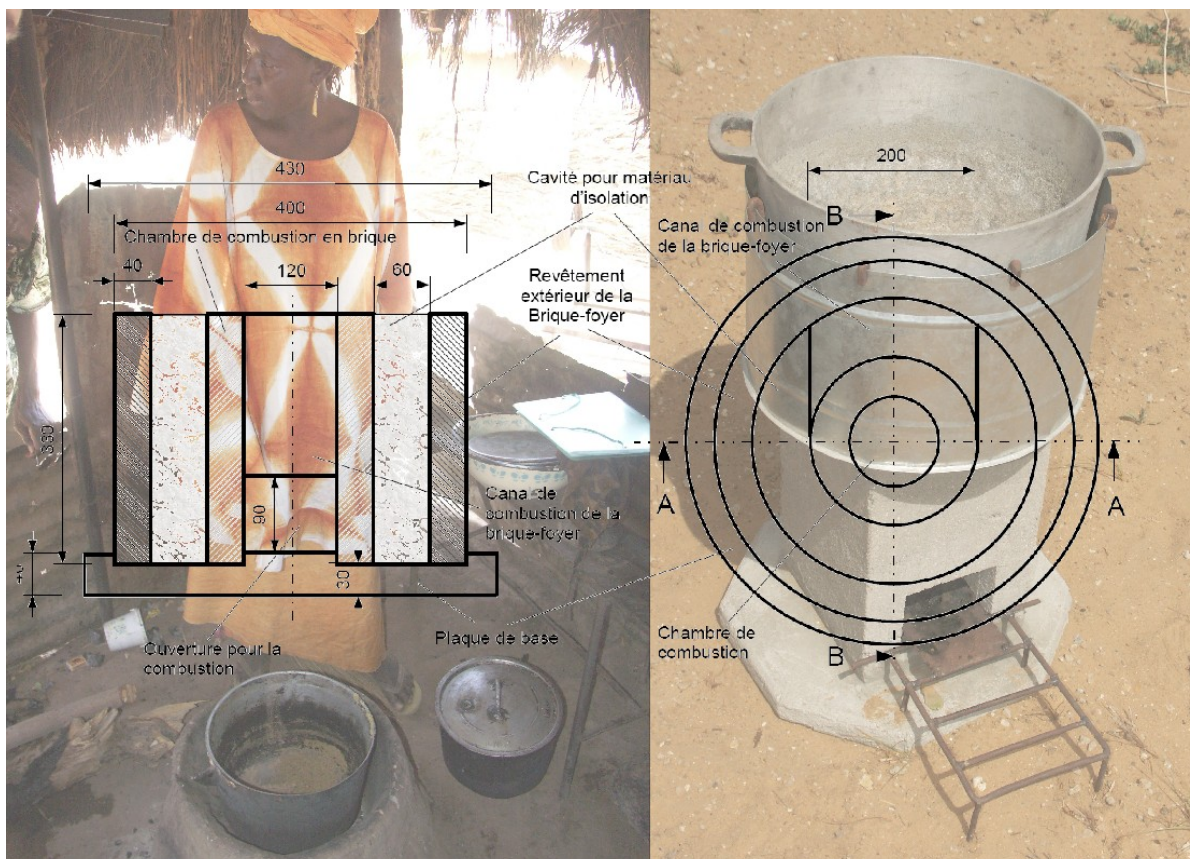




Programme Foyers Améliorés au Sénégal (FASEN)

Un successeur au Ban-ak-suuf – construction d'un prototype sur la base des expériences éthiopienne

Résultats de la première mission au Sénégal *Ebauche*



Mai 2006

Dipl.-Ing. Benjamin Jargstorf
Hinter dem Chor 8

23 966 Wismar

Tel. +49 (0)3841 - 404 20

Fax +49 (0)3841 - 404 22

e-mail: benjamin@factor-4.com



Table des matières

1. La situation initiale	5
2. Rôle	5
3. Construction du prototype.....	6
3.1 Réflexions préalables	6
3.2 La construction des moules en bois.....	7
3.3 Production d'un lot pilote.....	11
3.4 Le conduit du foyer Rocket.....	12
4. Prototypes de la phase pilote.....	15
4.1 Type 1- épaisseur paroi 5 cm	15
4.2 Typ 2 – 5 cm Wandstärke.....	16
4.3 Type 3 – 3 cm d'épaisseur.....	16
4.4 Isolation.....	17
4.5 Proposition d'un prototype.....	18
5. Alternatives au foyer proposé	21
5.1 Brique à base d'argile cuite	21
5.2 Fabrication complète du foyer rocket en métal	21
6. Proposition pour la suite du procédé.....	21
6.1 Tests de cuisson.....	21
6.2 Tests d'acceptabilité	22
6.3 Optimisation du modèle	22
6.4 Tests avec différents matériaux	22
6.5 Philosophie générale du projet	22
7. Activités proposées/Planning.....	23
7.1 Activités	23
7.2 Planning	24
8. Résumé.....	26

traduit par Maimouna Ba

Une composante du programme PERACOD - Programme pour la Promotion de l'Electrification Rurale et de l'Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques

www.peracod.org • e-mail: gtzcd@sentoo.sn
HANN BEL AIR • Rue HB 422 • Villa Mame Amina Niang Lot N°1A •
BP 3869 DAKAR, Senegal
(+221) 832 80 17 • (+221) 832 64 71

1. La situation initiale

Entre 1997 et 2003, un foyer amélioré destiné au milieu rural (Foyer Ban-ak-Suuf - "argile et paille") a été diffusé au Sénégal avec le soutien du projet GTZ PAGERNA. (**Illustration 1**). Au total, 28.000 Ban Ak Suuf ont été construits dans la région de Kaolack (Bassin Arachidier). Dans ce cadre, une approche d'auto-construction a été poursuivie se manifestant par la formation d'artisans par le projet-GTZ. Cela leur a permis de soutenir les ménages ruraux dans la construction des foyers.

À l'inverse, le projet HEPNR (Household Energy/ Protection of Natural Resources) mis en œuvre depuis 1998 en Ethiopie par la GTZ, poursuit une approche purement commerciale pour la diffusion du foyer amélioré Mirt – foyer à bois ayant pour groupe cible la population rurale. De 2000 à 2005, environ 180.000 foyers ont été vendus, dont environ 70.000 par des artisans formés directement par le projet.

L'illustration 2 compare les deux types de fourneaux et les différents types d'approche de diffusion. On constate que le procédé de fabrication du Mirt (formes métalliques permettant une fabrication en petites séries et garantissant une qualité standard) et la stratégie (*pure commercial approach*) mise en œuvre en Ethiopie permettent de meilleures possibilités d'*Up-Scaling*, de production à grande échelle. Dans ce cadre, le PERACOD cherche, au sein de son volet FASEN (Foyers Améliorés Sénégal), un successeur au foyer Ban-ak-Suuf. Ce foyer devra être simple à produire à un prix acceptable, convenir à une politique de commercialisation dans le cadre du DGIS et disposer d'un grand potentiel d'*Up-Scaling* (production à grande échelle).

2. Rôle

En tant que successeur au Ban-ak-Suuf, le fourneau doit subvenir aux besoins de la population rurale du Sénégal, disposer d'un bon degré d'efficacité énergétique et convenir à une fabrication en série par des artisans locaux. Sur la base de fourneaux prototypes fonctionnant selon le principe du foyer Rocket pour des marmites répandues dans la campagne sénégalaise (Marmite 4–7 kg, voir **l'illustration 3**), il s'agit de développer un fourneau pouvant être fabriqué avec de simples moules métalliques, sans utilisation d'inserts céramiques cuits et, si possible, avec une faible quantité de métal, lequel demeure coûteux au Sénégal.

Illustration 1:
Ban-ak-Suuf



Illustration 2:
Comparaison Ban-ak-Suuf - Mirt

	Ban-ak-Suuf	Mirt
Combustible	bois, biomasse	bois, biomasse
Matériau de construction	argile et paille	sable et ciment
Frais de construction	env. 5,70 EUR (3.800 FCFA)	env. 5 EUR (50 Birr ETH)
Typ	fixe	fixe, mais peut-être déplacé
strategie de diffusion	autoconstruction suivant des instructions techniques	purement commerciale
Garantie de la qualité	difficile	définie selon l'utilisation des moules contrôlés par le projet
relations publiques	peu régional	national, organisé par le projet
potentiel Up-Scaling	faible	important

3. Construction du prototype

Pour le prototype, dans l'intérêt d'une méthode de construction économique, il a été décidé d'une part, de suivre le modèle éthiopien qui prévoit une chambre de combustion en carré. Avec ce modèle, il est plus facile de construire des moules prototypes en bois facilement modifiables et adaptables. Des moules métalliques sont ensuite prévues pour la production en série car leur durée de vie est plus longue et les « briques » peuvent être extraites plus facilement. Ces moules en métal devront avoir une chambre de combustion en forme arrondie qui assure dans l'ensemble de meilleures conditions de combustion, d'isolation et est plus stable.

3.1 Réflexions préalables

Outre la chambre de combustion relativement étroite, il convient de disposer également d'un « conduit » encerclant la marmite pour le mode de fonctionnement du Foyer-Rocket. Le conduit permet effectivement une transmission optimale des gaz chauds vers la marmite. Avec le prototype développé par HEPNR en Ethiopie, le conduit avait une hauteur de moins de 10 cm et a été fabriqué - pour des questions de facilité - à partir d'un morceau de tôle d'environ 1 cm de distance autour de la marmite (**Illustration 4**). Même si ce "conduit-Rocket" est disponible à moindre coût et facilite par ailleurs l'adaptation à différentes dimensions de marmite, on doit douter qu'un joint simplement mis autour du pot puisse réellement atteindre l'effet d'efficacité typique pour le foyer-Rocket. À cela s'ajoutent d'importants inconvénients concernant la sécurité au niveau du travail et une durée de vie prévue assez courte (cf. **paragraphe 3.4**)

La chambre de combustion du prototype éthiopien est fabriquée à partir de 5 éléments qui sont liés par une construction métallique à laquelle est également fixée la plaque métallique servant de support au bois de chauffage (dans l'**Illustration 4** celle-ci est fermée). Lors de la création des différents éléments composant le foyer, l'objectif du HEPNR était de minimiser les complications lors du processus de fabrication. L'**illustration 5** montre comment, à partir d'un simple cadre métallique et différents morceaux de bois - mis dans la forme métallique tout seul ou en combinaison avec d'autres morceaux - on peut fabriquer les 4 différentes formes composant le foyer (deux sur les côtés, une plaque au

Illustration 3:
Foyer Rocket pour marmite de 4 -7 kg



Illustration 4:
**Prototype „Rocket“
de HEPNR Ethiopie**



Illustration 5:
Moule avec insert en bois
pour le prototype Rocket d’Ethiopie



Illustration 6:
Comparaison de la taille du foyer Rocket pour
marmite 4 – 7 kg avec le prototype éthiopien



métallique coûteuse. Le foyer fabriqué à partir de deux briques moulées est suffisamment stable pour absorber les forces qui se créent lorsque les aliments sont remués dans une marmite de 4 à 7 kg. Le modèle éthiopien était certes prévu pour une marmite plus petite (3 à 5 kg), mais la construction métallique n’est cependant pas assez stable, ce que les tests de cuisson avec des marmites pleines ne tarderont sûrement pas à démontrer (en appuyant sur le côté de la marmite comme on le fait souvent pour remuer, la chambre de combustion est fortement secouée).

fond, une partie arrière et une avant).

Des expériences sur le terrain du CERER (Centre d’Etudes et de Recherche sur les Energies Renouvelables) ont montré que le moule éthiopien convient en principe très bien à la fabrication des éléments pour la chambre de combustion. Cependant, en pratique, on peut douter de la longévité des différentes parties lors d’une utilisation régulière. On doit craindre en particulier qu’il n’y aura pas de solution en ce qui concerne une fixation durable entre ces 5 parties empêchant l’air extérieur d’entrer dans le foyer à des endroits non souhaités. En outre, la perte de temps est importante lors du changement fréquent des morceaux de bois dans le cadre métallique. Dans l’ensemble, ce type de fabrication de la chambre de combustion - excepté un prix bas pour la forme métallique - ne montre pas d’avantages essentiels par rapport à la fabrication en un seul élément. Par ailleurs, la construction métallique qui lie les différents éléments de la chambre de combustion occasionne des frais supplémentaires et ne favorise pas la stabilité du foyer.

3.2 Construction des moules en bois

De cette perspective est née l’idée de fabriquer à partir d’une brique moulée, la chambre de combustion qui, dans un premier temps, était fabriquée avec un moule en bois. Le socle métallique du prototype éthiopien (**voir l’illustration 4**) ne semble pas être très solide ni adaptée à une cuisson en milieu rural sénégalais, à cause de ses 4 pieds. Donc, la plaque de base du foyer devrait être aussi solide et stable que possible afin d’éviter une construction

Illustration 7:
Construction des moules en bois



Pour la construction des moules en bois, deux planches de 3 cm d'épaisseur (20 x 200 cm) ont été utilisées. La forme carrée intérieure a été fabriquée par un menuisier sénégalais avec un support d'une longueur et largeur 11 x 11 cm. Celui-ci est légèrement conique pour permettre d'enlever plus facilement la brique du moule. La plaque de base montre une hauteur de 3 cm qui sert en même temps de sol pour la chambre de combustion. Les deux briques moulées à savoir la chambre de combustion et la plaque de base sont collées ensemble avec un mélange d'eau et de ciment.

Illustration 8:
Premiers prototypes avec le prototype éthiopien, au milieu (sans conduit)



Illustration 9:
Les moules en bois finis



Illustration 10:
L'épaissement du mélange à base de ciment



Illustration 11:
L'extraction du moule intérieur conique ...



Illustration 12:
... Et la brique-fourneau.



3.3 Production d'un lot pilote

Pour tester l'aptitude du lot pilote, un moule en métal a été fabriqué sur la base des mesures du moule en bois (5 cm d'épaisseur) et donné à deux artisans qui - à l'instar des moules métalliques pour les pierres taillées - ont fabriqué un lot de 20 pièces. Il s'est révélé que le moule métallique pour la chambre de combustion du foyer requiert pratiquement la même durée au niveau de la fabrication que les pierres taillées en béton, ce qui permettait ainsi une production de 30 – 50 pièces par heure.

Illustration 13:
Comparaison des moules métalliques pour la brique et pour la chambre de combustion

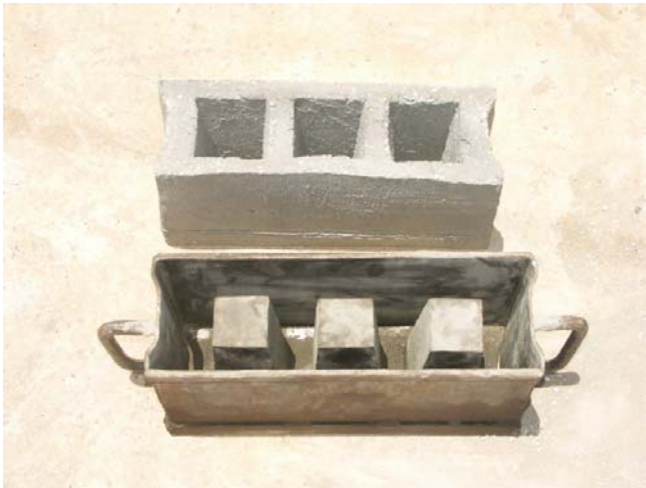


Illustration 14:
Production de la série pour la phase pilote



3.4 Le conduit du foyer Rocket

Pour atteindre le bon degré d'efficacité du foyer Rocket, ce type de foyer dépend partiellement du conduit encerclant car la combustion s'effectue régulièrement dans la marmite et la chaleur contribue à une bonne cuisson. Le conduit du premier modèle fabriqué au Sénégal (cf. **Illustration 3**) est fait à partir d'une tôle en forme cylindrique fabriquée localement, au fond duquel est déposé un mélange de chaux et de ciment qui prend à peu près la forme de la marmite – ainsi le conduit est posé pratiquement comme un pot de fleur autour de la marmite. Trois barres métalliques veillent à ce qu'également des marmites sans pieds laissent passer librement les gaz chauds. En outre, des joints de métal sont fixés sur le rebord du conduit pour centrer la marmite dans le fourneau (**Illustration 15**).

Ce conduit fabriqué à partir de métal est relativement difficile à réaliser et coûteux - il représente pratiquement une deuxième marmite qui enveloppe la marmite de cuisson à une distance d'environ 1 - 2 cm. De cette façon, il représente un pourcentage élevé des coûts de production comparé aux deux briques moulées en ciment. Le projet HEPNR en Ethiopie a essayé de réduire considérablement la dépense pour ce conduit autour du foyer et a simplement posé une bande métallique autour de la marmite. Cette bande permet avec la plaque lisse de faire varier la taille des marmites utilisées, un procédé qui ne peut être appliqué au modèle sénégalais qui est fabriqué différemment (**Illustration 16**).

Toutefois, cette solution simple et bon marché n'est pas conforme au fonctionnement du foyer rocket dans la mesure où la bande métallique n'est pas disposée de manière égale autour de la marmite. En outre, les rebords pointus de la bande métallique représentent un risque non négligeable de blessure (**Illustration 17**). Même si la bande métallique éthiopienne qui sert de conduit a l'avantage de supporter des marmites de taille différente (diamètre), son procédé de fabrication ne peut être envisagé pour une production de masse.

Mis à part les désavantages cités ci-dessus, ce procédé de fabrication avec un joint n'entre pas en ligne de compte pour le Sénégal où les marmites cylindriques ne sont pas utilisées (contrairement en Ethiopie où c'est en majorité le cas) : les marmites ont un fond arrondi et un diamètre plus large vers le haut.

Illustration 15:
Conduit du foyer Rocket vu d'en haut
(prototype Sénégal)



Illustration 16:
Manchette en tôle selon le prototype
HEPNR



Illustration 17:
Exposition à des risques de blessures
avec la manchette en tôle du prototype
HEPNR



Illustration 18:
Construction d'un moule pour la partie supérieure du foyer (polystyrène 1 cm)



Illustration 19:
Mise en place d'un mélange de ciment avec un grillage



Pour le bon fonctionnement du foyer Rocket, le conduit joue un rôle déterminant. Le réduire pour des raisons de coûts (comme avec HEPNR en Ethiopie) en simple bande métallique n'entourant la marmite que de 10 cm de hauteur, éloignerait du principe Rocket et rendrait insuffisants les degrés d'efficacité énergétique.

Pour le Sénégal, quatre modes de production sont finalement envisageables :

1. Un conduit fabriqué avec du ciment, en principe avec le même matériau que pour la construction des briques mais renforcé avec du grillage métallique.
2. Un conduit obtenu à partir des petits morceaux métalliques sur un grillage ayant la forme de la marmite.
3. Un conduit cylindrique fait localement à base de tôle blanche et qui dispose au fond d'un mélange de ciment et de chaux (comme avec le prototype Sénégalais, **illustration 15**).
4. Un conduit fabriqué à partir de métal ou d'aluminium avec une presse industrielle, placé dans la chambre de combustion en brique.

Alors que le conduit en ciment a l'avantage de pouvoir être fabriqué sur place par un seul et même artisan son poids élevé ainsi que les risques de cassure s'opposent à cette solution. De plus, il faudra attendre chaque fois que le mélange de ciment dans le moule se durcisse, avant de pouvoir réutiliser le moule (ainsi seulement un conduit peut être fabriqué par jour avec un moule). Certes, un conduit en ciment fabriqué à la hâte a permis de tester l'aptitude de cette méthode de fabrication, mais avec un poids de 8

kg, c'était extrêmement lourd et difficile à porter (**illustration 18 et 19**, voir aussi **illustration 25**)

La possibilité de fabriquer un conduit adapté à une utilisation quotidienne du foyer avec des morceaux de tôle fixés sur un grillage est aussi vue d'un œil critique. Le conduit métallique autour de la marmite fabriqué avec de la tôle locale a l'inconvénient - tout comme la combinaison tôle-grillage - de devoir recourir à des artisans métalliques locaux. Le procédé de fabrication, qui semble le plus compliqué à mettre en place après la première analyse – presse froide d'un conduit métallique – permet d'obtenir un produit qui est de loin la meilleure qualité et s'adapte exactement à la taille de la marmite. Ce pro-

céde suppose cependant une fabrication industrielle dont les coûts et possibilités de production doivent encore être clarifiés dans la région de Dakar.

Toutefois, si une telle possibilité de production industrielle devait exister au Sénégal, cette solution dispose de bien d'autres avantages, en comparaison de ce qui est déclaré être la meilleure qualité:

- (a) prix compétitif s'il s'agit d'une fabrication de masse,
- (b) les moules sont empilables en raison de la forme conique des marmites et donc faciles à transporter,
- (c) il est possible de produire différentes tailles de conduit pour différentes marmites pouvant être fixés sur le même foyer en fonction de la marmite utilisée,
- (d) il existe des approches de diffusion où les frais de fabrication du conduit sont pris en charge par le projet – pour faciliter l'introduction sur le marché ou à titre de subventions temporellement limitées.

En raison de ces avantages, l'intérêt devrait être focalisé sur **la fabrication de masse** qui - si c'est possible techniquement et financièrement – devrait être appliquée.

4. Prototypes de la phase pilote

Trois prototypes ont été fabriqués en deux semaines.

4.1 Type 1- épaisseur paroi 5 cm

La brique de la chambre de combustion avec le premier moule en bois a une épaisseur de 5 cm et pèse 16 kg. Et si l'on considère la plaque de base en béton (7 kg) et le conduit en métal (1 kg), le foyer aura un poids total d'environ 34 kg. Deux personnes suffisent pour transporter le foyer complet s'ils le tiennent par les deux côtés de la plaque de base.

Les deux poignées sur le pot métallique (conduit du Rocket) ne sont pas appropriées au transport du foyer. Si éventuellement une autre série est produite, ces poignées seront supprimées. La combinaison du conduit métallique et de la chambre de combustion en béton doit être optimisée pour une production en série – pour le prototype, des joints en métal ont été fixés sur la partie inférieure du support métallique et entourent les rebords intérieurs et extérieurs de l'ouverture de la chambre de combustion. Ainsi, la partie supérieure a pu être joint à la chambre de combustion (**voir Illustration 21**).

Les premiers tests d'allumage révélèrent qu'en utilisant du bois sec, la combustion se faisait absolument sans fumée et chauffait rapidement la marmite. Toutefois, on ne saurait en aucun cas comparer le degré d'efficacité du prototype vu que le béton est un mauvais isolant, avec le prototype en métal et ses anneaux en céramique comme le montre l'**illustration 3**.

C'est pourquoi une chambre de combustion ayant les dimensions prévues pour une grande marmite n'est cependant appropriée que pour une marmite de 4 – 7 kg.

Illustration 20:
Prototype 1 avec paroi de 5 cm d'épaisseur et un conduit en métal pour une marmite de 7-10 kg



Illustration 21:
Joint entre le conduit et la chambre de combustion (détail)



Illustration 22:

Vue de la chambre de combustion lors d'un test de combustion



4.3 Type 3 – 3 cm d'épaisseur

Pour ce prototype, l'épaisseur de la chambre de combustion est passée de 5 à 3 cm. Cela permet d'économiser le matériau (la brique ne pèse donc plus que 9 kg). Cependant, avec cette épaisseur de 3 cm, il y a risque d'abîmer la paroi de la chambre de combustion pour sortir le cône se trouvant à l'intérieur.

Dans l'ensemble, l'avantage d'utiliser moins de matériau et d'avoir un poids moins lourd n'est pas très valorisant : cela ne réduit pas considérablement les coûts de production. De plus, il devient plus difficile de fixer la partie supérieure du foyer sur la surface de la chambre de combustion qui est réduite à 20 x 20 cm sur 14x 14 cm.

Pour ce prototype (**illustration 24**), une partie supérieure en béton a été construite en guise de test (poids env. 7 kg). Même si cela correspond en principe au mode de fonctionnement typique au foyer rocket, on doute du succès de ce conduit en béton pour une fabrication de masse, pour des raisons liées à l'esthétique, au maniement et au poids.

4.2 Type 2 – épaisseur de paroi de 5 cm

Ce prototype est de par sa construction identique au type 1, mais il a cependant comme pièce, un conduit en fer blanc pour une marmite de 3-5 kg. Etant donné que la dimension de la chambre de combustion est restée identique à celle du type 1 avec une marmite de 4-7 kg, ce type possède une plus grande puissance, ce qui aura sûrement une répercussion sur les tests de cuisson grâce à des temps de cuisson considérablement réduits.

Illustration 23:

Prototype 2 avec 5 cm d'épaisseur et un conduit pour marmite 4-7 kg



Illustration 24:

Prototypé 3 avec 3 cm d'épaisseur et un conduit en béton pour marmite 4-7 kg



4.4 Isolation

Durant cette mission de courte durée, moins de deux heures étaient réservées aux tests de cuisson. On a pu démontrer la fonction essentielle de ce foyer fabriqué uniquement à partir de 2 briques en béton et d'un conduit métallique.

Pour une production de masse, les pertes de chaleur à travers la paroi en béton de la chambre de combustion sont cependant beaucoup trop importantes. Même si on s'attend à ce que les prototypes fabriqués ici aient un degré d'efficacité nettement plus élevé que le foyer traditionnel trois pierres, le successeur du Banak-suuf qui sera diffusé devrait disposer d'un isolant fait à base d'un matériau local.

Pour une chambre de combustion arrondie, on pourrait prévoir des « chambres d'isolation » selon l'Illustration 25. Evidemment, ces chambres devraient avoir une forme conique pour permettre d'enlever facilement la brique. Comme isolant, on peut utiliser un mélange 50/50 d'argile et de sciure, toutes deux des matières premières qui devraient être facilement disponibles à la campagne et ayant de bonnes propriétés isolantes. Même si ces chambres d'isolation rendent plus difficile la fabrication de la brique en béton, le faible degré d'efficacité du foyer, dû au matériel utilisé, devrait être nettement plus élevé alors que les coûts de production augmentent à peine.

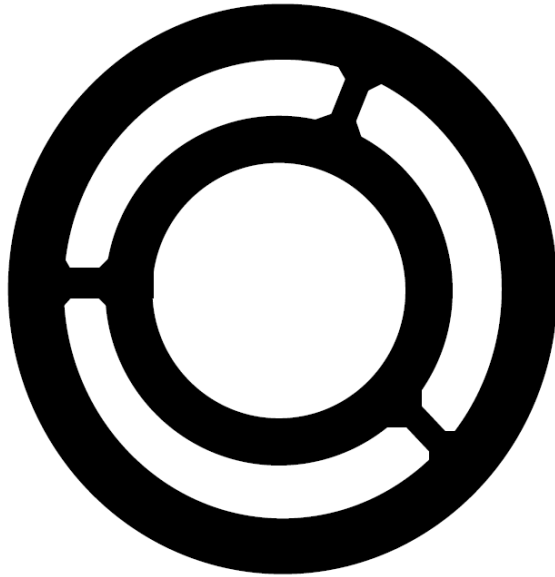
Toutefois, cette isolation a quelques points faibles à cause des trois ponts chauffants entre la chambre de combustion et l'enveloppe exté-

rieure. En pratique, il serait en plus difficile de calculer les épaisseurs, de sorte à éviter des fissures du revêtement en béton occasionnées par les contraintes thermiques lors de l'échauffement et du refroidissement du foyer. Toutefois, cette fabrication semble être la seule possibilité pour avoir une chambre de combustion avec des propriétés isolantes plus ou moins bonnes.

L'isolation est nettement meilleure si la chambre de combustion et l'enveloppe extérieure sont fabriquées avec deux briques différentes. Alors le conduit du foyer doit inévitablement être fait avec un troisième moule parce que sinon, il y aurait des tensions de matériel qui seront à l'origine de fissures de la brique en béton. Un tel foyer est représenté sur l'Illustration 28.

Il est fait avec des ouvertures sur la plaque de base, sur laquelle sont posées les trois briques et « collés » avec un mélange ciment-eau. Le joint (d'étanchéité) entre le conduit du foyer et la chambre de

Illustration 25:
Possibilité de disposer la chambre d'isolation autour de la chambre de combustion



combustion ou l'enveloppe extérieure devrait être fait avec de l'argile. Cette étanchéité doit, le cas échéant, être renforcée après un certain temps.

4.5 Proposition d'un prototype

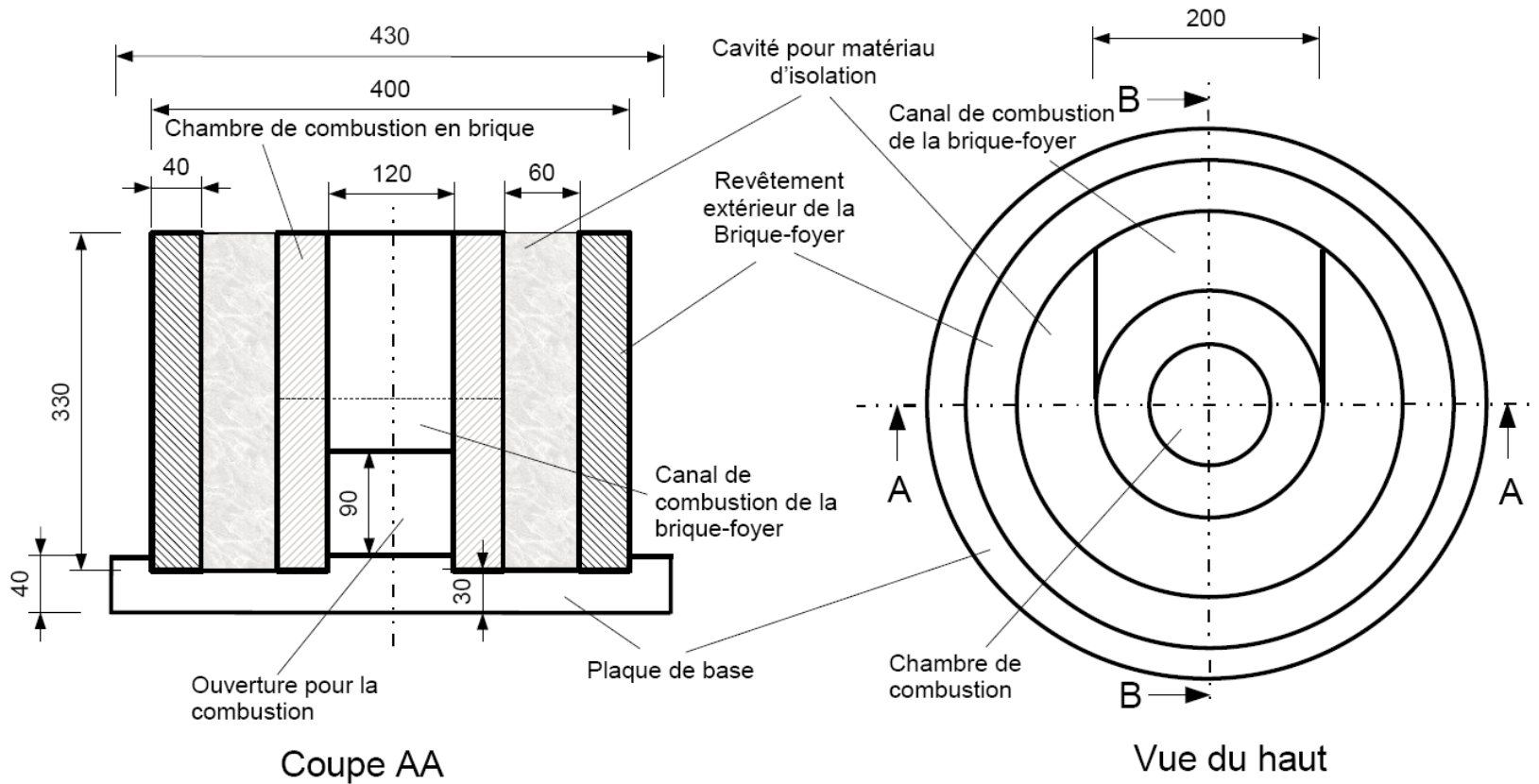
Comme résultat provisoire, trois modèles du successeur au Ban-ak-suuf seront présentés avec l'illustration 26. Le foyer de type A construit durant la mission a la forme de trois avant-prototypes et a une chambre de combustion sans isolation. Pour le type B, la chambre de combustion est faite à partir d'un seul élément. Quant au type C, il dispose de la meilleure isolation sans ponts chauffants, mais est composé pour cela de quatre briques différentes.

Illustration 26:
Confrontation des trois prototypes décrits

	Type A	Type B	Type C
Matériau pour chambre de combustion	Béton	Béton	Béton
Matériau manche	Métal	Metall	Metall
Nombre de briques	2	2	4
Isolation	--	+/-	++
Fabrication des briques	facile	difficile	moyenne
Poids	+	+/-	--
Avantages	simple, bon marché	1 Brique pour la chambre de combustion	degré d'efficienne élevé
Inconvénients	faible degré d'efficienne	brique compliquée à réaliser, risque de fissure	nombre des briques, poids
Evaluation (rang)	2	3	1

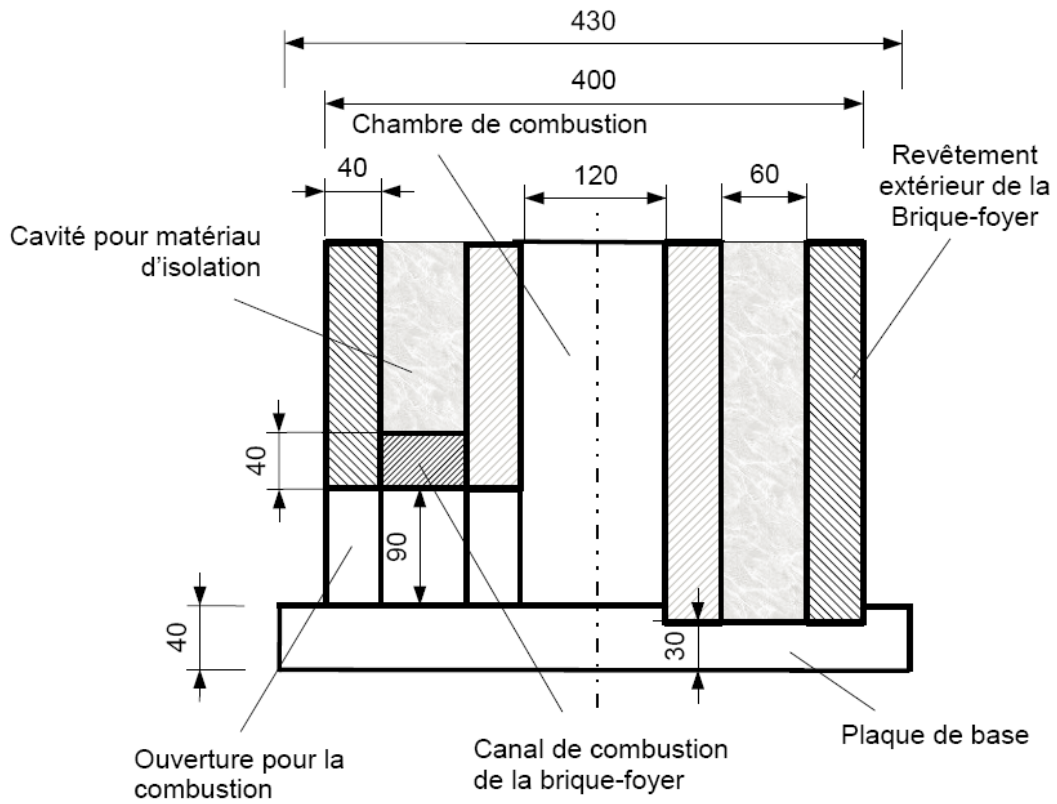
Il est proposé de se concentrer sur l'évolution du prototype C et de développer un successeur au Ban-ak-suuf composé de 4 briques moulées avec le degré d'efficienne expecté pour une fabrication en série avec ce modèle.

Illustration 27:
Croquis pour Prototype Type C



Liste des éléments		Echelle:	environ 1:20, dépend des mesures
1	Plaque de base	Matériel:	Ciment, inconvenant
1	Chambre de combustion cylinder en bois	Remaque	Prototype foyer <i>Typ C</i>
1	Partie extérieur du cylindre en bois		
1	Conduit du feu	Numéro de série	SEN 001

Illustration 28:
Croquis pour Prototype Type C - Suite



Coupe BB

Liste des éléments		Echelle:	environ 1:20, dépend des mesures
1	Plaque de base	Matériel:	Ciment, inconvenant
1	Chambre de combustion cylindre en bois	Remarque	Prototype foyer <i>Typ C</i>
1	Partie extérieur du cylindre en bois		
1	Conduit du feu	Numéro de série	SEN 002

5. Alternatives au foyer proposé

5.1 Brique à base d'argile cuite

Le foyer présenté ici a été développé sur la base des expériences éthiopiennes avec le Mirt et est fait – comme en Ethiopie – essentiellement avec des briques fabriquées localement par de simples artisans en zone rurale. Ces briques peuvent être fabriquées facilement et à bon marché avec un mélange de ciment et de sable dans des moules métalliques.

En principe, la chambre de combustion peut être aussi produite en série à la manière des briques perforées avec une presse à extruder. L'avantage serait que les cavités seront faciles à disposer autour de la chambre de combustion et bouchées avec de l'isolant ce qui augmenterait ainsi le degré d'efficacité du foyer.

Cet avantage est cependant confronté à deux inconvénients : d'une part, le foyer ne peut plus être fabriqué sur place en zone rurale et d'autre part, il y a le risque de fissures dû à des tensions thermiques lors de l'échauffement et du refroidissement du foyer.

C'est pourquoi, il est recommandé de ne pas continuer à examiner cette possibilité.

5.2 Fabrication complète du foyer rocket en métal

En principe, on peut aussi envisager une diffusion du foyer rocket avec insert céramique comme montré dans **l'illustration 3**. Toutefois, ce foyer devrait tout d'abord subir une amélioration en détail, comme par ex. a) un appui léger sur la partie supérieure fait tordre la partie en métal, et le mortier entre les anneaux en céramique se relâche ; b) le prototype ne dispose pas d'une base plate au niveau de la chambre de combustion, ce qui rend impossible le nettoyage du foyer et l'enlèvement des cendres ; c) Les poignées ne sont pas solidement fixées.

Après estimation, la version en métal du foyer Rocket coûte tout de même environ 15.000 FCFA et est donc trop cher pour la plupart des gens en milieu rural. Par ailleurs, ce type de foyer ne peut pratiquement pas être produit localement sur place : Les inserts céramiques doivent être fabriqués dans une briqueterie et il faut des ateliers métalliques bien équipés pour travailler le métal. Une production de masse en milieu rural selon le modèle éthiopien est donc quasi impossible.

6. Proposition pour la suite du procédé

6.1 Tests de cuisson

Pour deux prototypes – type 1 pour marmite de 7-10 kg et type 2 pour marmite de 4-7 kg, le CERER devrait déterminer les degrés d'efficacité et les comparer avec ceux du prototype sénégalais comportant des anneaux en céramique enrobés de métal. Il est supposé que le degré d'efficacité des foyers fabriqués avec des briques en béton sera nettement moins élevé que celui des autres foyers rocket et du prototype (**voir Illustration 3**).

6.2 Tests d'acceptabilité

Pour les tests d'acceptabilité, on peut utiliser les foyers qui ont servi pour les tests lors de la phase pilote. Il est recommandé pour cette série d'utiliser un conduit en tôle (**Illustration 23**) adapté à la marmite 4-7 kg. Ainsi, l'acceptabilité concernant le maniement du foyer peut être testée directement auprès du groupe cible (ex. les femmes à Dakar). Ces tests d'acceptabilité devraient permettre de donner des indications essentielles pour l'évolution du prototype.

6.3 Optimisation du modèle

Il est recommandé de fabriquer des moules métalliques pour le type C (**Illustration 27 et 28**) qui devrait avoir de meilleures propriétés isolantes. Après la fabrication de quelques foyers, le CERER devrait déterminer le degré d'efficacité. S'il tourne autour du même degré que pour les autres foyers rocket ou se situe légèrement en dessous, il faudrait optimiser le maniement des moules métalliques et fabriquer une petite série pour assurer la diffusion.

6.4 Tests avec différents matériaux

Le premier prototype avec moule métallique carré et sans chambre d'isolation devrait être utilisé pour varier le mélange de matériel à base de ciment, pour obtenir une meilleure isolation. Pour cela, il faudrait réaliser un test avec le CERER pour pouvoir tester facilement les foyers fabriqués avec différentes compositions. Ce test pourrait consister par ex. à faire bouillir de l'eau. On peut y ajouter par ex. de la balle de riz, des cendres, de l'argile etc.

6.5 Philosophie générale du projet

Partant des expériences positives avec l'Ethiopie, on recommande au PERACOD de considérer toutes les composantes des projets DGIS comme des projets intervenant dans le secteur de l'Energie (pour lesquels l'optimisation du degré d'efficacité est primordiale), des projets pour la promotion de la petite industrie dans le secteur de l'économie privée en milieu rural. Il est vrai que cette philosophie de projet permet nécessairement la diffusion d'un foyer (aussi face à l'infrastructure technique d'un pays) n'ayant pas la performance optimale, mais permet cependant que le foyer puisse être produit et mis sur le marché sans un soutien permanent de l'extérieur (d'un projet/ ou de l'Etat). L'idée est donc de trouver un équilibre entre le degré d'efficacité énergétique techniquement possible et la vaste production locale par des artisans locaux.

7. Activités proposées/Planning

7.1 Activités

Le développement d'un prototype pour un foyer destiné à la diffusion en zone rurale et en grande quantité nécessite normalement beaucoup de temps et suppose que différents modèles soient testés et évalués. Pour ce projet où plus de 120.000 foyers financés par DGIS devront être diffusés de façon durable dans les prochains deux à deux ans et demi, le temps est très restreint.

C'est pourquoi il est recommandé au PERACOD/FASEN de consacrer maximum 6 mois au développement du prototype et à la phase pilote et d'établir un plan d'activités qui cadre bien avec ce temps restreint.

L'idéal serait que le FASEN engage un ou deux techniciens/ingénieurs (au moins) durant cette période pour s'occuper essentiellement des besoins techniques pour le développement du prototype. À cela s'ajoutent, conformément aux recommandations dans le paragraphe précédent, les activités essentielles suivantes :

- Calcul du degré d'efficacité des deux prototypes sans isolant avec une chambre de combustion de 5 cm d'épaisseur pour des marmites de 3-5 et de 4-7 kg.
- Construction des 4 moules métalliques pour le type C proposé, le cas échéant prévoir auparavant un dessin industriel détaillé pour les constructeurs en métallerie, au cas où les schémas du foyer complet sur **l'illustration 27** ne suffiraient pas.
- Test de la production en petite série du type C, le cas échéant modification des moules en fonction des expériences pratiques.
- Vérifier si la partie métallique autour de la marmite (conduit du Rocket) peut être fabriquée à Dakar et si oui, fabriquer des moules pour des marmites de 3-5 et 4-7 kg.
- Si la fabrication industrielle est impossible au Sénégal, tester les conduits légèrement coniques au bout qui, d'une part sont mieux adaptés à la forme de la marmite, et d'autre part peuvent être assemblés lors du transport de chez le producteur vers le milieu rural (inconvenient : ils nécessitent plus de matériau et sont plus difficiles à fabriquer).
- Fabrication de plusieurs prototypes et calcul du degré d'efficacité.
- Production d'une série d'environ 50 conduits de foyers Rocket industriels par marmite (ou pour chaque support métallique fabriqué, conique si possible) pour la phase pilote avec lesquels des tests d'acceptabilité peuvent être effectués directement en milieu rural.
- Autres tâches suivant les besoins :

En tout cas, le développement d'un foyer économe adapté au milieu rural et pouvant être fabriqué localement et en série ne saurait se faire avec 1 ou 2 experts de courte durée. Même avec des stagiaires (engagés à court terme par le projet), ce serait impossible. C'est pourquoi – si après ces premiers résultats, on devrait prendre une décision pour la suite du développement d'un foyer en béton à l'exemple du foyer Mirt – il est conseillé au PERACOD/FASEN d'élargir son personnel et de bien gérer ses ressources humaines. Un objectif aussi ambitieux (production en série après six mois) ne peut en effet être atteint que si plusieurs activités sont menées parallèlement. De plus, il faut constamment prendre certaines décisions importantes (par ex. les conditions de production industrielle du support de la

marmite, le matériau d'isolation etc.) pour lesquelles le projet doit mettre à disposition les infrastructures nécessaires. Autrement dit : pour atteindre l'objectif de développer un foyer en six mois pour une production de masse, il ne faudrait commettre aucune erreur de décision qui nécessiteraient par la suite beaucoup de temps à être rectifier ou nécessitant de refaire certaines parties du travail déjà entamé.

7.2 Planning

Ci-après, il est proposé un planning provisoire, juste à caractère indicatif et qui devrait être adapté aux ressources humaines et techniques dont dispose le FASEN. En tout cas, il est recommandé de prendre le temps de ce concerter régulièrement avec toute l'équipe du projet pour arriver à bien intégrer les différents membres du projet impliqués dans le développement du prototype et permettre une meilleure transparence des décisions à prendre.

Ces décisions sont représentées sur **l'illustration 29** sous forme de triangle noir.

Après environ 11 semaines, s'appuyant sur ce plan d'activités, il est conseillé de réaliser la deuxième mission du conseiller court terme (BJ) qui a déjà été planifiée. Lors de cette mission, la production d'un lot pilote aura déjà commencé et comme prochaine étape, il y aura la préparation des tests d'acceptabilité.

Le plan d'activités ci-après suppose qu'une fabrication industrielle de la partie supérieure du foyer (conduit du Rocket) est possible au Sénégal. Si tel n'est pas le cas, il faudra prévoir d'autres activités pour l'optimisation d'une fabrication artisanale du conduit du Rocket.

Au total, la construction, l'optimisation et le test d'acceptabilité du successeur au Ban-ak-suuf devront durer 26 semaines (6 mois), c'est-à-dire qu'à partir de novembre 2006 – si les tests d'acceptabilité se révèlent positifs – un modèle approprié devrait être prêt pour une diffusion à grande échelle.

8. Résumé

Les projets de la GTZ en Ethiopie ont utilisé une stratégie de diffusion commerciale pour un foyer pouvant être fabriqué simplement à base de matériau local. Ce foyer est fabriqué avec des briques faites à base d'un mélange ciment/sable. Même si le Mirt nécessite certainement quelques améliorations sur le plan énergétique, il est quand même environ deux fois plus efficient que le foyer trois pierres habituellement utilisé en milieu rural éthiopien. Il a aussi d'autres avantages très appréciés du groupe cible (moins de fumée, moins de saleté, temps de cuisson plus court, préparation simultanée de sauces possible etc.).

Face à cette situation, un successeur au Ban-ak-suuf devrait être construit et être également constitué en majeure partie de matériau local tout en étant approprié à une stratégie de diffusion purement commerciale. Il a été aussi proposé de construire un foyer en béton sur la base du foyer Rocket et qui serait adapté aux deux types de marmites les plus utilisées en milieu rural (3-5 kg et 4-7 kg).

Le foyer nécessite en plus des deux ou quatre briques en béton, une petite grille et un conduit autour de la marmite, tous deux (le moins cher possible) en métal. Des tests ont démontré que la fabrication en briques est appropriée à la production en petite série. Dans une prochaine étape, il faudrait déterminer le degré d'efficience de deux prototypes et les comparer avec le prototype foyer Rocket en métal et base en céramique.

Pour une diffusion à grande échelle, la proposition est de modifier la forme carrée de la chambre de combustion du premier prototype en lui donnant une coupe arrondie, et de construire un prototype avec une chambre de combustion isolée comme sur **l'illustration 27**. C'est la seule manière d'améliorer considérablement le degré d'efficience par rapport au Ban-ak-suuf.

Même si le conduit métallique en tôle blanche peut être fabriqué par des artisans sénégalais, il faudrait étudier les conditions où une production industrielle de masse (presse froide) de cet élément est possible. Cet élément reviendra donc moins cher et sera de meilleure qualité. Par ailleurs, le degré d'efficience du foyer sera amélioré puisque la presse froide permet de fabriquer un conduit ayant exactement le même écart que la marmite. Comme faisant partie de la stratégie de diffusion dans le cadre des projets DGIS, cet élément pourra donc être mis à la disposition des artisans formés par le projet en milieu rural et accélérer ainsi l'introduction du nouveau foyer dans le marché.

Même s'il est actuellement impossible de faire une évaluation exacte des coûts, le prix de vente du foyer est estimé à moins de 5000 francs CFA. Ceci représente environ le 1/3 du prix pour le foyer Rocket en métal et devrait être à la portée du budget du groupe cible.

Un facteur essentiel ayant contribué au succès du projet GTZ en Ethiopie est que là-bas, le projet s'est présenté pour la plupart sous forme de promotion de la petite industrie (KMI) et s'est chargé de la formation des artisans locaux. Si on devait produire un modèle en série et assez efficient du type de foyer présenté ici, on proposerait également un procédé semblable pour la diffusion du foyer au Sénégal. Il faudrait aussi prévoir une campagne publicitaire bien adaptée (Théâtre, affiches, publicité à travers la radio etc.) qui a essentiellement contribué à la réussite du projet en Ethiopie.