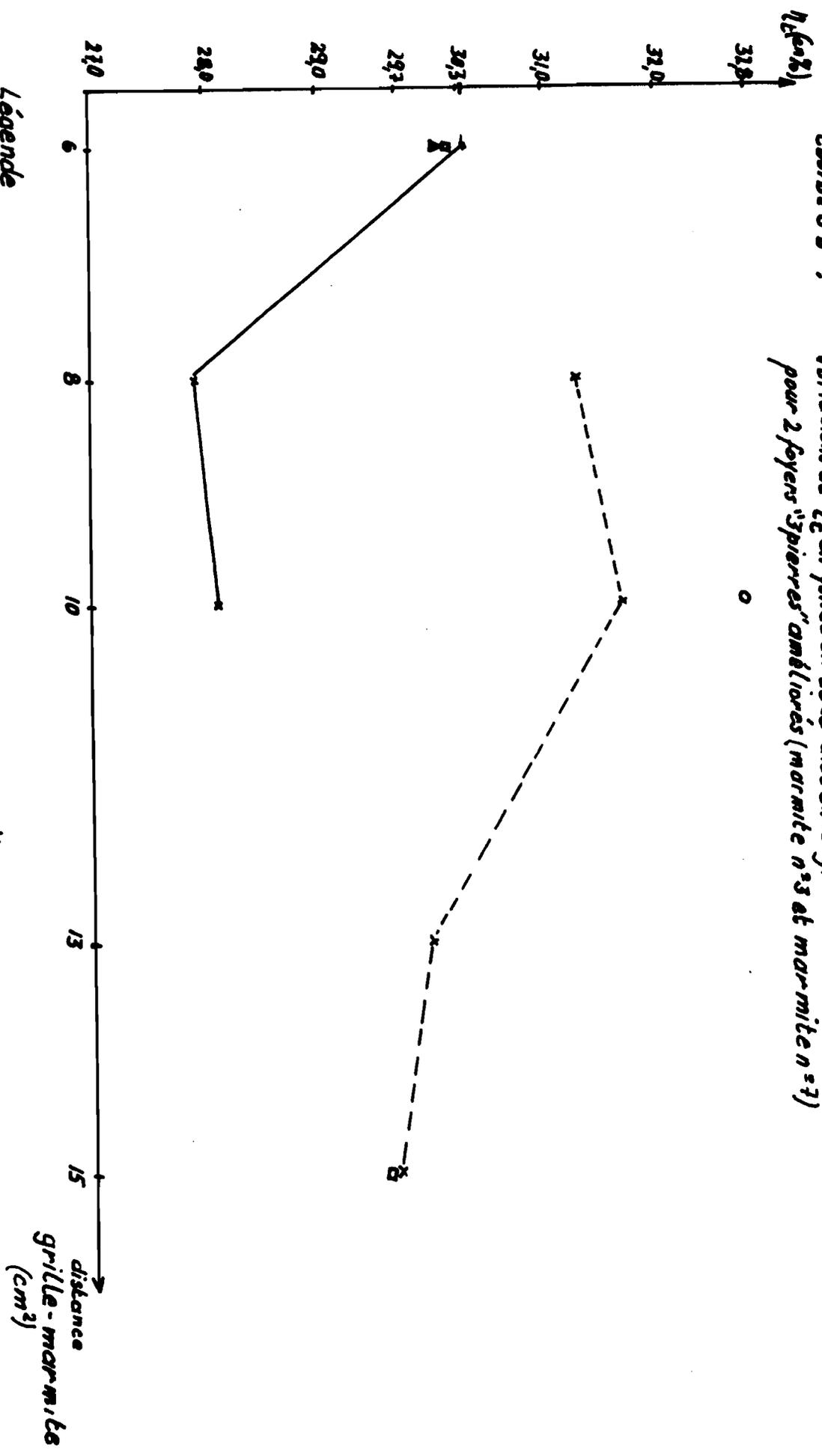
$$S_2^2 = 5,7$$

$$\text{Cov} = 7,3 \%$$

$$T = \sum x = 164,2$$

$$T^2/n = 5.392,33$$

Courbe C-D : Variations de η_c en fonction de la distance grille-marmite pour 2 foyers "pierres" améliorés (marmite n°3 et marmite n°7)



Légende

- courbe correspondant au foyer avec marmite n°3
- - - courbe correspondant au foyer avec marmite n°7
- niveau correspondant à une distance grille-sol = 3cm
- ▲ " " " " " " = 7cm
- " " " " " " = 10cm pour la marmite n°7

4-3-1-3 Observations sur la position de la grille

- Les distances (grille - marmite)

Les courbes montrent que les faibles distances (grille-marmite) augmentent le rendement. Ainsi, on peut conclure en première approximation que η_t est inversement proportionnel à la distance grille - marmite. Cependant, en dessous de 6 cm pour le foyer n° 3 et de 10 cm pour le foyer n° 7, η_t diminue. Ceci s'explique par le fait que les combustibles gazeux du bois se heurtent à la marmite dès qu'ils se dégagent ; il se produit donc une combustion incomplète excessive.

En fait, même aux distances où η_t est élevé, il y a combustion incomplète. Mais, à ces stades, les pertes de chaleur par combustion incomplète sont inférieures à celles dues à des distances plus grandes.

Sur la base de ces résultats, nous proposons les recommandations suivantes :

- une distance (grille - marmite) de 6 à 7 cm pour les foyers n° 3
- une distance (grille - marmite) de 8 à 10 cm pour les foyers n° 7.

Le décalage de niveau entre les deux courbes est dû à l'effet du calibre de la marmite qui sera traité dans les parties suivantes.

Pour les calibres intermédiaires à 3 et 7, nous proposons les distances ci-après :

- 7 cm pour les foyers n° 4
- 8 cm pour les foyers n° 5 et n° 6.

- Les distances (grille - sol)

Pour le foyer n° 3, on constate que les rendements dus à la variation de la distance (grille - sol) sont groupés. Cette distance a donc un effet négligeable. Toutefois, pour homogénéiser les constructions, nous proposons une distance (grille - sol) de 5 cm.

Pour les foyers n° 7, on observe sur la courbe que la variation de 5 à 3 cm n'affecte pas n_t alors que la variation de 5 à 10 cm augmente n_t . Des tests complémentaires doivent être faits pour préciser cette influence. Les recommandations relatives aux distances (grille - marmite) et (grille - sol) sont résumées dans le tableau ci-après.

CALIBRES DES FOYERS	FOYER N°3	FOYER N°4	FOYER N°5	FOYER N°6	FOYER N°7
Distances (grille - le - marmite) (en cm)	6 - 7	7	8	8	8 - 10
Distances (grille - le - sol) (en cm)	5	5	5	5	5
Distances (sol - marmite) (en cm)	11 - 12	12	13	13	13 - 15

La chambre de combustion ainsi définie est satisfaisante pour l'utilisation du bois mais, elle est inadaptée pour les tiges de mil. En effet, les tiges de mil libèrent beaucoup de cendres qui bouchent les trous de la grille dès le début de la cuisson, la rendant ainsi inefficace. Ces cendres remplissent la chambre de combustion en très peu de temps. Il faut les déblayer continuellement.

4-2 La chambre de chauffage de la deuxième marmite des foyers à 2 trous.

La deuxième marmite des foyers à 2 trous reçoit la chaleur principalement par la convection des fumées chaudes qui proviennent de la chambre de combustion. En conséquence, un dispositif de ralentissement de la vitesse de passage de ces gaz permet à la chambre de chauffage de garder longtemps la chaleur en contact avec la marmite.

Ce dispositif est un monticule ; son introduction dans la chambre de chauffage améliore d'une façon importante le rendement thermique du foyer. Il y a une diminution des pertes de chaleur par le tirage que la cheminée exerce. En absence de monticule, un foyer à deux trous se distingue très peu du foyer traditionnel ouvert à trois pierres. Cependant la forme et l'emplacement optimal de ce dispositif sont à préciser. Une série de tests a été fait dans cette optique sur un foyer Danfora (sans cheminée). Mais, les résultats (tableau 4-5-1 ci-contre) sont insuffisants. Des essais ont été faits aussi sur un foyer Nouna (avec cheminée). La complexité des autres facteurs de construction du foyer ne permettent pas une appréciation rapide de la position optimale du monticule dans la chambre de chauffage.

Une réduction du canal de communication augmente le rendement du 1er trou (η_1) et abaisse celui du 2ème trou (η_2). On observe sur le tableau 4-5-1 que pendant le mijotage η_1 augmente fortement pendant que η_2 reste constant. Ceci provient du fait qu'il y a une diminution de la quantité de chaleur transférée par convection quand la puissance est faible. C'est là le principal handicap des foyers à deux trous.

En effet, la première marmite reçoit sa chaleur par rayonnement, conduction et convection alors que la deuxième ne la reçoit que par convection. Or le rayonnement est le principal mode de transfert. Il en résulte que la température de la première marmite atteint 200°C pendant que celle de la deuxième est inférieure à 60°C. En pratique, on finit la préparation sur le premier trou puis on ramène la deuxième marmite sur ce premier trou pour pouvoir terminer la cuisine. Ce sont ces manipulations qui font que l'économie de bois est généralement plus faible avec les foyers à deux trous plutôt qu'avec les foyers à un trou. Cette contrainte a conduit à concevoir un foyer dont les deux trous sont en parallèle contrairement aux autres dont les trous sont en série (voir photo page 24).

Ce foyer ne dispose pas de monticule. Des tests d'ébullition d'eau (tableau 4-5-2) et des tests de cuisine contrôlée ont été faits sur ce foyer. Les deux marmites reçoivent simultanément leur chaleur par rayonnement, conduction et convection. Le t⁸ (ou le riz) et sa sauce sont préparés simultanément. C'est un avantage mais, la puissance de fonctionnement est élevée. Le rendement thermique total reste le même que quand les trous sont en série. Des efforts complémentaires sont à fournir :

- D'une part pour augmenter le rendement thermique du deuxième trou dans le cas où les deux trous sont en série (exemple : foyer Nouna). On devrait intervenir à la fois sur le monticule, le canal de communication et la surface de la marmite en contact avec la chaleur.

- D'autre part pour diminuer la puissance moyenne de fonctionnement dans le cas où les deux trous sont en parallèle. On pourrait donner une meilleure proportion à la chambre de combustion.

TABEAU 4-5-1 : ESSAIS D'OPTIMISATION DU MONTICULE D'UN FOYER BANFORA DEUX TROUS

CARACTERISTIQUES	N° DU TEST	n ₁ '	n ₂ '	n _t '	P'	n ₁ ''	n ₂ ''	n _t ''	P''	n ₁	n ₂	n _t	P	n _{c1}	n _{c2}	n _{ct}
Chambre de chauffage à fond plat	223	14,0%	3,7%	17,7%	11,0	27,6%	4,9%	32,5%	3,7	22,2%	4,4%	26,6%	5,9	23,4%	4,7%	28,1%
	224	14,2%	3,1%	17,3%	10,5	26,2%	5,1%	31,3%	4,1	21,7%	4,4%	26,1%	5,0	24,0%	4,2%	28,2%
	225	13,9%	3,5%	17,4%	11,2	26,7%	4,9%	31,6%	3,9	21,9%	4,3%	26,2%	5,4	23,9%	4,5%	28,4%
Moyenne		14,0%	3,4%	17,5%	10,9kw	26,8%	5,0%	31,8%	3,9kw	21,9%	4,4%	26,3%	5,4kw	23,8%	4,5%	28,2%

Chambre de chauffage à fond sphérique	226	14,0%	4,4%	18,4%	11,3	25,3%	6,1%	31,4%	4,6	21,3%	5,4%	26,7%	5,9	22,5%	5,8%	28,3%
	227	12,5%	5,0%	17,5%	11,7	25,3%	6,4%	31,7%	4,8	21,2%	5,9%	27,1%	6,1	22,6%	4,4%	27,0%
	228	18,5%	4,7%	23,2%	6,7	23,9%	4,5%	26,4%	3,7	22,0%	4,6%	26,6%	4,5	23,6%	4,9%	28,5%
Moyenne		15,0%	4,7%	19,7%	9,8kw	24,8%	5,7%	30,5%	4,4kw	21,5%	5,3%	26,8%	5,5kw	22,9%	5,0%	27,9%

Chambre de chauffage à fond sphérique et marmite ^s enfoncées à l'avantage	229	11,2%	5,9%	17,1%	17,6	25,0%	9,4%	34,4%	4,8	19,4%	8,0%	27,4%	6,8	20,9%	8,5%	29,4%
	230	12,5%	5,9%	18,4%	14,4	24,1%	7,7%	31,8%	5,0	19,8%	7,0%	26,8%	6,5	21,5%	7,6%	29,1%
	231	18,0%	5,8%	23,8%	7,9	22,8%	7,1%	29,9%	4,5	21,2%	6,2%	27,4%	5,2	22,5%	6,5%	29,0%
Moyenne		13,9%	5,9%	19,8%	13,3kw	24,0%	8,1%	32,0%	4,8kw	20,1%	7,1%	27,2%	6,2kw	21,6%	7,5%	29,1%

TABLEAU 4-5-2 - FOYER A DEUX TROUS PARALLELES SANS MONTICULE

N° DO TEST	n ₁ '	n ₂ '	n _t '	P'	n ₁ ''	n ₂ ''	n _t ''	P''	n ₁	n ₂	n _t	P	n _{c1}	n _{c2}	n _{ct}
232	11,2%	8,7%	19,9%	7,5	17,8%	14,6%	22,6%	5,2	15,3%	12,3%	27,6%	5,9	16,6%	13,2%	29,8%
233	10,9%	8,4%	19,3%	15,8kw	15,9%	13,2%	29,1%	7,5	14,4%	11,9%	26,3%	8,8	16,3%	13,5%	29,8%
234	8,1%	9,1%	17,2%	12,4	14,7%	14,3%	29,0%	8,0	12,6%	12,6%	25,2%	9,0	14,2%	14,2%	28,4%
235	8,8%	8,0%	16,8%	16,6	16,2%	15,2%	31,4%	6,4	13,4%	12,5%	25,9%	8,3	14,6%	13,7%	28,3%
236	9,3%	8,1%	17,4%	16,5	15,4%	15,8%	31,2%	6,8	13,2%	13,0%	23,2%	8,6	14,6%	14,5%	29,1%
237	10,1%	7,5%	17,6%	13,7	15,6%	15,1%	30,7%	6,4	13,6%	12,3%	25,9%	7,9	13,7%	12,4%	26,1%
238	11,4%	9,9%	21,3%	9,7	15,0%	14,0%	29,0%	6,8	13,9%	12,7%	26,6%	7,6	15,0%	13,7%	28,7%
Moyenne	10,0%	8,5%	18,5%	13,2kw	15,8%	14,6%	30,4%	6,7kw	13,8%	12,5%	26,3%	8,0kw	15,0%	13,6%	28,6%

4-4 La cheminée

Les foyers à cheminée confèrent l'avantage d'évacuer la fumée hors de la cuisine. Mais, cet avantage peut compromettre le rendement thermique si la cheminée est mal conçue. Suivant les organismes vulgarisateurs de foyers améliorés, le diamètre et la hauteur de la cheminée varie beaucoup. Le plus souvent, la cheminée est placée derrière un mur ; ce qui nécessite de faire passer le canal d'évacuation à travers celui-ci. Afin d'apprécier l'influence d'une telle manoeuvre sur le rendement thermique, des essais ont été menés :

- dans un cas où la cheminée adhère au foyer
- puis dans un autre cas où la cheminée est séparée du foyer par un mur.

Le tableau 4-6-1 ci-après donne les résultats des tests.

On observe qu'il n'y a pas une différence entre les deux groupes de tests : le passage du canal d'évacuation à travers le mur d'une cuisine n'a donc pas d'incidence significative sur la performance du foyer.

Une optimisation du diamètre et de la hauteur de la cheminée a été tentée sur un foyer à un trou et un autre à deux trous de la façon suivante :

- pendant qu'on fait varier la hauteur de la cheminée, le diamètre reste constant ;
- dans un second temps, on fait varier le diamètre en conservant la hauteur.

Les résultats des tests sont consignés dans les tableaux 4-6-2 et 4-6-3 ci-contre.

TABLEAU 4-6-1 EFFET DU PASSAGE DU CANAL D'EVACUATION DE LA FUMEE A TRAVERS UN MUR

(FOYER I.V.E. VII : HAUTEUR DE CHEMINEE = 85 CM, DIAMETRE = 6 CM)

1 - La cheminée
adhère au foyer

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
115	21,3 %	9,1	37,5 %	2,9	31,6 %	3,8	33,5 %
116	17,3 %	11,6	37,7 %	3,0	29,7 %	4,2	31,5 %
117	17,5 %	10,3	42,1 %	2,9	31,8 %	4,1	33,5 %
118	19,3 %	9,6	36,7 %	3,2	30,4 %	4,1	32,0 %
119	19,7 %	8,4	38,2 %	3,1	31,3 %	4,0	34,0 %
Moyennes	19,0 %	9,8 kw	38,4 %	3,0 kw	31,0 %	4,0 kw	32,9 %

2 - La cheminée est
derrière un mur

120	21,5 %	6,6	35,0 %	3,5	30,7 %	4,2	31,4 %
121	20,9 %	7,3	36,0 %	3,5	31,1 %	4,3	32,6 %
122	19,5 %	6,8	39,6 %	2,6	31,2 %	3,4	32,7 %
123	19,2 %	11,4	34,8 %	3,1	28,9 %	4,3	30,8 %
124	14,4 %	11,0	36,2 %	3,3	29,5 %	4,7	32,5 %
Moyennes	19,1 %	8,6 kw	36,3 %	3,2 kw	30,3 %	4,2 kw	32,0 %

TABLEAU 4-6-2 VARIATION DE LA HAUTEUR DE CHEMINEE DU FOYER I.V.E VII (DIAMETRE = 6 CM)

1°) hauteur = 1,5 cm

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
190	27,1 %	4,8	34,9 %	2,7	32,3 %	3,2	34,3 %
191	22,8 %	7,8	35,8 %	3,3	31,7 %	4,0	33,1 %
192	24,1 %	8,5	34,9 %	2,9	31,2 %	3,8	32,5 %
193	25,0 %	6,3	35,9 %	2,7	32,6 %	3,5	33,5 %
194	22,9 %	7,0	35,5 %	2,8	31,5 %	3,7	32,7 %
Moyennes	24,4 %	6,9 kw	35,4 %	2,9 kw	31,9 %	3,6 kw	33,2 %

$\bar{n}_{t_1} = 31,86$
 $S_1 = 0,58$
 $S_1^2 = 0,33$
 $Cov = 1,8 \%$
 $\sum n_t = T = 159,3$
 $T^2/N = 5075,3$

2°) hauteur = 0,4 m

195	18,3 %	10,1	36,7 %	3,1	29,9 %	4,2	32,3 %
196	23,6 %	6,6	34,0 %	3,3	30,9 %	3,8	32,8 %
197	22,1 %	6,7	36,3 %	2,4	30,8 %	3,3	32,6 %
198	20,3 %	8,5	36,2 %	3,1	30,3 %	3,9	32,4 %
199	20,5 %	8,1	35,3 %	3,3	30,2 %	4,1	32,0 %
Moyennes	21,0 %	8,0 kw	35,7 %	3,0 kw	30,4 %	3,9 kw	32,4 %

$\bar{n}_{t_2} = 30,42$
 $S_2 = 0,42$
 $S_2^2 = 0,18$
 $Cov = 1,4 \%$
 $\sum n_t = T = 152,1$
 $T^2/N = 4626,9$

...

4-6-2 FOYER NOUNA DEUX TROUS

CARACTERISTIQUES	N° DU TEST	n'1	n'2	n't	p'	n''1	n''2	n''t	p''	n1	n2	nt	p	nc1	nc2	act
- Diamètre de la cheminée = 9 cm	205	15,2%	5,1%	20,3%	11,7	18,9%	8,1%	27,0%	5,6	17,8%	7,2%	25,0%	6,5	18,6%	7,5%	26,1%
hauteur = 160 cm	206	14,0%	6,6%	20,6%	12,8	21,5%	6,5%	28,0%	4,5	18,9%	6,5%	25,4%	5,9	19,2%	6,7%	25,9%
	207	14,0%	7,6%	21,6%	9,9	21,0%	8,9%	29,9%	4,3	18,5%	8,3%	26,8%	5,5	19,1%	8,7%	27,8%
	208	15,0%	6,7%	21,7%	9,4	24,1%	5,9%	31,3%	4,2	20,8%	6,3%	27,1%	5,3	21,4%	6,4%	27,8%
Moyenne		14,6%	8,7%	28,1%	11,0kw	21,4%	7,4%	28,8%	4,7kw	19,0%	9,4%	28,4%	7,7kw	19,6%	7,3%	26,9%

- Diamètre de la cheminée = 9 cm	209	12,1%	6,6%	18,7%	16,0	24,8%	10,1%	34,9%	4,4	19,7%	8,8%	28,5%	6,2	20,4%	9,2%	29,6%
hauteur = 54 cm	210	10,8%	6,7%	17,5%	18,3	25,6%	9,5%	35,1%	4,2	19,1%	8,2%	27,3%	6,4	20,0%	8,7%	28,7%
	211	14,8%	5,4%	20,2%	11,2	22,3%	8,5%	30,8%	5,6	19,9%	7,6%	27,5%	6,6	20,8%	7,9%	28,7%
	212	10,7%	5,5%	16,2%	15,6	25,7%	8,7%	34,4%	4,1	19,3%	7,3%	26,6%	6,0	20,4%	7,7%	28,1%
Moyenne		12,1%	6,1%	18,2%	15,3kw	24,6%	9,2%	33,8%	4,6kw	19,5%	8,0%	27,5%	6,3kw	20,4%	8,4%	28,8%

3°) hauteur =
0,85 m

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
200	21,3 %	9,1	37,5 %	2,9	31,6 %	3,8	33,4 %
201	17,3 %	11,6	37,7 %	3,0	29,7 %	4,2	31,5 %
202	17,5 %	10,3	42,1 %	2,9	31,8 %	4,1	33,5 %
203	19,3 %	9,6	36,7 %	3,2	30,4 %	4,1	32,0 %
204	19,7 %	8,4	38,2 %	3,1	31,3 %	4,0	34,0 %
Moyennes	19,0 %	9,8 kw	38,4 %	3,0 kw	31,0 %	4,0 kw	32,9 %

TABLEAU 4-6-3 VARIATION DU DIAMETRE DE LA CHEMINEE DU FOYER IVE ~~777~~ (HAUTEUR = 85 CM)

1 - diamètre = 6 cm

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n	p	n _{ct}
213	21,3 %	9,1	37,5 %	2,9	31,6 %	3,8	33,5 %
214	17,3 %	11,6	37,7 %	3,0	29,7 %	4,2	31,5 %
215	17,5 %	10,3	42,1 %	2,9	31,8 %	4,1	33,5 %
216	19,3 %	9,6	36,7 %	3,2	30,4 %	4,1	32,0 %
217	19,7 %	8,4	38,2 %	3,1	31,3 %	4,0	34,0 %
Moyennes	19,0 %	9,8 kw	38,4 %	3,0 kw	31,0 %	4,0 kw	32,9 %

2 - diamètre = 10 cm

218	22,1 %	7,4	29,1 %	3,7	27,0 %	4,4	27,7 %
219	18,1 %	14,3	34,7 %	3,6	28,6 %	5,0	30,2 %
220	21,9 %	9,6	29,8 %	3,1	27,1 %	4,0	28,5 %
221	18,0 %	14,4	35,5 %	3,7	29,7 %	5,0	31,3 %
222	21,1 %	12,7	29,8 %	3,7	28,9 %	4,8	31,0 %
Moyennes	20,2 %	11,7 kw	31,8 %	3,6 kw	28,3 %	4,6 kw	29,7 %

4-4-1 Effets de la hauteur de la cheminée sur le rendement thermique

On constate que quel que soit le foyer considéré, pour un diamètre de 6 cm (cas du foyer à un trou) ou de 9 cm (cas du foyer à deux trous), le rendement thermique varie peu quand on passe de 40 cm à 85 cm puis à 150 cm de hauteur. Les variations de hauteur ne semblent pas influencer d'une façon importante le rendement thermique. Toutefois, des tests complémentaires permettront d'avoir plus de données de base pour mieux étayer les conclusions.

4-4-2 Effets du diamètre de la cheminée sur le rendement thermique

Le tableau 4-6-3 donne les résultats des essais entrepris pour apprécier l'influence du diamètre de la cheminée. Deux cheminées de diamètre 6 cm et 10 cm ont été testées. Les résultats montrent que, contrairement à la hauteur, le diamètre du trou de la cheminée influence d'une façon significative le rendement thermique. Quand le diamètre augmente, au-delà d'une certaine limite, les pertes de chaleur s'accroissent et le rendement baisse. Cependant, si le diamètre est trop petit, le nettoyage de la cheminée sera très difficile et devra être plus fréquent pour empêcher que le canal d'évacuation ne soit bouché par la suie. Un diamètre de 6 cm semble bien convenir au bon fonctionnement du foyer. Un dispositif permettant de varier le diamètre de la cheminée pendant le fonctionnement du foyer s'adapterait bien dans la mesure où :

- 1°) Pendant les phases de basse puissance, une réduction du diamètre serait favorable au rendement.
- 2°) Pendant les phases de haute puissance par contre, un plus grand diamètre augmenterait la performance du système.

Dans tous les cas, il serait opportun de diminuer le tirage dû à la cheminée en réduisant son diamètre jusqu'à un seuil en dessous duquel la fumée ressortirait par la porte.

4-5 La distance entre les parois du foyer et la marmite

Les foyers sans cheminée sont généralement pourvus d'un espace (entre leur paroi et la marmite) par lequel la fumée s'échappe. C'est le cas du foyer "3 pierres" amélioré et du foyer métallique. Cet espace joue un rôle

important sur la performance du foyer. En effet, plus l'espace est grand, plus la fumée s'échappe très facilement occasionnant ainsi une forte déperdition de chaleur. Avec un espace trop petit, la fumée a tendance à ressortir par la porte du foyer et entraîne pour cela une mauvaise combustion du bois. Pour cela, on prend plus de temps pour atteindre l'ébullition. Il existe des distances intermédiaires qui donnent satisfaction.

Des essais effectués au Laboratoire d'Energie Solaire de Bamako sur le foyer métallique montrent que plus la distance diminue, plus le rendement augmente. Ainsi, à 13 mm, correspond un rendement $\eta_t = 25,5 \%$ et à 4 mm, $\eta_t = 32 \%$. Pour toutes ces raisons, il est important que la distance entre les parois du foyer et la marmite soit inférieure à 10 mm pour les foyers de calibre 3. Si le calibre augmente, la puissance du foyer doit augmenter. Par conséquent la distance optimale croîtra en fonction du calibre. De plus, la paroi interne du foyer doit être suffisamment cylindrique pour permettre de bien centrer la marmite par rapport à elle. Si la marmite est excentrée, il y a un épanchement préférentiel de la fumée du côté où l'espace est le plus grand. Cet espace joue alors un rôle de cheminée et réduit la performance du foyer.

4-6 Influence de la marmite sur le rendement thermique

Les matériaux de construction de la marmite, sa forme et sa surface extérieure exposée au feu influencent la performance du foyer. Les marmites utilisées couramment en Haute-Volta sont soit en argile cuite soit en fonte d'aluminium. Leur forme est adaptée à la préparation du tô.

4-6-1 Influences du matériau de construction de la marmite

La conductibilité thermique du matériau est un facteur important. Celle de l'argile est égale à 1,3 W/m°C alors que celle de l'aluminium est située entre 160 et 200 W/m°C. La chaleur qui parvient à la marmite est transférée à son contenu en quantité plus importante si elle est en aluminium. Pour apprécier cette différence en pratique, des tests ont été faits sur le foyer traditionnel ouvert à 3 pierres et le foyer "3 pierres" amélioré, d'une part avec une marmite en aluminium et d'autre part avec deux canaris (en argile cuite) d'épaisseurs différentes. Pour le foyer traditionnel ouvert avec marmite en aluminium, les tests effectués à l'I.V.E. en 1933 donnent un rendement thermique moyen ($\bar{\eta}_t$) de 14 %.

Pour le foyer "3 pierres" amélioré avec marmite en aluminium, $\bar{\eta}_t = 30,3 \%$
(cf tableau A₆ page 46)

Ces deux types de foyer, testés avec les différentes marmites, donnent les rendements thermiques moyens figurant sur le tableau ci-après.

(voir détail des résultats tableau 4-7-1 ci-contre).

TYPES DE FOYER	$\bar{\eta}_t$	P (EN KW)	ECONOMIE REALISEE
Foyer traditionnel ouvert avec canari épais	12,6 %	7,5	0 %
Foyer traditionnel ouvert avec canari moins épais	12,6 %	6,9	0 %
Foyer traditionnel ouvert avec marmite en aluminium	14,0 %	7,1	1 %
Foyer "3 pierres" amélioré avec canari épais	20,7 %	4,8	39 %
Foyer "3 pierres" amélioré avec canari moins épais	22,8 %	3,6	45 %
Foyer "3 pierres" amélioré avec marmite en aluminium	30,3 %	2,9	58 %

TABLEAU 4-7-1 : INFLUENCE DU MATERIAU DE CONSTRUCTION DE LA MARMITE SUR LE RENDEMENT THERMIQUE
(CANARI EPAIS)

"3 pierres"
traditionnel
canari épais

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
155	9,3 %	14,2	12,2 %	7,8	11,1 %	9,4	12,6 %
156	10,6 %	11,0	11,1 %	8,0	10,9 %	8,9	12,2 %
157	12,5 %	8,7	13,6 %	5,8	13,1 %	6,7	14,7 %
158	11,4 %	9,1	15,8 %	4,5	13,7 %	6,0	15,3 %
159	12,5 %	9,8	15,5 %	5,1	14,1 %	6,6	15,3 %
Moyennes	11,3 %	10,6 kw	13,6 %	6,2 kw	12,6 %	7,5 kw	14,0 %

"3 pierres" amélioré
I.V.E. 18
canari épais

160	18,4 %	6,4	25,7 %	3,5	21,9 %	4,5	23,1 %
161	19,0 %	5,3	23,7 %	3,5	21,5 %	4,2	23,1 %
162	15,4 %	8,3	22,4 %	4,3	19,3 %	5,4	21,0 %
163	17,1 %	7,3	21,7 %	4,3	19,6 %	5,3	21,0 %
164	17,9 %	6,7	24,3 %	3,4	21,2 %	4,4	22,4 %
Moyennes	17,6 %	6,8 kw	23,6 %	3,8 kw	20,7 %	4,8 kw	22,1 %

TABLEAU 4-7-1 (suite)

CANARI MOINS EPAIS

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
165	11,9 %	9,7	11,1 %	7,2	11,3 %	7,9	12,7 %
166	11,4 %	7,8	13,2 %	4,3	12,3 %	5,6	13,2 %
167	12,2 %	10,0	14,1 %	5,7	13,4 %	6,8	15,3 %
168	11,6 %	9,1	14,8 %	5,2	13,6 %	6,4	15,6 %
169	12,2 %	9,1	12,7 %	7,0	12,5 %	7,6	14,2 %
Moyennes	11,9 %	9,1	13,2 %	5,9	12,6 %	6,9	14,2 %

170	22,5 %	4,8	26,0 %	3,4	24,5 %	3,8	25,7 %
171	21,7 %	4,1	25,7 %	2,9	23,8 %	3,4	24,7 %
172	21,1 %	3,5	26,4 %	2,9	23,6 %	3,2	25,2 %
173	21,2 %	3,8	20,5 %	4,0	20,7 %	4,0	21,3 %
174	20,4 %	3,3	22,8 %	3,5	21,6 %	3,4	23,0 %
Moyennes	21,4 %	3,9 kw	19,1 %	3,3 kw	22,8 %	3,6 kw	24,0 %

"3 pierres" amélioré
I.V.E 9
canari moins épais

$$\text{Economie} = \frac{n_{tx} - n_{tf}}{n_{tx}}$$

où n_{tf} = rendement thermique du foyer traditionnel avec canari et n_{tx} = rendement thermique du foyer amélioré

Du tableau (page 96), découlent les observations suivantes :

1 - Quand on dispose d'un foyer traditionnel ouvert, le rendement est bas aussi bien avec les canaris qu'avec la marmite en Aluminium.

La puissance est élevée dans tous les cas (7 kw). La marmite en Aluminium est légèrement meilleure aux canaris. La différence d'épaisseur de ceux-ci n'intervient pas sur n_t . Nous pensons que ceci est dû au fait que les pertes de chaleur sont si élevées que la qualité de la marmite (conductibilité thermique) joue un rôle négligeable.

2 - Quand on passe au foyer amélioré, l'influence de la conductibilité thermique avec les canaris en argile cuite sont nettement plus bas que celui avec la marmite en aluminium. De plus, entre les deux canaris, le moins épais est le plus avantageux. Les puissances décroissent quand les rendements augmentent.

3 - Quand on dispose de canaris en argile cuite et qu'on construit un foyer amélioré en remplacement du foyer traditionnel, on réalise une économie de 39 à 45 %. On gagnerait bien davantage (58 %) en acquérant une marmite en aluminium.

4-6-2 Influence de l'augmentation du calibre de la marmite

D'une façon générale, plus la marmite est grosse, plus les rendements thermiques et les puissances sont élevés. C'est ce qui résulte de la comparaison entre trois marmites (n° 3, n° 7 et n° 10) utilisées dans des foyers "3 pierres" améliorés de calibres correspondants. Les résultats des tests effectués dans ce cadre figurent en pages 100 et 101.

Le tableau suivant donne les moyennes.

	\bar{n}^I	\bar{p}^I	\bar{n}^{II}	\bar{p}^{II}	\bar{n}_t	\bar{p}	\bar{n}_{ct}
(Marmite n° 3:	25,6 %	3,7 kw	35,0 %	2,5 kw	30,3 %	2,9 kw	31,5 %
(Marmite n° 7:	25,1 %	8,1 kw	36,5 %	4,3 kw	31,3 %	5,4 kw	33,5 %
(Marmite n° 10:	26,0 %	14 kw	36,8 %	7,5 kw	32,7 %	9,0 kw	34,2 %

On observe un effet d'échelle qui s'explique par le fait que quand le diamètre de la marmite augmente, la surface d'échange augmente nécessairement. Or, quel que soit le mode de transfert considéré (rayonnement, convection ou conduction), la quantité de chaleur transmise est directement proportionnelle à la surface du corps qui est traversée par le flux énergétique.

En effet :

- Par rayonnement, on a : $Q_r = F_{12} A_1 G_0 (T_1^4 - T_2^4)$

- Par conduction, $Q_r = \frac{k.A (T_1 - T_2)}{e}$

- Par convection, $Q_r = a.A_c (T_1 - T_2)$

avec Q_r = quantité de chaleur transmise,

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

A_1 = surface de la source de chaleur (m^2)

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

A_c = surface de contact avec le corps solide (m^2)

A = surface traversée par le flux de chaleur (m^2)

e = épaisseur de la paroi (m)

k = conductibilité thermique du matériau ($W/m^{\circ}C$)

a = coefficient de convection ($W/m^2 K$)

T_1 = température absolue de la surface chaude (K)

T_2 = température absolue de la surface froide (K)

Les facteurs F_{12} , A et A_c traduisent l'importance de la surface ; d'où la nécessité d'enfoncer le plus possible la marmite dans le foyer.

4-7 Les matériaux de construction du foyer

4-7-1 Effets sur le rendement thermique

Les foyers améliorés existants en Haute-Volta sont construits soit en ciment, en banco, en métal ou en argile cuite. La masse du foyer absorbe

TABLEAU 4-7-2 INFLUENCE DE LA TAILLE DE LA MARMITE SUR LE RENDEMENT THERMIQUE

marmite n° 10

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
175	24,5 %	15,3	36,3 %	7,9	31,7 %	9,8	34,1 %
176	26,0 %	12,9	31,6 %	7,1	32,5 %	8,6	33,8 %
177	24,6 %	16,6	37,7 %	7,3	32,3 %	9,1	33,4 %
178	30,1 %	12,1	36,9 %	7,8	34,6 %	8,8	35,5 %
179	25,0 %	13,2	36,4 %	7,6	32,4 %	8,6	34,2 %
Moyennes	26,0 %	14,0 kw	36,8 %	7,5 kw	32,7 %	9,0 kw	34,2 %

marmite n° 7

180	23,2 %	8,2	39,5 %	3,7	31,3 %	5,1	33,5 %
181	24,1 %	9,8	34,8 %	4,9	30,2 %	6,2	32,3 %
182	23,6 %	7,6	35,8 %	4,4	30,5 %	5,4	33,0 %
183	26,6 %	8,4	36,3 %	4,1	32,0 %	5,3	34,4 %
184	27,9 %	6,7 kw	36,0 %	4,6	32,6 %	5,2	34,5 %
Moyennes	25,1 %	8,1 kw	36,5 %	4,3 kw	31,3 %	5,4 kw	33,5 %

marmite n° 3

N° DU TEST	n'	p'	n''	p''	n _t	p	n _{ct}
185	28,6 %	2,8	31,8 %	2,5	29,8 %	2,5	30,6 %
186	24,7 %	3,8	32,8 %	3,2	30,1 %	3,5	31,5 %
187	28,7 %	3,4	29,1 %	2,5	29,0 %	2,8	30,7 %
188	20,7 %	4,7	45,9 %	1,7	31,5 %	2,7	32,8 %
189	25,5 %	4,0	35,4 %	2,4	31,3 %	2,9	32,1 %
Moyennes	25,6 %	3,7 kw	35,0 %	2,5 kw	30,3 %	2,9 kw	31,5 %

une partie plus ou moins importante de la chaleur produite (puis la cède à son environnement immédiat) suivant la conductibilité du matériau dont elle est faite. On pourrait utiliser des isolants thermiques comme la laine de ver pour diminuer cette déperdition. Mais, il ne faudrait pas que leurs prix se répercutent fortement sur ceux des foyers car ce serait un handicap pour la vulgarisation. L'argile et le ciment ont à peu près la même conductibilité thermique ($1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$). Celle du banco varie selon sa composition. Le banco a l'avantage de dissiper moins la chaleur que le ciment. C'est un matériau caloporteur. Un des principaux facteurs limitants du foyer métallique est la conductibilité élevée du métal dont il est fait.

4-7-2 La durée de vie des foyers améliorés

Selon l'utilisation et l'entretien des foyers massifs en ciment ou en banco, leur durée de vie est plus ou moins courte. Généralement après 6 mois d'utilisation, on observe des fissures qui s'élargissent avec le temps et finissent par compromettre l'efficacité du foyer avant trois ans. Il arrive que cinq à six mois après le foyer soit totalement abîmé. Ceci pose un problème par rapport à l'amortissement du foyer. Pour résoudre ce problème de la résistance, il importe de définir une approche qui ne s'écarte pas des réalités du milieu. Aussi, nous avons choisi de :

- partir de ce qui existe dans le milieu et l'améliorer en évitant au maximum d'incorporer des éléments exogènes. De ce point de vue, il existe chez les paysans voltaïques une certaine somme de connaissance du banco en tant que matériau de construction.
- développer ensuite des méthodes d'amélioration des matériaux qui soient facilement reproductibles en milieu rural. Dans le cas contraire, il y aura une barrière entre les résultats de laboratoire et leurs mises en pratique sur le terrain.

Des travaux ont été initiés dans le domaine de l'étude des matériaux et se poursuivent. Ils ont pour objectifs la détermination d'un bon mélange de banco qui est satisfaisant du point de vue de la résistance aux chocs mécaniques, aux chocs thermiques et aux intempéries (protection contre les pluies).

4-3 Tentatives de conception d'un foyer amélioré à dolo

La préparation du dolo est une des filières par lesquelles le bois est énormément consommé. En effet, il faut généralement plus d'un stère de bois pour obtenir 500 litres de dolo au cours d'une préparation. Or, le dolo est une boisson très répandue en Haute-Volta. Il y a donc une nécessité d'améliorer les foyers à dolo. Ce problème a déjà été perçu par les dolotières dans certaines régions du pays. Aussi, des tentatives ont déjà abouties à des résultats qui sont à encourager. On trouve ainsi, une gamme assez variée de modèles de foyers à dolo qui sont déjà améliorés les uns par rapport aux autres. Un modèle de foyer a été conçu à Kaya : il est construit en ciment avec un soubassement en banco et comporte quatre trous et une cheminée. Ce modèle (dolocooker Kaya) n'a pas connu beaucoup de succès dans sa vulgarisation.

4-3-1 Définition d'une méthodologie de conception

Compte tenu du fait qu'il existe déjà des foyers traditionnels améliorés pour le dolo, il est important dans un premier temps de profiter de cet "héritage".

La démarche consiste alors à recenser les modèles existants puis à choisir les plus répandus et les plus originaux pour les tester sur le terrain afin de déterminer les plus satisfaisants. Dans un deuxième temps des tests en atelier permettront d'améliorer ceux-ci.

Aussi, un échantillon de cent foyers à dolo pris au hasard dans les quartiers de Ouagadougou a permis de choisir sept modèles de par leur fréquence ou leur originalité. Une enquête a été menée chez les sept dolotières concernées. En même temps, des mesures ont été effectuées deux fois par dolotière et ont donné des résultats dont les moyennes figurent dans le tableau 4-3-1 ci-après page 106.

Sur cette base des calculs de quantité de bois consommé par litre de dolo préparé permettent de classer les sept modèles les uns par rapport aux autres. On constate que :

1°) Les deux premiers foyers qui économisent plus de bois sont tous du type traditionnel Bobo avec canaris regroupés et une seule porte d'entrée du bois. Ce sont des foyers fermés.

2°) Bien que la dolotière D utilise des marmites en aluminium, elle gaspille plus de bois que les autres. Son foyer est constitué de sept marmites alignées

entre lesquelles aucun dispositif ne réduit les pertes de chaleur. Dans ces conditions, les déperditions d'énergie par convection de l'air sont si importantes que la qualité de la marmite ne s'exprime pas.

3°) La dolotière E par contre également des marmites alignées mais, le fait que les intervalles entre les marmites soient fermés lui procure un avantage certain par rapport à la dolotière D.

Le nombre de tests effectués par dolotière (2) n'est pas suffisant pour tirer des conclusions plus subtiles. De plus, on aurait pu s'étendre à d'autres modèles. Toutefois, cette enquête a permis :

- d'une part une meilleure connaissance des différentes phases de la préparation du dolo,
- d'autre part la détermination des facteurs à prendre en compte dans l'amélioration d'un foyer à dolo.

Enfin, nous avons pu aussi dégager un modèle déjà amélioré sur lequel des travaux futurs seront faits en vue d'accroître son efficacité et d'envisager une vulgarisation.

L'enquête montre que certaines dolotières ont changé de foyers pour adopter des modèles plus performants. Ceci montre qu'elles sont sensibles à la quantité de bois consommé. Un modèle de foyer amélioré adapté à leurs conditions de travail serait probablement facile à vulgariser.

4-8-2 Les tests d'ébullition d'eau en atelier

Les tests en atelier pour l'amélioration des foyers à dolo nécessitent une méthodologie différente de celle des foyers de cuisine ordinaire (exposée dans le chapitre précédent). En effet :

- la conduite de la préparation du dolo diffère de celle des repas ordinaires. Aussi, pour que le test d'ébullition d'eau simule au mieux la façon dont on prépare réellement le dolo, le mijotage devrait durer plus d'une heure par exemple.

- Les marmites des foyers à dolo sont très grosses. On ne les déplace pas. Elles font partie du corps du foyer auquel elles adhèrent. Pour cela, à la fin de la phase d'ébullition, il faudrait transvaser l'eau dans d'autres récipients pour la peser afin d'évaluer la quantité d'eau évaporée. Ce qui est très difficile pour la conduite du test car il y a plusieurs marmites. Pour lever cette contrainte, on pourrait faire les tests sur des modèles en miniature.

TABEAU 4-8-1

MESURES EFFECTUEES CHEZ 7 DOLOTIERES DE OUAGADOUGOU

N° DE LA DOLOTIERE	A	B	C	D	E	F	G
TYPE DE FOYER	DAGARI	GOUROUNSI	BOBO	MOSSI	BISSA (FERME)	BOBO	CANARIS
TYPE DE MARMITE	ALUMINIUM	ALUMINIUM	CANARIS	ALUMINIUM	CANARIS ALIGNES	CANARIS REGROUPEES	CANARIS REGROUPEES
Poids de farine utilisée	22,5 kg	50 kg	113 kg	79 kg	71 kg	85 kg	46,5 kg
Volume total d'eau utilisée	260 l	66 l	1080 l	1197 l	743 l	890 l	663 l
Poids total de bois utilisé	58 kg	204 kg	307 kg	484 kg	259 kg	261 kg	225 kg
Poids total de charbon récupéré	6 kg	12 kg	14 kg	11 kg	15 kg	9 kg	30 kg
Durée totale de la préparation	8 h 25 mn	12 h 14mn	20h07mn	13 H 56 mn	15 h 20 mn	15 h 16 mn	14 h 21 mn
Volume de dolo préparé	109 l	270 l	626 l	6060l	451 l	505 l	377 l
Recettes estimées (en F CFA)	6750 F	10000 F	31500 F	25000 F	17000 F	19000 F	14500 F
Poids de bois consommé / l de dolo préparé (en kg/l)	0,53	0,76	0,49	0,80	0,57	0,52	0,60

Les degrés d'alcool varient dans tous les cas entre 3 et 4.

Classification par ordre décroissant de consommation de bois / l de dolo préparé : D, B, G, E, A, F, C.

Les investigations ne sont pas suffisantes pour permettre de proposer une bonne méthodologie. Dans ce domaine des foyers à dolo, une grande importance doit être accordée aux tests en sites réels.

4-9 Les tests de cuisine contrôlée

Des tests de préparation de t^o ont été effectués sur le foyer "3 pierres" amélioré, le foyer ~~III~~ VII, foyer à deux trous parallèles et le foyer métallique dans le but principal d'apprécier leur adaptation aux conditions locales. D'autres tests de ce genre (voir résultats page 37) avaient déjà prouvés que l'économie de bois réalisée avec un foyer amélioré est directement proportionnelle à son rendement thermique. Aussi, cet aspect ne sera pas traité à nouveau.

Ces essais montrent que :

- Le foyer "3 pierres" amélioré est performant et très stable pour la préparation du t^o. L'observation de son comportement en site réel confirme cette appréciation.
- Des efforts complémentaires sont à fournir pour stabiliser davantage la marmite modifiée du foyer ~~IV~~ VII dans son trou.
- Le foyer à deux trous parallèles confère l'avantage de terminer la cuisson du t^o (ou du riz) et de sa sauce au même moment mais, sa performance doit être améliorée.
- La stabilité du foyer métallique peut être assurée par l'utilisation des barres de fer introduites dans les anses du foyer. Cependant, si le foyer a un gros calibre (n° 7 ou plus) les barres deviennent insuffisantes pour le stabiliser. Pour cela, la recherche d'un autre dispositif de stabilisation est en cours.

CONCLUSION

Cette étude des différents paramètres de construction des foyers à bois a abouti à des résultats qui doivent être complétés pour la plupart. Cela est surtout dû à la complexité des facteurs mis en jeu. En montrant les insuffisances et les contraintes à lever, ce chapitre définit les nouvelles priorités de la recherche.

Sur certains points (résistance des matériaux, foyers à dolo) des réflexions ont été faites par rapport aux approches et aux méthodologies de travail

permettant de résoudre les problèmes qui se posent. Les difficultés rencontrées sur le terrain sont abondantes et variées. La recherche des solutions doit se faire dans un ordre de priorité défini par les objectifs à atteindre. Quelquefois, il y a incompatibilité entre la pertinence des résultats techniques et les réalités du milieu : des compromis sont alors nécessaires car en dernier ressort, c'est l'utilisateur qui décide.

DEUXIEME PARTIE : LES FOYERS A CHARBON DE BOIS

INTRODUCTION

L'utilisation du charbon de bois n'est pas répandue en Haute-Volta. Les modèles de foyers qui servent à cela occasionnent de fortes pertes d'énergie auxquelles s'ajoutent les faibles rendements de la carbonisation. Il en résulte un bilan énergétique que nous éluciderons. L'ignorance des rendements thermiques des foyers à charbon conduit souvent à des analyses erronées. Ainsi, nous serons amenés à :

- Définir tout d'abord, les propriétés de ce combustible et son domaine d'utilisation en Haute-Volta.
- Déterminer ensuite, les rendements thermiques d'un certain nombre de foyers à charbon.
- Dégager enfin, les composantes de ces foyers dont l'optimisation améliorerait leurs rendements thermiques.

A travers l'étude des foyers à charbon dont il est essentiellement question dans cette partie, celle-ci vise aussi à enrichir nos connaissances sur ces foyers en vue de contribuer à une meilleure planification des ressources forestières.

CHAPITRE V : CARACTERISTIQUES DU CHARBON DE BOIS

5-1 PRINCIPES DE LA CARBONISATION

La production du charbon de bois repose sur le principe suivant : augmenter relativement le pouvoir calorifique disponible dans l'unité de poids du combustible. Pour cela, plusieurs techniques peuvent être utilisées : carbonisation en meule, en four, en fosse, etc... Dans tous les cas, l'opération consiste à enflammer le bois et à le cuire jusqu'à un certain stade à partir duquel, on commence à réduire progressivement l'apport d'air ; ce qui étouffe la combustion. Il y a ainsi une décomposition du bois qui libère le charbon et les gaz combustibles. La technologie mise en oeuvre ne permet pas de récupérer ces gaz. De plus, le charbon peut brûler en grande quantité si l'opération est mal conduite. Il résulte de tout cela un faible rendement énergétique (20 à 45 %). On peut utiliser toutes les espèces de bois, de toute provenance (souches, troncs, sarments) pour faire du charbon ; Mais, les qualités du produit dépendent de la nature et de l'espèce du bois d'où il provient.

5-2 PROPRIETES PHYSICO-CHEMIQUES DU CHARBON DU BOIS

5-2-1 Composition chimique

Le charbon de bois est composé surtout de carbone (80 à 90 %). Il contient en plus, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et une petite proportion de substances minérales (2 à 3 %). La teneur en carbone dépend du taux d'humidité du bois, de l'expérience du charbonnier, de la température de cuisson, de la technologie utilisée et du taux de carbone fixé par l'espèce végétale.

5-2-2 Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique du charbon est beaucoup élevé que celui du bois (29.000 kJ / kg). Plus la teneur en carbone est importante, plus il est élevé. Il dépend aussi du procédé de carbonisation utilisé.

5-2-3 Densité

La densité du charbon varie selon la dureté du bois, la technique utilisée et surtout le taux d'humidité. Le charbon est très poreux ; ce qui explique son fort pouvoir absorbant et ses propriétés désinfectantes et décolorantes (1 cm³ de charbon peut absorber 97 cm³ de gaz carbonique). La faible densité du charbon sec (environ 0,2) favorise son transport. Du fait de la porosité, le stockage doit se faire à l'abri d'une forte humidité car le charbon peut prendre 2 à 3 fois son poids en eau.

5-2-4 Propriétés mécaniques

La dureté du charbon diminue quand la teneur en eau augmente. Le charbon est plus ou moins friable selon la température de cuisson. Quand cette friabilité est importante, un conditionnement soigneux est nécessaire pour ne pas le transformer en poussière.

5-2-5 Reprise d'oxygène

En stockage, le charbon fixe pendant un certain temps l'oxygène de l'air. Le taux de reprise peut atteindre 30 % ; ce qui est important. C'est pourquoi, avant de stocker une quantité importante de charbon à fort taux de reprise, il faut stabiliser le produit afin d'éviter tout risque d'inflammation spontanée.

CHAPITRE VI

PROBLEMATIQUE DU CHARBON DE BOIS

L'utilisation du charbon de bois confère des avantages mais aussi des inconvénients par rapport à celle du bois. L'appréciation de ces éléments dépend des conditions d'exploitation et d'utilisation de ces deux combustibles qui varient selon les régions. Ce chapitre fait état des observations critiques sur la carbonisation et l'utilisation du charbon de bois en Haute-Volta.

6-1 METHODES TRADITIONNELLES DE CARBONISATION

Elles ne sont pas très variées car l'utilisation du charbon est très limitée et bien souvent circonscrite dans les centres urbains. C'est autour de ces centres que certains paysans pratiquent accessoirement la carbonisation. Il existe fondamentalement deux méthodes de carbonisation.

6-1-1 La carbonisation en fosse

Les charbonniers creusent des fosses parallélépipédiques sur des terrains plus ou moins plats. Le bois est débité en des morceaux qu'on peut ranger à l'intérieur de la fosse jusqu'à la remplir. Puis, on amorce la combustion du bois à l'aide des pailles, des tiges de mil ou des écorces enflammées. Quand toutes les bûches sont portées à incandescence, on couvre progressivement l'ouverture de la fosse avec de la tôle métallique jusqu'à étouffer le feu. On attend ensuite que l'ensemble se refroidisse avant de procéder au défournement. La tôle utilisée est confectionnée avec des vieilles barriques. Ces fosses ne sont pas de grande capacité : 1/2 à 1 stère. Des mesures effectuées par le C.T.F.T. à Gossé (préfecture de Ouagadougou) montrent que les rendements moyens en poids sont de l'ordre de 20 %. Le charbon obtenu est conditionné dans des sacs de 15 à 20 kg et transporté en ville pour être vendu.

6-1-2 La production du charbon dans les foyers à dolo

Une importante partie du charbon utilisé dans les centres semi-urbains et urbains provient de la combustion incomplète du bois dans les foyers à dolo. Cette combustion partielle est même provoquée par les

delotières qui exercent ainsi un commerce parallèle du combustible.

Cette forme de production du charbon a l'avantage que la chaleur produite pendant la transformation du bois est utilisée pour la préparation du doio. Le bilan d'énergie utilisée est donc plus élevé. Cependant la qualité de ce charbon est moins bonne que dans le cas précédent.

6-2 ETAT ACTUEL DE LA CONSOMMATION DU CHARBON

Le charbon est utilisé pour la préparation des repas, le chauffage de l'eau et le repassage des habits. C'est aussi un combustible très populaire pour griller et faire des barbecues parce qu'il donne un goût particulièrement savoureux aux aliments : séchage de poisson, grillade de viande et de maïs, etc... De plus, en raison du fait que le taux de chaleur produite est environ deux fois plus élevé que celui d'un même poids de bois, le charbon est recherché par les forgerons.

L'étude sur la consommation du bois de feu en Haute-Volta, réalisée en 1980 montre que :

- en zone rurale, la consommation du charbon de bois est très restreinte et les ménages qui l'utilisent souvent pour le repassage sont inférieurs à 0,5 % tandis que 0,1 % (ou moins) des ménages s'en servent pour les repas ou le chauffage.
- en zone urbaine, 2,5 % des ménages utilisent le charbon de bois pour les repas et le chauffage alors que 1,2 % l'utilisent pour le repassage.

Ces faibles taux indiquent que la consommation du charbon n'est pas forte en Haute-Volta. En 1980 également, on estimait que seulement 1 % du bois de feu consommé à Ouagadougou est utilisé sous forme de charbon de bois.

Toutefois, il importe de remarquer que les tendances sont de plus en plus favorables à l'utilisation de ce combustible en ville en raison de certains avantages qu'il confère :

- il brûle en produisant peu de fumée ;
- il est plus économique à l'échelle familiale. Le prix de revient du kilojoule utilisé est inférieur à celui du bois. En effet à Ouagadougou :

. 1 kg de charbon coûte 30 F et produit 29.000 kJ. Si on l'utilise dans les foyers traditionnels dont le rendement thermique moyen est de 21 %, on aura consommé effectivement : $29.000 \times 0,21 = \underline{6.090 \text{ kJ}}$.

. avec la même somme (30 F), on achète 2 kg de bois qui vont produire 36.000 kJ ; si on utilise ce bois dans les foyers traditionnels ouverts (à 3 pierres) dont le rendement thermique moyen est de 14 %, on aura consommé effectivement : $36.000 \times 0,14 = \underline{5.040 \text{ kJ}}$

En conséquence, on arrive à cuire plus d'aliments avec la même somme en achetant du charbon. Les ménagères se rendent de plus en plus compte de cette réalité. Mais, la stabilité insuffisante des foyers à charbon les empêchent d'utiliser ce combustible pour préparer le tô.

6-3 FACTEURS FAVORABLES A LA PRATIQUE DE LA CARBONISATION

Au niveau de l'artisanat local, l'utilisation du charbon de bois est une nécessité, car il faut un combustible de pouvoir calorifique plus élevé que celui du bois. Les forgerons recherchent d'ailleurs le charbon particulièrement satisfaisant de certaines espèces végétales.

Dans le domaine de l'exploitation forestière, le bois provenant des défrichements et même des coupes périodiques est souvent difficile à écouler à temps. Or, le conditionnement prolongé du bois pose des problèmes de plusieurs ordres. Il peut en résulter des pertes importantes dues aux attaques du bois par des parasites et aux influences des intempéries climatiques. De plus, les souches et les gros troncs sont difficiles à commercialiser et restent gênants même après andainage sur les parcelles dans les reboisements industriels. Il serait alors opportun d'associer la carbonisation à l'exploitation forestière pour rationaliser davantage la production. Cela permettrait aussi de diversifier la production et d'avoir plus de facilité de l'écouler. Les frais de transports vers les grands centres urbains sont moindres par rapport au bois.

6-4 FACTEURS DEFAVORABLES A LA CARBONISATION

Toute transformation d'énergie occasionne des pertes plus ou moins importantes. La faiblesse du rendement énergétique de la carbonisation et la fragilité de nos écosystèmes sont telles que la production du charbon de bois

doit être restreinte aux conditions dans lesquelles cette activité est rentable. Dans le tableau ci-contre, nous avons évalué les pourcentages de chaleur effectivement utilisée dans les différentes conditions d'exploitation et d'utilisation du bois et du charbon de bois. Les bases de cette évaluation sont d'une part les résultats des tests effectués à l'I.V.E. sur les foyers, et d'autre part les références bibliographiques concernant le rendement de la carbonisation. Ce tableau montre assez bien que quelles que soient les conditions de production et d'utilisation du charbon pour la cuisine, il est énergétiquement préférable d'améliorer les foyers à bois et de se servir de ce combustible.

Toutefois, on remarque que l'amélioration des foyers à charbon et des techniques de carbonisation permet d'augmenter de façon sensible le bilan d'énergie utilisée. Il est aussi important de perfectionner les foyers que d'améliorer les procédés de carbonisation.

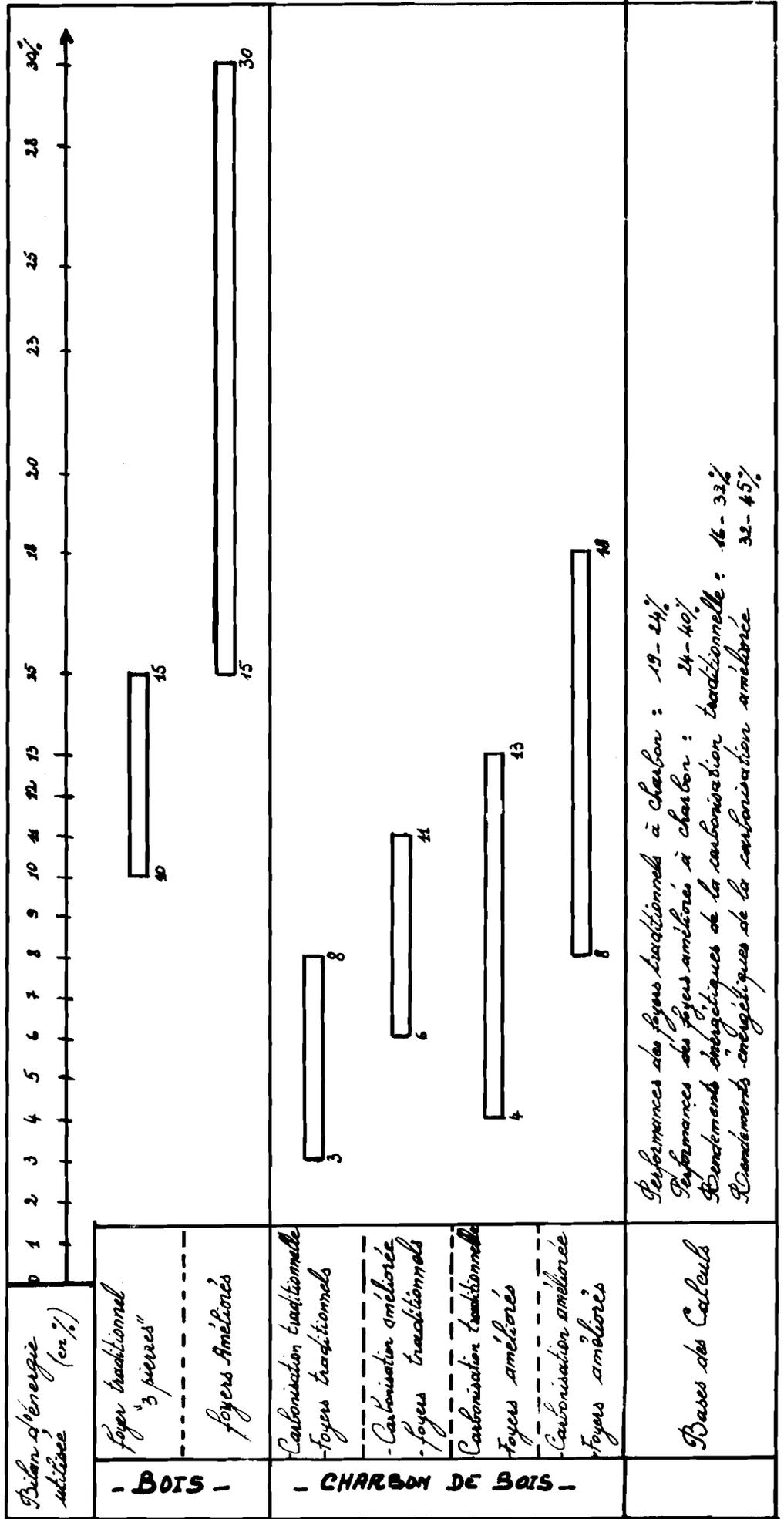
Selon une argumentation répandue, les "bonnes" performances des foyers traditionnels à charbon par rapport à ceux à bois, compensent les pertes d'énergie à la carbonisation.

On observe que cette argumentation est fautive. Les foyers traditionnels à charbon ne sont pas aussi performants que l'on pense généralement. Cet aspect sera traité dans le chapitre VIII.

Il ressort de ce tableau l'inopportunité d'encourager la consommation du charbon de bois en Haute-Volta. La carbonisation devrait être améliorée mais restreinte. De plus, il faudrait des mesures d'accompagnement dans les zones où cette activité est courante. Dans ce cadre, des recommandations ont été faites par le Professeur A. Schmitz de la Fondation Universitaire Luxembourgeoise. Elles portent sur une ré-utilisation des aires de carbonisation pour une reforestation progressive. Pour cela, il est conseillé de pratiquer sur ces aires, un semis en place bien conduit, de variétés capables de profiter des conditions du milieu et constituant une amorce de reboisement. Il est donc nécessaire de changer périodiquement d'aire de carbonisation. L'utilisation de variétés à croissance rapide, bien adaptées au milieu, reproductibles par semis et utiles, permet à la fois d'éviter la dégradation des potentialités du milieu et de poursuivre l'exploitation du charbon de bois.

Tableau de Comparaison des pourcentages d'énergie utilisée par combustion directe du bois pour par

Carbonisation et combustion du charbon



Performances des foyers traditionnels à charbon : 19-24%

Performances des foyers améliorés à charbon : 24-40%

Rendements énergétiques de la carbonisation traditionnelle : 16-32%

Rendements énergétiques de la carbonisation améliorée : 32-45%

Bases des Calculs

CONCLUSION

Nous percevons donc qu'il peut être intéressant de carboniser le bois. Cependant, l'introduction des techniques optimales peut s'avérer difficile. En effet, la sauvegarde du milieu, liée à la pérennité de la technique de carbonisation, nécessite de la part des communautés rurales concernées une compétence forestière généralement non acquise et un consensus entre les intérêts mis en jeu. L'amélioration des performances de la carbonisation traditionnelle et des foyers à charbon utilisés permet de minimiser les pertes d'énergie.

CHAPITRE VII PRESENTATION DES FOYERS A CHARBON TESTES

Les foyers à charbon couramment utilisés en Haute-Volta sont les foyers dits "malgaches" que l'on trouve surtout en ville, où le charbon est le plus consommé.

Pour cette étude, nous avons élargi l'échantillon de foyers, en ajoutant dix autres prototypes de provenances différentes dont:

- les foyers IVE I, IVE II et IVE III, conçus à l'IVE.
- le foyer Toé mis au point par un artisan de Ouagadougou
- le foyer mixte (bois et charbon) M.F.A., conçu par la Mission Forestière Allemande.
- le foyer Céramique à bois, utilisé aussi comme foyer à charbon de bois
- le foyer Jiko, en provenance du Kenya
- le foyer M'BOW à double paroi, en provenance du Sénégal
- les foyers M'Bow n°3 et n°4 à paroi unique, construits à l'image du foyer précédent.

Dans la présentation illustrée ci-après, nous avons regroupé certains types de foyers en raison des ressemblances de leurs formes.

Le foyer Kenyan et le foyer Sénégalais ont été pris comme références car le charbon est beaucoup utilisé dans ces deux pays.

...



LE FOYER MALGACHE « CARRE ».

C'est un foyer répandu en Haute-Volta. Il est construit par des artisans locaux avec des plaques métalliques de récupération. Sa grille comporte de larges fentes servant d'entrée pour l'air et de passoire pour les cendres. Son bord supérieur est de forme carrée ou rectangulaire. Il est utilisé pour la préparation de certains repas, ainsi que pour des grillades (viande, maïs, etc.). Il n'est pas stable pour la préparation du tô.



LE FOYER MALGACHE « ROND »

Il est construit de la même façon que le foyer Malgache « carré ». Sa chambre de combustion est évasée à la partie supérieure qui est ronde. Il est fabriqué par les mêmes artisans avec des matériaux de fortune et ne nécessite pas de soudure.



LE FOYER MIXTE M.F.A.

C'est le foyer cylindre métallique à bois auquel on a ajouté un deuxième niveau de grille lui permettant de fonctionner ainsi, soit avec le bois, soit avec le charbon :

— le niveau inférieur est utilisé pour le charbon. Dans ce cas, une plaque coulissante sert à réduire la porte.

— le niveau supérieur est utilisé pour le bois. Dans ce cas, on enlève totalement la plaque pour augmenter la porte et permettre l'introduction du bois. Deux barres de fer peuvent être introduites dans les anneaux à la partie supérieure pour stabiliser davantage le foyer.

Les foyers IVE II et IVE III sont semblables à ce foyer.



LE FOYER IVE I.

Il est construit avec de la tôle d'épaisseur 15/10^e. La différence avec les autres foyers métalliques est due :

— d'une part à la couche de banco de 3 cm d'épaisseur qui est enduite sur les parois intérieures et sur la grille.

— d'autre part au fait que la marmite pénètre entièrement dans le foyer.

La présence du banco le rend lourd mais plus efficace que les autres foyers semblables.



LE FOYER TOE.

Il a été mis au point en 1983 par un artisan de Ouagadougou. C'est un foyer mixte utilisable au bois ou au charbon. Il comporte une grille mobile qu'on place ou qu'on enlève suivant que le combustible est le charbon ou le bois. La chambre de combustion du bois ne dispose pas de grille. Trois supports maintiennent la marmite. Ce foyer est construit avec de la tôle métallique d'épaisseur 15/10^e. Un échantillon a déjà été vendu à 6.000 F. l'unité.



LE FOYER M'BOW A DOUBLE PAROI.

Il a été conçu par le CERER au Sénégal où le charbon est beaucoup plus utilisé qu'en Haute-Volta. Il est entièrement construit avec de la tôle métallique. La chambre de combustion comporte deux parois latérales entre lesquelles on peut introduire un isolant thermique. Ces parois sont recouvertes à leur partie supérieure par une couronne mobile (celle-ci est suspendue contre le foyer sur cette photo). Le foyer est muni aussi d'une grille fixe et d'une fermeture pour la porte d'entrée d'air.

Les foyers M'BOW n° 3 et n° 4 ont la même forme que celui-ci mais ne disposent pas d'une double paroi.



LE FOYER JIKO.

C'est un prototype originaire du Kenya. Il est inspiré du foyer traditionnel Jiko et construit avec de la tôle de récupération. Les parois intérieures de la chambre de combustion sont en argile cuite de 3 cm d'épaisseur. La porte d'entrée d'air dispose d'une fermeture. A la partie supérieure, 3 bagues servent de supports à la marmite. Ce foyer est utilisé au Kenya avec des casseroles en Aluminium à fond plat.

CHAPITRE VIII

RENDEMENTS THERMIQUES DE QUELQUES PROTOTYPES DE FOYERS A CHARBON

Cette étude a plusieurs objectifs :

- 1°) Fournir des renseignements plus rationnels sur les performances des foyers à charbon existants.
- 2°) Connaître les particularités de la combustion du charbon et comprendre le fonctionnement des foyers dans lesquels il brûle.
- 3°) Envisager l'amélioration de ces foyers pour compenser une partie de la forte perte d'énergie subie pendant la carbonisation.

Pour cela, nous avons adopté une méthodologie très proche de celle développée dans la première partie, et qui a été modifiée pour tenir compte des nouvelles contraintes de la combustion du charbon.

8-1 SPECIFICIENS DE LA COMBUSTION DU CHARBON

Le charbon de bois a un pouvoir calorifique élevé. De ce fait, sa combustion nécessite beaucoup plus d'air que le bois. Quand il est bien cuit, il ne fume pas pendant son utilisation ; ce qui constitue un avantage. L'air utile entre au niveau de la chambre de combustion sur le lit de charbon : c'est l'air primaire. Nous avons observé que le charbon brûle préférentiellement de bas en haut.

8-2 METHODOLOGIE UTILISEE

Cinq tests d'ébullition d'eau ont été faits par foyer. La méthodologie comprend une phase d'ébullition et une phase de mijotage. Mais, ces deux phases ne sont pas discontinues comme dans le cas des foyers à bois. En effet, à la fin de l'ébullition, le test n'est pas suspendu pour faire des pesées de charbon et d'eau restants. Quand on atteint 100°C, on note l'heure et on enchaîne avec la phase de mijotage pendant une heure.

Si la température a tendance à baisser, on ajoute du charbon. Cette méthodologie est conduite de la même façon et avec le même protocole que dans le cas des foyers à bois. La puissance reste moyenne pendant toute l'opération.

Les tests sont suivis à l'aide d'une fiche (voir formulaire annexe 1).
L'utilisation d'un charbon issu du bois d'une même espèce végétale, carbonisé dans les mêmes conditions, permet d'avoir un pouvoir calorifique, constant, pour faciliter le calcul des rendements et l'interprétation des résultats. Pour cela, les tests ont été effectués avec deux qualités de charbon fabriqué en fosse avec du bois de Cassia siamea. Nous avons déterminé leurs pouvoirs calorifiques inférieurs à l'aide de la bombe calorimétrique à oxygène du laboratoire de nutrition de l'Institut Supérieur Polytechnique de l'Université de Ouagadougou que nous remercions. Les résultats obtenus sont les suivants :

- première qualité : 6.215,7 cal/g = 25.981 kJ/kg
- deuxième qualité : 6.731,8 cal/g = 28.139 kJ/kg.

Les quantificateurs utilisés pour l'analyse des résultats sont :

- le rendement thermique total en tenant compte des braises restantes (η_{ct})
- la puissance moyenne (P).

Ils sont calculés à l'aide des relations suivantes :

$$\eta_{ct} = \frac{m_e (t_f - t_i) C_p + m_v \times L}{(m_c - m'_c) Q_c}$$

$$P = \frac{(m_c - m'_c) \times Q_c}{t}$$

avec m_e = masse initiale de l'eau dans la marmite (kg)

m_v = masse totale d'eau évaporée (kg)

m_c = masse totale de charbon utilisé (kg)

m'_c = masse des braises restant à la fin du test (kg)

Q_c = pouvoir calorifique du charbon (Kj/kg)

C_p = chaleur spécifique de l'eau (4,18 kj/kg °C)

L = chaleur latente de vaporisation de l'eau (2.260 Kj/kg)

t_f = température finale de l'eau (°C)

t_i = température initiale de l'eau (°C)

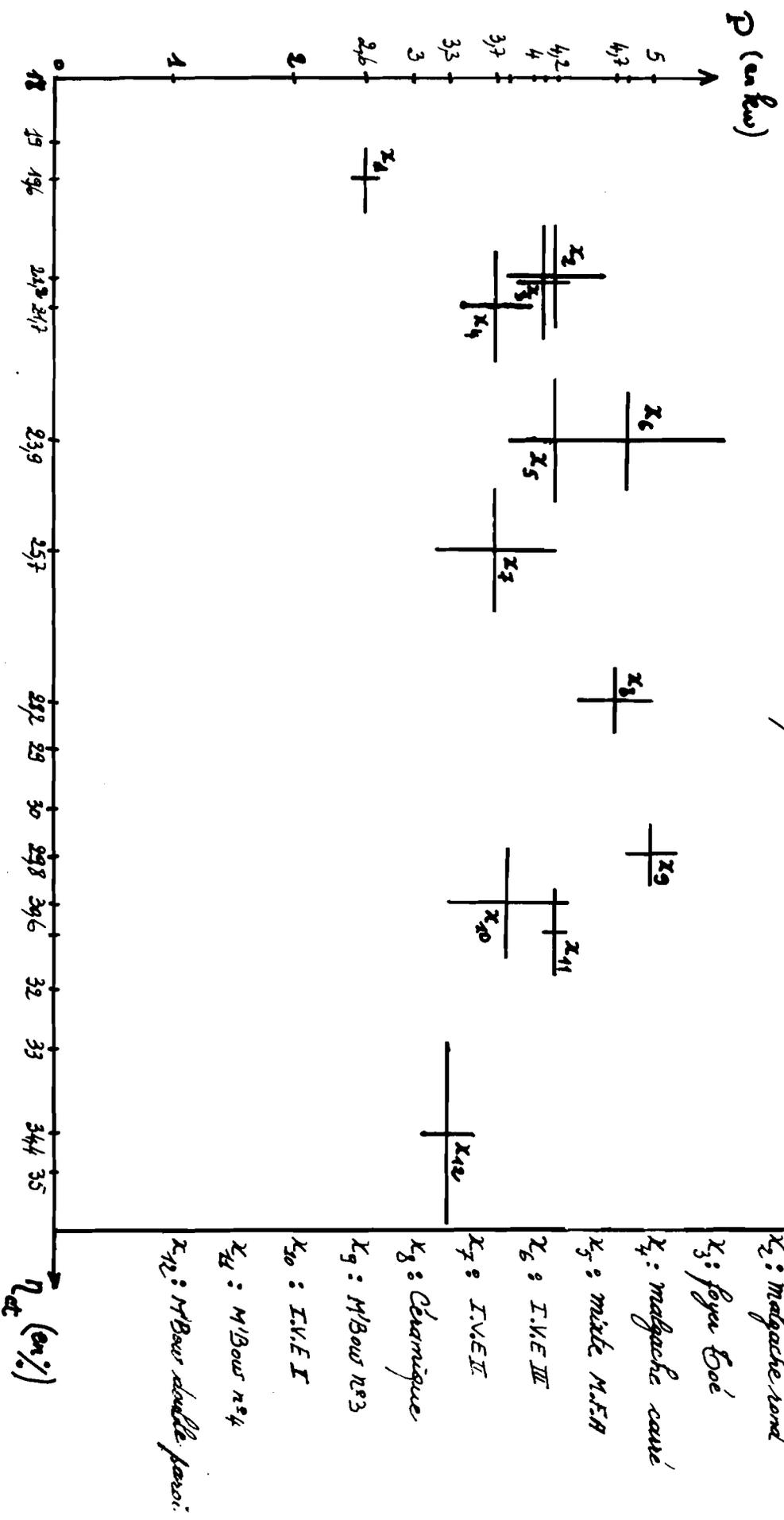
t = durée totale du test (s).

8-3 PRESENTATION DES RESULTATS

Douze modèles de foyers à charbon ont été testés. Le détail des résultats figure en annexe 4. Le tableau suivant récapitule les moyennes, les variances ainsi que les intervalles de confiance à 95 % des rendements thermiques et des puissances.

TYPES DE FOYER A CHARBON	RENDEMENTS THERMIQUES n_{ct} (%)	PUISSANCES MOYENNES (kw)	ECART-TYPES DES n_{ct}	INTERVALLE DE CONFIANCE DES n_{ct} A 95 %	INTERVALLE DE CONFIANCE DES P A 95 %
Jiko kenyan	19,6	2,6	0,55	19,1 - 20,1	2,5 - 2,7
Malgache rond	21,2	4,2	0,95	20,4 - 22,0	3,8 - 4,6
Toé	21,3	4,1	1,04	20,4 - 22,2	3,9 - 4,3
Malgache carré	21,7	3,7	1,02	20,8 - 22,6	3,4 - 4,0
Foyer mixte M.F.A.	23,9	4,2	1,15	20,9 - 24,9	3,8 - 4,6
Foyer I.V.E. III	23,9	4,8	0,86	23,1 - 21,7	4,0 - 5,6
Foyer I.V.E. II	25,7	3,7	1,13	24,7 - 26,7	3,2 - 4,2
Foyer céramique CI/SS	28,2	4,7	0,58	27,7 - 28,7	4,4 - 5,0
M'Bow paroi unique n° 3	29,8	5,0	0,60	29,3 - 30,3	4,8 - 5,2
Foyer I.V.E. I	30,6	3,8	1,05	29,7 - 31,5	3,3 - 4,3
M'Bow paroi unique n° 4	31,1	4,2	0,80	30,4 - 31,8	4,1 - 4,3
M'Bow double paroi	34,4	3,3	1,76	32,9 - 35,9	3,1 - 3,5

Représentation graphique des rendements et des puissances
 suivant leurs intervalles de confiance à 95%



- x_1 : foyer gites
- x_2 : Magache rond
- x_3 : foyer Boé
- x_4 : magache carré
- x_5 : mixte M.F.H
- x_6 : I.V.E.III
- x_7 : I.V.E.II
- x_8 : Céramique
- x_9 : M'Bois n°3
- x_{10} : I.V.E.I
- x_{11} : M'Bois n°4
- x_{12} : M'Bois double paroi

3-4 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Ce tableau est illustré par la représentation graphique ci-contre. Plus le rendement est élevé et la puissance basse, plus le foyer est performant. Certains foyers sont groupés. L'interprétation statistique permettra d'apprécier les résultats.

3-4-1 Le foyer Jiko

Les rendements de ce foyer sont bas par rapport aux autres. Cette faible performance est due au fait que la marmite ne pénètre pas dans le foyer. Elle est suspendue par les supports au-dessus du charbon. De ce fait, la chaleur s'échappe tout autour de la marmite. C'est la petitesse de la chambre de combustion qui explique le fait que les puissances soient basses.

3-4-2 Les foyers Malgaches (rond et carré)

Les parois de leurs chambres de combustion ne sont pas hautes ; ce qui favorise les pertes de chaleur par les espaces autour de la marmite qui sont en contact direct avec l'atmosphère. Que la forme des parois latérales soit ronde ou carrée, les rendements restent les mêmes en raison de l'insuffisance de leur hauteur. La faiblesse de leurs performances est telle que, même si le rendement de la carbonisation est amélioré, l'utilisation du charbon dans ces fourneaux occasionne plus de pertes d'énergie que le bois directement brûlé dans un foyer traditionnel ouvert à 3 pierres. (cf tableau page 116).

3-4-3 Le foyer Toé

Deux anomalies principales expliquent la faiblesse des rendements de ce foyer :

- le défaut d'air dû au nombre insuffisant de trous de la grille ;
- les supports de la marmite empêchent celle-ci de rester en contact avec les braises au fur et à mesure que le niveau du charbon baisse dans la chambre de combustion.

Le constructeur de ce foyer a prévu qu'il puisse fonctionner aussi au bois. Cependant, la distance entre la marmite et le bois est très élevée ; si bien que sa performance est également faible avec ce combustible.

8-4-4 Les foyers cylindriques métalliques : mixte MFA, IVEIII, IVEII

Leurs matériaux de construction (tôle de 8/10e) échangent beaucoup de chaleur avec l'extérieur. De plus, leurs chambres de combustion, de forme cylindrique, sont très larges ; d'où des puissances élevées. Néanmoins, ils sont plus performants que les foyers "malgaches" car leurs parois sont hautes et enveloppent bien les marmites. Le foyer IVE II est meilleur aux deux autres parce que dans son cas la distance (paroi du foyer - marmite) est très réduite. Mais, ceci est un handicap car la marmite coince le foyer. En conséquence, elle est difficile à introduire ou à retirer du foyer.

8-4-5 Le foyer céramique CT,SS

C'est un foyer à bois. Mais, sa forme évasée au-dessus permet son utilisation au charbon, si on y place une seconde grille. Nous avons remarqué que des ménagères l'utilisent de cette façon. Sa performance est meilleure à celle des foyers sus-cités. Ceci est dû au fait que l'argile cuite dissipe moins la chaleur que le métal. Mais, la hauteur de ses parois est insuffisante pour procurer plus d'économie d'énergie.

8-4-6 Le foyer I.V.E. I

C'est un foyer cylindrique et métallique mais, sa grille et ses parois latérales sont enduites de banco. Ce facteur a augmenté son rendement d'une façon très nette. L'influence du banco s'exprime surtout au niveau de la grille,

8-4-7 Les foyers M'Dow

Nous avons testé trois foyers M'Dow différents :

- un foyer à paroi unique avec marmite n° 3
- un foyer à paroi unique avec marmite n° 4
- un foyer à double paroi avec marmite n° 4.

Les résultats des tests traduisent :

- 1°) l'importance de la forme tronconique de leurs chambres de combustion
- 2°) l'effet isolateur de la double paroi.

Ils procurent avec le foyer IVE I, les meilleurs rendements thermiques. Des améliorations sont possibles. Nos tentatives ont fourni les résultats que nous éluciderons dans le chapitre suivant. Une meilleure stabilisation de ces foyers est possible pour les adapter à la préparation du tô ; ce qui serait un grand avantage.

3-5 INTERPRETATIONS STATISTIQUES : Comparaison des moyennes selon la méthode de Tukey - Hartley

soit x : les rendements thermiques moyens des foyers suivants :

- x_1 : foyer Jiko
- x_2 : foyer malgache rond
- x_3 : foyer Toé
- x_4 : foyer malgache carré
- x_5 : foyer mixte H.F.A.
- x_6 : foyer I.V.E. III
- x_7 : foyer I.V.E. II
- x_8 : foyer céramique
- x_9 : foyer H'Dow n° 3
- x_{10} : foyer I.V.E. I
- x_{11} : foyer H'Dow n° 4
- x_{12} : foyer H'Dow double paroi sans isolant.

La classification des 12 foyers par ordre de rendement thermique croissant donne :

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}$.

a) Test d'homogénéité des variances

$$H = S_{\max} / S_{\min} = \frac{3,11}{0,30} = 10,4$$

sur la table du H avec (p,k) = (12,4) on lit

$$H_{0,95} = 51,4$$

puisque $H < H_{0,95}$, on admet l'homogénéité des variances et on fait alors, le test de comparaison de Tukey - Hartley.

b) Test de comparaison

Calcul des valeurs intermédiaires

$$\text{moyenne totale} = \bar{\bar{x}}_t = 25,96$$

$$\text{variance totale} = S_x^2 = 22,1$$

$$\sum n_{ct} = T = 1.557,4$$

$$T^2/N = 40.424,91$$

$$\sum n_{ct}^2 = 41.720,46$$

$$T_i^2/n_i = 41.679,6$$

...

Tableau d'analyse des variances

VARIATION	SCE	d.d.l.	VARIANCES
Totale	1.303,55	59	22,1
Entre les groupes	1.254,66	11	114,1
Résiduelle	48,89	48	1,02

$S_x^2 = ER / R$ où R = nombre de répétitions et ER = écart type résiduel

= 1,02 / 5 = 0,204

DIAGONALE N°	k	$Q_{0,95}$ pour (k,v = 48)	$Q_{0,95} \times S_x^2$
1	11	4,85	2,13
2	11	4,76	2,14
3	10	4,65	2,09
4	9	4,53	2,06
5	8	4,44	2,00
6	7	4,31	1,94
7	6	4,16	1,87
8	5	3,93	1,79
9	4	3,74	1,68
10	3	3,40	1,53
11	2	2,83	1,27

L'analyse du tableau donne les regroupements suivants :

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
	-----			-----				-----			
	groupe 1			groupe 2				groupe 3			

Ceci signifie que :

- les foyers malgaches rond (x_2) et carré (x_4) et le foyer Toé (x_3) sont équivalents entre eux (groupe 1)
- les foyers mixte MFA (x_5) et IVE III (x_6) sont équivalents entre eux (groupe 2)
- les foyers M'Dow n° 3 (x_9), IVE I (x_{10}) et M'Dow n° 4 (x_{11}) sont équivalents entre eux (groupe 3)
- le foyer **Diko** (x_1) est pire que tous les autres foyers
- le foyer M'Dow à double paroi (x_{12}) est meilleur à tous les autres
- le groupe 2 est meilleur au groupe 1
- le foyer IVE II (x_7) est meilleur au groupe 2
- le foyer céramique (x_8) est meilleur au foyer IVE II
- le groupe 3 est meilleur au foyer céramique.

CHAPITRE IX ETUDE DE QUELQUES ELEMENTS DES FOYERS A CHARBON

Lors des essais l'évaluation des foyers à charbon, nous avons pu noter l'importance des influences que certains paramètres de construction exercent sur leurs performances. Trois facteurs sont plus déterminants :

- l'apport d'air dans la combustion
- le nombre de trous de la grille et le matériau dont il est construit
- la forme de la chambre de combustion et son isolation thermique.

9-1 L'APPORT D'AIR

L'air est admis dans la chambre de combustion par la porte du foyer puis par les trous de la grille : c'est l'air primaire. La quantité optimale d'air nécessaire est fonction de la puissance du foyer et du pouvoir calorifique du charbon. Un certain excès d'air doit être prévu pour un bon fonctionnement du foyer.

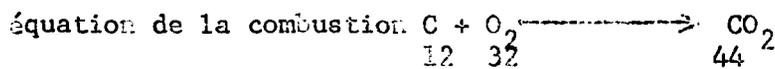
Calcul théorique de la quantité d'air primaire nécessaire.

Pour ce calcul, certaines estimations sont faites sur la base des valeurs moyennes observées couramment.

a) Hypothèses

- le pouvoir calorifique moyen du charbon de bois est pris égal à 29.000 kJ/kg
- la puissance du foyer : 3,5 kw < P < 4,5 kw
- le coefficient d'excès d'air : 1,5 < λ < 2

b) Calculs



besoin d'oxygène : $\frac{32}{12} \times \frac{P}{P_c}$ (en kg/s)

besoins d'oxygène : $B_o = \frac{1}{12} \times 22,4 \times \frac{P}{P_c} \times \frac{T_1 + 273}{273}$ (en m³/s)

avec T₁ = température de l'air entrant dans le lit de charbon (en °C)

besoins d'air : $B_A = B_o \times \frac{100}{21}$ (en m³/s)

La vitesse de l'air est donnée par :

$$v_A = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P_c \cdot h}{\rho}} = \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\rho_{T_1} - \rho_{T_2}}{\rho_{T_1}} \times h} = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times T_2 - T_1 \times h}{273 + T_2}}$$

...

où T_2 = température de l'air sortant du lit de charbon (en °C)

h = hauteur du lit de charbon (en m)

ρ_T = densité de l'air à la température $T = \rho_0 \frac{273}{273 + T}$

g = gravité (en m/s^2)

soit A , la surface totale des trous de la grille $A = \xi \cdot \frac{D_A}{v_A}$ (en m^2)

$$A = \xi \cdot P \frac{\left(\frac{300}{21}\right) \left(\frac{22,4}{12}\right) \left(\frac{273 + T_1}{273}\right) \left(\frac{1}{29000}\right)}{\sqrt{2 \times 9,81 \times \frac{(T_2 - T_1)}{273 + T_2} \times h}} \quad (\text{en } m^2)$$

Considérons que $T_1 = 50^\circ C$ et

choisissons une hypothèse basse et une hypothèse haute pour T_2 et h

$$\text{1er cas} = \begin{cases} T_2 = 250^\circ C \\ h = 0,03 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow A = \xi \cdot P \times 4,68 \cdot 10^{-4} \quad (\text{en } m^2)$$

$$\text{2ème cas} = \begin{cases} T_2 = 450^\circ C \\ h = 0,04 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow A = \xi \cdot P \times 5,5 \cdot 10^{-4} \quad (\text{en } m^2)$$

La surface totale minimale correspond à $\xi = 1,5$ et $P = 3,5 \text{ kw}$ pour

$$A = \xi \cdot P \times 4,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2. \text{ Elle est égale à : } A_{\min} = 1,5 \times 3,5 \times 4,68 \cdot 10^{-4} \\ = 24,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \text{soit } 25 \text{ cm}^2$$

La surface totale maximale correspond à $\xi = 2$ et $P = 4,5 \text{ kw}$ pour

$A = \xi \times P \times 5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Elle est égale à :

$$A_{\max} = 2 \times 4,5 \times 5,5 \times 10^{-4} = 49,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ soit } 50 \text{ cm}^2.$$

La surface totale des trous de la grille doit donc être comprise entre 25 et 50 cm^2 . Ainsi, si un perce des trous de 1 cm de diamètre, ce qui équivaut à 0,79 cm^2 par trou, leur nombre devrait se situer entre 32 et 64. Mais il faudrait que la porte du foyer soit suffisamment large pour permettre à l'air d'entrer sous la grille avant d'accéder à la chambre de combustion.

On peut optimiser l'apport d'air en jouant :

- soit sur les dimensions de la porte. Dans ce cas, la surface totale des

trous de la grille doit être maximale

- soit sur le nombre de trous de la grille. Il faudrait alors que la porte soit suffisamment large pour ne pas bloquer l'entrée d'air sous la grille.

Les essais entrepris dans ce cadre se poursuivent toujours.

9-2 L'EFFET DU BANCO SUR LA GRILLE

Le charbon de bois brûle préférentiellement de bas en haut. Pour cette raison, une partie importante de la chaleur qu'il fournit est rayonnée sous la grille. Il en résulte des pertes variables selon le matériau de construction de la grille. Pour apprécier cela, nous avons effectué des essais de comparaison entre une grille métallique et une autre en banco de 2 cm d'épaisseur percée du même nombre de trous. 2 foyers différents ont été testés de cette façon. Les résultats des tests sont consignés en annexe page et Le tableau ci-après récapitule les moyennes.

FOYERS	M'DOW DOUBLE PAROI ISOLANT = MOUSSE DE POLYURÉTHANE		I.V.E. III	
	grilles : grille métallique	grille en banco	grille : métallique	grille : en banco
\bar{n}_{ct} (%)	38,0	41,2	23,9	29,0
\bar{P} (kw)	4,2	3,1	4,8	4,1

Dans les 2 cas, la grille en banco améliore le rendement thermique. Le banco conserve plus la chaleur à l'intérieur de la chambre de combustion. Mais, les grilles en banco se cassent facilement. Nous envisageons la substitution de l'argile cuite au banco.

9-3 LA CHAMBRE DE COMBUSTION

De part sa forme et son état d'isolation, la chambre de combustion peut jouer un rôle important.

9-3-1 La forme de la chambre de combustion

Les foyer IVE III Et M'Dow n° 3 d'une part, et les foyers IVE I et M'Dow à double paroi avec la terre comme isolant d'autre part, ne diffèrent

que par les formes de leur chambre de combustion. En effet :

- pour les foyers IVE III et IVE I, la forme est cylindrique
- pour les foyers M'Dow n° 3 et M'Dow à double paroi, la forme est tronconique

Les essais effectués sur ces foyers donnent les résultats dont les moyennes figurent dans le tableau suivant :

FORME DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION	CYLINDRIQUE		TRONCONIQUE	
Type de foyers	IVE III	IVE I	M'Dow n° 3	M'Dow double paroi
\bar{q}_{ct} (en %)	23,9	30,6	29,8	36,3
\bar{P} (en kw)	4,8	3,8	5,0	4,1

On observe que le foyer M'Dow n° 3 est meilleur au foyer IVE III et que le foyer M'Dow à double paroi est meilleur au foyer IVE I. La forme tronconique confère donc une amélioration des performances par rapport à la forme cylindrique.

Ceci s'explique surtout par le fait que la forme tronconique suit assez étroitement les formes de nos marmites. Pour cela, tout le charbon brûle en dessous de la marmite. Celle-ci bénéficie alors du maximum de transfert de chaleur.

Par contre, lorsque la forme est cylindrique, les braises qui brûlent à la périphérie de la grille échangent une grande partie de leur chaleur avec l'atmosphère dans l'espace laissé entre la marmite et les parois latérales du foyer. De ce fait, la performance diminue.

9-3-2 Influences de l'isolation sur la performance du foyer M'Dow à double paroi

Trois isolants thermiques différents ont été insérés tour à tour entre les parois de ce foyer : la terre séchée, la sciure de bois et la mousse de polyuréthane. Le tableau suivant récapitule les moyennes des résultats dont les détails se trouvent en annexe 4.

NATURE DE L'ISOLANT	SANS ISOLANT (AIR)	TERRE	SCIURE DE BOIS	MOUSSE DE POLYURETHANE	MOUSSE DE POLYURETHANE AVEC BANCO SUR LA GRILLE
\bar{n}_{ct} (en %)	34,4	36,3	39,3	38,0	41,2
\bar{P} (en kw)	3,3	4,1	3,7	4,2	3,1

Ces matériaux utilisés comme isolants améliorent tous le rendement thermique. La sciure de bois est meilleure aux autres mais, soumise aux fortes températures de la combustion du charbon, elle fond progressivement et perd son efficacité initiale. La mousse de polyuréthane a été utilisée comme référence car sa conductibilité est connue ($0,025 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$). Ces isolants diminuent les pertes de chaleur par échange entre les parois latérales métalliques et l'atmosphère. On constate que cette amélioration des rendements est bien plus significative quand on isole la grille en plus, en l'enduisant de banco par exemple.

CONCLUSION

Nous percevons que les possibilités d'amélioration des foyers à charbon sont grandes. Mais, le fait que ces foyers ne soient pas suffisamment stables pour permettre la préparation du tôle est un handicap fondamental qui les rend inadaptés aux conditions locales. Il faudrait donc trouver un système de stabilisation pour ces foyers. Or, si on augmente leur commodité d'utilisation, on risque d'accroître rapidement la demande en charbon de bois. Ceci encouragerait les charbonniers traditionnels à déboiser anarchiquement pour augmenter l'offre. Nous pensons donc que des mesures d'accompagnement doivent être prises dans le cadre global de la planification des ressources forestières.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude, plusieurs remarques et conclusions peuvent être faites, tant par rapport à la recherche d'une amélioration des foyers à bois et à charbon, que sur l'état de leur vulgarisation.

Du point de vue de la vulgarisation, nous constatons que des progrès importants ont été réalisés dans le domaine de la mise en place de structures régionales plus cohérentes. Toutefois, de nouvelles unités provinciales doivent être créées pour permettre d'étendre les activités à toutes les régions. Ces structures permettront l'épanouissement des programmes d'information, de formation, de sensibilisation, de construction et de suivi.

Nous avons énuméré les principales contraintes techniques. Des tentatives ont été menées ensuite pour leur trouver des solutions. Des conclusions partielles ont été établies sur certains points, montrant ainsi les possibilités d'augmenter davantage les rendements thermiques des F.A. Les insuffisances qui ont été relevées mettent en exergue la nécessité de poursuivre les travaux d'optimisation. Les nouvelles initiatives développées sur les foyers à bois et la résistance des matériaux doivent également être poursuivies.

Dans la deuxième partie, nous avons souligné la nécessité d'intégrer la carbonisation à l'exploitation forestière. L'évaluation des performances des foyers à charbon, nous a permis de mieux situer les avantages et les inconvénients de la carbonisation. Sur ce point, nous recommandons :

- qu'une étude exhaustive sur les méthodes traditionnelles de carbonisation soit faite en vue de leur amélioration, car le rendement de la carbonisation est un facteur très limitant pour l'économie d'énergie ;
- que la vulgarisation des modèles performants de foyers à charbon soit entreprise dans les centres urbains où la demande de ce combustible est plus importante. Des foyers mixtes à bois et à charbon permettront de réduire les coûts et de faciliter la vulgarisation. Des travaux se poursuivent dans ce cadre. Toutefois, nous pensons qu'il ne faut pas encourager la production du charbon de bois, dans le contexte actuel en Haute-volta, car l'introduction de meilleures techniques de carbonisation peut s'avérer très difficile.

II - 2 NNEXE 1 : LES FICHES DE SUIVI DES TESTS

1-2 FICHE DE SUIVI DES T.C.C. DE TO SUR LES FOYERS A BOIS

TEST DU TO

Données

<u>Sauce</u>		<u>Tô</u>	
- huile	: 100 g	- eau	: 4000 g
- viande	: 450 g	- farine	: 1000 g
- fruits de tomate	: 300 g	- eau de tamarin	: 500 g
- purée de tomate	: 50 g		
-eau	: 2500 g		
- oignons	: 70 g		
- gombo	: 100 g		
- cube maggie, soubala, sel	: 50 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'assiette + fruits de			
tomate	.....	
Poids de l'assiette + purée de			
tomate	.....	
Poids de l'assiette + soubala,			
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

.....

...

I-3 FICHE DE SUIVI DES T.E.E. SUR LES FOYERS A CHARBON DE BOIS

ETUDE EN LABORATOIRE

Essais n° date

Nom de l'enquêteur température ambiante

type de marmite Heure :

type de foyer

Commencement

Poids de la marmite

Poids de la marmite et de l'eau

Poids du charbon

Phase d'ébullition

Heure	Minutes	température de l'eau (°C)	Remarques
.....	0	.....	.....
.....	5	.....	.....
.....	10	.....	.....
.....	11	.....	.....
.....	15	.....	.....
.....	20	.....	.....
.....	25	.....	.....
.....	30	.....	.....

Phase de mijotage

Heure	Minutes	température de l'eau (°C)	Remarques
.....	0	.....	.....
.....	5	.....	.....
.....	10	.....	.....
.....	15	.....	.....
.....	20	.....	.....
.....	25	.....	.....
.....	30	.....	.....
.....	35	.....	.....
.....	40	.....	.....
.....	45	.....	.....
.....	50	.....	.....
.....	55	.....	.....
.....	60	.....	.....

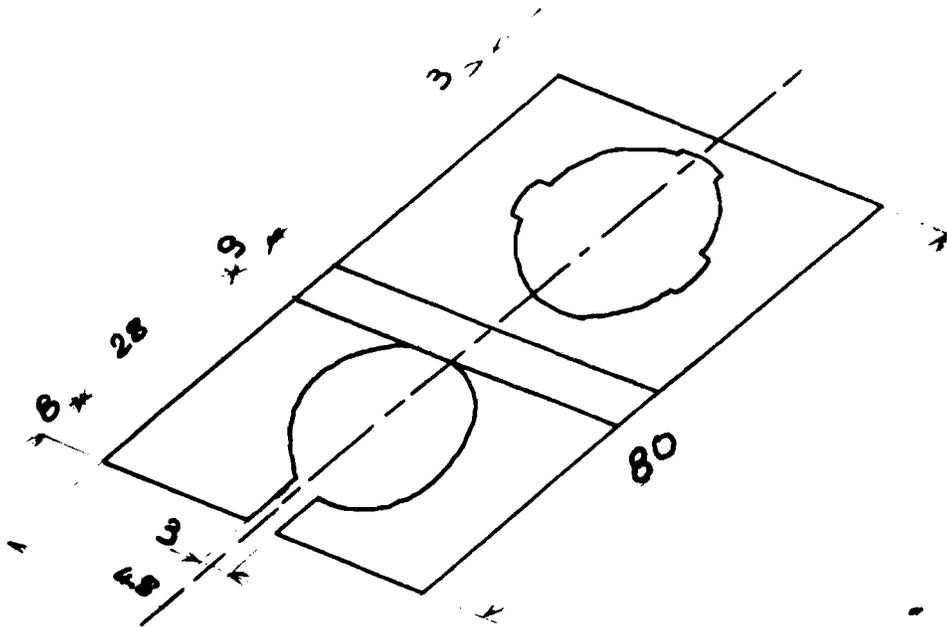
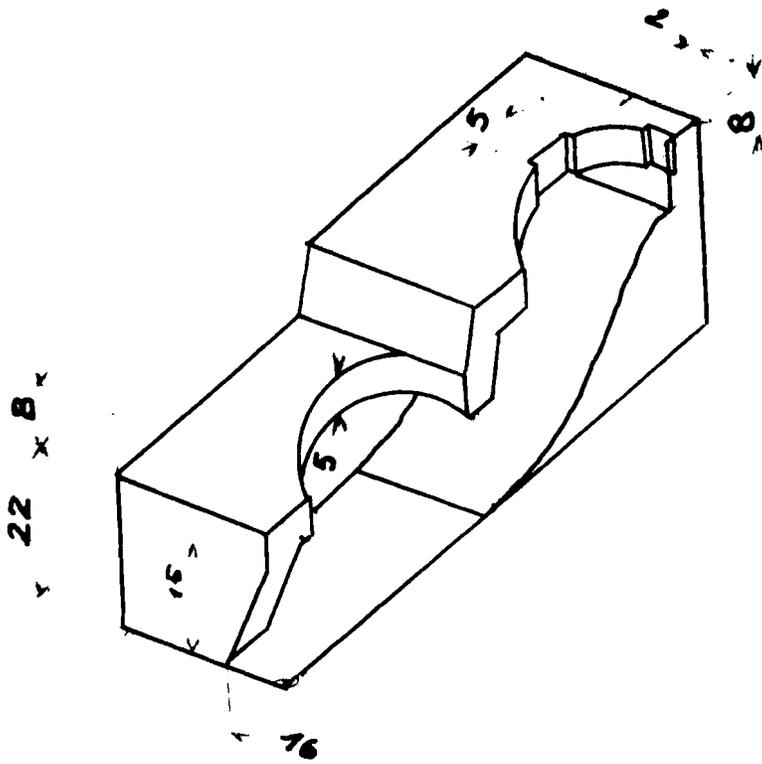
Poids de charbon restant :

Poids des braises restantes :

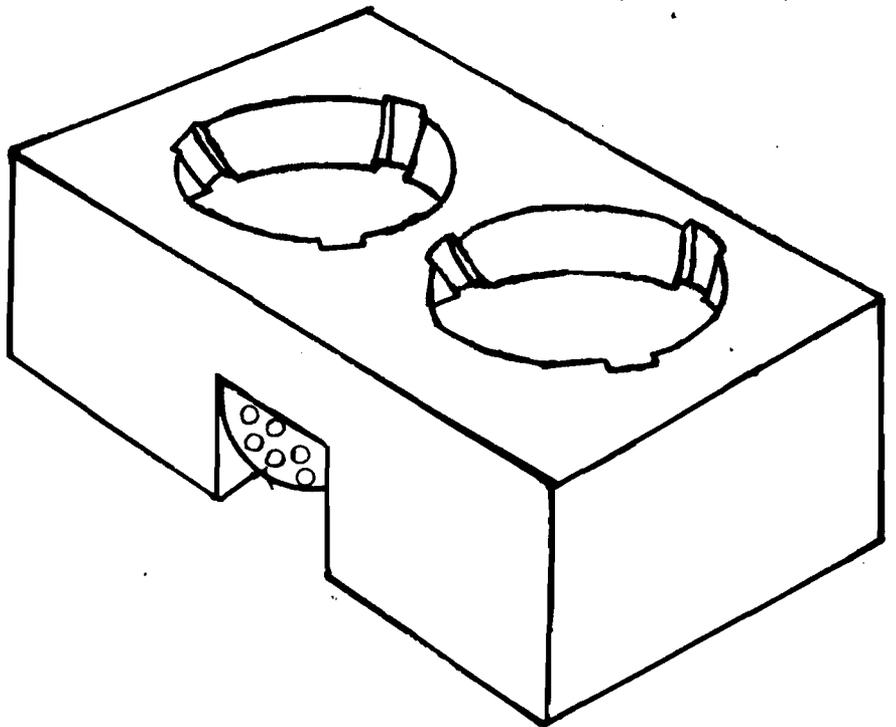
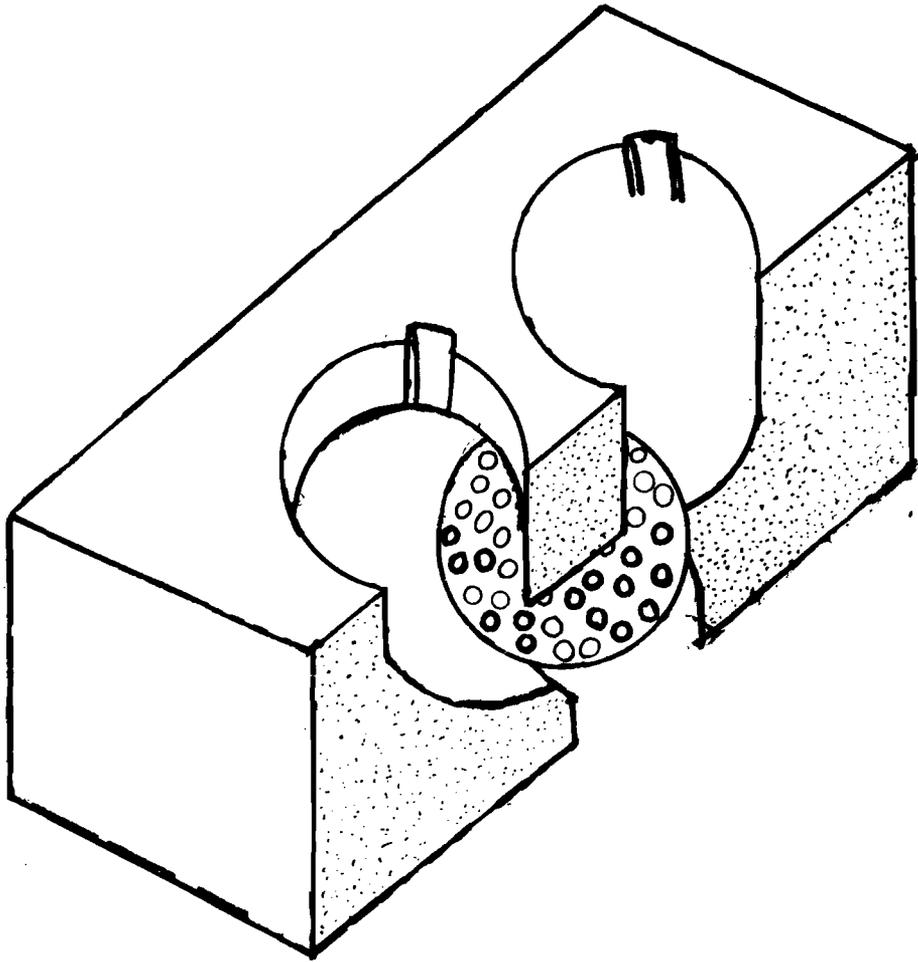
Poids de la marmite et de l'eau :

Remarques générales

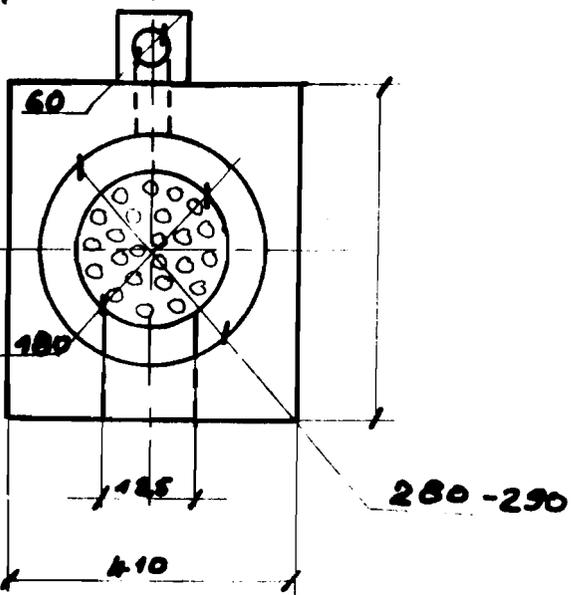
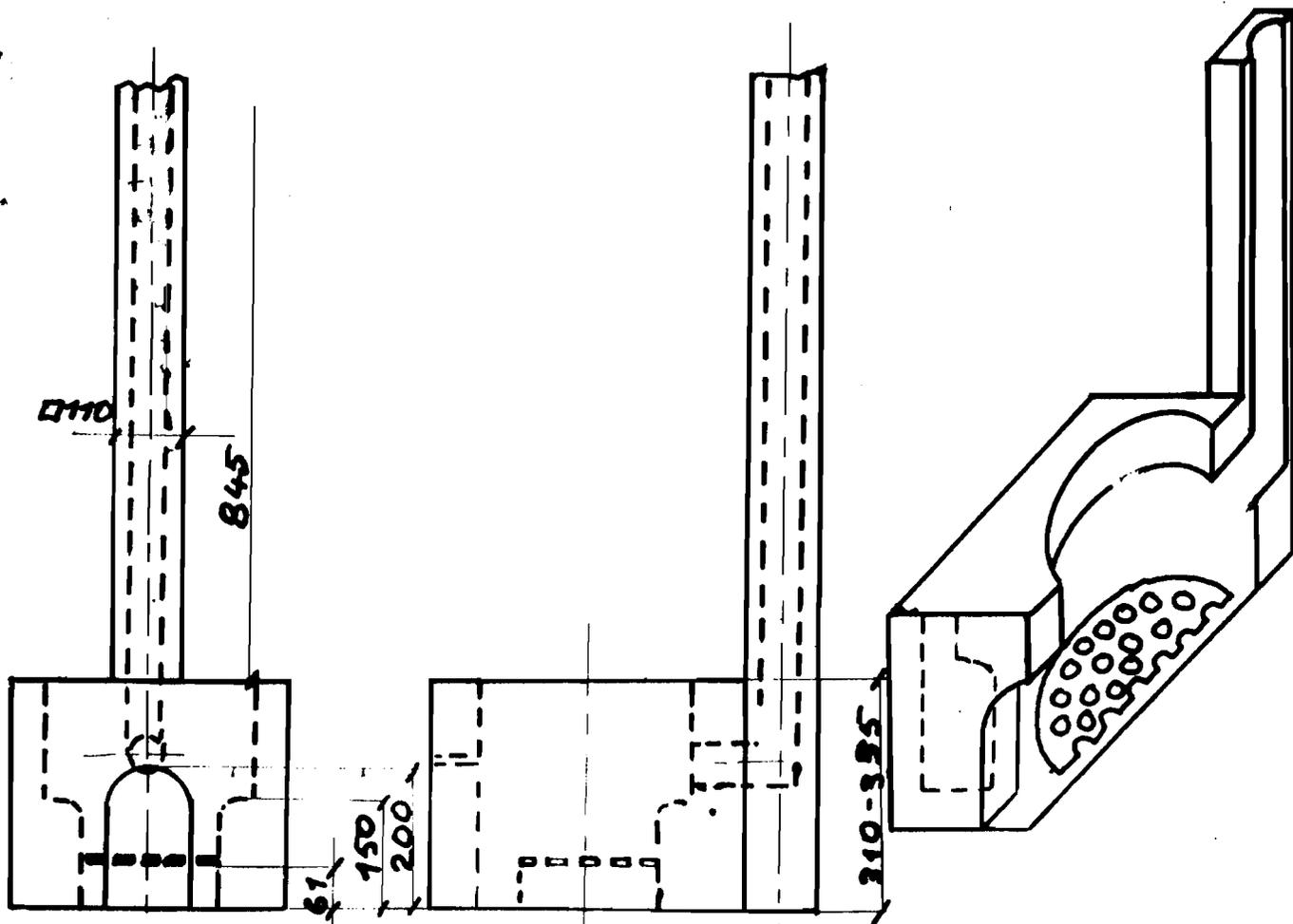
II - 2 NNEXE 2 : PLAIS DES FOYERS A BOIS



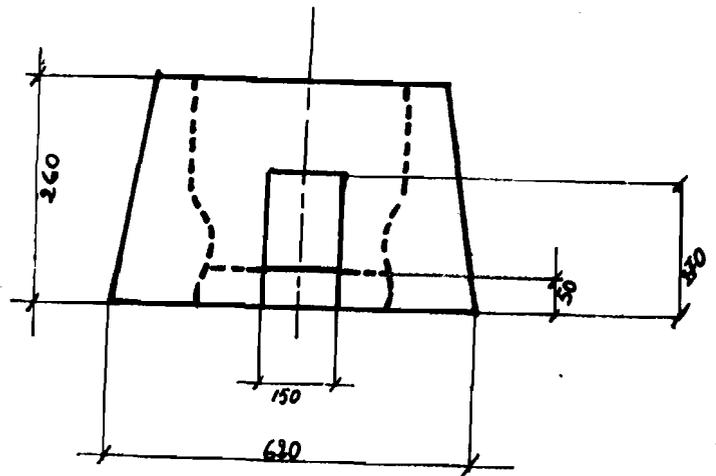
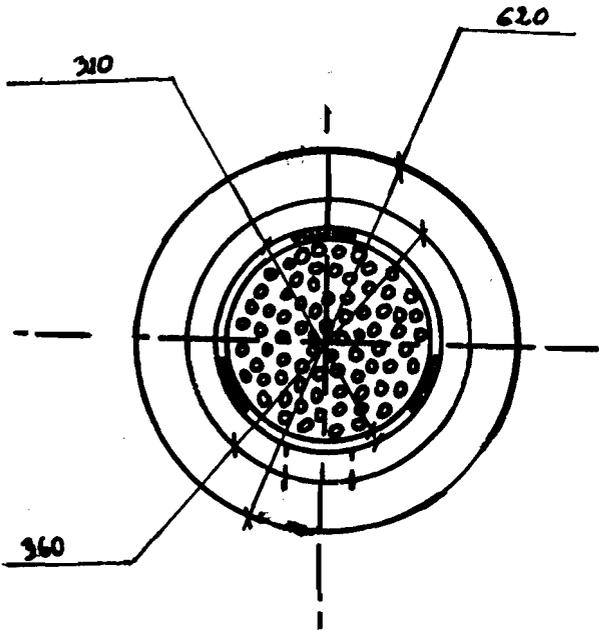
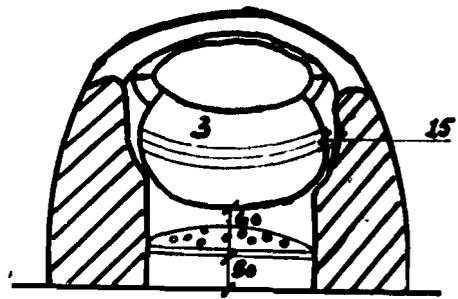
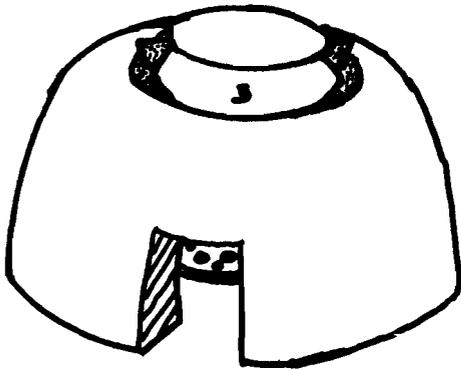
Institut Voltaïque de l'Énergie Ouaga		
Echelle 1:10		
Foyer Banfora 2 trous		Le 6-04-83



INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE		
Echelle 1:8	Ouaga le 24/04/84	GUISSOU Clement
FOYER A 2 TROUS PARALLÈLES		

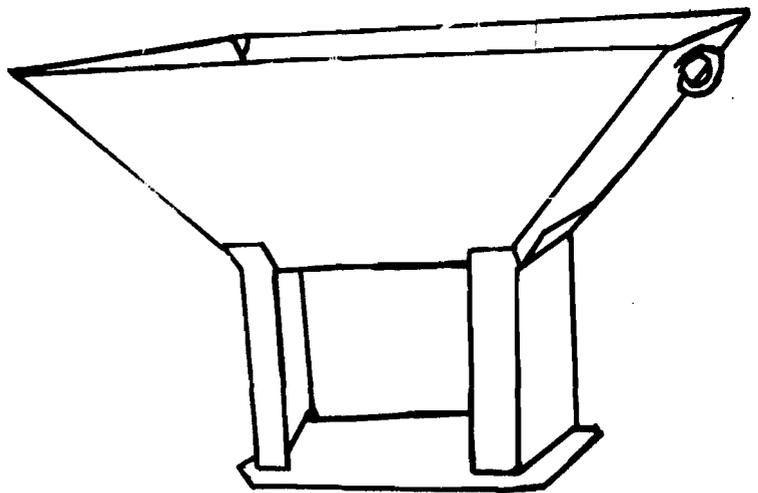
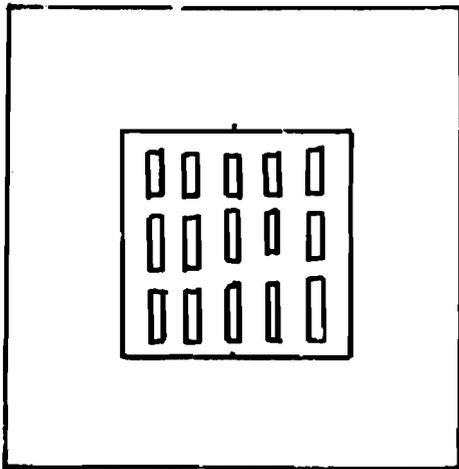
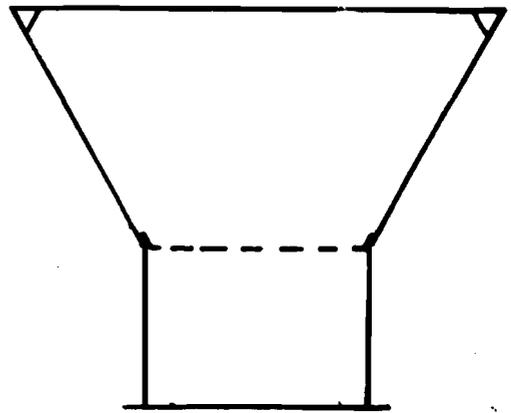
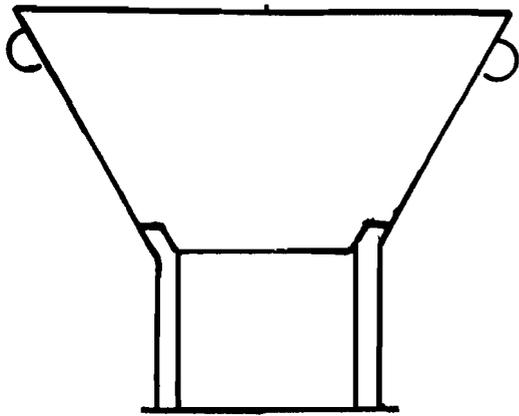


Institut Voltaïque de l'Énergie Ouaga	
Echelle 1/10	O. Philippe
	Le 5-7-83
Foyer I.V.E VII	



INSTITUT VOLTAÏQUE DE L'ÉNERGIE	
OUAGA LE 26/4/1984	ZEBA SOULEYMANE
FOYER "3 PIERRES" AMÉLIORÉ	ECHELLE: 1/40

II - 2 ANNEXE 3 : PLANS DES FOYERS A CHARBON



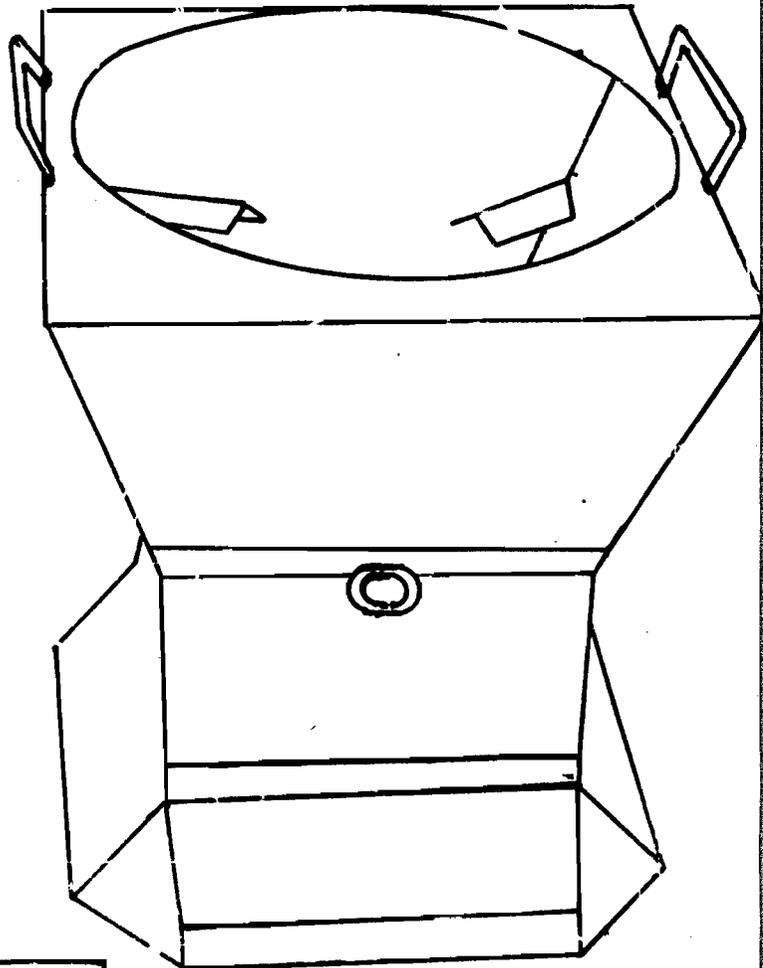
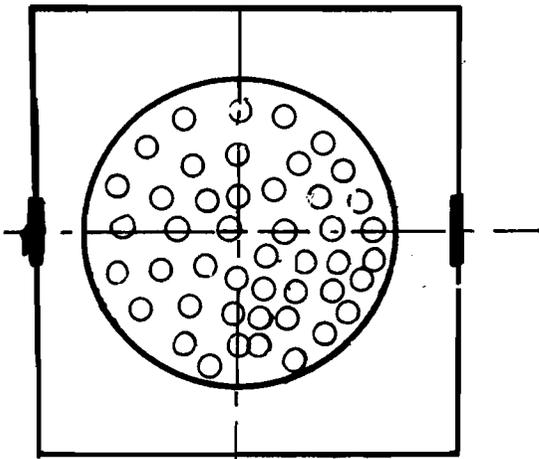
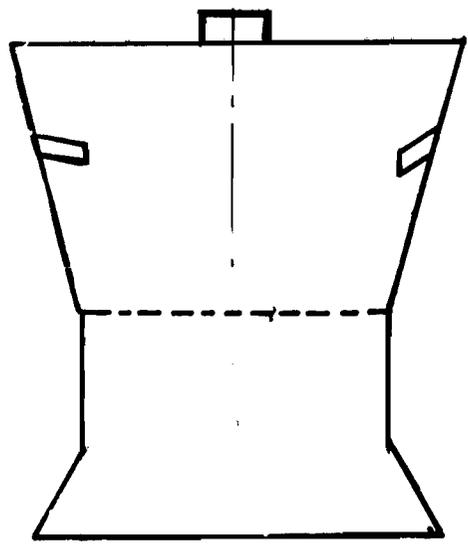
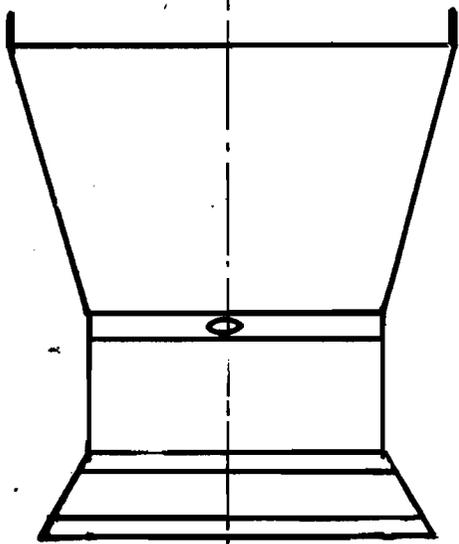
INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

Echelle 1:4

Ouaga le 24/04/84

GUISSOU
Clement

FOYER "MALGACHE" CARRE



INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

Echelle

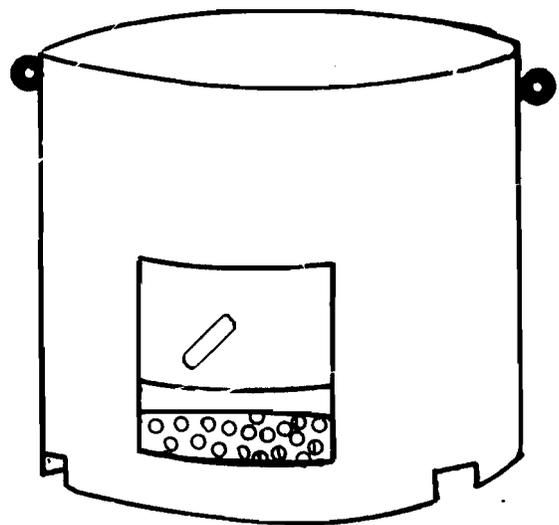
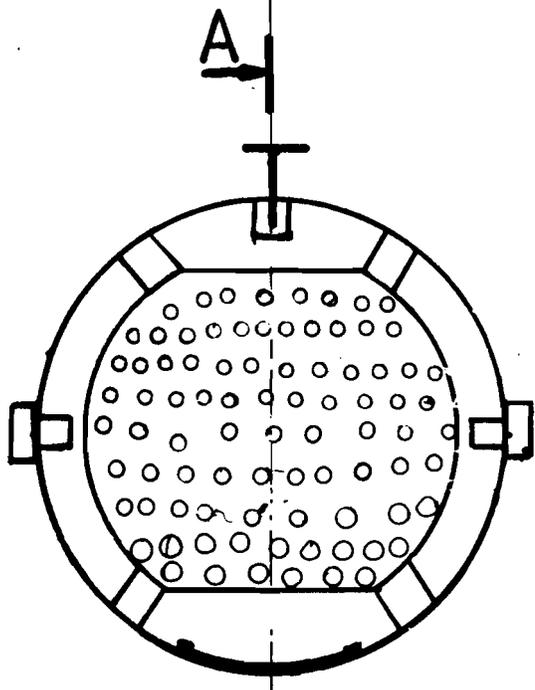
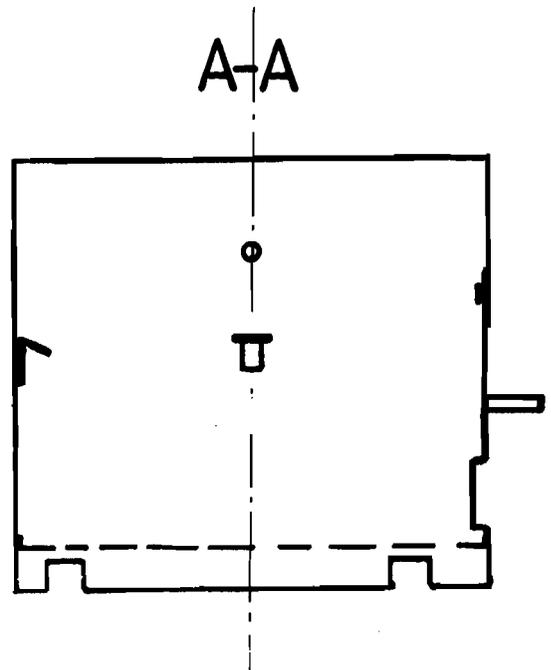
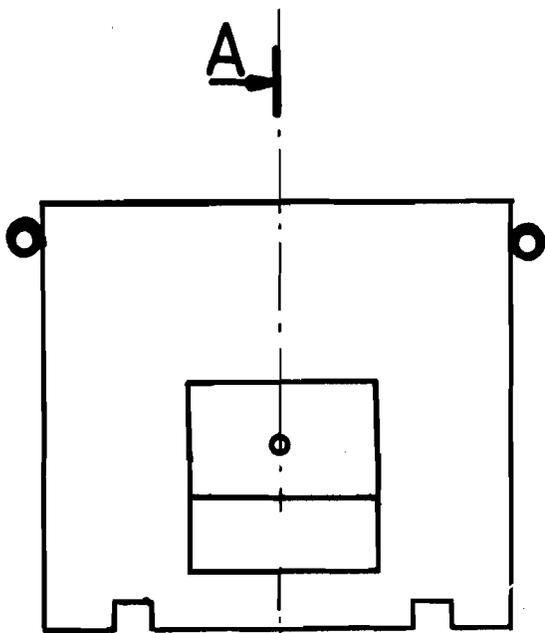
1:6

Ouaga le 24/04/84

GUISSOU

Clement

FOYER TOÉ (F.E.V.O)

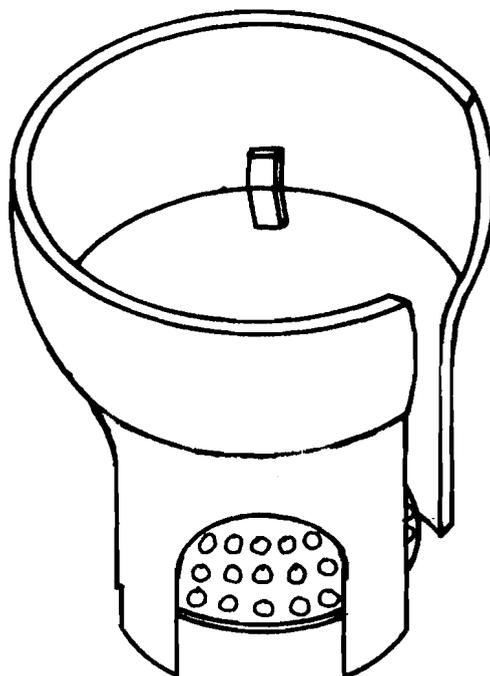
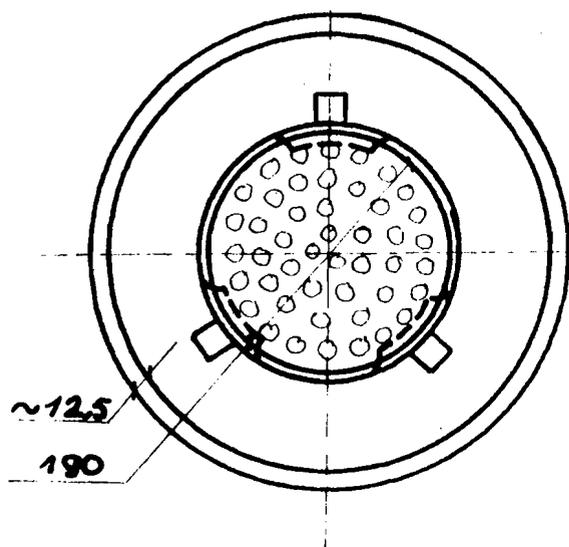
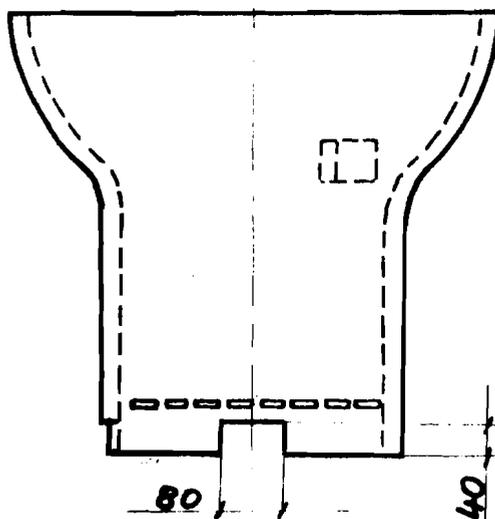
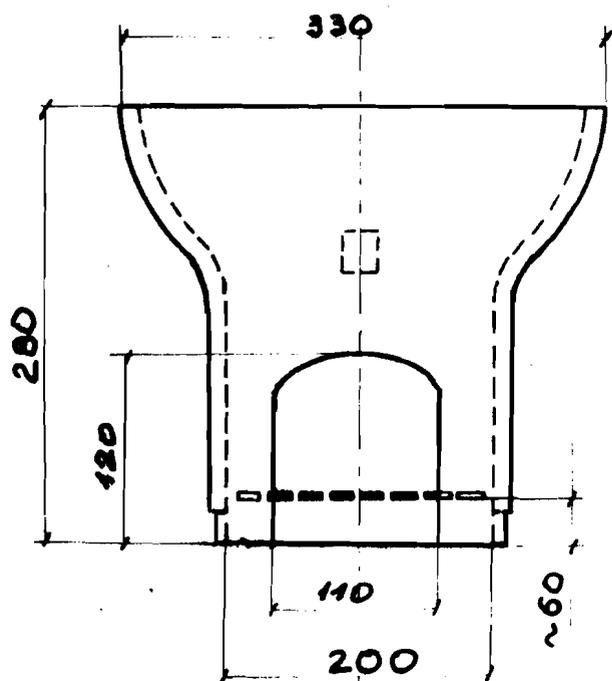


INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

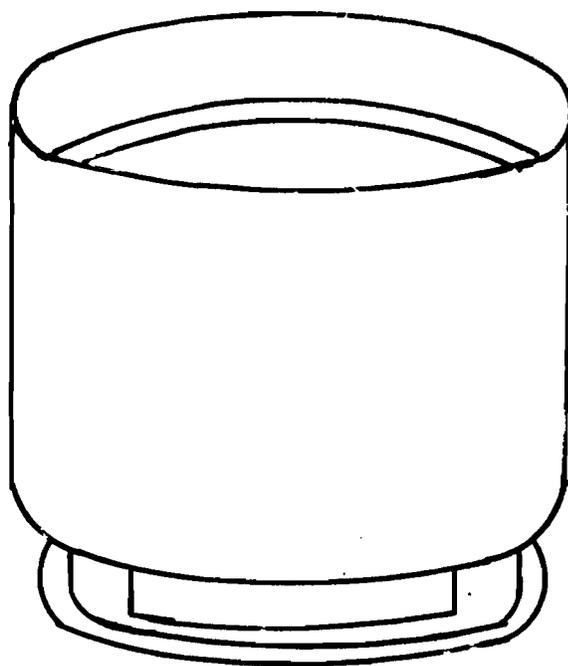
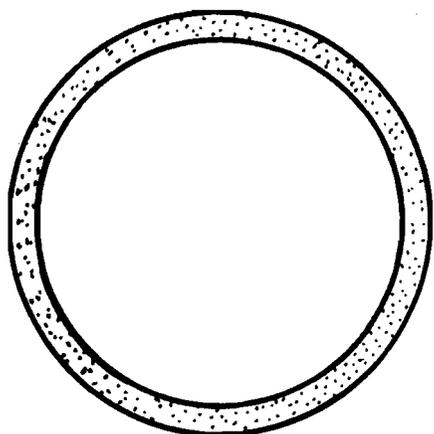
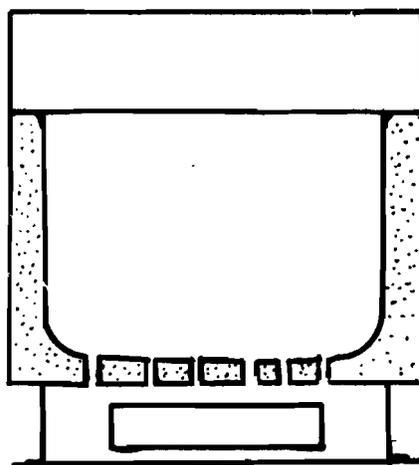
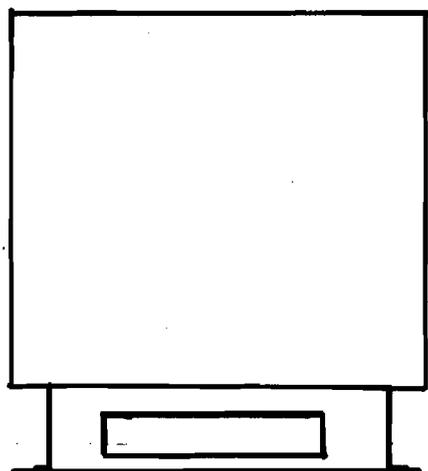
ECHELLE 1:5 Ouagadougou le 24/04/1984

GUISSOU
Clement

FOYER METALLIQUE MIXTE (A BOIS ET A CHARBON)



Institut Voltaïque de l'Énergie Ouaga	
Echelle 1/5	O. Philippe
Foyer céramique	Le 26-10-83



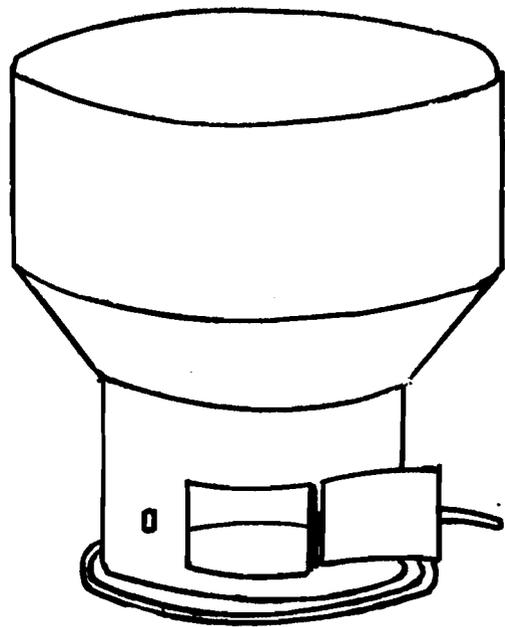
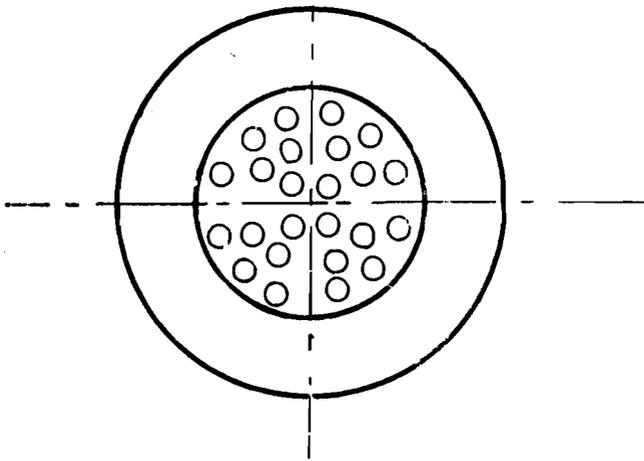
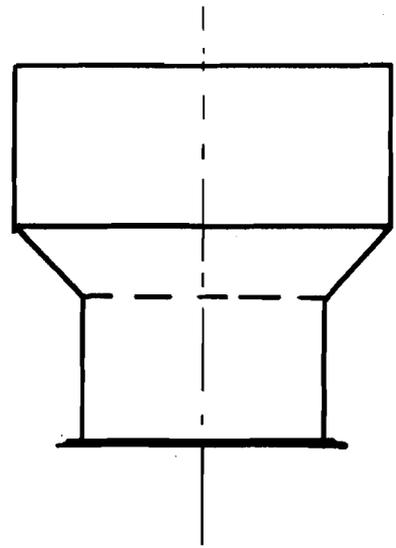
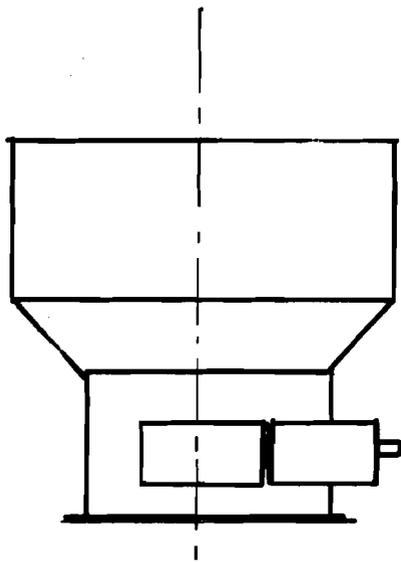
INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

Echelle 1:6

Douga le 24/04/84

GUISSOU
Clement

FOYER I.V.E I



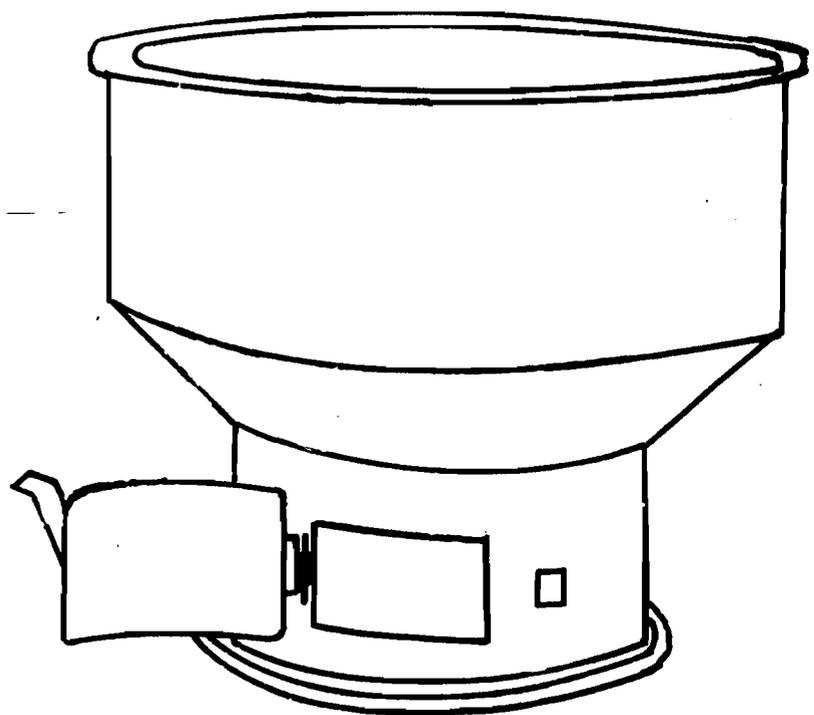
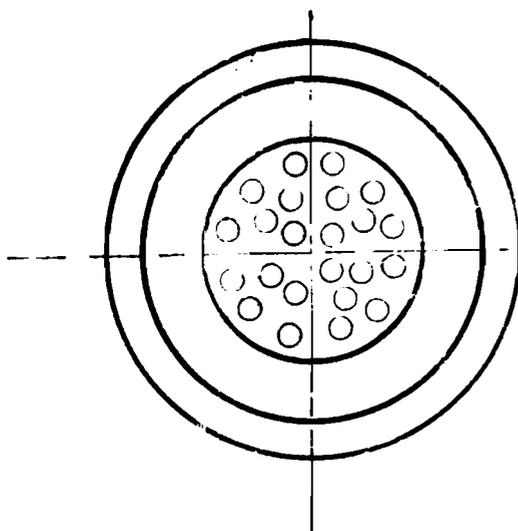
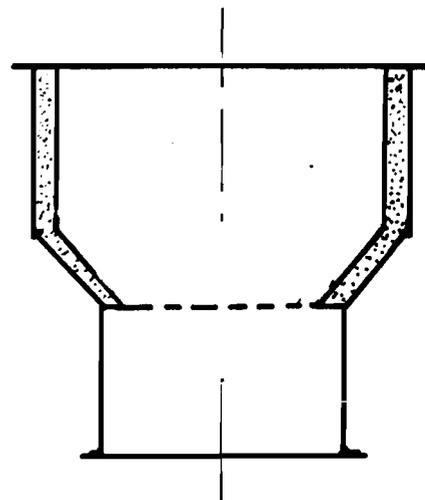
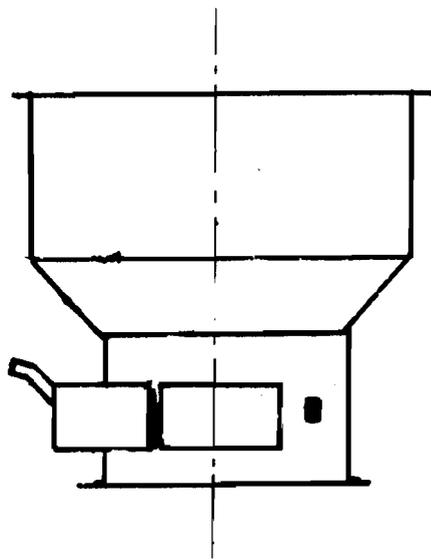
INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

ECHELLE 1:7

OUAGA LE 26/04/84

GUISSOJ
Clément

FOYER MOW A PAROI UNIQUE



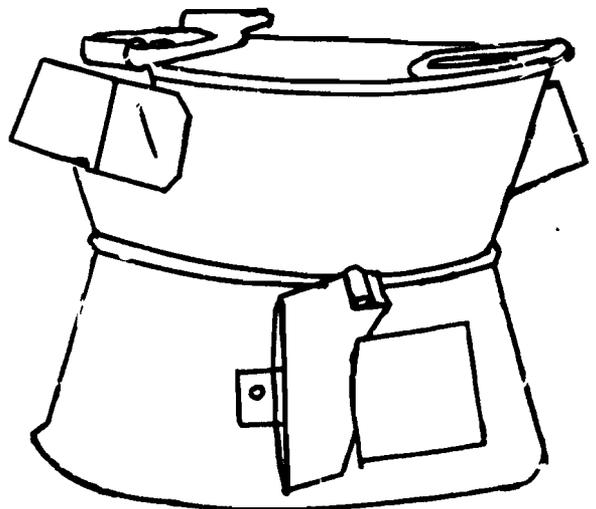
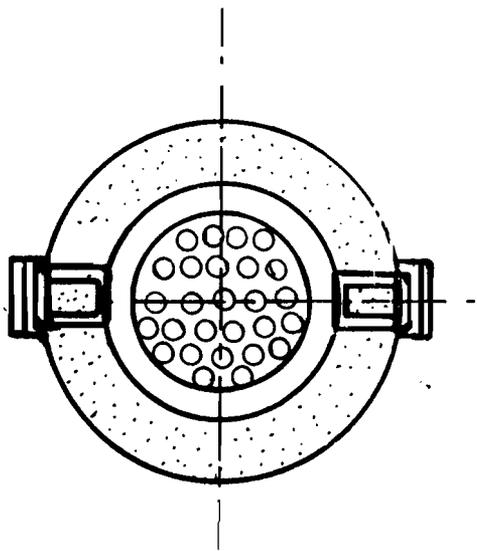
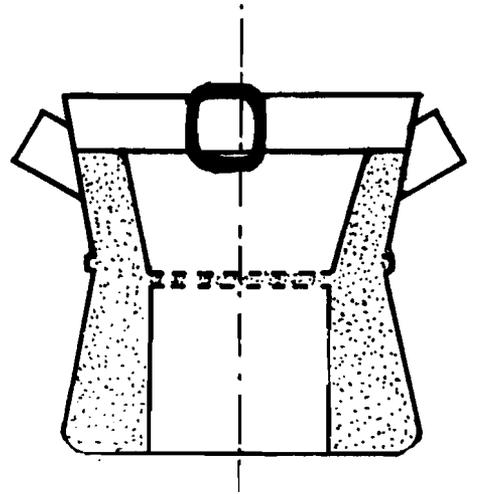
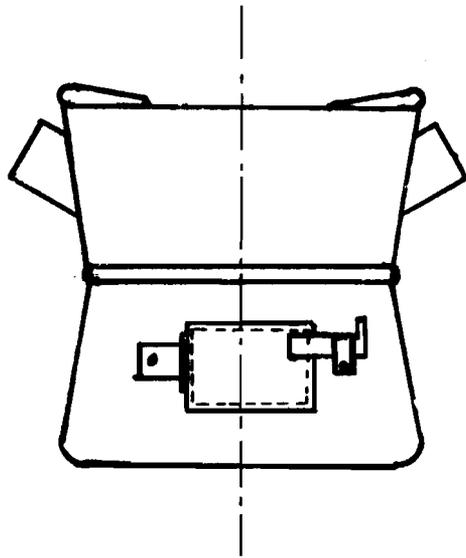
INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

*Echelle 1:7

Ouaga le 24/04/84

G U I S S O U
C l e m e n t

F O Y E R M ' B O W A D O U B L É P A R R O I



INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE

ECHELLE 1:4

Ouaga le 24/04/1984

GUISSOU
Clement

FOYER JIKO

II -) ANNEXE 4 :

TABLEAUX RECAPITULATIFS DES RESULTATS DES TESTS SUR LES FOYERS A CHARBON DE BOIS

FOYER A CHARBON DE BOIS

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER JIKO DU KENYA	N° DE L'ESSAI	329	330	331	333	334	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n _{ct}	19,7	19,4	20,1	18,7	19,9	19,6
	PUISSANCES (kw) P	2,5	2,5	2,5	2,8	2,5	2,6

$s = 0,55$ $s^2 = 0,30$ $Cov = 2,8 \%$ $T^2/n = 1913,0$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER MALGACHE CARRE	N° DE L'ESSAI	335	336	337	338	339	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n _{ct}	23,1	22,4	20,7	21,5	20,9	21,7
	PUISSANCES (kw) P	3,7	3,1	3,9	4,1	3,6	3,7

$s = 1,02$ $s^2 = 1,03$ $Cov = 4,7 \%$ $T^2/n = 2358,8$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER MALGACHE ROND	N° DE L'ESSAI	340	341	342	343	344	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n _{ct}	22,2	21,0	21,2	19,8	22,0	21,2
	PUISSANCES (kw) P	3,5	4,5	4,4	4,5	4,1	4,2

$s = 0,95$ $s^2 = 0,91$ $Cov = 4,5 \%$ $T^2/n = 2255,7$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER TOE	N° DE L'ESSAI	345	346	347	348	349	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	20,6	22,8	20,1	21,7	21,3	21,3
	PUISSANCES (kw) P	4,2	3,9	4,3	4,1	3,9	4,1

$S = 1,04$ $S^2 = 1,09$ $Cov = 4,9 \%$ $T^2/n = 2268,5$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER CERAMIQUE CILSS UTILISE AU CHARBON (GRILLE METALLIQUE)	N° DE L'ESSAI	274	275	276	277	278	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	28,3	28,0	29,1	27,5	28,2	28,2
	PUISSANCES (kw) P	4,6	4,5	4,5	5,2	4,8	4,7

$S = 0,58$ $S^2 = 0,34$ $Cov = 2,1 \%$ $T^2/n = 3981,8$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER M'BOW N° 3 (PAROI UNIQUE)	N° DE L'ESSAI	279	280	281	282	283	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	30,2	29,3	29,2	30,6	29,6	29,8
	PUISSANCES (kw) P	4,8	5,3	4,8	5,3	5,0	5,0

$S = 0,60$ $S^2 = 0,36$ $Cov = 2,0 \%$ $T^2/n = 4434,2$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER M'BOW N° 4 (PAROI UNIQUE)	N° DE L'ESSAI	284	285	286	287	288	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	30,9	31,4	32,0	29,9	31,5	31,1
	PUISSANCES (kw) P	4,1	4,2	4,1	4,3	4,2	4,2

$S = 0,80$ $S^2 = 0,63$ $Cov = 2,6 \%$ $T^2/n = 4848,5$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER M'BOW A DOUBLE PAROI (SANS ISOLANT)	N° DE L'ESSAI	254	255	256	257	258	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	37,3	32,5	34,0	33,9	34,5	34,4
	PUISSANCES (kw) P	3,1	3,0	3,7	3,2	3,3	3,3

$S = 1,76$ $S^2 = 3,11$ $Cov = 5,1 \%$ $T^2/n = 5930,6$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER I.V.E I (PAROIS INTERIEURES ENDUITES DE BANCO)	N° DE L'ESSAI	289	290	291	292	293	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	29,8	29,7	31,5	29,9	31,0	30,6
	PUISSANCES (kw) P	3,8	3,1	4,5	4,2	3,3	3,8

$S = 1,05$ $S^2 = 1,11$ $Cov = 3,4 \%$ $T^2/n = 4669,6$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER MIXTE M.F.A.	N° DE L'ESSAI	309	310	311	312	313	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	24,0	23,7	23,1	22,9	25,8	23,9
	PUISSANCES (kw) p	3,9	4,1	3,8	4,9	4,4	4,2

$$S = 1,15 \quad S^2 = 1,33 \quad Cov = 4,8 \% \quad T^2/n = 2856,1$$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER I.V.E. III	N° DE L'ESSAI	314	315	316	317	318	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	24,0	24,2	24,8	24,2	22,5	23,9
	PUISSANCES (kw) p	5,5	6,1	4,0	4,5	4,0	4,8

$$S = 0,86 \quad S^2 = 0,74 \quad Cov = 3,6 \% \quad T^2/n = 2865,6$$

TYPE ET CARACTERISTIQUES FOYER I.V.E. II	N° DE L'ESSAI	324	325	326	327	328	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	25,1	27,3	26,3	24,4	25,3	25,7
	PUISSANCES (kw) p	3,7	4,3	3,0	3,3	4,1	3,7

$$S = 1,13 \quad S^2 = 1,28 \quad Cov = 4,4 \% \quad T^2/n = 3297,3$$

...

	:	N° DE L'ESSAI	:	314	:	315	:	316	:	317	:	318	:	MOYENNES
TYPE ET CARACTERISTIQUES	:	RENDEMENTS (%)	:	24,0	:	24,2	:	24,8	:	24,2	:	22,5	:	23,9
FOYER I.V.E. III	:	n_{ct}	:		:		:		:		:		:	
GRILLE METALLIQUE DE 8/10 ^e	:	PUISSANCES (kw)	:	5,5	:	6,1	:	4,0	:	4,5	:	4,0	:	4,8
	:	p	:		:		:		:		:		:	

$S = 0,86$ $S^2 = 0,74$ $Cov = 3,6 \%$ $T^2/n = 2865,6$

	:	N° DE L'ESSAI	:	319	:	320	:	321	:	322	:	323	:	MOYENNES
TYPE ET CARACTERISTIQUES	:	RENDEMENTS (%)	:	30,1	:	30,0	:	30,9	:	28,4	:	29,8	:	29,8
FOYER I.V.E. III	:	n_{ct}	:		:		:		:		:		:	
GRILLE EN BANCO DE 2 CM d'EPaisseur	:	PUISSANCES (kw)	:	4,3	:	3,8	:	3,9	:	4,6	:	3,8	:	4,1
	:	p	:		:		:		:		:		:	

$S = 0,91$ $S^2 = 0,82$ $Cov = 3 \%$ $T^2/n = 4452,1$

FOYER M'BOU. DOUBLE PAROI (PORTE OUVERTE)

- 166 -

TYPE ET CARACTERISTIQUES DE L'AIR ENTRE LES 2 PAROIS	N° DE L'ESSAI	254	255	256	257	258	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	37,3	32,5	34,0	33,9	34,5	34,4
	PUISSANCES (kw) P	3,1	3,0	3,7	3,2	3,3	3,3

S = 1,76 S² = 3,11 Cov = 5,1 % T²/n = 5930,6

TYPE ET CARACTERISTIQUES ISOLANT = SCIURE DE BOIS	N° DE L'ESSAI	259	260	261	262	263	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	40,0	39,3	37,2	40,4	39,7	39,3
	PUISSANCES (kw) P	3,6	3,4	4,0	3,9	3,8	3,7

S = 1,25 S² = 1,57 Cov = 3,2 % T²/n = 7730,3

TYPE ET CARACTERISTIQUES ISOLANT = TERRE	N° DE L'ESSAI	264	265	266	267	268	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	35,8	36,4	36,7	36,5	36,3	36,3
	PUISSANCES (kw) P	4,1	4,2	4,1	4,2	4,1	4,1

S = 0,34 S² = 0,11 Cov = 0,9 % T²/n = 6603,0

...

TYPE ET CARACTERISTIQUES ISOLANT = MOUSSE DE POLYURETHANE	N° DE L'ESSAI	269	270	271	272	273	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	38,2	37,3	37,4	39,4	37,9	38,0
	PUISSANCES (kw) p	4,4	4,3	4,2	4,1	4,2	4,2
		$S = 0,84$	$S^2 = 0,71$	$Cov = 2,2 \%$	$T^2/n = 7235,2$		

TYPE ET CARACTERISTIQUES ISOLANT = MOUSSE DE POLYURETHANE BANCO SUR LA GRILLE	N° DE L'ESSAI	249	250	251	252	253	MOYENNES
	RENDEMENTS (%) n_{ct}	41,3	40,3	41,8	41,2	41,5	41,2
	PUISSANCES (kw) p	2,8	3,1	3,5	3,2	3,0	3,1
		$S = 0,56$	$S^2 = 0,32$	$Cov = 1,4 \%$	$T^2/n = 8495,4$		

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - E.GERN, L. JACOBS, I.EVANS : "Improved cookstoves in Upper Volta."
Approvecho Institute 359 Polk Street,
Eugene, Oregon 97402 U.S.A.
- 2 - GATE : "Helping people in poor countries develop fuel-saving cookstoves"
Octobre 1980.
- 3 - G.E.KARCH and M.BOUTETE : " Charcoal : small scale production and use".
Gate, G.T.Z., postfach 5180, D-6236
Eschborn 1- Federal Republic of Germany.
- 4 - I.J.CLAUS, W.F. SULALITU, M.VERWOERD : "Performance of the Tungku Lowon
Woodstove". T.N.O, P.O. box 342,
7300, A.H. apeldoorn, March 1982.
- 5 - I.V.E. Rapport N°1 : "Etat de développement technique des Foyers Amé-
liorés en Haute-Volta (Avril 1983)
- 6 - I.V.E. Rapport N°2: Amélioration, conception et tests de quelques Foyers
Améliorés. (Juin 1983)
- 7 - J.DOAT : "Le pouvoir calorifique des bois tropicaux" C.T.F.T. revue
"Bois et Forêts des Tropiques" N°172 Mars-Avril 1977.
- 8 - K.K. PRASAD : "Some performance tests on open fires and the family
cooker". Departement of applied physics, Eindhoven.
University of technology. The NETHERLANDS.
- 9 - K.K.PRASAD : Some studies on open fires, shielded fires and heavy stoves"
Octobre 1981.
- 10 - M. de BACKER : "Développement des ressources forestières et renfor-
cement du service forestier en Haute-Volta. La
consommation du bois de feu."
Rapport technique PNUD, UPV/78/004

.../...

- 11 - M. BAILLY: "Thermodynamique technique.2A Production et transfert de chaleur, Ecoulements" Bordas,Paris Montréal.
- 12 - P.JACQUES, B. GERARD, N. ROBERT : " Etude pratique de carbonisation en forêt classée de GONSE" Janvier 1980.
- 13 - Service Foyers Améliorés : "Rapport d'Activités, Année 1983" Janvier 1984
- 14 - Cécilia SOME : Utilisation et résistance des Foyers Améliorés massifs" 1983
- 15 - V.I.T.A : Tests de rendement des foyers à bois. Standards provisoires internationaux". 1815, North Lynn Street, Arlington, Virginia 22 209-2079 U.S.A. Décembre 1982.
- 16 - X. DEGLISE : " Les conversions thermochimiques du bois". Université de Nancy, Faculté des Sciences, Département des chimies physiques des réactions.
- 17 - Georges YAMBEHO : "Evaluation des différents prototypes de foyers Améliorés existants en Haute-Volta." Juin 1983
- 18 - Marguerite ZANGO : "Utilisation rationnelle du bois de chauffe par les Foyers Améliorés. Analyse des réalisations et perspectives en Haute-Volta." Juin 1981.