

Principes de conception des fourneaux de cuisine à bois



Aprovecho Research Center
Shell Foundation
Partnership for Clean Indoor Air

Le Partenariat pour l'air intérieur pur (Partnership for Clean Indoor Air, ou PCIA par son acronyme en anglais) a été établi par l'agence de protection de l'environnement aux États-Unis (U.S. Environmental Protection Agency ou EPA par son acronyme en anglais) ainsi que d'autres importants partenaires lors du Sommet Mondial sur le Développement Durable à Johannesburg en Septembre 2002. Son but est d'améliorer la santé, la subsistance et la qualité de vie tout en réduisant l'exposition à la pollution de l'air intérieur prépondérante entre les femmes et les enfants dû à la combustion de carburant dans les ménages. Plus de 130 organisations travaillent ensemble pour accroître l'emploi de pratiques de chauffage et de cuisine propres, fiables, rentables, efficaces et sans danger visant à réduire l'exposition humaine à la pollution de l'air intérieur dans les pays en développement. Pour de plus amples informations, ou pour devenir un membre du partenariat, veuillez visiter www.PCIAonline.org.

Ce document a été rédigé par Aprovecho Research Center à la faveur d'une subvention de Shell Foundation pour fournir un appui technique aux projets d'énergie et de santé ménagères et de garantir que leurs conceptions font valoir la meilleure pratique technique. Les auteurs principaux de cet opusculé comprennent : Dr. Mark Bryden, Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle, Rob Balis et Ken Goyer.

La pollution de l'air intérieur pose des problèmes de santé sérieux pour les deux mil millions de personnes du monde entier qui dépendent des biocarburants traditionnels pour leurs besoins en matière de cuisine et de chauffage. Au cours des 30 dernières années, une plus grande prise de conscience s'est faite concernant le danger environnemental et social que représente l'emploi des fourneaux et carburants traditionnels de même que les connaissances sur la réduction des ces émissions se sont approfondies. Toutefois, les fourneaux améliorés qui sont actuellement disponibles aux clients plus pauvres ne font pas toujours preuve de la meilleure pratique ou d'une conception sensible à l'ingénierie moderne. Les connaissances qu'exige la conception de fourneaux à combustion propre existent auprès de centres de perfectionnement dans plusieurs endroits du monde. Ces renseignements sont une première étape indispensable aux personnes chargées de promouvoir des fourneaux améliorés visant à réduire combien les utilisateurs sont exposés à la pollution de l'air intérieur.

Aprovecho est un centre de recherche, d'expérimentation et de formation en matière de technologies de remplacement qui sont compatibles avec l'environnement et tiennent compte des différences culturelles. Le laboratoire d'Études Avancées en Technologie Appropriée (Advanced Studies in Appropriate Technology) d'Aprovecho vise à développer des technologies d'efficacité énergétique, sans effets polluants et renouvelables qui tiennent compte de la recherche actuelle mais dont la conception permet la fabrication dans presque tous les pays. Le centre occupe une très belle propriété foncière de 40 acres près de la ville d'Eugène dans l'état d'Oregon. Pour de plus amples informations sur Aprovecho, veuillez visiter le site www.Aprovecho.net.

Illustrations: Mike Van, Jayme Vineyard et Ethan Hughes

Principes de conception des fourneaux de cuisine à bois

Dr. Mark Bryden, Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle,
Rob Bailis et Ken Goyer

Sommaire

Introduction	5-6
Chapitre 1 – Théorie des fourneaux	7-11
Chapitre 2 – Dix principes de conception	12-16
Chapitre 3 – Conception de fourneaux avec Baldwin et Winiarski	17-25
Chapitre 4 – Options pour les chambres de combustion	26-29
Chapitre 5 – Essai pratique d'ébullition	30-35
Annexe – Glossaire	37

Introduction

Stratégies éprouvées

La pollution de l'air intérieur pose des problèmes de santé sérieux pour les deux mil millions de personnes dans le monde entier dont les besoins en matière de cuisine et de chauffage sont pourvus par le carburant issu de la biomasse. Au cours des 30 dernières années, une plus grande prise de conscience s'est faite concernant le danger environnemental et social que représente l'emploi des fourneaux et carburants traditionnels. En même temps, les études se penchant sur ce problème ont abouti à des stratégies éprouvées permettant de réduire la combustion du carburant ainsi que ces émissions nuisibles. Malheureusement, la conception des fourneaux actuellement disponibles sur place ne fait pas toujours valoir ce que peut offrir l'ingénierie moderne. Cet opuscule essaye d'aborder le problème en récapitulant certains progrès dans le domaine de la théorie et la conception des fourneaux. Un bon entendement de ces concepts serait utile aux administrateurs des projets de fourneaux, aux responsables de l'élaboration des politiques, aux travailleurs sur place et aux cuisiniers.

Bien que les feux ouverts mènent souvent à la surconsommation, des feux ouverts exploités avec soin peuvent être économes en combustible et brûler sans résidus lors des essais au laboratoire. Souvent, les cuisiniers ne pensent pas trop à la consommation de combustible et les études ont montré que lorsque le combustible est abondant, les foyers à trois pierres peuvent utiliser du bois excessivement pour cuire une petite quantité d'aliments. Tandis qu'ailleurs, quand le combustible est insuffisant, les feux ouverts peuvent être si bien contrôlés que le rendement du combustible rivalise celui de nombreux fourneaux améliorés de première génération.

Comment la personne exploite le feu ouvert fait la différence, comme c'est le cas pour tout autre outil. Lors des années 70 et au début des années 80, les feux ouverts étaient vus comme étant assez inefficaces, en général. Cependant, l'analyse du feu ouvert permit aux chercheurs de créer des fourneaux véritablement perfectionnés. Dr. Grant Ballard-Tremeer et Dr. Kirk Smith furent des premiers parmi ceux qui ont

déterminé que les foyers à trois pierres pouvaient être plus propres et plus économes en combustible que certains fourneaux de cuisine « améliorés ».

Le respect envers les technologies indigènes qui reposent sur d'innombrables années d'expérimentation et qui ont beaucoup de mérite est en mesure de changer la perspective des scientifiques cherchant à soulager la souffrance humaine. Le fait d'observer comment les experts exploitent un feu ouvert a montré aux ingénieurs comment concevoir des fourneaux encore meilleurs. Les fourneaux de cuisine sont conçus pour d'abord assainir la combustion. Les gaz chauds peuvent ensuite être forcés à toucher la marmite ce qui augmente l'efficacité sans augmenter les émissions nuisibles.



Figure 1 – Feu de bois traditionnel

Le feu peut être propre quand les cuisiniers experts poussent le bois dans le feu à mesure qu'ils brûlent, ce qui permet de doser le combustible. Un feu ouvert peut être un feu chaud utile pour vite préparer des aliments ou des boissons. L'énergie est transmise à la marmite au lieu du corps froid d'un fourneau. Un feu ouvert peut brûler du bois sans trop de fumée car les feux chauds brûlent la fumée à mesure qu'elle est libérée du bois. Malheureusement, les feux utilisés pour la cuisson sont souvent bâtis en fonction d'un usage peu compliqué et sont gaspillés et polluants.

Les fourneaux modernes ont un meilleur rendement à l'essai que même le feu le plus soigneusement exploité dans le laboratoire. Des fourneaux de qualité peuvent offrir plusieurs avantages. Les fourneaux font bien plus qu'économiser du bois et réduire la fumée. Comment le fourneau fait la cuisine est souvent à ce quoi les utilisateurs attachent le plus d'importance!

Les fourneaux perfectionnés peuvent faire que la cuisson avec le feu soit plus simple, sûre, rapide, ainsi que d'enrichir la beauté de la pièce de cuisine. Un bon fourneau s'allume plus vite, n'a pas besoin d'être constamment surveillé et peut suffire aux besoins précis d'un cuisinier. Une conception réussie est appréciée parce qu'elle pourvoit à la qualité de vie ce qui prend plus de poids que les résultats d'un essai.

Décennies de recherche

Nombreux chercheurs ont contribué aux connaissances modernes en matière de la thermodynamique des fourneaux de cuisine. L'étude scientifique des fourneaux à bois est telle à présent que l'avis est unanime au sujet du fonctionnement des fourneaux. Dr. Larry Winiarski a étudié la combustion et les fourneaux de cuisine à bois depuis plus de trente ans. Il a aidé maintes organisations à construire des fourneaux dans différents pays du monde. Dr. Winiarski est le Directeur Technique du centre de recherches Aprovecho Research Center, où les fourneaux ont fait l'objet d'importantes études depuis 1976. L'équipe de Eindhoven University, sous la direction de Dr. Krishna Prasad et qui compte sur la participation de Dr. Peter Verhaart et Dr. Piet Visser, ont expérimenté avec des fourneaux à bois depuis plus de dix ans et ont écrit des livres clés à ce sujet. Dr. Sam Baldwin a récapitulé des années de travail en Afrique occidentale et dans le laboratoire dans son œuvre d'ensemble *Biomass Cookstoves: Engineering Design, Development and Dissemination (Fourneaux à combustion de la biomasse: Conception d'ingénierie, développement et diffusion)* (1987).

Le premier chapitre, *Théorie des fourneaux*, présente le travail de ces chercheurs de pointe et offre des stratégies utiles au concepteur de fourneaux soucieux de perfectionner un fourneau.

Le chapitre deux, *Dix principes de conception*, offre une description détaillée de la synthèse de la conception créée par Dr. Larry Winiarski

Les chapitres trois et quatre, *Conceptions de fourneaux avec Baldwin and Winiarski* et *Options pour les chambres de combustion* comprennent des informations techniques pour guider le concepteur chargé d'élaborer un projet de fourneau.

Et finalement, le chapitre cinq, *Essai pratique d'ébullition*, fournit aux concepteurs une méthode pratique pour mesurer le rendement des prototypes de fourneaux au fur et à mesure qu'ils évoluent. L'essai ne nécessite pas d'ordinateur out de calculs compliqués pour l'analyse des données.

Respect des connaissances locales

Nous espérons que les principes de conceptions ci-après élèvent le projet, en rehaussant le respect envers les connaissances locales ainsi que leur assimilation subséquente. La sensibilité et l'égard envers les connaissances locales fomentent l'échange bidirectionnel des renseignements, c'est-à-dire apprendre et comprendre l'expertise de la population locale et leur technologie, tout en partageant les connaissances acquises.

Il est d'espérer que le partage des principes de conception est plus inclusive que la simple promotion d'un dessin de fourneau statique. La documentation existante signale souvent que la créativité locale joue un rôle dans chaque partie d'un projet de fourneau. Un projet qui n'a pas de renseignements provenant de la communauté qui utilisera le fourneau est un projet démuné de l'avis essentiel à sa réussite.

Tous les membres d'une équipe de conception, notamment les cuisiniers, les spécialistes, les administrateurs, les promoteurs et les conseillers techniques peuvent vite apprendre les principes de conception d'un fourneau. La créativité et l'expérience pratique d'une équipe entière sont essentielles à la création d'un produit apte aux besoins et « goûts » locaux.

L'emprise autonome qu'offre le processus de conception peut aider à motiver la population locale à devenir des instructeurs, des promoteurs, des concepteurs et des fabricants. L'équipe technique enrichit ses connaissances en matière de conception, fabrication et promotion grâce aux utilisateurs et apprend autant qu'elle enseigne. Peut-être que la conclusion que les projets de fourneaux ont plus de chance de réussir lorsque toutes les parties concernées aident à la conception reflète l'espérance qu'une meilleure représentation pourra mener à la solution des problèmes de plus grande envergure.

Chapitre 1

Théorie des fourneaux

Même un feu ouvert est souvent 90% efficace à la besogne de transformer le bois en énergie. Mais une petite proportion uniquement, entre 10% et 40%, de l'énergie libérée passe à la marmite. Le fait d'améliorer le rendement de la combustion n'aide pas visiblement à ce que le fourneau utilise moins de carburant. D'autre part, le fait d'améliorer l'efficacité du transfert de la chaleur à la marmite est une grande innovation.

Un meilleur rendement de combustion est nécessaire pour réduire la fumée et les émissions nuisibles à la santé. Une meilleure efficacité du transfert de la chaleur peut sérieusement réduire l'usage de carburant. Le feu est naturellement doué pour cette tâche, mais les marmites ne peuvent pas capter aussi bien le feu car ce sont des échangeurs de chaleur inefficaces. Afin de réduire les émissions et la combustion de carburant, *la tâche du concepteur de fourneaux et d'assainir le feu d'abord et de forcer ensuite autant d'énergie que possible dans la marmite ou la plaque chauffante.* Ces deux fonctions peuvent s'accomplir dans un fourneau de cuisine bien mis au point.

La meilleure pratique est toujours d'ajouter une cheminée à tout fourneau à bois de cuisine ou de chauffage. De plus, un fourneau dont la combustion est propre est préférable car il protège la qualité de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la maison. Les cheminées qui extraient la fumée et d'autres émissions de l'espace habitable protègent la famille en réduisant l'exposition aux éléments polluants ainsi que les dangers que ceux-ci posent à la santé. Même les fourneaux dont la combustion est propre et qui ne sont pas munis d'une cheminée peuvent créer des niveaux insalubres de pollution à l'intérieur.

Les fourneaux sans ventilation devraient être utilisés à l'extérieur ou dans des espaces ouverts. Quand des cheminées ne sont pas abordables ou pratiques, l'emploi d'une hotte, le fait d'ouvrir les fenêtres ou de créer des événements d'aération sous les corniches du toit sont des méthodes qui peuvent toutes réduire les niveaux de pollution nuisible. L'emploi d'un

fourneau à combustion propre peut également être utile à cet égard mais, dans la mesure du possible, tous les fourneaux à bois devraient toujours être munis d'une cheminée ajustée et efficace.

Comment créer un fourneau plus efficace qu'un feu ouvert? Établissons d'abord une liste des avantages du foyer à trois pierres quand il se compare à certains fourneaux :

- ▶ L'énergie n'est pas absorbée dans la masse du corps d'un fourneau. Les fourneaux massifs peuvent absorber l'énergie destinée à la marmite. Le foyer à trois pierres peut bouillir de l'eau assez vite.
- ▶ Le feu touche le fond et, parfois, les côtés de la marmite, ce qui expose la marmite aux gaz chauds.
- ▶ Le feu peut être alimenté avec du bois à une cadence tempérée à mesure que les pointes brûlent, ce qui aide à achever une combustion complète.
- ▶ Le système de combustion d'un feu chaud ouvert peut être plus ou moins propre. Chaque fourneau souffre du fait que sa masse absorbe la chaleur. Mais un fourneau perfectionné peut quand même atteindre une meilleure combustion et efficacité de carburant que ne le peut un feu ouvert.

Comment améliorer la combustion

(générer une pollution moins nuisible que celle d'un feu ouvert)

- ▶ Veillez à ce que le feu est bien aéré.
- ▶ Isolez autour du feu pour qu'il brûle plus chaud. Un feu plus chaud brûle plus de gaz combustibles et produit moins de fumée.
- ▶ Évitez d'utiliser des matériaux lourds et froids telle que de la terre et du sable autour de la chambre de combustion.
- ▶ Soulevez le bois menu qui se trouve sur la terre pour que l'air puisse circuler sous les morceaux de bois et à travers le charbon.

- ▶ Une cheminée courte et isolée placée au-dessus du feu permet d'augmenter le tirage d'air et offre un endroit où la fumée, l'air et le feu peuvent harmoniser, réduisant ainsi les émissions. Cette stratégie populaire est utilisée dans beaucoup de fourneaux tels les *Z-stove*, *Vesto*, le fourneau à gaz de bois *Wood Gas Camp Stove*, le *Rocket*, le *Tso-Tso*, etc. Le groupe Eindhoven utilisa une cheminée au-dessus du feu avec leur fourneau le plus propre à passage d'air par le bas. Les fourneaux de Micuta ont également incorporé cette idée (*Modern Stoves for All*, [Fourneaux modernes pour tous], 1981). Winiarski élaborera ce concept au début des années 80 en créant un fourneau qui assainissait la combustion et améliorait l'efficacité du transfert de la chaleur (*Capturing Heat One*, [Capture de la chaleur Un], 1996).
- ▶ Dosez les morceaux de bois que vous introduisez dans la chambre de combustion afin de créer un feu chaud, féroce et nerveux qui ne produit pas beaucoup de charbon. Ce type de feu créera moins d'émissions dangereuses, de suie qui bouche la cheminée et de créosote. Ne chauffez que la partie brûlante du bois. Ne laissez pas que la partie non brûlante du bois fasse de la fumée.
- ▶ Limitez l'air froid qui entre dans le feu en utilisant l'ouverture la plus petite possible. Des petites ouvertures dans le feu peuvent également faire que le cuisinier utilise moins de bois qui, à son tour, peut se brûler plus efficacement.
- ▶ Une combustion complète a besoin d'un peu d'air en trop. Le fait de préchauffer l'air permet d'entretenir une combustion propre.

Comment améliorer le rendement du combustible

(plus de chaleur dans la marmite)

- ▶ Augmentez la température du gaz ou de la flamme en contact avec la marmite, en faisant que l'air chaud érafle le fond et les côtés de la marmite par une passe étroite en utilisant une jupe de marmite.
- ▶ Augmentez la vitesse des gaz de combustion chauds qui éraflent la marmite. Les gaz véloces perforent la couche limite d'air statique qui empêche les gaz plus lents de racler la surface de la marmite (ou de la plaque chauffante). L'air est un

milieu qui transfère mal la chaleur. Il faut beaucoup d'air chaud pour chauffer la marmite.

- ▶ Utilisez des marmites en métal plutôt que de l'argile, car le métal passe la chaleur en conduction mieux que l'argile.
- ▶ La taille du feu dicte la taille de l'écart du canal dans la jupe de la marmite ainsi que le rendement maximal de l'échange thermique. *Les feux plus petits* qui peuvent encore satisfaire aux cuisiniers mais qui ne sont pas trop grands seront nettement plus efficaces.
- ▶ Utilisez des marmites larges avec des grands diamètres. Une marmite large est munie d'une plus grande surface permettant d'augmenter l'échange thermique. Assurez-vous que la partie supérieure du fourneau s'incline vers le périmètre extérieure de la marmite, comme l'indique la figure 2.

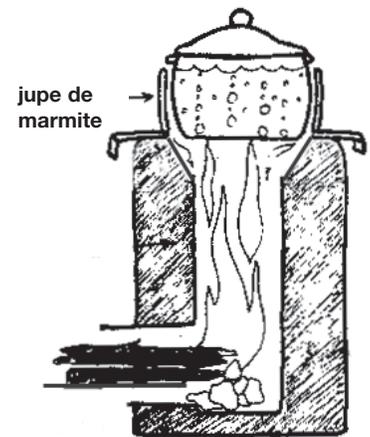


Figure 2 – Usage approprié de la jupe de marmite

L'ouvrage de Sam Baldwin, *Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination* (Fourneau à combustion de la biomasse: Conception d'ingénierie, développement et diffusion) (1987), offre une excellente récapitulation des méthodes visant à perfectionner les fourneaux. Sa lecture est hautement recommandée. Dr. Baldwin a calculé la relation entre la taille du canal entre la marmite et la jupe, la puissance et l'efficacité. Quelques exemples avec une marmite familiale se trouvent ci-après :

1. Le rendement d'un feu de 1,7 kW avec un écart de canal de 6 mm forçant les gaz de combustion chauds à frotter une marmite de 15 cm sera 47%.
2. Le rendement d'un feu de 4 kW avec un écart de canal de 10 mm forçant les gaz de combustion chauds à frotter une marmite de 15 cm sera 35%.
4. Le rendement d'un feu de 6 kW avec un écart de canal de 12 mm forçant les gaz de combustion chauds à frotter une marmite de 15 cm sera 30%.

4. Le rendement d'un feu de 8 kW avec un écart de canal de 14 mm forçant les gaz de combustion chauds à frotter une marmite de 15 cm sera 26%.

Comme règle empirique générale et approximative, Baldwin recommande qu'un fourneau familial qui brûle moins d'un kg de bois à l'heure peut utiliser un espacement de passe de 11 mm entre la jupe de la marmite et la marmite. Si le fourneau brûle 1,5 kg à l'heure, l'espacement doit être de 13 mm. Si 2 kg de bois sont brûlés à l'heure, l'espacement doit être de 15 mm. Veuillez consulter *Biomass Stoves (Fourneaux à combustion de la biomasse)* pour de plus amples informations.

Dans les fourneaux à bois, la convection transmet une grande partie de la chaleur à la marmite ou à la plaque chauffante. La quantité de bois qui brûle à l'heure et l'espacement du canal sont liés. Si l'espacement de la jupe de la marmite est trop étroit, le tirage d'air ne suffira pas et la fumée se répandra dans la salle.

Augmentez l'échange thermique avec la marmite en veillant à ce que la température des gaz de combustion chauds soit la plus élevée possible. Isolez partout où la chaleur circule excepté la marmite ou la plaque chauffante. Si le fourneau a suffisamment de surface pour que les gaz de combustion chauds puissent la gratter, les gaz de combustion seront nettement plus froids au moment de sortir de la cheminée. Si les températures à la sortie de la cheminée sont plus de 200° C, élargissez la surface pour profiter de la chaleur. C'est possible que les marmites ou plaques chauffantes secondaires posées près de la cheminée ne bouillissent jamais d'eau mais elles peuvent aider à préchauffer l'eau de cuisson, à réchauffer des aliments ou l'eau de la vaisselle ou du bain.

Une jupe de marmite force encore plus de chaleur dans la marmite en contraignant les gaz de combustion chauds à continuer de frotter la marmite sur ses côtés en plus de son fond.

Une caisse isolante (également connue comme marmite norvégienne, ou haybox) est un emploi encore plus efficace de la chaleur captée. Une marmite de mets bouillants est posée dans une caisse hermétique remplie de matériau isolant qui conserve la chaleur dans la marmite et cuit les aliments sans nécessité de carburant supplémentaire (voir la figure 4).

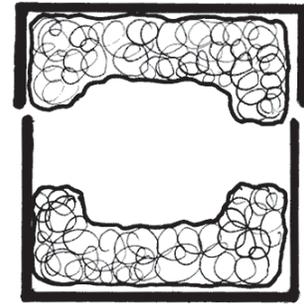


Figure 3 – Vue descendante de la caisse isolante

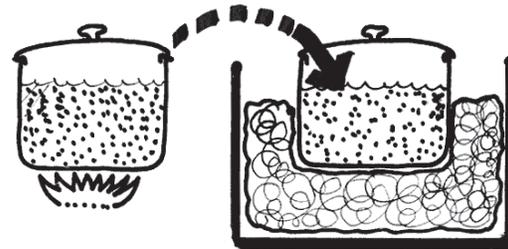


Figure 4 – Mise en place de la marmite bouillante dans la caisse isolante

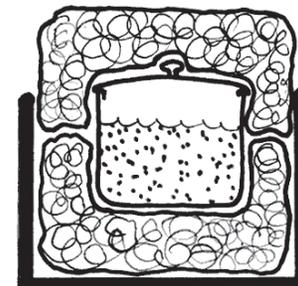


Figure 5 – Mise en place du couvercle isolant de la caisse isolante



Figure 6 – La cuisson des aliments se poursuit dans la caisse isolante

Une fois les aliments bouillis, le feu peut s'éteindre. Une marmite de mets placée dans une caisse isolante tire le plus grand parti possible de la chaleur pour achever la tâche de cuisson. Une caisse isolante fait mijoter les aliments sans nécessité de carburant supplémentaire. Cette technique économise une énorme quantité de bois. Un fourneau qui conserve la chaleur permet de gagner du temps au cuisiner qui laisse les aliments mijoter dans la caisse isolante!

Erreurs communes

1. L'énergie retenue dans le corps du fourneau aide à cuire les aliments.

FAUX

Les essais de Baldwin ont démontré que la majeure partie de l'énergie retenue se perd. Le charbon restant peut chauffer des aliments une fois le feu éteint mais l'énergie retenue dans le corps du fourneau est souvent trop froide pour bien chauffer une marmite.

Remarquez que l'énergie retenue par un fourneau peut être utile si ce fourneau sert à chauffer la salle.

2. Conserver l'énergie dans le fourneau en diminuant le tirage d'air aidera à la cuisson. Diminuer les températures de sortie de la cheminée signifie que le fourneau de cuisson fonctionne comme il se doit.

FAUX

Comme nous l'avons déjà signalé, le fait de réduire le tirage d'air nuit à la combustion et à l'échange thermique. Les gaz de combustion chauds ont besoin de plus grandes vitesses pour réussir un transfert efficace de la chaleur.

3. L'emploi de la clé de réglage de la cheminée aide au fonctionnement du fourneau.

FAUX

À nouveau, le fait de réduire le tirage d'air d'un fourneau de cuisson est généralement nuisible. Un fourneau de cuisson bien conçu ne nécessite pas l'emploi d'un volet ou d'une clé de réglage.

4. La terre compactée ou les pierres sont des matériaux isolants.

FAUX

Les matériaux compacts absorbent l'énergie assez vite tandis que l'élément isolant ralentit la circulation de la chaleur. Un matériau isolant comprend des poches d'air séparées par un élément léger et moins conducteur.

L'isolation est légère et aérée. Les matériaux lourds sont des meilleurs exemples de masse thermique. L'isolation aide à ce que l'eau bouillisse vite sur un fourneau ; tandis que la masse thermique démunit l'énergie de la marmite et freine l'ébullition de l'eau.

5. Tout est mieux qu'un feu ouvert.

FAUX

Un feu ouvert peut bouillir de l'eau plus vite que nombreux fourneaux lourds. Un foyer à trois pierres peut brûler sans résidus et être assez économe en carburant. Tandis qu'un feu ouvert peut mener à un excès de combustion lorsqu'il n'est pas soigneusement surveillé, les premières conclusions qui jugeaient meilleur le rendement d'un fourneau ont été remplacées par un nouvel égard envers cette ancienne technologie. Les ingénieurs ont appris à perfectionner les fourneaux de cuisine en travaillant les points forts des foyers à trois pierres.

Les essais sont essentiels

Dans *Biomass Stoves (Fourneaux à combustion de la biomasse)*, Dr. Baldwin a écrit un chapitre remarquablement détaillé sur les essais des fourneaux. Il souligne que l'essai des prototypes est nécessaire à l'évolution d'un fourneau. Les essais des fourneaux aident également à déterminer si le modèle est commercialisable, si les coûts de production sont les plus abordables possibles et si des améliorations sont nécessaires. Les essais doivent se réaliser durant la vie entière du projet de fourneau.

Le texte de Baldwin comprend des essais qui déterminent si les consommateurs sont satisfaits du produit, si du bois de feu est économisé et comment sont affectés différents aspects du mode de vie. Sans essais continus, un projet de fourneau se déroule dans le noir, privé de renseignements technologiques, sociologiques et commerciaux qui sont essentiels. Nous recommandons largement la lecture du chapitre sur les essais des fourneaux dans *Biomass Cookstoves (Fourneaux à combustion de la biomasse)*.

Les essais minutieux des fourneaux permettent de comprendre plus précisément comment créer des fourneaux meilleurs. Sans expérimentations ni essais, l'évolution d'un fourneau repose sur des hypothèses. Une recherche méticuleuse peut vite écarter les opinions des faits. Les essais ont une double fonction : identifier les problèmes et signaler les solutions. C'est un ingrédient primordial du progrès. La page 30 du chapitre 5, présente un test simple d'ébullition.

Des fourneaux sans danger!

Il est vraisemblable qu'éviter les brûlures soit une des fonctions les plus importantes d'un fourneau perfectionné. Les brûlures sont courantes dans les demeures qui utilisent le feu et elles peuvent être mortelles ou horriblement déformantes. Pour protéger la famille, la chaleur du corps du fourneau ne doit pas pouvoir faire mal. Les fourneaux et les marmites doivent être stables. Entourez le feu avec le corps du fourneau pour protéger les enfants. Les blessures d'un feu sont un problème important que les fourneaux peuvent résoudre.

Les cheminées ou les hottes peuvent également aider à enlever la fumée de la cuisine. Selon les plus récents calculs de l'Organisation Mondiale de la Santé, jusqu'à 1,6 million de femmes et d'enfants meurent tous les ans pour avoir respiré l'air pollué de leurs maisons. La pneumonie ainsi que d'autres maladies respiratoires parmi les enfants sont provoquées par le fait de respirer de la fumée. Les fourneaux non aérés peuvent s'utiliser à l'extérieur, sous un toit ou, au moins, près d'une grande fenêtre. Les cheminées opérationnelles et les fourneaux hermétiques peuvent essentiellement éliminer toute la pollution de l'environnement intérieur. Les cheminées sont utilisées dans les pays industrialisés et sont requises pour protéger les familles des émissions nuisibles. Ne faudrait-il pas que les gens des pays plus pauvres soient protégés de la même façon?

Chapitre 2

Dix principes de conception

Les principes de conception de Dr. Larry Winiarski ont été utilisés par maintes organisations afin de créer des fourneaux réussis. Les fourneaux *plancha HELPS* au Guatemala, *EcoStove PROLENA* au Nicaragua, *Trees, Water and People Justa* au Honduras, ProBec en Afrique du Sud, la nouvelle génération de fourneaux de cuisine GTZ en Afrique, ainsi que le fameux fourneau Rocket, ont tous été conçus avec ses principes. L'approche de Winiarski marie les caractéristiques de la combustion propre et de l'échange thermique optimisé. Tout type de fourneau à bois alimenté de façon intermittente peut d'abord être envisagé par la population locale en fonction de ses nécessités et être ensuite achevé en adaptant de tels principes.

Les fourneaux alimentés de façon intermittente et ventilés fonctionnent différemment. Ces autres méthodes de conception des fourneaux permettent de réussir à perfectionner les fourneaux à bois. Tandis que nombreux experts se concentrent sur ces deux approches, Crispin Pemberton-Pigott et Dr. Tom Reed ont tous deux élaboré d'excellents modèles opérationnels qui sont en vente chacun. Pour de plus amples informations sur le fourneau Vesto, veuillez contacter : Crispin Pemberton-Pigott; vesto@newdawn.sz, ou VESTO, P.O. Box 85274 Emmarentia, République de l'Afrique du Sud 2029.

Dr. Tom Reed étudie les feux de bois depuis des dizaines d'années. Ses fourneaux ventilés sont des inventions merveilleuses, actuellement disponibles sur le marché sous le nom de « *Wood Gas Camp Stoves* ». On peut joindre Dr. Reed auprès de Biomass Energy Foundation Press ou à l'adresse tombreed@comcast.net.

PRINCIPE UN:

Autant que possible, créez de l'isolation autour du feu avec des matériaux légers et résistants à la chaleur. Si possible, n'utilisez pas de matériaux lourds tels le sable ou l'argile, l'isolation devrait être légère et pleine de petites poches d'air. Des exemples d'isolation naturelle sont les pierres ponce, la vermiculite, la perlite et la cendre de bois. Des briques réfractaires légères (brique cuite et qui est résistante aux craquelures à des températures élevées) peuvent se fabriquer à partir de sources locales (pour des recettes, reportez-vous au chapitre 4, *Option 2 : Céramiques isolantes*, page 27).

L'isolation autour du feu conserve sa chaleur ce qui permet de réduire la fumée et les émissions nuisibles. De plus, l'isolation autour du feu empêche la chaleur de se propager à travers le corps du fourneau au lieu de la marmite. Malheureusement, le métal ne dure pas très longtemps près d'un feu chaud. Cependant, il y a

des tuiles céramiques fabriquées sur place qui sont durables lorsqu'elles sont utilisées comme paroi d'une chambre de combustion. Une isolation lâche peut entourer ce type de construction. (Voir le chapitre 4, *Option 1: Carreaux de sol*, page 26.)

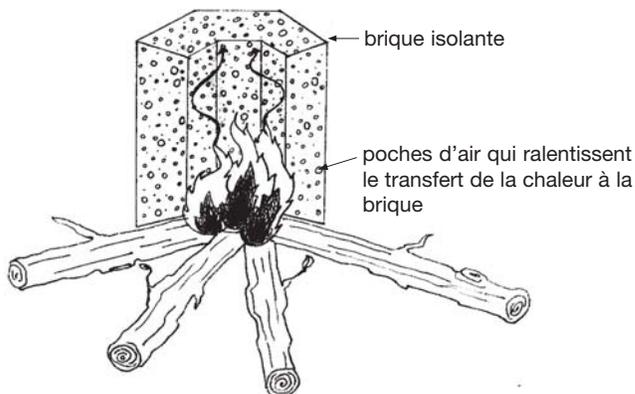


Figure 7 – Isolation autour du feu

PRINCIPE DEUX:

Posez une cheminée courte isolée juste au dessus du feu. La cheminée de la chambre de combustion devrait être à peu près trois fois plus haute que son diamètre. Une cheminée courte au dessus du feu augmente le tirage d'air et contribue à ce que le feu soit chaud et féroce. La fumée touchera le feu dans la cheminée et sera incinérée ce qui réduit les émissions. Les marmites ou les surfaces à chauffer sont posées au dessus de la cheminée courte. Une cheminée de chambre de combustion plus haute, plus de trois fois son diamètre, éliminera plus de fumée, mais une cheminée plus courte amènera les gaz plus chauds vers la marmite. Une cheminée de chambre de combustion peut créer trop de tirage d'air et amener un excès d'air froid ce qui aura l'effet de réduire l'échange thermique.

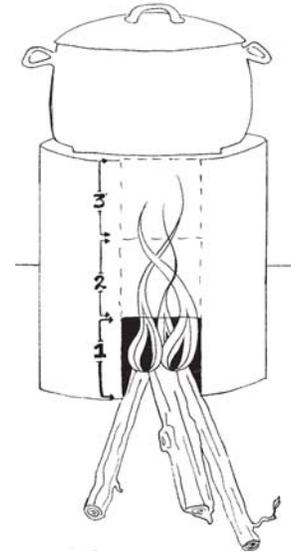


Figure 8 – Une cheminée courte isolée au dessus du feu

PRINCIPE TROIS:

Chauffez et brûlez les bouts des morceaux de bois à mesure qu'ils sont introduits dans le feu. Si seulement le bois que brûle est chaud il y aura beaucoup moins de fumée. Efforcez-vous à ce que le reste du morceau de bois reste suffisamment froid pour qu'il ne couve pas de feu et produise de la fumée.

Le but est de créer le volume juste de gaz pour que celui-ci brûle de façon propre sans produire ni charbon ni fumée. La fumée est du gaz qui n'a pas brûlé ! La respirer est nuisible à la santé. Même la combustion d'apparence plus propre contient des émissions dangereuses.

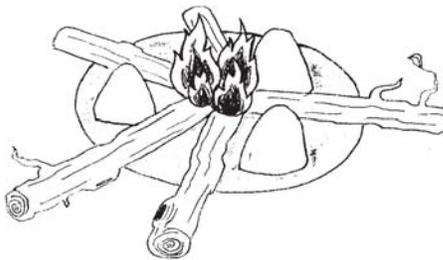


Figure 9 – Feu qui brûle sans résidus

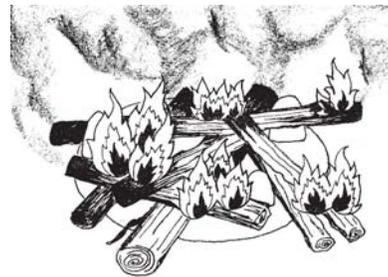


Figure 10 – Un feu de bois qui couve produit de la fumée

PRINCIPE QUATRE:

Une température haute ou basse dépend de la quantité de bois introduit dans le feu.

Régalez la quantité de gaz produite et le feu créé en fonction de la tâche de cuisson. (Le bois chauffe et émane du gaz. Le gaz prend feu et produit de la chaleur.)

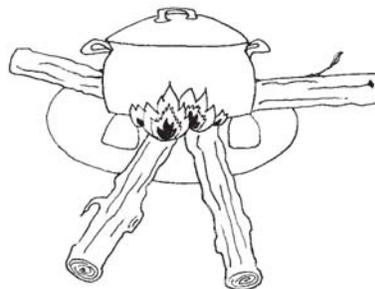


Figure 11 – Température basse

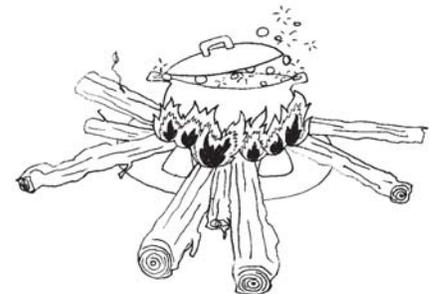


Figure 12 – Température haute

PRINCIPE CINQ:

Veillez à maintenir un bon tirage d'air à travers le carburant. Tout comme le fait de souffler sur un feu et sur du charbon fait monter la température, un tirage d'air juste aidera à conserver la température élevée dans votre fourneau. Un feu propre est un feu chaud.

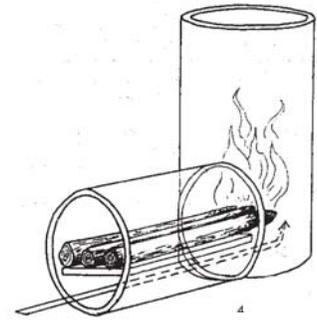


Figure 13 – Entretenir un bon tirage d'air

PRINCIPE SIX:

Un tirage d'air trop exigü produira de la fumée et trop de charbon. Bien que trop d'air refroidit le feu et n'est pas utile. Des ouvertures plus petites dans le feu aide à contrôler l'excès d'air. Un meilleur échange thermique avec la marmite ou à la plaque chauffante est le facteur le plus important qui réduira le combustible que consomme un fourneau de cuisine. Une combustion plus efficace réduit la pollution mais a moins d'importance quand il s'agit d'économiser du bois de feu.

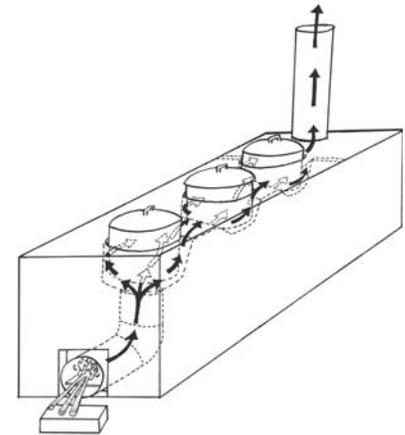


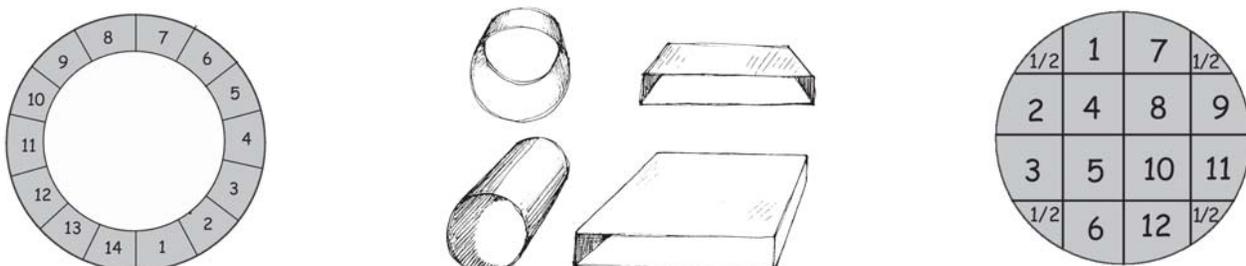
Figure 14 – Équilibrage du tirage d'air d'un fourneau à plusieurs marmites

PRINCIPE SEPT:

La taille de l'ouverture dans le feu, celle des espaces parmi lesquels l'air chaud circule dans un fourneau et celle de la cheminée devraient être semblables. Cet équilibre s'appelle le maintien de la surface de section constante et il contribue à garder un tirage d'air uniforme à travers le fourneau. Un bon tirage d'air non seulement conserve la chaleur du feu mais il est également essentiel au transfert efficace à la marmite de l'air chaud créé par le feu. L'air ne transporte pas beaucoup d'énergie et donc il en faut beaucoup pour passer à travers le fourneau afin d'accomplir la tâche de chauffer l'eau ou les aliments. La taille des ouvertures est plus

grande dans les fourneaux plus puissants qui brûlent plus de bois et produisent plus de chaleur. **En général, une trappe dont l'ouverture carrée est de 12 centimètres de chaque côté ainsi qu'une cheminée et des tunnels dans le fourneau de taille semblable produiront un feu adapté à cuisson familiale.** Les fourneaux commerciaux nécessitent des ouvertures, des tunnels et des cheminées plus larges car les feux plus grands nécessitent plus d'air. Pour de plus amples informations, reportez-vous au chapitre intitulé *Conception de fourneaux avec Baldwin et Winiarski*, à la page 17.

Figure 15 - Maintien de la surface de section constante



PRINCIPE HUIT:

Utilisez une grille à feu. N'étalez pas des morceaux de bois au fond du foyer. L'air a besoin de circuler sous les branches de bois, de se dégager du charbon et d'accéder au feu. Une tablette installée dans l'ouverture du fourneau permet également de dégager le bois pour que l'air puisse circuler en dessous. Quand vous brûlez du bois, nous vous recommandons de les rassembler à plat sur la tablette avec de la place pour l'air entre chaque morceau de bois. Les morceaux de bois brûlants maintiennent la chaleur du feu et chaque morceau brûlant contribue à ce que les autres morceaux brûlent également. L'idéal est que l'air qui circule sous la tablette et parmi le charbon soit préchauffé de tel sorte qu'il aide les gaz à réussir la combustion totale lorsqu'il atteint le feu. L'air qui passe au dessus du bois n'est pas aussi avantageux car il est moins chaud et refroidit le feu.

Un feu chaud et féroce est un feu propre tandis que la combustion d'un feu froid peut être très impropre.

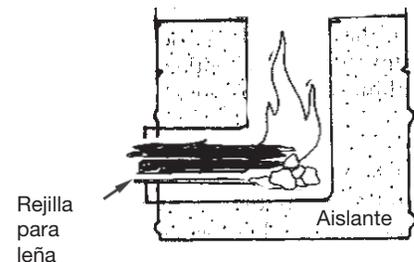


Figure 16 – Emploi d'une grille sous le feu

PRINCIPE NEUF:

Isolez le parcours du flux thermique. Les cuisiniers ont tendance à préférer les fourneaux à ébullition rapide. Ceci revêt une importance toute particulière le matin quand les membres de la famille se préparent pour la journée. Si la chaleur passe à la masse du fourneau, la marmite bouillit plus lentement. Quel serait le but de chauffer cinquante ou cent kilos de masse tous les matins quand on ne souhaite chauffer

qu'un kilo de nourriture ou un litre d'eau ? Les matériaux isolants du fourneau conservent la chaleur des gaz de combustion pour qu'ils puissent mieux chauffer la casserole ou la plaque chauffante. L'isolation est très légère et pourvue d'orifices. L'argile et le sable, ou d'autres matériaux épais ne sont pas isolants. Les matériaux à grande densité absorbent la chaleur et la détournent de la cuisson des aliments.

PRINCIPE DIX:

Maximisez l'échange thermique avec la marmite avec des espacements correctement étalonnés. Les canaux plus petits sont mieux adaptés au transfert de la chaleur aux marmites ou aux plaques chauffantes. Les gaz de combustion chauds du feu sont attisés à travers ces canaux étroits, ou espacements, où ils sont contraints de frotter la marmite ou la plaque chauffante. Si l'espacement est trop large, les gaz de combustion chauds chercheront à s'arrêter au milieu du canal sans possibilité d'effectuer l'échange thermique avec la surface de cuisson en question. Par contre, si les espacements

sont trop petits, le tirage d'air diminue ce qui refroidit le feu, augmente les émissions et empêche la chaleur de passer à la marmite.

Pendant l'étape de conception d'un fourneau, l'espacement du canal à côté de la marmite, ou de la plaque chauffante, peut se restreindre à tel point que le feu devient « indolent ». En suivant une méthode d'approximations successives (c'est-à-dire l'apprentissage par essai et erreur), élargissez l'espacement peu à peu jusqu'à ce que le feu reste chaud et puissant.

Les deux facteurs les plus importants de l'échange thermique avec la marmite ou la plaque chauffante sont : 1) garder les gaz de combustion qui touchent la marmite ou la plaque chauffante le plus chaud possible et 2) forcer les gaz chauds à frotter la surface rapidement et non lentement. L'air ne conserve pas bien la chaleur. Les gaz de combustion chauds plus rapides qui frottent la marmite ou la plaque chauffante assureront un meilleur échange thermique qu'un air plus froid et plus lent.

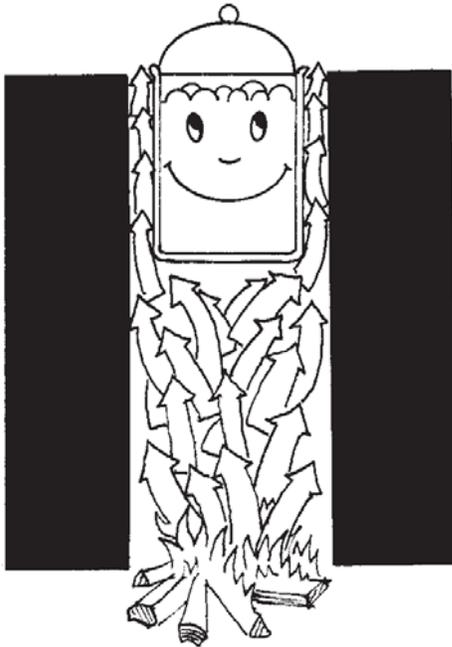


Figure 17 – Un espacement bien réglé optimise l'échange thermique avec la marmite

La taille du canal peut se calculer grâce au maintien de la surface de section constante sur l'ensemble du fourneau. Si vous utilisez une cheminée externe qui apporte un plus grand tirage d'air, vous pouvez réduire les espacements des canaux. Pour de plus amples informations au sujet des espacements, reportez-vous au chapitre suivant.

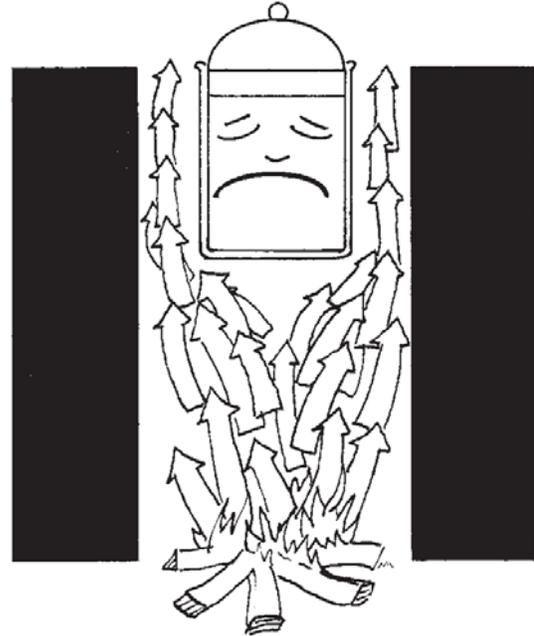


Figure 18 – Un espacement trop large réduit l'échange thermique avec la marmite

Chapitre 3

Conception de fourneaux avec Baldwin et Winiarski

Le fait de forcer des gaz de combustion chauds à frotter la surface de contact de la marmite, ou de la plaque chauffante, à travers un canal étroit est une stratégie de conception mise en vogue par Dr. Samuel Baldwin et Dr. Larry Winiarski. En 1982, Dr. Winiarski créa la jupe de marmite, un cylindre en tôle entourant la marmite et formant un canal étroit qui augmente l'efficacité de l'échange thermique. Dr. Baldwin étudia les fourneaux en Afrique et en 1987 il publia *Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination (Fourneau à combustion de la biomasse: Conception d'ingénierie, développement et diffusion)* (1987), ouvrage précurseur où il souligne l'importance des canaux étroits pour un meilleur échange thermique avec la marmite.

En général, il existe trois façons d'augmenter l'échange thermique par convection :

- ▶ La température des gaz de combustion éraflant la surface à chauffer devraient être la plus élevée possible.
- ▶ La surface de contact de l'échangeur thermique devrait être le plus large possible.
- ▶ La vitesse des gaz de combustion chauds devrait être augmentée autant que possible. Un flux plus rapide sur l'extérieur de la marmite agite la couche limite stagnante de l'air qui ralentit le réchauffement efficace.

Les canaux étroits que forme une jupe isolée près de la marmite (voir la figure 19) peuvent aider à optimiser les trois principes de façon simple et rentable. Bien que le fait de diminuer l'espacement augmente

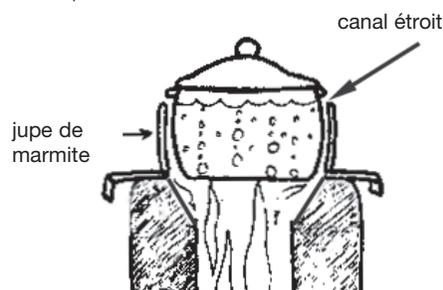


Figure 19 – Le canal étroit à côté de la marmite augmente l'échange thermique par convection

l'efficacité du transfert, cette diminution a pour effet de diminuer également le flux d'air à travers le fourneau. La taille de l'espacement doit donc être mesurée en fonction de la puissance. Si plus de bois est brûlé la minute, plus d'air est nécessaire à la combustion et au flux requis pour éviter le refoulement d'air dans la salle. Si l'espacement est trop petit le feu brûlera bien pour mijoter mais n'aura pas assez d'air pour des cuissons plus puissantes. D'autre part, des grands espacements assureront un feu grand mais la chaleur superflue se perdra à cause du transfert minimale de la chaleur.

Stratégies de conception

Les deux créateurs de fourneaux abordent la question de la taille de l'espacement différemment. Winiarski, dans *Rocket Stove Design Principles (Principes de conception des fourneaux Rocket)* (1997), recommande aux techniciens d'entreprendre la conception des fourneaux en gardant la surface de section constante à travers le fourneau. Il établit la surface de section à l'ouverture du feu, ou magasin à combustible, et aménage ensuite les espacements appropriés autour des marmites en gardant la même surface de section. La méthode de Baldwin préconise au concepteur de sélectionner la puissance maximale du fourneau. La taille de l'espacement est ensuite établie à partir de la puissance fixée. Winiarski choisit la taille du magasin à combustible en premier tandis que Baldwin se sert de la puissance comme point de départ. Les intervalles au sein du fourneau sont déterminés par l'un ou l'autre de ces choix fondamentaux.

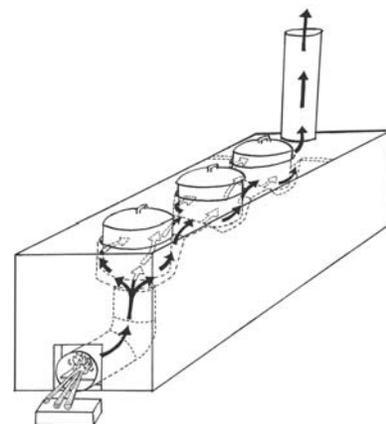


Figure 20 – Les gaz de combustion chauds passent par un canal étroit et sont contraints de frotter la surface des marmites

Méthode de Winiarski

L'illustration et les tableaux ci-après (voir les pages 19 à 20) montrent comment la taille des canaux à côté de la marmite, ou de la plaque chauffante, change à mesure que l'ouverture du feu s'élargit. Dr. Winiarski suggère qu'une ouverture de 12 cm par 12 cm convient en général à un fourneau de cuisine familial. Des ouvertures plus larges qui permettent plus de bois dans le feu produisent plus de puissance et élargissent les espacements du canal. Le fait de garder constante la surface de section sur l'ensemble d'un fourneau assure un tirage d'air favorisant une bonne combustion ainsi que des espacements de canal

améliorant l'efficacité de l'échange thermique. Ceci signifie que l'ouverture de la chambre de combustion, la chambre de combustion, l'écart d'air entre la marmite, ou la plaque chauffante, et la cheminée sont de la même taille (nombre égal de centimètres carrés) bien que leur forme ne le soit pas. Winiarski recommande aux concepteurs de créer des fourneaux prototypes qui maintiennent la surface de section constante pour que le tirage d'air circule à un taux optimal. Un tirage d'air plus lent nuit à la combustion et à l'efficacité de l'échange thermique avec la marmite.

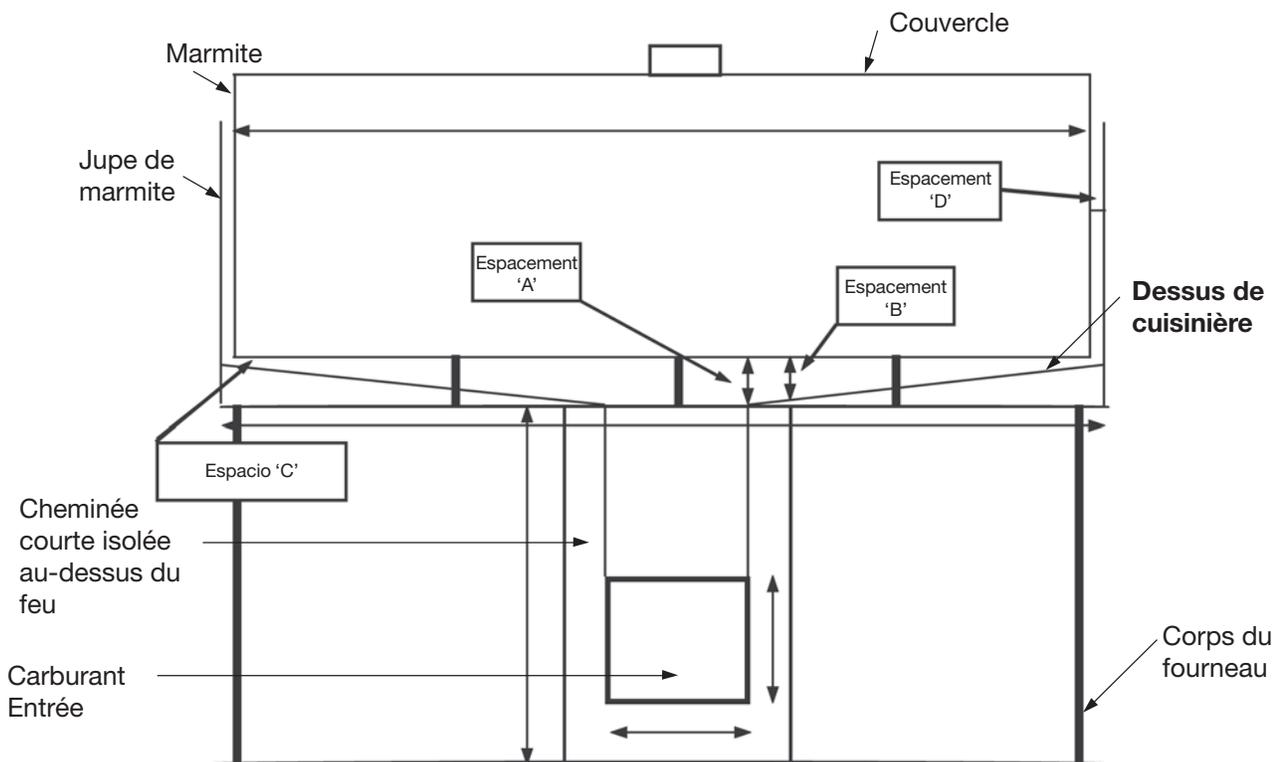


Figure 21 – Un fourneau Winiarski typique
(Utilisez cette illustration avec les calculs de la page 19-25 et établir la taille appropriée de l'écart).

SURFACE DE SECTION POUR LES CHAMBRES DE COMBUSTION CARRÉES*Utilisez ces tableaux pour créer des fourneaux dont la surface de section est constante***Tableau 1**

Chambre de combustion carrée de 12 cm x 12 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	3	3	3	3
Espacement B (cm)	2,5	2,5	2,5	2,5
Espacement C (cm)	2,3	1,5	1,1	0,9
Espacement D (cm)	2,1	1,5	1,1	0,9
Chambre de combustion carrée de 14 cm x 14 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5
Espacement B (cm)	3,1	3,1	3,1	3,1
Espacement C (cm)	3,1	2,1	1,6	1,2
Espacement D (cm)	2,7	2	1,5	1,2
Chambre de combustion carrée de 16 cm x 16 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	4	4	4
Espacement B (cm)	S/O	3,7	3,7	3,7
Espacement C (cm)	S/O	2,7	2	1,6
Espacement D (cm)	S/O	2,5	1,9	1,6
Chambre de combustion carrée de 18 cm x 18 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	4,5	4,5	4,5
Espacement B (cm)	S/O	4,3	4,3	4,3
Espacement C (cm)	S/O	3,4	2,6	2,1
Espacement D (cm)	S/O	3,1	2,4	2
Chambre de combustion carrée de 20 cm x 20 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	5	5	5
Espacement B (cm)	S/O	4,9	4,9	4,9
Espacement C (cm)	S/O	4,2	3,2	2,5
Espacement D (cm)	S/O	3,7	3	2,4

SURFACE DE SECTION POUR LES CHAMBRES DE COMBUSTION SPHÉRIQUES

Tableau 2

Chambre de combustion sphérique d'un diamètre de 12 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	3	3	3	3
Espacement B (cm)	2	2	2	2
Espacement C (cm)	1,8	1,2	0,9	0,7
Espacement D (cm)	1,6	1,2	0,9	0,7
Chambre de combustion sphérique d'un diamètre de 14 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	3,5	3,5	3,5	3,5
Espacement B (cm)	2,4	2,4	2,4	2,4
Espacement C (cm)	2,4	1,6	1,2	0,9
Espacement D (cm)	2,2	1,5	1,2	0,9
Chambre de combustion sphérique d'un diamètre de 16 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	4	4	4
Espacement B (cm)	S/O	2,9	2,9	2,9
Espacement C (cm)	S/O	2,1	1,6	1,3
Espacement D (cm)	S/O	2	1,5	1,3
Chambre de combustion sphérique d'un diamètre de 18 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	4,5	4,5	4,5
Espacement B (cm)	S/O	3,4	3,4	3,4
Espacement C (cm)	S/O	2,7	2	1,6
Espacement D (cm)	S/O	2,5	1,9	1,6
Chambre de combustion sphérique d'un diamètre de 20 cm				
Taille de la marmite (cm)	20	30	40	50
Espacement A (cm)	S/O	5	5	5
Espacement B (cm)	S/O	3,8	3,8	3,8
Espacement C (cm)	S/O	3,3	2,5	2
Espacement D (cm)	S/O	3	2,4	1,9

Baldwin: La puissance du feu détermine la taille du canal

Comme le montre la représentation graphique ci-dessous, les méthodes de Baldwin et Winiarski semblent créer des interstices de taille semblable. Ces valeurs sont issues des graphiques dans *Biomass Stoves (Fourneaux à combustion de la biomasse)*, ouvrage qui récapitule les conclusions de Baldwin. Le graphique est une approximation visant à éclairer la relation entre la puissance, la combustion de bois à l'heure, la longueur et largeur de l'espace et l'efficacité du fourneau.

Tableau 3 – Dimensions des espacements recommandées par Baldwin

Bois brûlé à l'heure (kg)	Espacement de la jupe (mm)	Longueur de l'espace (cm)	Efficacité thermique du fourneau (%)	Puissance du feu (kW)
0,50	8	20	40	2,8
0,75	10	20	35	4,1
1,00	11	20	30	5,5
1,25	12	20	28	6,9
1,50	13	20	26	8,3
1,75	14	20	25	9,6

Un fourneau représentatif des conceptions de Winiarski dont la chambre de combustion carrée est de 12 cm x 12 cm consomme le bois à un taux approximatif de 1,5 kg à l'heure quand la puissance est haute. Dans son programme informatique, Baldwin se sert d'une marmite de 30 cm comme marmite « familiale ». Vu la dimension de la marmite, l'écart du périmètre avec le modèle de Winiarski est censé se calculer en divisant l'aire ($A = 12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} = 144 \text{ cm}^2$ pour une chambre de combustion carrée) par le périmètre au rebord de la marmite ($P = \pi (d)$, la circonférence ou $3,14 \times 30 = 94 \text{ cm}$). L'écart résultant est $144 \text{ cm}^2 / 94 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}$ (15 mm). D'après le tableau de Baldwin, nous voyons que l'efficacité maximale d'un fourneau dont le taux de combustion est 1,5 kg à l'heure exigerait un écart de 13 mm, c'est-à-dire 2 mm de différence du modèle de Winiarski.

Calculs

Conformément à la méthode de Winiarski, la surface de section doit être constante et vous devrez donc calculer la hauteur correcte de l'écart sous la marmite. L'hauteur changera à mesure que vous passez du centre la chambre de combustion à l'extérieur du rebord de la marmite. Pour ce faire, calculez l'espacement nécessaire au bord de la chambre de combustion et au bord de la marmite. Bien que ceci paraisse compliqué c'est relativement simple. Ce calcul comprend cinq étapes :

1. Déterminez l'aire de la chambre de combustion, valeur à suivre sur l'ensemble du fourneau. Si la chambre de combustion est sphérique, utilisez la formule ci-après pour calculer l'aire :

$$A_c = \pi \cdot r_c^2$$

où A_c est l'aire, $\pi = 3,14$, et r_c est le rayon. Le rayon est une moitié du diamètre. Si la chambre de combustion est carrée ou rectangulaire, utilisez la formule ci-après pour calculer l'aire :

$$A_c = l \cdot w$$

où l est la hauteur et w la largeur.

2. Au bord de la cheminée isolée au dessus du feu, les gaz virent et suivent le fond de la marmite. Pour déterminer l'espacement requis au bord de la chambre de combustion, définissez d'abord la circonférence de l'aire par laquelle les gaz chauds vont passer. Pour ce faire, mesurez la distance de la sortie du centre de la chambre de combustion jusqu'au bord le plus éloigné, r_c . Dans le cas d'une chambre de combustion sphérique, cette valeur est le rayon. Dans le cas d'une chambre carrée ou rectangulaire, cette valeur est la distance depuis le centre jusqu'à un des coins. Déterminez la circonférence associée avec cette distance. Ceci est:

$$C_c = 2 \cdot \pi \cdot r_c$$

Dans le cas d'une chambre de combustion rectangulaire, la circonférence est égale au périmètre du rectangle, ou bien

$$C_c = 2 \cdot l + 2 \cdot w$$

3. Ensuite, divisez la surface de section, A_c , définie lors de l'étape 1, par la valeur C_c définie lors de l'étape 2. C'est:

$$G_c = A/C_c$$

où G_c est l'espacement requis entre le fond de la marmite et le bord supérieur de la chambre de combustion.

4. Déterminez maintenant l'espacement optimal au bord de la marmite. Mesurez la circonférence, C_p , de la marmite. C'est la distance autour de la marmite entière. La circonférence peut se mesurer de deux façons. La plus simple est de prendre un fil, de faire le tour de la marmite avec et de mesurer la longueur du fil. Autrement, vous pouvez définir la circonférence à partir du rayon, r_p .

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot r_p$$

5. Tout comme l'étape 3, divisez la surface de section, A_c , telle que définie à l'étape 1 par la valeur de C_c définie à l'étape 4 pour calculer l'espacement requis au bord de la marmite, G_p . C'est:

$$G_p = A/C_p$$

Comme déjà indiqué ci-dessus, l'aire sous la marmite devra se réduire en douceur, en passant du bord de la chambre de combustion jusqu'au bord de la marmite. Les lecteurs appliqués remarqueront que la diminution de l'espacement n'est pas linéaire. Cependant, la règle empirique gouvernant l'aire constante en tant qu'approximation simplifie cette démarche. En douceur, raccordez manuellement, et de façon linéaire, la distance de l'espacement au bord de la chambre de combustion avec le rebord de la marmite.

Une fois que le prototype muni d'une surface de section constante est créé, il faudra peaufiner le fourneau de cuisine en réduisant l'écart du canal tandis que vous observez le feu à haute puissance. Réglez un espacement le plus petit possible tout en surveillant que le tirage d'air peut assurer une combustion propre. Il est utile de ne pas oublier que les fourneaux fonctionnent souvent à une très haute puissance, le concepteur méticuleux doit donc ne pas trop rétrécir les écarts en fonction de la puissance maximable possible. Un écart qui dépasse l'espace théoriquement idéal fournit également un degré de protection contre les colmatages créés par une combustion incomplète.

Exemple 1

Examinez le cas d'un fourneau dont la chambre de combustion sphérique est d'un diamètre de 12 cm avec une marmite de cuisson d'un diamètre de 30 cm.

La première étape consiste à calculer la surface de section de la chambre de combustion. En utilisant le rayon, c'est:

$$A_c = \pi \cdot 6^2 = \pi \cdot 36 = 113,1\text{cm}^2$$

Calculez ensuite l'écart requis au bord de la chambre de combustion. Pour commencer, nous calculons la circonférence de l'aire par laquelle les gaz chaud vont circuler. C'est:

$$C_c = 2 \cdot \pi \cdot 6 = \pi \cdot 12 = 37,7\text{cm}$$

Cette valeur vous permet de trouver l'écart requis au bord de la chambre de combustion:

$$G_c = 113,1/37,7 = 3,0\text{cm} \quad \leftarrow$$

Si cet espace n'a que deux centimètres de hauteur, la surface de section de l'espacement A ne serait que 75,4 cm², ce qui réduit le tirage et accroît la production de fumée. Si l'écart de l'espacement A est 5 centimètres, la surface de section serait 188,5 cm². Cette surface est tellement large que même si le taux de flux est soutenu, la vitesse des gaz chauds est diminuée et les gaz ne sont plus forcés de gratter la marmite et ne peuvent plus céder leur énergie.

Au bord de la marmite, la circonférence que les gaz chauds doivent franchir est:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

L'espacement requis au bord de la marmite est:

$$G_p = 113/94,3 = 1,2\text{cm}$$



Il faut tenir compte que ceci est une approximation et que l'espacement devra être réglé sur place conformément au réglage de la plus haute puissance du fourneau. De plus, il faudra diminuer en douceur l'écart de 3,0 cm au bord de la chambre de combustion jusqu'à 1,2 cm au bord de la marmite.

Exemple 2

Il est souvent moins onéreux de construire des chambres de combustion carrées ou rectangulaires. Examiner le cas d'une chambre de combustion rectangulaire de 12 cm x 10 cm avec une marmite de caisson d'un diamètre de 30 cm. La première étape consiste à calculer la surface de section de la chambre de combustion. C'est

$$A_c = 12 \cdot 10 = 120\text{cm}^2$$

Calculez ensuite l'écart requis au bord de la chambre de combustion. Pour commencer, nous calculons la circonférence de l'aire par laquelle les gaz chaud vont circuler. C'est égal au périmètre du rectangle, ou:

$$C_c = 2 \cdot 1 + 2 \cdot w = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 10 = 44,0\text{cm}$$

Cette valeur vous permet de trouver l'écart requis au bord de la chambre de combustion:

$$G_c = 120/44,0 = 2,7\text{cm}$$



Au bord de la marmite, la circonférence que les gaz chauds doivent franchir est 94,3:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

L'espacement requis au bord de la marmite est:

$$G_p = 120/94,3 = 1,3\text{cm}$$



À nouveau, il faut tenir compte que ceci est une approximation et que l'espacement devra être réglé sur place conformément au réglage de la plus haute puissance du fourneau. De plus, il faudra diminuer en douceur l'écart de 2,7 cm au bord de la chambre de combustion jusqu'à 1,3 cm au bord de la marmite.

Exemple 3

Une autre application de la règle empirique gouvernant la surface constante consiste à déterminer l'espacement requis entre la marmite et une jupe de marmite isolante. Une jupe de marmite isolée est une bande de métallique isolante posée autour de la marmite ce qui oblige les gaz chauds à frotter les côtés de la marmite. Penchez-vous sur le fourneau de cuisine à chambre de combustion sphérique de 12 cm et la marmite de 30 cm de l'exemple 1.

Pour calculer l'espacement entre la marmite et la jupe le logn des paros, ou espacement D du graphique à la page 18, commencez avec l'aire de la chambre de combustion indiquée à l'exemple 1:

$$A_c = \pi \cdot 6^2 = \pi \cdot 36 = 113\text{cm}^2$$

Divisez cette valeur par la circonférence autour de la marmite:

$$C_p = 2 \cdot \pi \cdot 15 = \pi \cdot 30 = 94,3\text{cm}$$

L'espacement requis devient:

$$G_{falds} = A_c / C_p = 113,1 / 94,3 = 1,2\text{cm}$$

Remarquez que c'est le même espacement que celui entre le bord de la marmite et la surface du fourneau. Le lecteur appliqué aura remarqué cette approximation. Qui est une très bonne approximation. Souvenez-vous également que ce n'est qu'un point de départ et que des réglages supplémentaires pour les hautes puissances seront nécessaires sur place.

Conclusions

Les méthodes de Winiarski et de Baldwin mènent toutes deux à des solutions utiles qui semblent être étroitement liées. La création de canaux de taille petite permettant d'augmenter l'efficacité de l'échange thermique est une stratégie commune dont se servent les ingénieurs soucieux d'optimiser l'échange thermique. La mise au point de cette pratique avec les fourneaux de cuisine démontre un meilleur rendement du carburant. Même un feu ouvert est souvent 90% efficace à la besogne de transformer le bois en chaleur. Mais une petite proportion uniquement, entre 10% et 40%, de la chaleur dégagée passe à la marmite. Une meilleure efficacité de la combustion ne joue pas énormément sur le rendement général du système, c'est-à-dire sur une combustion réduite du carburant. D'autre part, le fait d'améliorer l'efficacité du transfert de la chaleur à la marmite peut être une grande innovation qui économise des grandes quantités de bois.

Les fourneaux doivent utiliser des espacements suffisamment larges pour soutenir le flux d'air à haute puissance. Beaucoup moins de puissance est requise quand il s'agit de faire mijoter la nourriture. Cependant, l'efficacité de l'échange thermique en souffre car les canaux sont plus larges que nécessaire et réduisent le taux du flux. C'est pour cette raison que, sans d'espacements réglables, l'efficacité de l'échange thermique des fourneaux a tendance à être meilleure à haute puissance. Une jupe de marmite dont les espacements peuvent se régler résout cette question.

Un fait digne de remarque est que Baldwin était frappé par les améliorations possibles lorsqu'une cheminée courte isolée était placée sur le feu, caractéristique déterminante du fourneau Rocket de Winiarski. Baldwin indique qu'une telle reconfiguration de la chambre de combustion mène à une plus grande vitesse des gaz de combustion chauds à cause de la hauteur de la cheminée, ce qui résulte en une combustion propre et une bonne efficacité du carburant (Page 43, *Biommas Stoves*). En pratique, le fait d'installer une cheminée courte isolante au dessus de feu semble assainir la combustion. Le fait de forcer les gaz de combustion chauds plus propres à frotter la marmite, ou la plaque chauffante, à travers des écarts étroits peut augmenter l'efficacité du transfert de la chaleur sans autrement augmenter les émissions nuisibles.

Chapitre 4

Options pour les chambres de combustion*

Plusieurs essais du fourneau Lorenan en sable et argile, dès 1983, ont démontré que les matériaux à haute masse thermique posés près du feu peuvent nuire à la réactivité, l'efficacité du carburant et aux émissions d'un fourneau de cuisine car ils absorbent la chaleur émise par le feu. Des exemples de matériaux à haute masse thermique sont la boue, le sable et l'argile. Quand les fourneaux sont fabriqués avec des matériaux à haute masse thermique, leur efficacité (d'après les essais au laboratoire) peuvent être pires qu'un foyer à trois pierres.

Quels sont les autres matériaux possibles? Les fourneaux propres peuvent produire des températures tellement élevées dans la chambre de combustion (où le feu brûle) que le métal, même l'acier inoxydable, peut être détruit. Les chambres de combustion en fonte, bien que durables, sont chères.

Tandis que la boue, le sable et l'argile, même si leur masse thermique est élevée, ont certains avantages. Ces matériaux sont disponibles sur place, abordables, simples d'utiliser et durables car la chaleur intense produite par le feu ne les calcine pas. La créativité et une ingénierie solide permettent au concepteur de fourneau d'employer ces matériaux de façon avantageuse sans permettre que leur haute masse thermique dégrade la qualité du fourneau.

Les fabricants de fourneaux utilisent des pièces en céramique depuis longtemps. Le fourneau Thai Bucket se sert d'une chambre de combustion en céramique. Le fourneau Jiko du Kenya utilise également un revêtement céramique qui protège le corps en tôle du fourneau. Nombreux livres ont été publiés qui décrivent comment fabriquer des chambres de combustion en céramique pouvant durer plusieurs années.** Une coopérative de femmes au Honduras, nommée Nueva Esperanza, produit des pièces de fourneau en céramique réfractaire durables à partir d'un mélange d'argile, de sable, de fumier de cheval et de gomme d'arbre. Ces chambres de

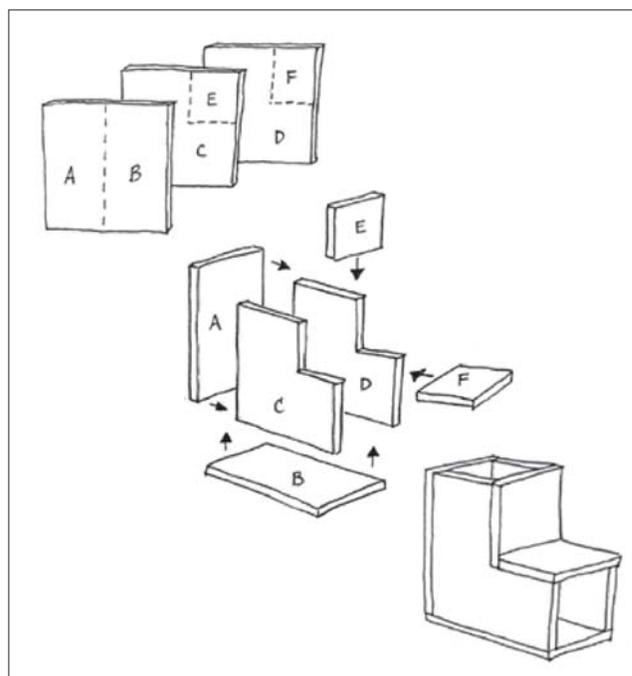
combustion sont utilisées dans les fourneaux Doña Justa et Eco qui sont en vogue en Amérique centrale.

L'avantage des chambres de combustion en céramique dans des cas semblables provient de sa longévité. Comme le montre l'exemples ci-dessous, l'essentiel pour minimiser l'inconvénient du matériau céramique, avec sa masse thermique élevée, est d'utiliser la quantité la plus petite possible sans pour cela compromettre sa force et en le revêtant d'un matériau isolant.

Option 1: Carreaux de sol

Don O'Neal (HELPS International) et Dr. Winiarski ont trouvé un autre matériau au Guatemala, un carreau de sol abordable connu comme *baldosa*. Le carreau *baldosa* est à peu près 1,5 cm d'épais et être coupé ou moulé pour former une chambre de combustion. Un isolant en vrac remplit l'interstice entre la chambre de combustion et la paroi intérieur du fourneau. La cendre de bois, la pierre ponce, la vermiculite et la perlite sont tous des isolants en vrac qui résistent bien à la chaleur. Le carreau *baldosa* est

Figure 22 – Carreau de sol en céramique



* Première publication dans *Boiling Point* Numéro 49

** Un bon livre à ce sujet est *The Kenya Ceramic Jiko: A Manual for Stovemakers (Le Jiko en céramique du Kenya: un guide pour les fabricants de fourneaux)*(Hugh Allen, 1991).

abordable et a duré quatre ans dans les fourneaux isolés HELPS and Trees, Water and People, construits en Amérique centrale.

Le carreau *baldosa* est mis à l'essai en le mettant dans un feu jusqu'à ce qu'il soit chauffé au rouge. Le carreau est ensuite extrait et rapidement plongé dans un seau d'eau froide. Si le carreau est sans fissure, il durera probablement dans une chambre de combustion. Les carreaux *baldosa* sont normalement fabriqués à partir d'argile rouge et sont cuits dans un four à des températures entre 900^o - 1000^oC. Ils sont assez poreux et sonnent quand on les frappe avec une des articulations des doigts. Les carreaux *baldosa* dans une chambre de combustion entourés d'isolation en vrac est une autre option matérielle disponible au concepteur de fourneaux.

Option 2: Céramiques isolantes

Ces recettes visent à aider les promoteurs de fourneaux qui produisent des céramiques isolantes pour des fourneaux à bois améliorés. Chacun de ces matériaux comprennent de l'argile qui agit comme un agglomérant. L'argile forme une matrice autour d'un matériau de remplissage et fournit l'isolement. Le matériau de remplissage peut être léger et à l'épreuve du feu (la pierre ponce, la perlite ou la vermiculite) ou organique (charbon de bois ou sciure de bois). Les matériaux organiques sont incinérés et laissent des espacements isolants dans la matrice d'argile. De toutes façon, l'argile et le matériau de remplissage sont mélangés avec une quantité prédéfinie d'eau et mis dans des moules pour créer

des briques. Les briques humides sèchent, ce qui peut exiger plusieurs semaines, et ensuite mises au four à des températures usuelles dans les fours à poterie ou à briques de l'Amérique centrale.

Nos échantillons pour essais ont été réalisés avec de l'argile "raku" à feu réduit disponible auprès d'un potier sur place. Dans d'autres pays, la meilleure source d'argile est celle qu'utilisent les potiers ou les briquetiers sur place. Presque partout, les gens ont découvert des mélanges d'argile et des techniques de cuisson pour créer des céramiques solides. Les céramiques isolantes doivent être légères (faible densité) pour assurer l'isolation et la faible masse thermique. En même temps, il faut qu'elles soient physiquement durables pour résister aux fissures et aux abrasions créées par le bois qui est poussé au fond du fourneau. Ces deux requis s'opposent: l'ajout des matériaux de remplissage au mélange font une brique plus légère et plus isolante, mais également plus fragile. Ajouter de l'argile augmente sa solidité et son poids. Nous pensons qu'un bon compromis est une brique dont la densité est entre 0,8 gm/cc and 0,4 gm/cc.

Les recettes du tableau 4 indiquent les proportions, par poids, de divers matériaux. Nous recommandons ces recettes comme point de départ de fabrication des céramiques isolantes. Des variations dans les argiles et les matériaux de remplissage disponibles sur place peuvent exiger des modifications aux proportions pour obtenir des résultats meilleurs.

Tableau 4 – Céramiques isolantes

Type	Mat. remplissage Poids (gm)	Argile (humide) Poids (gm)	Eau Poids (gm)	Cuisson à (degrés C)	Densité gr/cc
Sciure de bois	490	900	1300	1050	0.426
Charbon de bois	500	900	800	1050	0.671
Vermiculite	300	900	740	1050	0.732
Mélange perlite	807	900	1833	1050	0.612
Mélange pierre ponce	1013	480	750	950	0.770

Les céramiques isolantes employées dans les fourneaux subissent des cycles thermiques fréquents (chauffage et refroidissement), ce qui peuvent éventuellement produire des petites fissures que font que le matériau s'émiette ou se brise. Toutes ces recettes semble bien subir le cycle thermique. Non obstant, le seul vrai essai consiste à les installer dans un fourneau et à les utiliser pendant une longue période sous des conditions réelles de cuisson.

Sciure/Argile:

Selon cette élaboration, des sciures de bois fines furent en tamisant des sciures plus grossières (d'un chantier de construction) avec un tamis 8 (2,36-mm). De l'argile et de l'eau furent mélangés à la main pour former une boue épaisse. De la sciure est ajoutée et le matériau résultant coulé dans des moules. Des céramiques isolantes d'excellente qualité peuvent être fabriquées avec de la sciure de bois ou d'autres matériaux organiques fins comme les coques moulues des noix de coco ou le fumier de cheval. L'obtention de grands volumes du matériau approprié dans le cadre d'une exploitation commerciale est un obstacle à cette méthode. Les résidus des récoltes sont très difficiles de fragmenter en particules suffisamment petites pour la production de briques.

Cette méthode est une approche efficace dans les endroits où il y a des scieries ou des ateliers de menuiserie qui produisent des grands volumes de déchets de sciure.

Charbon/Argile:

Selon cette élaboration, du charbon de bois brut (pas de briquettes) est réduit à une fine poudre en utilisant un marteau ou une meuleuse. La poudre résultante passe par un tamis 8. De l'argile fut mélangé avec de l'eau et du charbon fut ajouté en dernier. Une boue assez liquide fut versée dans des moules et mise à sécher. Il a fallu attendre plusieurs jours avant que le matériau soit suffisamment sec pour enlever le moule. Des briques sèches furent cuites à 1050°C. Le charbon est disponible virtuellement partout et sert comme matériau de remplissage si d'autres ne sont pas disponibles. Le charbon est plus facile à broyer que les autres matériaux organiques. La plus grande partie du charbon s'insère hors de la matrice de la brique. Le charbon restant est léger et isolant.

Les briques en charbon/argile ont tendance à rétrécir plus que les autres matériaux pendant le séchage et la cuisson. Le produit final semble être léger et assez durable, bien que des essais complets n'ont pas été réalisés pour ce matériau.

Vermiculite/Argile:

Selon cette élaboration, la vermiculite commerciale (un additif du sol), qui passe facilement par un tamis 8 (2,36 mm), est directement mélangée à de l'eau et de l'argile et versée dans des moules. Le matériau est séché et cuit à 1050°C.

La vermiculite est un matériau léger, économique, à l'épreuve du feu et résulte des dépôts minéraux naturels dans plusieurs parties du monde. Elle peut être transformée en céramiques isolantes solides et légères sans grand effort. La structure plate et en forme de plaque des particules de vermiculite font d'elle un matériau très fort et très résistant à la chaleur.

La vermiculite semble être un des meilleurs choix possibles de fabrication de céramiques isolantes.

Mélange perlite/argile:

Pour les meilleurs résultats, la perlite doit être transformée en mélange tamisé avant de pouvoir la combiner avec de l'argile pour faire des briques. Pour préparer ce mélange, il faut d'abord séparer la perlite brute en trois tailles de composant : 9,5 mm à 4,75 mm, 4,75 mm à 2,36 mm, et 2,36 mm et plus fin. Recombinez (par volume) deux parts de la taille plus grande, une part de la taille moyenne et sept parts de la taille plus petite pour créer le mélange de perlite. Ce mélange peut être maintenant combiné avec de l'argile et de l'eau et forme en brique qui est ensuite séchée et cuite.

La perlite est l'obsidienne qui a été chauffée jusqu'à s'étaler et devenir légère. Elle s'utilise comme additif du sol et matériau isolant. Les dépôts de perlite existent dans plusieurs pays du monde bien que son produit étalé ne soit disponible que dans les pays dotés d'installations « d'expansion ». Lorsque disponible, elle est économique et abondante.

Les briques de perlite/argile font partie des matériaux en céramique utlies les plus légers du monde.

Pierre ponce/argile:

La pierre ponce, comme la perlite, produit les meilleurs résultats lorsque elle est transformée en mélange tamisé. Il est important que la pierre ponce obtenue soit la plus légère possible pour le mélange. Le sable volcanique d'origine naturelle est un composant ordinaire de la pierre ponce et peut être assez lourd et ne pas convenir aux céramiques isolantes. Il faudra peut être broyer les morceaux plus larges de pierre ponce pour obtenir les tailles petites nécessaires. Le mélange se prépare en séparant la pierre ponce en trois tailles: 12,5 mm à 4,75 mm, 4,75 mm à 2,36 mm, et 2,36 mm et plus petit. Dans ce cas, les composants sont recombines (par volume) selon la proportion de deux parts de la taille plus grande, un part de la taille moyenne et quatre parts de la taille plus petite. De l'argile est ajouté à l'eau et mélangé pour former une boue fine. Le mélange de pierre ponce est ensuite ajouté et le matériau est versé dans des moules. Il se peut qu'il faudra exercer une pression considérable pour que tout l'air soit extrait et pouvoir former une brique solide. Le moule peut être enlevé immédiatement et la brique peut sécher pendant plusieurs jours avant la cuisson.

La pierre ponce est largement disponible dans plusieurs parties du monde, de plus elle est abordable et abondante. La contrôle de la qualité exige une attention minutieuse ce qui peut créer des difficultés dans plusieurs endroits. Il est très facile de faire qu'un brique isolante légère devienne une brique pesante et non isolante si l'on manque de souci du détail. La pierre ponce (ainsi que la perlite) sont sensibles aux températures élevées (plus de 1100°C). Une cuisson excessive peut faire les particules de la pierre ponce rétrécir et devenir rouges, ce qui rendra un produit inférieur. En dépit de ces difficultés, la pierre ponce est une façon excellente de fournir un grand nombre de céramiques isolantes très abordables dans plusieurs endroits du monde.

Il existe grand nombre de recettes viables pour la production de chambres de combustion en céramique réfractaire légère. L'isolation autour du feu aide l'eau à bouillir plus vite, simplifie la tâche d'ignition du fourneau et économise du bois. Il faut créer des températures très élevées dans une chambre de combustion afin d'assainir les émissions dangereuses. Malheureusement de telles températures élevées dégradent vite les métaux, même l'acier inoxydable. Les céramiques isolantes réfractaires sont un matériau durable et qui ne réduit pas les températures de combustion comme le font les matériaux à masse thermique plus haute.

Chapitre 5

Essai pratique d'ébullition

Cet essai fournit au concepteur de fourneaux des renseignements fiables concernant le rendement des modèles de fourneaux à bois. L'essai comporte trois phases qui déterminent la capacité du fourneau de : (1) porter à ébullition l'eau à partir d'un départ à froid ; (2) porter à ébullition l'eau quand le fourneau est chaud; et (3) conserver la température de l'eau à petit feu. Cet essai permet d'évaluer une série de fourneaux pendant leur développement. Cet essai ne sert pas à comparer des fourneaux d'endroits différentes car les marmites et le bois divers peuvent modifier les résultats.

Cet essai est une version simplifiée de l'essai d'ébullition d'eau standard VITA révisé par l'Université de Californie à Berkeley (UCB)/Shell Foundation. Le bois utilisé pour faire bouillir et mijoter l'eau, ainsi que le temps d'ébullition sont déterminés par une simple soustraction. Tous les calculs peuvent être faits manuellement sur place.

En utilisant une marmite standard, et tenant compte du contenu d'humidité du bois, la vapeur générée, ainsi que d'autres facteurs l'essai complet d'ébullition d'eau de UCB/Shell Foundation rend possible la comparaison de fourneaux de différents endroits.

Avant de commencer les essais...

- 1. Réunissez au moins 30 kg de carburant séché à l'air pour chaque fourneau à essayer afin d'être sûr qu'il y a suffisamment de carburant pour les trois essais de chaque fourneau. Les grands fourneaux à plusieurs marmites peuvent réquerir un plus grand volume de carburant. Utilisez du bois uniformément sec et de la même taille. N'utilisez pas du bois vert.**
- Versez 5 litres d'eau dans la marmite d'essai et porter l'eau à ébullition forte. Vérifiez que le feu est très puissant et que l'eau bout vivement ! Utilisez un thermomètre numérique précis, exact à 1/10 de degré, pour mesurer la température d'ébullition locale. Placez la sonde du

thermomètre au centre de la marmite d'essai, 5 cm au dessus du fond de la marmite. **Enregistrez** le point d'ébullition local sur la fiche technique (voir la page 34).

- Effectuez les essais dans un endroit complètement protégé du vent.
- Inscrivez tous les résultats sur la fiche technique.

Matériel utilisé pour l'essai pratique d'ébullition :

- Balance d'au moins 6 kg de capacité et 1 gramme de précision
- Coussinet résistant à la chaleur pour protéger la balance
- Thermomètre numérique, exact à 1/10 de degré, avec des sondes thermocouple peuvent s'immerger dans des liquides
- Minuterie
- Marmite(s) d'essai
- Accessoire en bois pour tenir la sonde de thermomètre dans l'eau
- Pelle/spatule de petite taille pour extraire le charbon du fourneau
- Pince pour le charbon
- Pelle à poussière pour transporter le charbon
- Plateau en métal pour peser le charbon
- Gants résistants à la chaleur
- 3 fagots de bois carburant séché à l'air Une fagot pour mijoter pesant à peu près 5 kg Les autres deux fagots serviront à porter l'eau à ébullition d'un départ à froid et d'un autre à chaud et seront de 2 kg chacun approximativement.

Début de l'essai

- a. **Inscrivez** la température de l'air.
- b. **Inscrivez** le poids de la marmite d'usage commun sans couvercle. Si plus d'une marmite sera utilisée, inscrivez le poids de chacune. Si les poids sont différents, assurez vous de ne pas confondre les marmites à mesure que progresse l'essai. **N'utilisez pas de couvercles**, pour cette partie, ou toute autre, de l'essai.
- c. **Inscrivez** le poids du conteneur de charbon.
- d. Préparez 2 fagots de bois de carburant de 2 kg chacun approximativement pour les essais à haute puissance de départs à froid et à chaud. Préparez un fagot de bois de carburant de 5 kg approximativement pour le test où l'eau mijote. Utilisez des morceaux de bois qui sont plus ou moins semblables pour tous les essais. **Inscrivez** les dimensions approximatives du bois de carburant. Pesez et **inscrivez** les poids dans les espaces marqués No. dans la fiche technique adjointe. Identifiez chaque fagot et gardez les séparés.

Phase à haute puissance (départ à froid):

Le fourneau doit être à température ambiante.

1. Remplissez chaque marmite avec 5 litres d'eau propre (~20°C). **Inscrivez** le poids de la ou des marmites plus l'eau.
2. Utilisez les accessoires en bois pour poser une sonde de thermomètre dans chaque marmite de façon à ce que la température de l'eau puisse être mesurée au centre et à 5 cm du fond. Vérifiez que vous utilisez un thermomètre numérique. **Inscrivez** les températures de l'eau.
3. **Inscrivez** le poids de chaque matériau de départ. Utilisez toujours le même matériau et la même quantité.
4. Allumez le feu avec le bois du premier fagot de 2 kg.
5. Une fois que le feu est allumé, démarrez la minuterie et **inscrivez** « 0 ». Si vous utilisez une montre, **inscrivez** l'heure du départ. Porter rapidement l'eau à ébullition sans trop consommer de carburant.

6. Lorsque l'eau de la première marmite atteint la température d'ébullition local telle que l'indique le thermomètre numérique, faites vite ce qui suit :
 - a. **Inscrivez** l'heure à laquelle l'eau de la marmite principale (marmite 1) à atteint le point local d'ébullition. **Inscrivez** également la température de l'eau des autres marmites.
 - b. Enlevez tout le bois du fourneau et éteignez le feu. Secouez tout le charbon qui se dégage des bouts de bois dans le plateau pour peser le charbon.
 - c. Pesez le bois non brûlé du fourneau avec le bois restant du fagot préparé. **Inscrivez** le résultat.
 - d. Pesez chaque marmite, remplie d'eau. **Inscrivez** le poids.
 - e. Enlevez tout le charbon du fourneau, placez-le avec le charbon secoué des morceaux de bois et pesez l'ensemble. **Inscrivez** le poids du charbon et du conteneur.

Ceci achève la phase à haute puissance (départ à froid). Passez sans interruption à la phase à haute puissance (départ à chaud) de l'essai. Ne laissez pas refroidir le fourneau.

Phase à haute puissance (départ à chaud):

1. Versez 5 litres d'eau fraîche froide dans les marmites. Pesez les marmites (avec l'eau) et mesurez les températures premières de l'eau. **Inscrivez** les valeurs.
2. Allumez le feu avec les branches et les bûches du premier fagot de 2 kg. **Inscrivez** le poids de chaque matériau supplémentaire de départ.
3. **Inscrivez** l'heure à laquelle le feu commence et porte à ébullition la première marmite sans consommer excessivement de carburant.
4. **Inscrivez** l'heure à laquelle la première marmite atteint le premier point local d'ébullition. **Inscrivez** la température de toutes les marmites.

5. Une fois atteinte la température d'ébullition, faites vite ce qui suit :
 - a. Enlevez tout le bois du fourneau et secouez tout le charbon que se dégage dans le conteneur de charbon. Pesez le bois extrait du fourneau avec le bois restant du second fagot. **Inscrivez** le résultat.
 - b. Pesez chaque marmite, avec son eau, et **inscrivez** chacun de ces poids.
6. Enlevez tout le charbon restant du fourneau et pesez-le (y compris le charbon dégagé des morceaux de bois). **Inscrivez** le poids du charbon et du conteneur.

Passez directement, sans interruption, à l'essai de mijotage.

Essai à faible puissance (mijotage)

Cette phase est conçue pour éprouver la capacité du fourneau à faire mijoter de l'eau en utilisant le moins de feu possible. Utilisez le fagot de 5 kg pour porter l'eau à ébullition. Inscrivez ensuite le poids du bois restant et faite mijoter l'eau pendant 45 minutes supplémentaires.

Uniquement la marmite principale sera utilisée pour le rendement du mijotage.

Démarrage de l'essai à faible puissance :

1. **Inscrivez** le poids du fagot de 5 kg.
2. Versez à nouveau 5 litres d'eau froide dans la marmite. Pesez la marmite (avec l'eau). **Inscrivez** le poids. **Inscrivez** la température.
3. Réattisez le feu avec les branches et les bûches du fagot pesé. **Inscrivez** le poids de chaque matériau supplémentaire de départ. Remplacez la marmite sur le fourneau et **inscrivez** l'heure du début du feu.
4. Porter rapidement l'eau à ébullition sans trop consommer de carburant. Dès que la température locale d'ébullition est atteinte, suivez les étapes ci-après **rapidement et soigneusement**.

5. **Inscrivez** l'heure d'ébullition et la température. Pesez vite l'eau de la marmite principale et reposez la marmite sur le fourneau. **Inscrivez** le poids de la marmite plus l'eau. **Inscrivez** le poids restant du fagot de 5 kg. Remettez le thermomètre dans la marmite et poursuivez l'essai de mijotage en diminuant la puissance du feu. **Conservez l'eau le plus près possible de 3°C sous le point d'ébullition.**
6. **Inscrivez** la température de l'eau.
7. **Inscrivez** l'heure. Pendant les 45 minutes qui suivent, conservez le feu à un niveau qui maintienne la température de l'eau le plus près possible de 3°C en dessous du point d'ébullition.
8. Après 45 minutes faites vite ce qui suit :
 - a. **Inscrivez** le temps d'arrêt de l'essai (ce qui doit être 45 minutes).
 - b. **Inscrivez** la température de l'eau à la fin de l'essai.
 - c. Enlevez tout le bois du fourneau et secouez tout le charbon que se dégage dans le conteneur de charbon. Pesez le bois restant, y compris le bois non utilisé du fagot prépesé. **Inscrivez** le poids du bois.
 - d. Pesez la marmite avec l'eau restante. **Inscrivez** le poids.
 - e. Enlevez tout le charbon restant du fourneau et pesez-le (y compris le charbon dégagé des morceaux de bois). **Inscrivez** le poids du charbon et du conteneur.

Ceci finalise l'essai complet d'ébullition d'eau. Des résultats précis exigent que le test complet soit être réalisé au moins trois fois pour chaque fourneau.

Des températures que varient vers le haut out vers le bas est acceptable, mais :

- 1. La personne qui fait l'essai doit veiller à ce que la température de l'eau qui mijote soit le plus proche possible de 3°C sous le point local d'ébullition.**
- 2. L'essai n'est pas valable si la température dans la marmite subit une chute de plus de 6°C en dessous de la température d'ébullition.**
- 3. La personne faisant l'essai ne doit pas couper le bois en morceaux plus petits pour essayer de réduire la puissance.**

ANALYSE DES RÉSULTATS :

- Calculez le temps requis pour l'ébullition à partir d'un départ à froid, un départ à chaud et pour la phase d'ébullition du test de mijotage.
 - Calculez l'usage du bois en soustrayant la bois restant à la fin de chaque phase du poids de départ. Faites ceci pour la haute puissance à départ à froid, la haute puissance à départ à chaud, la phase d'ébullition de l'essai de mijotage et pour la cuisson à feu doux.
 - Calculez le volume d'eau perdu à la vapeur pour chacune des quatre phases en soustrayant le poids restant du poids de l'eau au départ.
 - Faites de même pour le charbon produit.
 - Utilisez ces chiffres pour évaluer le rendement du fourneau. Modifiez la conception du fourneau pour réduire l'usage de bois et créer moins de charbon. Une grande production de charbon est signe de combustion piètre.
 - Le calcul de la vapeur perdue est une méthode efficace pour vérifier que le rendement est semblable pendant toutes les phases. Normalement, la phase à haute puissance de départ à chaud utilise énormément moins de carburant et le temps d'ébullition est plus rapide que celui de la phase à haute puissance de départ à froid. S'il existe des différences sérieuses entre les poids inscrits pour l'usage du bois, le temps d'ébullition et la vapeur perdue entre les phases 2 et 3, nous recommandons de répéter la procédure d'essai en veillant à alimenter le feu sans d'aussi grandes variations.
 - La vapeur perdue pendant la phase de mijotage est une bonne façon d'indiquer la capacité des fourneaux à bien fonctionner quand ils sont utilisés à basse puissance. Il est difficile de créer un fourneau qui puisse vite bouillir l'eau et bien mijoter sans utiliser beaucoup de carburant. Cependant, vu que la plus grande partie du temps de cuisson a lieu à basse puissance (mijotage), les plus grandes économies de carburant peuvent se réaliser avec un fourneau qui économise du carburant pendant la cuisson à feu doux. Des grandes quantités de vapeur produites pendant la cuisson à feu doux indique que le fourneau a des difficultés à passer de la haute puissance requise pour vite bouillir l'eau à la basse puissance requise pour le mijotage. Essayez de modifier la conception pour que le fourneau qui maintienne sans difficulté le mijotage à feu doux tout en satisfaisant les cuisiniers avec une ébullition rapide.
- N'oubliez pas que les résultats de cet essai ne servent pas à comparer des fourneaux mis à l'essai à d'autres endroits. L'essai complet de UCB/Shell Foundation devrait servir à de telles fins.
- Pour de plus amples informations, visitez le site Internet de Aprovecho www.Aprovecho.net ou bien contactez nous à l'adresse ci-après:
- Aprovecho Research Center**
80574 Hazelton Rd.
Cottage Grove, OR 97424
(541) 942-8198

Fiche technique

Date Numéro d'essai Fourneau

point local d'ébullition

température de l'air

dimensions du bois

poids marmite 1

poids marmite 2

poids conteneur de charbon Y

Remarques : FICHE DE CALCUL ET DE DONNÉES «ESSAI EBULLITION EAU » SUR PLACE

Tous les espaces doivent être remplis
Les résultats de 2 et 3 doivent être semblables.
Les fourneaux meilleurs utilisent moins de bois et produisent moins
L'ébullition rapide est usuellement appréciée par les cuisiniers.

FAGOT 1-2 KG

haute puiss.
démar. froiddébut fin
A B

temps

#G H

poids bois

température eau marmite 1

température eau marmite 2

N O

poids marmite 1 plus eau

poids marmite 2 plus eau

poids feu allumeur

2 - 2 kg haute puiss.
démar. chauddébut fin
C D #I J P Q

3 - 5 kg porter à ébullition

début fin
E F #K L R S 4 mijoter 45
minutesdébut fin
#M T U

poids charbon et conteneur

V X

Fiche de calcul

Temps d'ébullition:

_____ = B – A = Temps pour porter à ébullition pour la phase à haute puissance de départ à froid

_____ = D – C = Temps pour porter à ébullition pour la phase à haute puissance de départ à chaud

_____ = F – E = Temps pour porter à ébullition pour la phase d'ébullition du mijotage

Usage de bois:

_____ = G – H = Usage de bois pour la phase à haute puissance de départ à froid

_____ = I – J = Usage de bois pour la phase à haute puissance de départ à chaud

_____ = K – L = Usage de bois pour la phase d'ébullition du mijotage

_____ = L – M = Usage du bois pour la phase de cuisson à feu doux

Eau convertie en vapeur:

_____ = N – O = Eau perdue à la vapeur pour la phase à haute puissance de départ à froid

_____ = P – Q = Eau perdue à la vapeur pour la phase à haute puissance de départ à chaud

_____ = R – S = Eau perdue à la vapeur pour la phase d'ébullition du mijotage

_____ = S – T = Eau perdue à la vapeur pendant la phase de cuisson à feu doux

Charbon produit:

_____ = U – Y = Charbon produit pendant la phase à haute puissance de départ à froid

_____ = V – Y = Charbon produit pendant la phase à haute puissance de départ à chaud

_____ = X – V = Charbon produit ou consume pendant la phase de cuisson à feu doux
(Si ce chiffre est positif, le charbon supplémentaire a été produit pendant la cuisson à feu doux, tandis que si ce chiffre est négatif, le charbon a été consommé pendant la phase de cuisson à feu doux.)

Annexe

Glossaire

Baldosa—Un carreau de sol en céramique abordable d'à peu près 1,5 cm d'épais et qui peut être coupé ou moulé pour former une chambre de combustion.

Couche limite—Une couche très mince d'air qui se déplace lentement et qui est directement attenante à la surface de la marmite. Elle isole la marmite des gaz de combustion chauds et diminue la quantité de chaleur qui passe à la marmite.

Charbon—Un matériau noir et poreux dont la majorité du contenu est du carbone produit par la combustion de bois et d'autres biomasses.

Convection—L'échange thermique dans un gaz ou un liquide par le mouvement d'air ou d'eau.

Chambre de combustion—La zone du fourneau où le carburant est brûlé.

Rendement de combustion—Le pourcentage de l'énergie de la chaleur du carburant dégagée par la combustion. Le rendement de combustion se rapporte à la quantité d'énergie de la biomasse qui est convertie en énergie de chaleur (ou pouvoir thermique du combustible).

Tirage—Le mouvement de l'air à travers un fourneau et qui monte par la cheminée.

Emissions—Les sous-produits du processus de combustion dégagés dans l'air.

Excès d'air—La quantité d'air en excès du volume d'air nécessaire pour assurer la combustion complète.

Puissance—Le taux de consommation du carburant, qui s'exprime normalement en kg-carburant/heure.

Gaz de combustion—Les gaz chauds qui s'écoulent de la chambre de combustion hors de la cheminée (le cas échéant).

Rendement du carburant—Le pourcentage de l'énergie thermique du carburant qui sert à chauffer des aliments ou de l'eau.

Grille—Une structure de barres ou de maille qui sert à garder en place le carburant ou les aliments d'un fourneau, poêle ou foyer.

Caisse isolante—Un contenant isolé plus ou moins hermétique qui conserve la température de la marmite et permet d'achever la cuisson des aliments après avoir enlevé la marmite du fourneau.

Efficacité de l'échange thermique—Le pourcentage de chaleur dégagée par la combustion qui accède à la marmite.

Fourneau massif—Un fourneau fait de matériaux non isolés comme la terre, l'argile, la fonte ou d'autre matériau lourd exigeant beaucoup d'énergie pour se chauffer pendant la cuisson.

Haute puissance—Un mode de fonctionnement visant à bouillir l'eau le plus vite possible ; la puissance la plus haute à laquelle le fourneau peut fonctionner.

Faible puissance—Un mode de fonctionnement visant à mijoter l'eau ou la nourriture ; la puissance la plus faible à laquelle le fourneau peut fonctionner et maintenir une flamme et mijoter la nourriture.

Jupe de marmite—Un cylindre, une tôle d'acier d'habitude, qui entoure la marmite et forme un espacement étroit pour que plus de chaleur des gaz de combustion passe à la marmite.

Chaleur conservée—Énergie thermique qui chauffe les enceintes autour du feu et qui ne s'échappe pas ; cette énergie sert également comme chauffage.

Vermiculite—La vermiculite est un matériau léger, économique, à l'épreuve du feu et résulte des dépôts minéraux naturels dans plusieurs parties du monde. Elle peut être transformée en céramiques isolantes solides et légères sans grand effort. C'est un matériau très solide et résistant à la chaleur et semble être un des meilleurs choix possibles pour la production de céramiques isolantes.

Essai d'ébullition d'eau—Un essai qui sert à mesurer le rendement général d'un fourneau. Cet essai d'ébullition d'eau comprend différentes versions. En général il consiste de trois phases qui sont: (1) porter l'eau à ébullition d'un départ à froid ; (2) porter l'eau à ébullition quand le fourneau est chaud ; et (3) conserver l'eau à des températures de mijotage.



Aprovecho Research Center
Advanced Studies in Appropriate Technology



SHELL
FOUNDATION



United States
Environmental Protection
Agency
Office of Air & Radiation
(6609J)

EPA-402-K-07-005
April 2007