



*Ingénieurs Assistance Internationale  
Ingénieurs sans Frontières  
a.s.b.l.*

## **Guide technique sur la récupération artisanale d'aluminium dans les pays en développement**



Gh.Bulteau C.de Kerchove  
A.Divry J.Tchoufang  
G.Van den Bossche

Ingénieurs Assistance Internationale – Ingénieurs sans Frontières

<http://www.isf-iai.be>

[mail@isf-iai.be](mailto:mail@isf-iai.be)

Avenue du Marly 48, 1120 Bruxelles – Belgique

## Table des Matières

0	Collaborateurs .....	4
1	Introduction .....	5
2	Un cadre de référence local : une fonderie au Cameroun .....	6
3	Le site, le bâtiment, les locaux .....	7
3.1	Le site .....	7
3.2	Sites de production vus au Cameroun .....	8
3.3	Améliorations à apporter au bâtiment-atelier .....	9
4	Processus approprié retenu .....	10
4.1	Récolte, nettoyage et tri des déchets .....	10
4.2	Le traitement du sable .....	12
4.2.1	Le type de sable à utiliser .....	12
4.2.2	Séchage, stockage et tamisage du sable .....	13
4.3	Fabrication des châssis et des moules .....	14
4.4	Moulage .....	15
4.4.1	Moulage au sol pour coulée en chute au moyen d'un seul châssis .....	16
4.4.2	Moulage au sol pour coulée en source au moyen d'un seul châssis .....	17
4.4.3	Moulage pour coulée en source avec deux châssis. Moulage d'un poêlon .....	21
4.5	Fusion .....	21
4.5.1	Four .....	21
4.5.1.1	Caractéristiques types .....	21
4.5.1.2	La conduite du four .....	24
4.5.1.3	Précautions à prendre .....	24
4.5.1.4	Appréciation de la température du métal fondu .....	25
4.5.2	Creuset .....	25
4.6	Coulée .....	28
4.7	Finition .....	29
5	Sources d'Energie .....	31
5.1	Opération principale .....	31
5.2	Opérations auxiliaires .....	31
6	Caractéristiques des matières premières .....	31
6.1	Le métal .....	31
6.2	Le sable .....	32
6.3	Petits produits .....	32
6.4	Eau .....	32
7	Finition .....	33
7.1	Outils .....	33
7.2	Machines .....	33
8	Prix de revient .....	33
9	ANNEXES .....	35
9.1	Annexe 1 : Machines et outils .....	35
9.2	Annexe 2 : Dégazage .....	36
9.3	Annexe 3 : Tri des mitrilles .....	38
9.3.1	Selon l'Aspect .....	38
9.3.2	Selon l'Usage .....	38
9.4	Annexe 4 : Moulage traditionnel .....	39
9.4.1	Moulage au sol pour coulée en chute au moyen d'un seul châssis .....	39

9.4.2	Croquis d'un Moule Camerounais traditionnel pour Marmite Ø 30 cm .....	40
9.5	Annexe 5 : Fabrication d'un creuset argile/graphite .....	41
9.6	Annexe 6 : Couleur du métal selon la température .....	41
9.7	Annexe 7 : Essais de coulée en source d'un poêlon.....	42
9.8	Annexe 8 : Diversification des produits.....	45
9.9	Annexe 9 : Références.....	46

## 0 Collaborateurs

Se sont associés à l'élaboration de ce guide et à sa relecture:

Gh. Bulteau, (Fr), Ingénieur, Baudalet s.a., Directeur technique affinier aluminium

C.de Kerchove de Denterghem, (B), I.C.Mét., Fonderies du Lion s.a.

A. Divry, Professeur, Gérant Fonderie Divry-Bertrand, fonderie aluminium

V.Gilard, (B), I.C.Ch., Ingénieurs sans Frontières

L.Lepot,(B), Président du Groupe Fonderie Wallonie-Bruxelles

J.Tchoufang, (Cam.), I.C.M.E., Université de Liège

G.Van den Bossche, I.C.Mét., Ingénieurs sans Frontières, Chef de projet Al.

Ont été associés aux essais effectués en Belgique, en France et au Cameroun :

V.Acha , (Cam) Ingénieur, Ingénieurs sans Frontières

L.Bertrand, (B) Chef d'Atelier, Fonderie Divry Bertrand

Gh.Bulteau, (Fr) anc.professeur, Lycée Technique d'Armentières

J.M.Etobe, (Cam) Ingénieur universitaire, Ingénieurs sans Frontières

D.Ngantsengué, (Cam), Président de l'Assaretra

S.Pierre, Technicien-fondeur, Assaretra

# 1 Introduction

L'Aluminium est un métal à bas point de fusion ( $\sim 650^{\circ}\text{C}$ ) qui permet de réaliser déjà dans des installations relativement simples et par fonderie des organes de machines, des objets ménagers et d'autres décoratifs et ceci à faible coût de production.

Dans de nombreux pays de l'Afrique sub-saharienne notamment, de petites fonderies artisanales réalisent des pièces par coulée d'aluminium dans des moules en sable naturel, dit « à vert » ; sable par ailleurs fort humide, dans un climat fort humide.



**Figure 1 : Vente d'ustensiles de cuisine en aluminium (Cameroun)**

La fabrication d'ustensiles de cuisine en aluminium par ces techniques de moulage au sable à vert est très répandue en Afrique sub-saharienne pour les quelques raisons suivantes :

- Processus de fabrication accessible sans formation poussée de personnel ni capitaux de départ, ni fonds de roulement importants pour une entreprise dont la trésorerie est souvent insuffisante et occasionnellement négative.
- Température de fusion relativement basse, qui n'exige pas d'installation compliquée et coûteuse.
- Disponibilité des matières premières, courantes et aisées à acquérir ; souvent des mitrailles dont la collecte est faite par une main d'œuvre sans travail.
- Matières secondaires - réfractaires simples, l'argile essentiellement - , nécessaire à la fabrication du four et de l'outillage, présentes pour beaucoup en abondance, pour autant qu'on se contente d'une qualité moyenne au regard des mêmes ustensiles réalisés en acier inoxydable.
- Fabrication locale possible, proche des canaux de distribution que sont les marchés locaux, en plein air.
- Prix de revient et donc de vente accessible à une clientèle souvent rurale.
- Possibilité de récupération des rebuts internes de fabrication.

Nombre de fonderies artisanales travaillent au départ d'une matière première peu coûteuse d'aluminium récoltée en décharge et réalisant la fusion de ces mitrailles dans un four à creuset.

## 2 Un cadre de référence local : une fonderie au Cameroun

Les éléments descriptifs repris dans ce document ont été rassemblés principalement auprès d'un petit artisan au Cameroun, à Yaoundé dont on peut dire que :

- sa production pouvait atteindre occasionnellement 400 kg /semaine de métal fondu avec du charbon de bois comme combustible ;
- les produits étaient essentiellement constitués de matériel de cuisine, marmites de toutes dimensions, louches, passoires, ...
- la matière première utilisée était l'aluminium-déchets
- l'opération de fusion était réalisée dans un four à creuset
- la superficie disponible pour les installations était réduite.

Cet artisan cherchait essentiellement à améliorer la qualité de ses produits, ce qui a été l'objet de l'intervention.

L'analyse d'autres sources d'informations, citées en annexe, ainsi que les contacts avec certains spécialistes de la branche, localement et en Europe ont permis d'ouvrir également d'autres pistes de réflexion.

Il a été possible d'asseoir les principes étudiés au cours de simulations effectuées en atelier préalablement à l'intervention locale.

Les méthodes et modes d'emploi présentés ci-après n'ont rien de nouveau, ni de révolutionnaire. L'approche faite est celle de méthodes qui ont été connues et étaient en usage bien avant celles de l'ère des technologies spatiales ; mais elles ont disparu des ateliers des pays du Nord, pour cause de rentabilité dans un contexte économique et social qui est le leur.

D'autre part, on retrouve çà et là, en Afrique subsaharienne par exemple, des éléments des technologies appropriées présentées ici. Il a été possible de les appliquer dans un contexte local, tel celui du partenaire ici localisé au Cameroun, tout en y apportant des améliorations possibles.

Ces technologies doivent pouvoir aider l'artisan fondeur d'aluminium à se lancer dans ce type d'activité, à parfaire la qualité de ses produits et éventuellement à pouvoir diversifier sa gamme. L'accent est mis sur les technologies limitant au maximum l'approvisionnement de composants ou de machines ou de produits d'importation.

Et ceci que ce soit par exemple pour la fabrication :

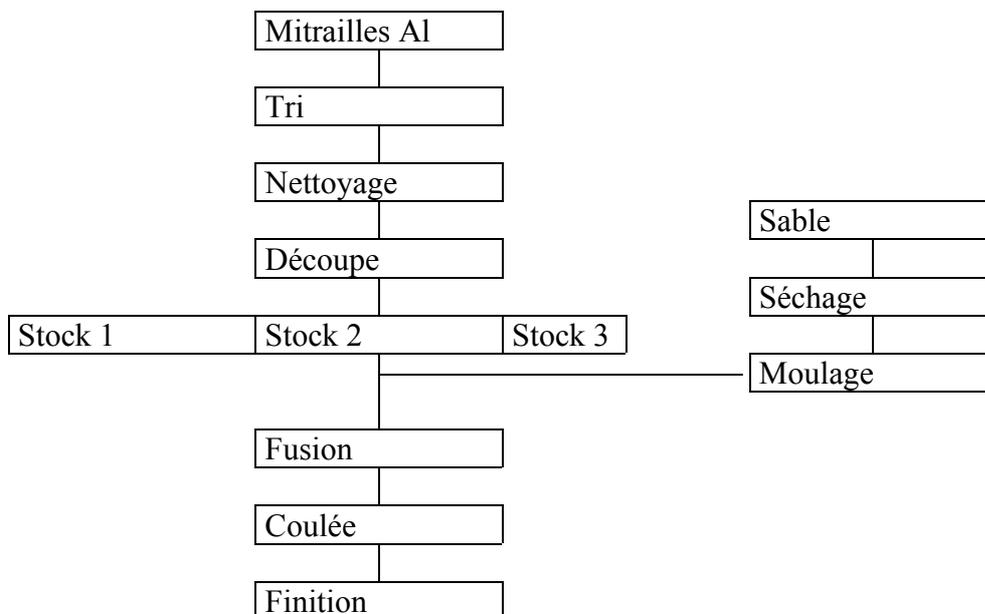
- d'ustensiles de cuisine,
- de pièces techniques simples : roues, poulies, pièces pour le matériel agricole, ...
- d'objets décoratifs, tels des médailles, des plaques signalétiques,...

### 3 Le site, le bâtiment, les locaux

#### 3.1 Le site

Dans sa forme la plus simple, le site de production doit pouvoir héberger les équipements et opérations suivants :

- stockage de la matière première brute, aluminium de récupération
- stockage du sable
- stockage du combustible, au Cameroun, le plus souvent, le charbon de bois
- 
- séchage du sable au soleil
- assemblage des châssis en bois destinés à contenir le sable dans lequel sera réalisée l’empreinte de la pièce à fabriquer
- nettoyage, réduction, tri et stockage des matériaux aluminium par catégories, séparant au minimum les pièces massives, des légères ; les premières contenant généralement des éléments d’alliage en quantités plus importantes, plus rapidement fondues que les secondes et enfournées en premier lieu
- réalisation du moule en sable
- fusion dans un four de type à creuset
- coulée dans les moules
- 
- finition avec outils à scier, à ébarber et à polir
  
- stockage des châssis non utilisés, stockage des matières premières secondaires telles le talc, ou la cendre de bois, rangement des outils.



**Figure 2 : Schéma d'une installation artisanale de recyclage d'aluminium**

L'étendue du site et des bâtiments nécessaires est essentiellement variable en fonction de :

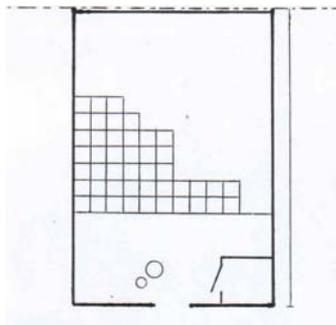
- la dimension des pièces à fabriquer et donc du moule et de la série à réaliser
- la disponibilité de l'atelier parfois loué uniquement à la journée
- la possibilités de stockage
- la pluviométrie et l'humidité de l'endroit...

### 3.2 Sites de production vus au Cameroun

L'atelier qui a pu être suivi et auquel il a été fait allusion dans l'introduction, se situe à Yaoundé, dans le quartier de Tsinga, où se concentrent les producteurs fondeurs d'aluminium; il comprend un bâtiment aux caractéristiques suivantes :

Terrain disponible	~ 130 m <sup>2</sup>
Structure bâtiment	Tôle ondulée
Surface au sol bâtiment	9x6 m <sup>2</sup>
Hauteur	~ 3 m
Toiture	En pente

Le bâtiment abrite le stockage de sable, le four, la fabrication des moules, le stockage des moules-sable en attente de coulée et le magasin de stockage des matières secondaires. L'évacuation des fumées se fait par la porte et par quelques ouvertures dans les cloisons latérales. Le site est donné en location à différents fondeurs, à la journée.



**Figure 3 : Schéma du site de production à Yaoundé**

**O** : four    **o** : trou utile en cas de percée du creuset    **carrés** : moules, local outils

On y produit des marmites de dimensions de l'ordre de 300mm de diamètre par quantités d'environ 100 pièces, en une journée de travail avec un creuset de capacité proche de 600 kg.

D'autres petits artisans, dans ce même quartier, disposent leur four à l'air libre. Ce qui limite la production aux journées sans pluie ; en saison sèche cela ne pose évidemment aucun problème.

A Douala, où le climat est nettement plus humide qu'à Yaoundé, dans le quartier New-Bell, chez de nombreux artisans le four est abrité.

### 3.3 Améliorations à apporter au bâtiment-atelier

Les défauts essentiels des aménagements évoqués sont les suivants :

- Risque d'explosions au contact métal en fusion et pluie, si le four n'est pas abrité,
- Exposition du personnel aux fumées,
- Manque d'espace pour le stockage et le tri de la matière première, celle-ci est amenée sur place le jour de production, les ateliers n'appartenant pas aux fondeurs et étant loués à la journée.
- Risque de vols élevé, d'autant que les ateliers sont concentrés dans un seul et même quartier, hors des zones habitées.

On peut remédier aux deux premiers en disposant le four dans une partie plus aérée du local, et séparée par une cloison ; le four n'étant en définitive protégé de la pluie que par un grand auvent. La dimension de celui-ci doit cependant tenir compte du danger d'explosion que peut entraîner le contact eau/aluminium en fusion.

Une solution plus coûteuse serait de disposer au-dessus du four :

- une hotte avec aspiration des fumées de combustion vers l'extérieur.

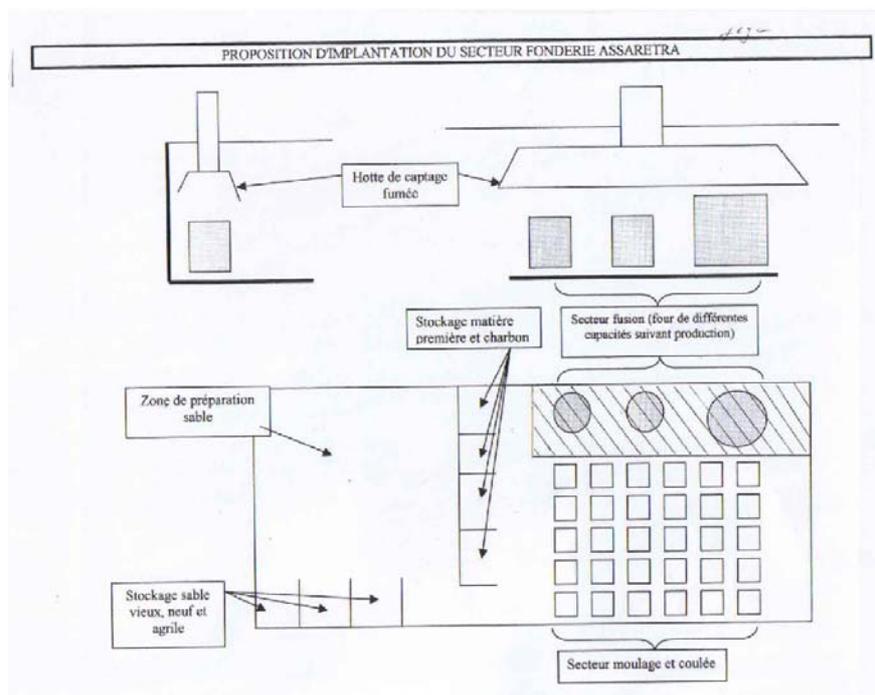


Figure 4 : Schéma d'implantation d'une fonderie

Un programme prévoyant la coulée de la nuit, limite le risque de vol de matière première. Un groupement des artisans en coopérative permet un travail en alternance, la surveillance étant exercée par les travailleurs non occupés au travail de fusion.

## 4 Processus approprié retenu

Le processus comprend les 7 opérations suivantes :

- Récolte, nettoyage, découpe et tri des déchets
- Séchage du sable
- Fabrication des châssis et des moules
- Moulage
- Fusion
- Coulée
- Finition par ébarbage et polissage.

Au Cameroun, la dernière opération, la finition, est traditionnellement réalisée dans d'autres ateliers spécialisés. Beaucoup de petits ateliers de fonderie ne se préoccupent souvent ni du tri et du nettoyage des matières, ni du séchage du sable.

### 4.1 Récolte, nettoyage et tri des déchets

#### ***Récolte :***

La matière première de base est constituée de mitrailles (déchets) récupérées en décharge publique, ou directement auprès d'utilisateurs de pièces d'aluminium, tels les garages, par exemple, dans un état de propreté souvent inacceptable. Ces mitrailles sont composées d'objets les plus divers. (En annexe, on en trouvera une liste exemplative.) La composition chimique de l'alliage moulé est donc susceptible d'être fort variable, d'une fournée de fabrication à la suivante, ainsi que la température de fusion du mélange.

#### ***Nettoyage:***

Doivent être éliminés dans la mesure du possible pour éviter les impuretés et la consommation inutile de combustibles:

- les huiles et graisses et les pièces plastiques qui, à la fusion, se dégradent en dégageant des fumées toxiques
- les pièces contenant du cuivre qui après fusion donnent un métal qu'il vaut mieux éviter pour les applications culinaires : la corrosion provoquée par l'eau perce les parois et peut libérer un oxyde de cuivre dangereux
- les éléments ferreux (vis, ressorts, rivets,...)

Installation nécessaire :

une surface libre pour l'élimination manuelle des peintures et autres revêtements des pièces-mitrailles, ainsi que des pièces plastiques.

A l'aide d'un aimant que l'on approche de la surface des matériaux posés sur le sol, on peut éliminer un certain nombre de pièces en acier et éviter ainsi les inclusions de fer.

#### ***Tri :***

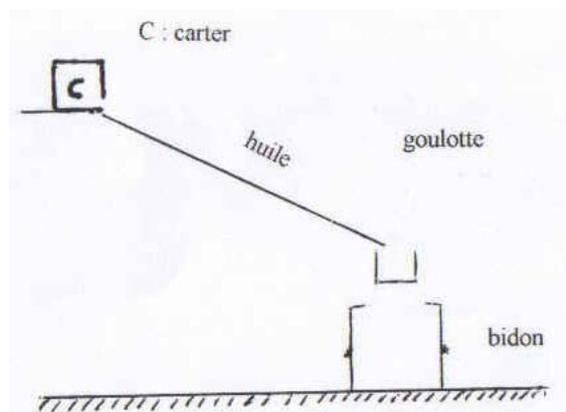
Pour des questions d'économie de combustible lors de la fusion, on sépare les pièces massives telles les carters, pièces de moteurs des plus légères, comme les profilés ; ces dernières étant moins susceptibles de contenir des éléments d'alliages en grandes quantités, et donc entrant en fusion à température plus élevée. Elles seront enfournées dans le creuset, par après.



**Figure 5 : Mitrailles légères d'aluminium**

Installation nécessaire:

une surface couverte d'une tôle inclinée sur laquelle peuvent être déposés, orifices de vidange vers le bas, les récipients et pièces ayant contenu des huiles. Cette tôle est inclinée vers une goulotte recueillant ces huiles et les déversant dans un bidon.



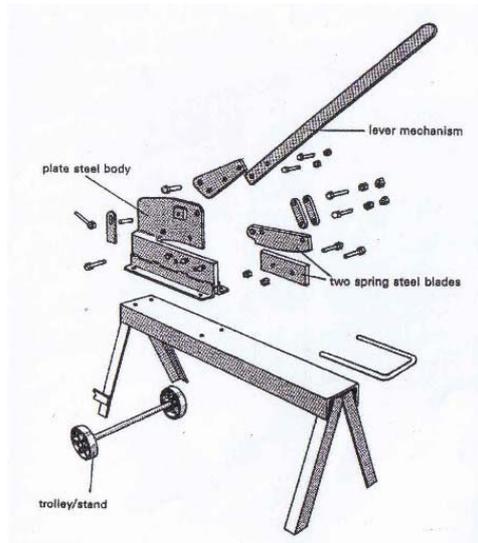
**Figure 6 : Elimination des huiles hors mitrailles**

***Découpe des matières premières :***

Il faut éventuellement veiller à réduire la dimensions des mitrailles de façon à permettre leur introduction dans le bain de fusion, au moyen de petites machines.

Installations/Outils nécessaires :

- cisaille, une machine simple, en annexe, convenant pour profilés et tôles
- chalumeau oxy-acétylénique (type garage), pour les pièces épaisses,
- scies à métaux, marteau ou masse
- des emplacements de stockage séparés pour les différentes catégories de matières premières aluminium : les pièces lourdes, les pièces légères. Aires séparées par des cloisons en bois ou en béton.



**Figure 7 : Cisaille**

## 4.2 Le traitement du sable

### 4.2.1 Le type de sable à utiliser

Le sable doit être de type siliceux, c'est-à-dire à très haut pourcentage de silice. Le sable de rivière ne convient pas. Un sable à vert, de composition approximative suivante convient pour la réalisation du moule :

Silice 80/90%

Argile 8/15%

Eau 4%, (éventuellement un peu plus, 6%, en fonction de la température ambiante).

La granulométrie du sable influe sur l'état de surface de la pièce : un sable plus fin donne une surface plus lisse.

Cette granulométrie est généralement caractérisée par un indice dit AFS. Une valeur de 95 AFS donne un résultat acceptable localement (cfr annexe 9).

Ce sable est obtenu soit brut de carrière contenant son argile, soit par mélange d'un sable siliceux fort pur de carrière que l'on enrichit d'argile sous forme de bentonite, de façon à obtenir la composition adéquate.

On peut déterminer approximativement la teneur en argile d'un sable siliceux naturel par le test suivant :

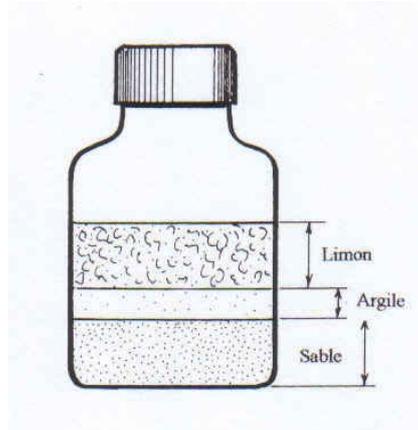
Matériel :

- un récipient en verre transparent haut et étroit, par exemple un petit bocal avec couvercle vissé, de 10/ 15 cm de haut
- éventuellement, un support permettant de maintenir le récipient verticalement.

Procédure :

- Remplir à mi-hauteur de sable de fonderie
- Compléter par de l'eau jusqu'à remplir le récipient
- Agiter fortement

- Laisser reposer pendant un jour : la silice se dépose doucement dans le fond, surmontée par l'argile, elle-même surmontée éventuellement d'une couche de limon.
- Mesurer la hauteur du dépôt inférieur, la silice.
- Rapportée à la hauteur totale du solide elle donne le pourcentage de silice dans le sable.



**Figure 8 : Flacon test pour la composition du sable**

Après chaque usage, le sable doit être repassé au tamis de façon à éviter les amas et éventuellement les bavures d'aluminium accidentellement présentes.

Afin d'améliorer l'état de surface de la peau de la pièce, on peut éventuellement prévoir deux qualités de sable. Un sable plus fin au contact de la pièce et un autre plus grossier pour le calage et le maintien du premier. Si le sable fin améliore l'état de surface de la pièce, le sable de calage favorise l'évacuation des gaz par les micro-canaux qu'ils creusent lors de la coulée. Le sable grossier présent exerçant toujours une fonction de facilitation de l'évacuation des gaz. Cependant, cette technique impose un renouvellement plus fréquent du sable, puisqu'à l'usage, les deux qualités se mélangent. Ce qui diminue la capacité du sable de calage à évacuer les gaz.

#### **4.2.2 Séchage, stockage et tamisage du sable**

Idéalement, selon les critères européens, le sable de fonderie ne devrait contenir que quelques 2 pour cents d'eau, ce qui est difficile à obtenir dans les climats tropicaux.

Il faut donc prévoir un séchage du sable jusqu'au taux d'H<sub>2</sub>O proche de  
 4% pour une teneur en argile, de max 10%,  
 6% pour une teneur en argile, de max 15%.

Un appareil d'utilisation simple permet de le mesurer. D'autre part les mesures de poids d'une quantité déterminée de sable avant et après séchage en couche mince de 1cm max. près du four et sur tôle, permet d'en déduire également la teneur en eau.

Le séchage du sable destiné aux moules peut se faire par exposition à la lumière solaire étalé en fine couche sur une tôle métallique durant peut-être ½ heure à 1 heure au moyen du dispositif suivant :

- une surface au sol recouverte de tôles d'aluminium

- le sable y est étendu en couche mince de 7 cm maximum, étalé au soleil et remué régulièrement pour exposer les couches inférieures qui ont tendance à absorber l'humidité des couches supérieures
- le stockage du sable séché doit se faire à l'abri de la pluie et de l'humidité ambiante, dans un ou deux bacs fermés ou cuves permettent d'assurer plus facilement la rotation de leur contenu et de maintenir un taux d'humidité acceptable, l'eau ayant tendance à descendre dans le fond de la cuve.

Densité apparente du sable en tas : 1,6/1,7

Avant chaque utilisation, le sable sera tamisé au tamis à mailles d'environ 1 mm.

### 4.3 Fabrication des châssis et des moules

Les châssis souvent en acier ou fonte, peuvent être réalisés plus économiquement en planchettes de bois d'épaisseur standard de 12 mm assemblées par des clous.

Les dimensions de ces châssis sont fonction de celles de la pièce à mouler, de la position du joint des deux demi moules, de la position des attaques et des canaux de coulée.

La hauteur est fonction notamment de celle de la pièce à réaliser. On doit prévoir une hauteur minimale de 150 mm au-dessus du point le plus haut de la pièce à mouler, de façon à contenir la poussée du métal liquide en fin de remplissage du moule.

Pour faciliter le démoulage, les planchettes à l'un des 4 angles peuvent n'être solidarisiées que par une cordelette en lieu et place des clous, ce qui peut faciliter le démoulage.

Quelques données théoriques de base pour les calculs de l'empreinte de la pièce :

Retrait linéaire de l'Aluminium	1,2 à 1,4 %
Retrait volumique	8%
Dépouille	3,5%

Ces valeurs doivent cependant être confirmées par des essais au cas par cas.



Figure 9 : Châssis en bois (Cameroun)

Pour les chenaux d'écoulement de l'aluminium liquide on s'inspire notamment des règles suivantes :

- entonnoir en forme de cône légèrement déformé de façon à éviter le tourbillonnement du liquide et donc l'entraînement d'air vers le moule
- descente avec section  $S_d$ , décroissante du haut vers le bas
- chenal horizontal à section trapézoïdale avec hauteur = 2 fois la largeur
- attaques plates épaisses de 2 ou 3mm
- des événements en partie haute de la pièce, de section  $S_e$  avec somme des  $S_e = S_d$ , pour évacuer les gaz contenus dans l'empreinte

Respect des ratios : Section chenal/Section descente  $\geq 1,2$

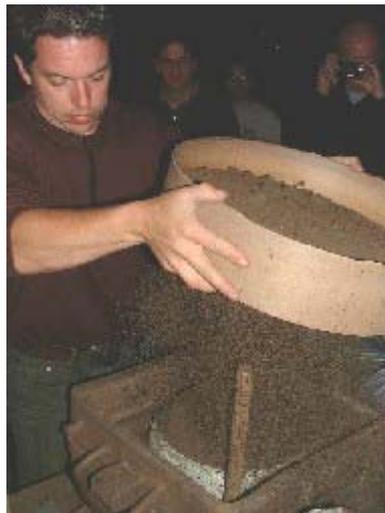
Somme sections d'attaques/Section descente  $\geq 2$

En annexe, on trouvera des valeurs-guides complémentaires.

## 4.4 Moulage

Les opérations préalables :

Tamisage du sable au-dessus du châssis au travers d'un tamis à toile avec orifices de 1 mm environ.

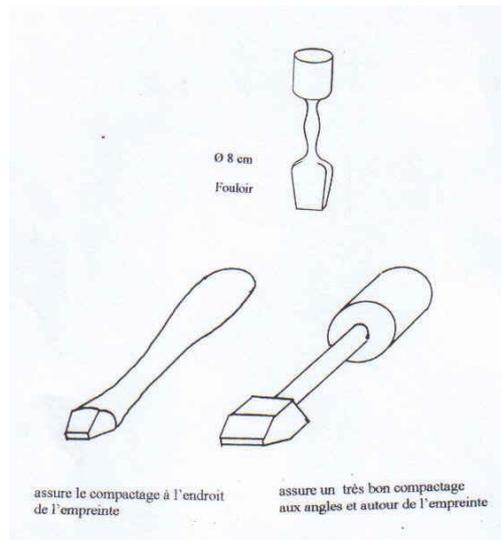


**Figure 10 : Tamisage du sable**

Ajustement de la teneur en eau ; test classique pratiqué par le mouleur :

*«prise d'une poignée de sable, la comprimer fortement dans la main, si la main à nouveau ouverte, le sable garde le dessin des doigts distinctement, il contient assez d'eau».*

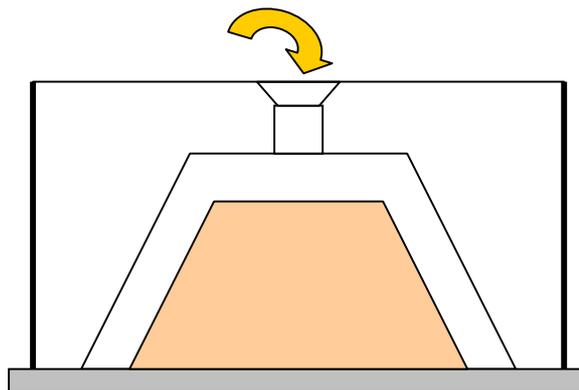
Tassement au moyen d'un fouloir et puis au pied, laissant porter tout le poids du corps sur le sable.



**Figure 11 : Fouloir**

#### **4.4.1 Moulage au sol pour coulée en chute au moyen d'un seul châssis**

Il s'agit de la méthode la plus simple de réalisation du moule. Elle est pratiquée notamment en Inde, en Egypte et en Afrique subsaharienne (Cameroun, Bénin,...).



**Figure 12 : Méthode de coulée traditionnelle**

Décrite en annexe, elle ne se justifie que pour des cas particuliers et ne donne que des résultats très moyens.

#### 4.4.2 Moulage au sol pour coulée en source au moyen d'un seul châssis

Dans ce procédé, dit de coulée en source, le métal remplit l'empreinte du moule du bas vers le haut.

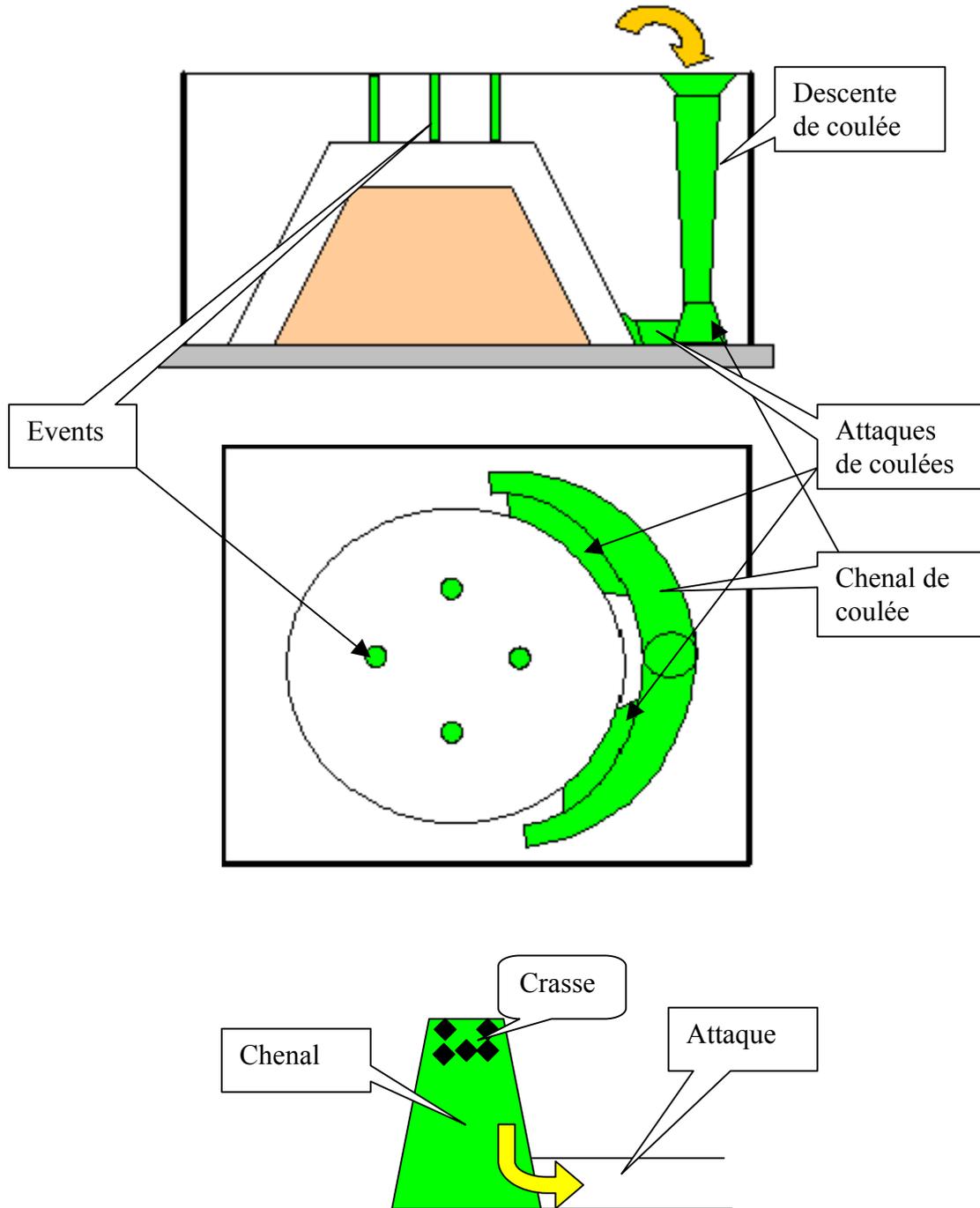


Figure 13 : Schéma de principe de coulée en source

Pour le moulage d'ustensiles de cuisine tels les marmites, de forme générale extérieure cylindrique ou tronc-conique, un moule pourra être réalisé comme décrit et illustré ci-dessous :

- réalisation d'un lit de sable bien plan de 3 à 4 cm d'épaisseur sur le sol de l'atelier
- saupoudrage de l'intérieur du modèle par du talc ou de la cendre de bois finement moulue afin de permettre le démoulage
- remplissage de sable de la marmite-modèle, serrage (tassement), à ras bord au fouloir, évidemment afin d'alléger la charge à manutentionner.
- pose de cette dernière sur le lit, rebord vers le bas,
- pose du modèle de la descente, et du modèle de chenal
- pose du châssis
- remplissage du châssis par du sable,
- tassement, serrage au fouloir, puis au pied
- taille de l'entonnoir et des attaques de coulée dans le sable, les attaques et le chenal peuvent être réalisées avec un modèle également
- démoulage des attaques et du modèle
- lisser le sable et casser les arêtes
- percée d'évents « crayons ».



**Figure 14 : Remplissage de sable de la partie creuse de la marmite. Serrage et évidement afin d'alléger l'ensemble.**



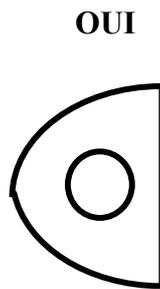
**Figure 15 : Réalisation d'un lit de sable de 3 à 4 cm d'épaisseur et de surface supérieure à celle du châssis. Ce lit de sable fera donc office de partie inférieure du moule.**



**Figure 16 : Mise en place de la marmite sur le lit de sable et d'un châssis en bois.**



**Figure 17 : Positionnement d'un tube de bois qui fera office de modèle pour la descente. Le sable doit être bien séré à la base pour maintenir le bois en position. Remplissage du moule par du sable.**



**Figure 18 : On taille l'entonnoir qui doit posséder une face droite (voir schéma de gauche – vue du haut de l'entonnoir) afin d'éviter la création d'un vortex qui entraînerait de l'air et des crasses dans l'empreinte.**



**Figure 19 : On taille les attaques**



**Figure 20 : Démoulage du chenal qui a pu être taillé soit dans la partie supérieure du moule (à gauche) soit dans la partie inférieure (à droite)**

#### **4.4.3 Moulage pour coulée en source avec deux châssis. Moulage d'un poêlon**

Il s'agit de la méthode la plus usuelle rencontrée dans les pays du Nord. Pour des pièces de matériel de cuisine, elle peut être pratiquée non plus au sol, mais sur un établi.

Cette technique permet par exemple de mouler un poêlon de forme et de marque française « Tefal » avec une descente par le manche.

Remarque Dans une production en série, il est évident qu'il faut prévoir une quantité de moules en fonction du volume de matière fondue : capacité du creuset ou durée de la journée de travail...

## **4.5 Fusion**

### **4.5.1 Four**

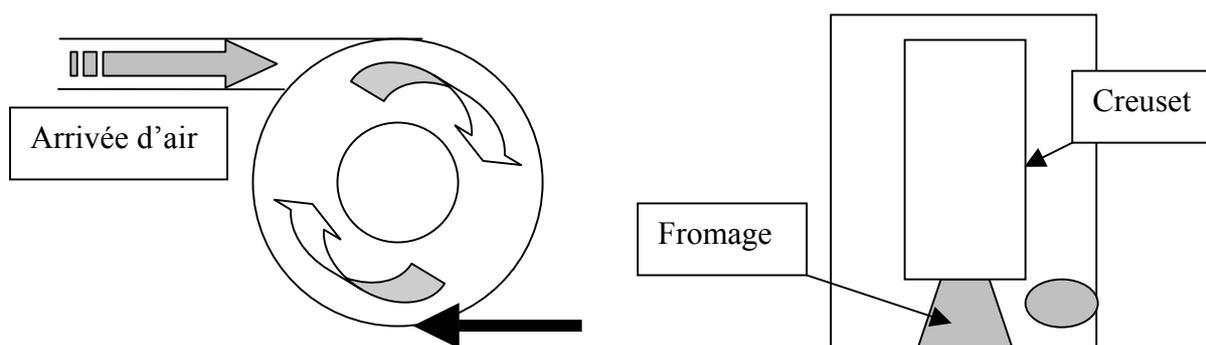
#### **4.5.1.1 Caractéristiques types**

- Dans une forme simple, le four peut être un trou cylindrique creusé à même le sol, dont la paroi verticale est tapissée de briques cimentées. Un ciment réfractaire permet une durée de vie plus longue.



**Figure 21 : Four traditionnel et deuxième puits**

Dans le fond du puits on dispose un cylindre plein sur lequel un creuset est posé et qui permet une meilleure exposition du creuset aux flammes, le « fromage », dont le diamètre doit correspondre à celui de la base du creuset



**Figure 22 : Alimentation d'air du four**



**Figure 23 : Système de ventilation**

Le diamètre du four dépend en fait :

- de la capacité du creuset, son diamètre, et ;
- de la taille moyenne des morceaux de charbon de bois.

Les dimensions du four réalisé à Yaoundé, à l'occasion de la mission ISF d'octobre '04 sont les suivantes :

Ø : 500 Profondeur : 700 mm Hauteur du fromage : 180 mm.

Il était destiné à recevoir un creuset de capacité de 60 kg d'Aluminium.

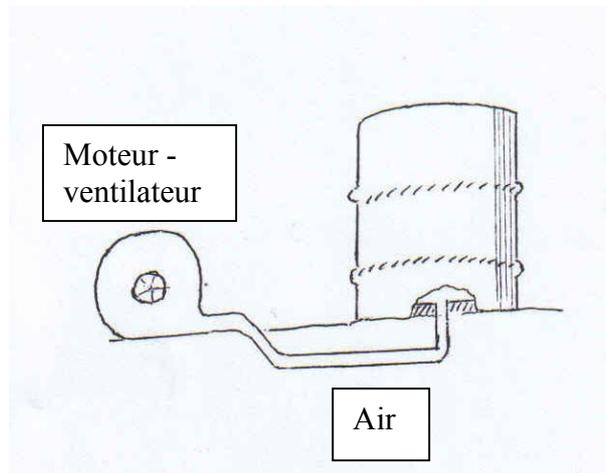
Un ventilateur-turbine de récupération envoie l'air nécessaire à la combustion dans une tuyauterie aboutissant dans la partie basse cylindrique du four. Assez souvent, l'amenée d'air avec des combustibles comme le charbon, le coke et le charbon de bois se fait par le bas du four, ce qui n'a pas été retenu ici.

Si l'on introduit l'air un peu plus haut, tangentiellement à la paroi du four - ce qui simplifie quelque peu le dessin du four- on peut multiplier les amenées d'air pour activer la combustion. Si l'on en adopte plusieurs, il faut veiller à ce qu'elles ne s'influencent pas. On se limitera donc à deux entrées, dessin qui permet également une modulation plus aisée et un réglage de la chauffe.

Entre le creuset et la paroi du four, il faut laisser un espace minimum équivalent à 2 fois la taille des morceaux de charbon de bois les plus gros, afin de faciliter la descente de celui-ci pendant la combustion. Un minimum de 10 mm s'indique d'autre part, pour tenir compte de la dilatation du creuset.

Pouvoir disposer de 2 ou 3 fours de dimensions différentes permet d'adapter la quantité de métal fondu à l'importance des commandes en cours et éventuellement de parer à une percée accidentelle d'un creuset.

- Un deuxième puits est généralement prévu, plus profond et creusé à côté du premier de façon à récolter le métal lors d'une percée accidentelle du creuset. Les deux puits sont reliés en leurs fonds par un chenal en pente. Une barre d'acier y est laissée en permanence. Lors de la percée, le métal s'écoule vers le deuxième puits. La barre permet d'extraire le métal après solidification.
- Autre type de four standard de 200 L observé à Douala notamment et utilisé également au Pérou est constitué d'un tonneau du type pour produits pétroliers posé à même le sol, recouvert d'une couche de briques poteyées. Le poteyage peut être fait :
  - soit, d'un mélange d'argile, de sable siliceux, volumes respectifs 1/3 et 2/3, et du crottin (ou de cendres de cosses de riz, ou de diatomite)
  - soit d'argile, de sable siliceux, cendre de cosses de riz et de jasmin.



**Figure 24 : Four à Douala**

Ce type de four résistera à 2/3 chauffés. A la coulée, l'accès à l'aluminium liquide sera cependant moins aisé.

- Peut servir pour la ventilation classiquement, un moteur récupéré d'une machine à laver. Pour les cas d'interruption de courant, il est bon de prévoir un entraînement manuel du ventilateur : une roue de vélo, un pédalier et la démultiplication, comme vu à Douala.

#### **4.5.1.2 La conduite du four**

Dans la conduite de la fusion, il faut prêter attention essentiellement à deux choses :

- la formation de crasses, d'oxydes métalliques, par le vent soufflé,
- la porosité du métal solide qui risque d'apparaître par absorption des gaz de fusion.

Le deuxième phénomène a été jugé moins critique dans le cadre de la fonderie de Yaoundé à laquelle il a été porté assistance.

Afin de limiter la formation des oxydes, on peut répandre en superficie du bain soit une fine couche de sable, soit, de préférence, de charbon de bois.

Il est également important de sécher les outils qui seront en contact avec le métal liquide.

#### **4.5.1.3 Précautions à prendre**

- *Au niveau de la mise en service du four : un four non utilisé durant plusieurs mois demande un séchage avant de le porter au rouge foncé et puis rouge clair (750°C).*

*L'humidité présente dans les revêtements du four demande une certaine expérience pour la mise en fonctionnement. Expérience qu'ont les potiers qu'il est bon de consulter vu la danger d'explosion qui peut se produire en cas de chauffage trop rapide.*

*Un four à peine fabriqué demande un séchage à l'air libre, suivi par une mise en service en deux étapes : élimination de l'humidité sous forme de vapeur d'eau visible, et puis cuisson.*

- *Au niveau de la conduite du four, il faut veiller à*
  - *Fondre le plus rapidement possible de façon à éviter au maximum les crasses.*
  - *Eviter l'alimentation de copeaux froids qui forment de grosses quantités de crasses (oxydes)*
  - *Tasser le charbon de bois afin d'éviter un tirage trop élevé.*
  - *Charger des pièces en aluminium fort allié souvent les plus lourdes en premier lieu, des profilés ensuite, des câbles électriques enfin. Les premières dont le point de fusion est généralement inférieur forment ainsi un bain pour recevoir les secondes.*

#### **4.5.1.4 Appréciation de la température du métal fondu**

Sans la connaissance de la composition du métal fondu et sans instrument de mesure, il est difficile d'évaluer la température de coulée idéale. Ceci d'autant plus que cette composition peut fortement varier en fonction du type de mitrailles fondues.

Idéalement, lors de la coulée, le métal fondu devra se situer dans une fourchette de températures précise et donc il faudra pouvoir répondre aux trois questions suivants :

- est-il à température assez élevée ?
- n'est-il pas à température trop élevée ?
- ne contient-il pas d'inclusions gazeuses ?

Trois petits tests d'appréciation sont parfois utilisés pour:

1. juger de la température minimale de coulée, le rouge sombre :
  - trempe d'une tige d'acier, genre fer à béton dans le mélange
  - si lors du retrait l'aluminium ne colle pas, la température de coulée est atteinte.
  
2. tester la présence de gaz dans le métal, malgré un dégazage :
  - prélever un échantillon de métal dans une petite cuvette de forme légèrement tronconique, de dimensions Ø 45, Ø 40, H 35 mm;
  - dans le cas de dégagement de bulles au cours de la solidification et d'une surface supérieure bombée vers le haut, sans retassure, il y a présence de gaz dans le métal fondu.
  
3. déceler une température trop élevée provoquant un regazage du métal:
  - sur une pierre préchauffée, couler un peu de métal
  - en cas de formation de bulles en surface la température est proche ou supérieure à 800°C, il y a regazage.

Ces deux derniers tests ne sont utiles que s'il est procédé à une opération de dégazage, décrite par ailleurs en annexe. Celle-ci n'est utile que dans le cas où l'on souhaite obtenir une qualité de surface supérieure.

#### **4.5.2 Creuset**

##### ***Poteyage***

Pour des pièces de qualité non critique, comme le matériel de cuisine, tout type de récipient cylindrique en acier peut être utilisé, pourvu qu'il soit poteyé, par une couche d'argile ou de ciment réfractaire.

Formule de poteyage à l'argile : 2 parties de sable de silice sec

1 partie d'argile réfractaire, la plus claire.

Après mélange, ajouter l'eau jusqu'à obtenir la même consistance que celle d'une peinture.

Avant utilisation, le poteyage doit être très soigneusement séché pendant 2 à 3 jours.

Le poteyage est soigneusement malaxé et étendu en veillant à ce que des poches d'air ne se forment pas.

Le creuset est séché à petit feu d'abord durant 2 à 3 heures, le temps nécessaire à évacuer la vapeur d'eau puis chauffé jusqu'au rouge foncé, puis rapidement au rouge clair. Il est refroidi lentement, tous orifices bouchés.

S'il a été entreposé pendant un certain nombre de jours en début de chauffe du four, il importe de modérer l'allure de chauffe, pour son séchage.

### ***Dimensions***

Le choix de la dimension appropriée du creuset dépend d'un ensemble d'éléments.

Il est fonction en effet de :

- la disponibilité de la matière première, les mitrailles, et leur qualité
- la superficie disponible pour la disposition des moules
- la disponibilité de la main d'œuvre, à statut souvent d'indépendant
- la consommation d'énergie.

Ce choix influence donc le fonds de roulement.

On prévoira des creusets et donc des fours de différentes dimensions, comme figuré schématiquement plus haut sur le schéma d'atelier.

Des creusets de capacité de 600 kg de métal fondu ont été vus à Yaoundé : constitués d'un tronçon de conduite d'eau en fonte, auquel un fond a été soudé. Cette dimension particulièrement importante était justifiée par le souci de limiter la durée de location de l'atelier et aussi de répondre à d'importantes commandes. Par contre, cela présente un risque certain de pertes de métal en cas d'incidents de production tels, perçage de creuset, composition inadéquate du métal fondu. Cela demande également des moyens solides de manutention, un palan... C'est pourquoi des creusets d'une telle capacité sont assez rares.



**Figure 25 : Creuset contenant de l'aluminium en fusion**

Les creusets de petite dimension se manoeuvrent le plus souvent par une personne.

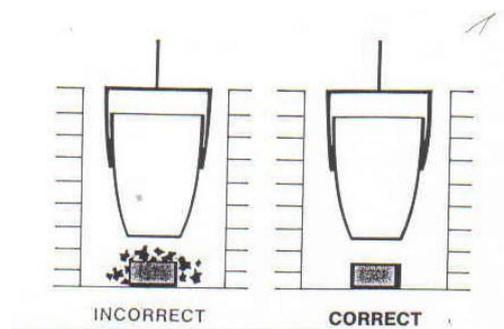
Dans le commerce on trouve des creusets de dimensions standards réalisés en graphite, carbure de silicium, ... malheureusement d'un coût très élevé. C'est un produit d'importation.

### ***Mise en service du four/ Précaution à prendre***

Les potiers locaux peuvent en général facilement renseigner sur les précautions à prendre au chauffage afin d'éviter les dégradations accidentelles ou prématurées.

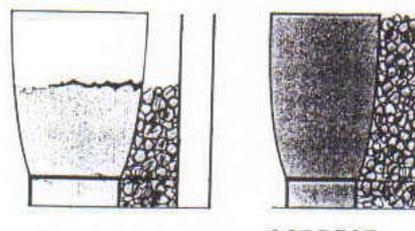
### ***Précautions à prendre à l'utilisation***

- *Pas de combustible entre fromage et creuset*



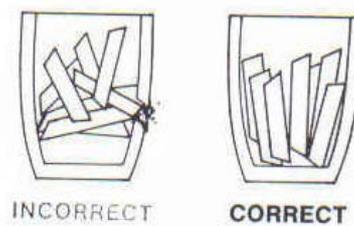
***Figure 26 : Mise en service du four (1)***

- *Niveau de charbon de bois égal au niveau haut du creuset pour uniformiser la chauffe et éviter toute fente horizontale du creuset.*



***Figure 27 : Mise en service du four (2)***

- *Chargement de déchets longs, verticalement*



***Figure 28 : Mise en service du four (3)***

- *Creuset pas trop bas dans le four sous peine de causer une fente dans le tiers inférieur*

- Une dimension moyenne du charbon de bois évite également que des flammèches trop intenses et trop localisées n'aillent lécher la surface du creuset et en provoquent la percée.

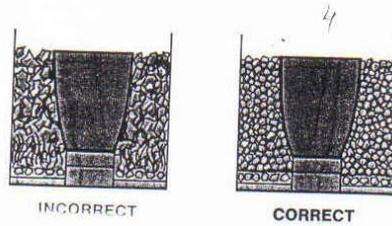


Figure 29 : Mise en service du four (4)

- Niveau de métal fondu proche du haut du creuset.

## 4.6 Coulée

Avant de procéder à cette opération, il faut veiller à brasser lentement le liquide avec un ringard (tige d'acier) poteyé de façon à faire remonter à la surface les oxydes éventuellement en suspension et puis écumer cette « crasse » surnageant à la surface du bain, au moyen d'une écumoire.

La coulée se fera souvent par cueille à la louche de l'Al fondu, directement dans le creuset. Si les manœuvres s'en trouvent simplifiées on peut procéder en deux étapes et utiliser une poche au départ de laquelle on coule alors le métal fondu, en série.

**035**

1. Forme semi-sphérique

2. Avec bord rehaussé

**Louches de coulées (suite)**  
Tous les Ø sont intérieurs

Louche N°	D mm	h mm	S mm	H mm	Louche N°	D mm	h mm	S mm	H mm
150	75	2	-	85	220	110	4	-	125
		2	-	85			4	125	
		3	-	85			5	125	
		3	-	85			5	125	
		4	-	85			6	125	
160	80	2	-	90	240	120	4	-	135
		2	-	90			4	135	
		3	-	90			5	135	
		3	-	90			6	135	
		4	-	90			6	135	
180	90	4	-	105	250	125	4	-	145
		4	-	105			4	145	
		5	-	105			5	145	
		5	-	105			5	145	
		6	-	105			6	145	
200	100	4	-	115	280	140	4	-	160
		4	-	115			4	160	
		5	-	115			5	160	
		5	-	115			5	160	
		6	-	115			6	160	

Figure 30 : Louche de coulée

L'alimentation du liquide dans les moules doit se faire en évitant des turbulences qui favorisent le contact air/métal et donc la formation d'alumine et sans interruption du jet de coulée qui doit maintenir l'entonnoir rempli.

Eventuellement, la coulée étant achevée, une fine couche de magnésie est saupoudrée sur la masselotte . Par réaction avec l'aluminium elle maintient un certain temps le niveau de la température de l'aluminium liquide ou déjà pâteux.



**Figure 31 : Saupoudrage de poudre à réaction exothermique sur la masselotte**

#### ***Matériel***

Louches poteyées : déjà évoquées dans d'autres paragraphes

Ecumoire

Poches : cfr ci-dessus

Brancards : pour permettre la manutention des poches de coulée, la manutention de celles-ci se fait au moyen de brancards tenus par deux opérateurs dont un des deux assure la rotation de la poche pour la coulée de l'Al dans l'entonnoir de chacun des moules.

Magnésie en poudre : la réaction magnésie + aluminium dégage de la chaleur dans la masselotte, et la maintient liquide plus longtemps.

#### ***Précaution***

Tous les outils entrant au contact du métal fondu doivent être soigneusement poteyés pour éviter les risques d'explosion.

#### ***Nettoyage du creuset***

En fin de coulée, il reste dans le creuset un résidu de métal fondu et de laitier, celui-ci provenant des crasses, surnage. Ils doivent être éliminés avant la fonte suivante.

## **4.7 Finition**

Se succèdent les opérations suivantes :

- Démoulage c'est à dire, extraction de la pièce moulée « décochage ».
- Nettoyage léger à la brosse pour éliminer le sable éventuel adhérent sur la pièce
- Découpe de la masselotte et des jets de coulée à la cisaille, à la scie ou au disque

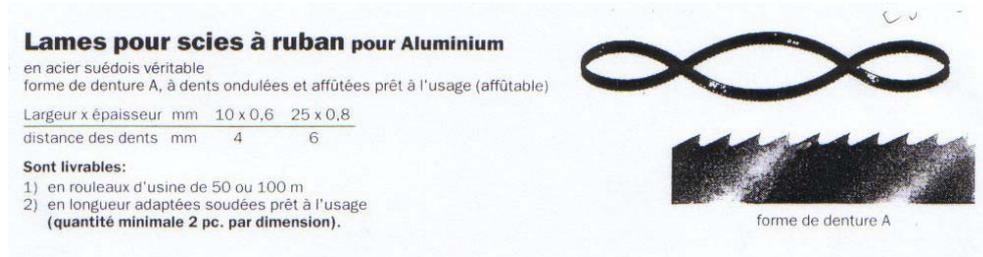
- Ponçage léger extérieur et intérieur de la pièce à la ponceuse à bande abrasive
- Polissage au touret de la casserole fixée dans un mandrin, si nécessaire encore.

Cette opération de polissage est nettement moins importante que celle actuellement faite sur les marmites traditionnelles réalisées aujourd'hui au Cameroun.

### **Matériel**

Les équipements suivants peuvent se justifier,

- Une scie à ruban (lame sans fin), permettant d'éliminer les masselottes et jets de coulée éventuels, classique en menuiserie comme en fonderie. Lames pour Aluminium à lubrifier au suif pour des épaisseurs > 4mm

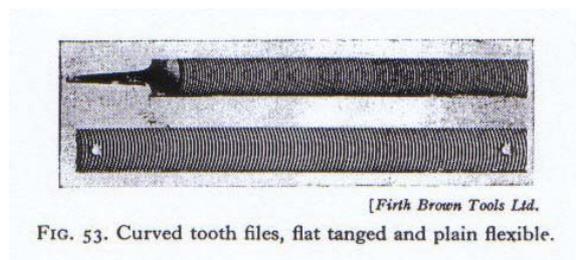


**Figure 32 : Scie à lames sans fin**

- Une ponceuse à bande abrasive sans fin, classique aussi en menuiserie
- Une « disqueuse ».
- Un touret équipé d'un mandrin à griffes de maintien des objets à symétrie cylindrique, qui peut provenir soit d'un ancien tour à métaux ou à bois équipé d'un moteur électrique, soit d'un tour de potier, ou d'une machine de remoulage transformés, équipés ou non d'un moteur électrique. Dispositif permettant aussi le polissage intérieur. Utilisation avec papier ou toile abrasive avec maintien manuel de frottement contre l'objet à symétrie cylindrique à polir. Vitesse de rotation : ~ 300/400 t/min, pour le premier. Le papier est maintenu au contact de la marmite à polir à la main.
- Un système d'aspiration des poussières, ou des masques de protection contre celles-ci, cependant désagréables à utiliser par température élevée.
- L'utilisation de bande abrasive, pour le ponçage en surface, peut éventuellement présenter l'inconvénient de faire apparaître des inclusions et des pores qui seraient encore présents sous la peau-même de la pièce.

### **Petit outillage**

- scie à métaux pour aluminium
- limes à denture à taille radiale parallèle, pour métaux non ferreux



**Figure 33 : Limes pour Aluminium**

- papier abrasif au corindon, livré sous forme de bande ; le grain 80 donne un résultat excellent, testé sur des marmites de fabrication traditionnelle.

## **5 Sources d'Energie**

On distinguera ici l'opération principale d'obtention de l'objet moulé, des opérations auxiliaires de finition et polissage.

### **5.1 Opération principale**

Le charbon de bois, le charbon, le gaz et le fuel ont été ou sont utilisés pour ces processus de production. En Afrique sub-saharienne on aura tendance à retenir le premier, combustible traditionnel.

C'est bien le choix opéré par le partenaire Camerounais. Et dans un premier temps, il se justifie pour les raisons suivantes :

- combustible connu et dans ces régions, généralement adopté pour les usages domestiques, donc techniquement simple à utiliser par tous
- régularité d'approvisionnement indépendante de contraintes telles coupures de courant, éventuellement fréquentes, qui ont pour effet d'interrompre le processus de fusion
- techniquement ne demande pas de matériel ni d'entretien délicat réservé à une main d'œuvre spécialisée
- coût d'installation réduit
- pollution causée par son emploi, réduite
- disponibilité ou coût du marché souvent meilleure que pour le charbon et le gaz..

La régulation du niveau de température du processus est cependant plus difficile à réaliser. C'est bien une des raisons pour lesquelles le gaz et les combustibles liquides, en Afrique souvent plus chers à l'achat, lui sont préférés dans les processus et installations industriels.

### **5.2 Opérations auxiliaires**

Seuls le ventilateur du four, les machines de finition et l'éclairage du local demandent un raccordement au réseau électrique. En réseau de 220V ~, 35 ou 60 A devraient suffire.

## **6 Caractéristiques des matières premières**

### **6.1 Le métal**

Il s'agit de déchets d'objets les plus divers. Il est donc difficile de les caractériser chimiquement avec précision. Outre l'aluminium, ils contiennent d'autres éléments, métalliques ou autres.

On peut cependant distinguer les déchets qui contiennent vraisemblablement des éléments d'alliages. Ce sont en général les pièces lourdes, à masse spécifique élevée : les pièces de moteurs de véhicules, par exemple les carters.

## 6.2 Le sable

L'approvisionnement du sable ne doit pas poser de gros problème en Afrique sub-saharienne. Un sable que tout potier peut suggérer conviendra souvent.

Un test tel celui suggéré ci-dessous peut déjà donner de sérieuses indications quant à ses aptitudes essentielles :

- perméabilité aux gaz lors de la coulée
- cohésion, de façon à éviter que des grains ne se détachent lors de la coulée
- facilement déformable, plastique lorsque l'aluminium se contracte au refroidissement.

Pour la mesure du taux d'humidité, un appareil de mesure au carbure de calcium pas trop onéreux peut éventuellement être utilisé ; la procédure décrite au par. 4.2.1, également.

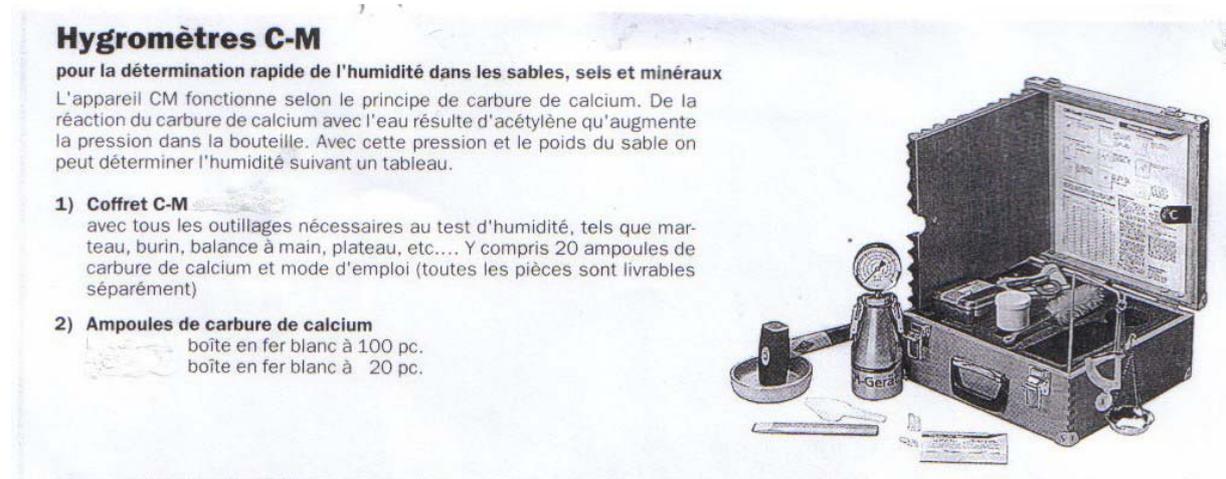


Figure 34 : Hygromètre

Le taux d'humidité est ajusté préalablement au moulage ; il peut plus efficacement être évalué préalablement au moulage par prise d'une poignée de sable prêt à l'emploi. Bien serrée dans la main, elle doit, main ouverte, clairement laisser apparaître le dessin des doigts.

## 6.3 Petits produits

Le talc et la cendre de bois finement moulue peuvent servir comme isolant évitant le collage entre le modèle et le sable à vert.

## 6.4 Eau

Elle est uniquement nécessaire à l'ajustement de la teneur du sable de façon à pouvoir obtenir la perméabilité aux gaz, la plasticité.

## 7 Finition

Dans leur état moulé selon la technique « en source », les marmites doivent être ébavurées au niveau de leur rebord extérieur.

Cet ébavurage ainsi qu'une coupe de la descente de coulée, du chenal et des attaques suffisent. Elles ne nécessitent plus grand travail de polissage des surfaces extérieures ou intérieures.

### 7.1 Outils

Outillage à main :

Scie à dents pointant vers l'avant dans la course aller

Lime à dents courbes pour métaux doux ou de préférence, papier à poncer.

Mandrin de tenue si la pièce est une marmite.

Un léger ponçage pourrait apporter une brillance supplémentaire, si nécessaire, aussi bien sur la surface extérieure qu'intérieure.

Outil rotatif avec abrasif Corindon, grain 80, ou papier du même type.

Si la pièce est une marmite, elle peut être maintenue dans les mors d'un mandrin à griffes tournant.

Griffes prenant sur le rebord de la marmite. Le papier est maintenu au contact de la surface de la marmite à la main.

### 7.2 Machines

- 1 ancienne tête de tours à métaux, à vitesse de rotation de l'ordre de 200 t/min et puissance de 1 KW peut suffire.

- 1 mandrin avec griffes du mord adaptées.

## 8 Prix de revient

Seul un prix de revient établi dans des conditions connues avec précision en autoriserait la prise en compte. Ce qui n'a pu être réalisé dans les conditions observées au Cameroun en août 2003. Les valeurs du tableau ci-dessous ne sont donc données qu'à titre indicatif.

A titre de comparaison, les prix de vente de deux marmites correspondantes ont été relevés dans la grande surface Nikki à Mokolo-Yaoundé, à la même période.

On peut cependant considérer qu'avec les méthodes et procédures suggérées le prix de revient ne devrait certainement pas être supérieur à celui réalisé par les producteurs Camerounais.

La qualité de la pièce obtenue brute de fonderie étant de loin supérieure à celle des produits élaborés de façon artisanale vendus sur les marchés Camerounais. Le gain essentiel réside dans la diminution du travail de finition des pièces.

Ø	Quantité de matière première	Prix des matières premières	Main d'oeuvre	Charbon de bois	Prix de revient	Prix de vente par l'artisan	Prix de vente Nikki
cm	kg	FCFA	FCFA	FCFA	FCFA	FCFA	
20	2	1000	350	300	1650	2000	
30	4	2000	500	400	2900	3500	4750
32	5	2500	700	400	3600	4500	5100
37	7	3500	900	500	4900	6000	

### ***Personnel***

Tenant compte des observations qui ont été faites au Cameroun, on peut estimer qu'une installation produisant au Cameroun 400 kg de marmites de Ø 300 par semaine fournirait de l'emploi direct à 6 travailleurs manuels, à temps plein ou partiel.

Coût de la main d'œuvre en 8/03 : 3500 FCFA/jour.

### ***Matière***

Coût des mitrilles en 8/03 : 500 FCFA/kg

## 9 ANNEXES

### 9.1 Annexe 1 : Machines et outils

Type machine	Quantité	Caractéristiques	Intensité (A)	Coût total €
Scie à ruban	1	220V	7	3000
Ponceuse à ruban double	1	220V	0,750	350
Tube de dégazage	2	SiC		354
Tamis vertical	1	mailles 50*20mm <sup>2</sup> 0,6*1 m <sup>2</sup>		21,3
Outillage				
Tamis de mouleur	2			100
Toile pour tamis de mouleur	1 m <sup>2</sup>			
Rouleau de Bandage	1			
Colle à bandage	1			
Lames de scie	10			265
Bombonnes d'azote	2			
Canne d'injection d'azote	2			400
Appareil d'hygrométrie	1			923
Total				5413

Prix en date du 6/2004

## 9.2 Annexe 2 : Dégazage

Pour des pièces critiques ou afin d'obtenir un meilleur aspect de surface des pièces, il est nécessaire de dégazer le métal fondu avant la coulée. Différentes techniques sont utilisées à cette fin dont la plus indiquée dans le contexte vécu utilise de l'azote gazeux.

### Dégazage à l'azote gazeux

En fin d'opération de fusion, le chauffage du creuset est arrêté ou modéré par l'arrêt de la ventilation du four, afin permettre la remontée des crasses à la surface du bain.

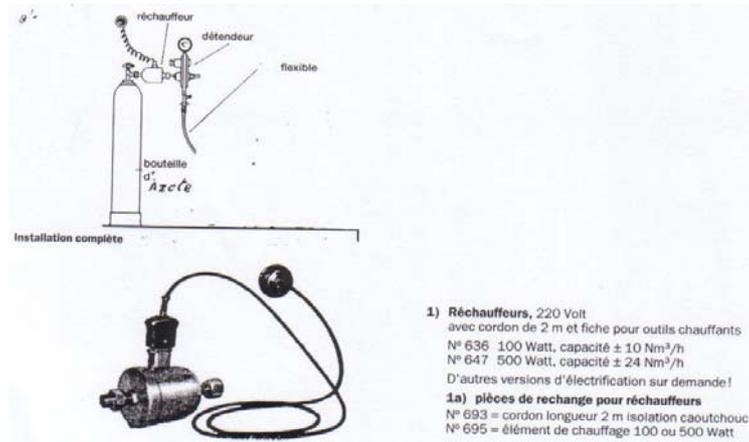


Figure 35 : Bonbonne d'Azote pour dégazage

On peut aussi procéder par l'immersion en fin de fusion de pastilles générant l'azote.

Précaution à prendre : le gaz et les pastilles doivent être tout à fait anhydre.



Figure 36 : Cloche de dégazage

Afin de limiter l'importation de matériaux de consommation coûteux, la première solution est souvent préférable, quand bien même les cannes d'injection présentent une certaine fragilité.

Durée : prévoir 5' /100 kg de métal liquide.

### ***Contrôle du degré de dégazage***

Le mélange fondu et éventuellement prêt à la coulée, fait l'objet avant coulée d'un contrôle précis de sa température qui doit être maintenue constante à  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Un dégazage efficace ne peut ainsi avoir lieu que si le creuset est transféré dans un four séparé chauffé au fuel ou au gaz.

## **9.3 Annexe 3 : Tri des mitrilles**

Les éléments suivant peuvent être utilisés pour déterminer la composition probable du métal.

### **9.3.1 Selon l'Aspect**

Présence de rouille : métal ferreux  
Aspect grisâtre lorsque oxydé : zinc  
Aspect blanchâtre lorsque oxydé : aluminium ou magnésium  
Aspect jaunâtre/rougeâtre : alliage cuivreux

### **9.3.2 Selon l'Usage**

Boîtiers d'outils légers tels scies à chaînes : aluminium allié  
Semelle de fer à repasser : aluminium allié  
Ustensiles de cuisine légers : aluminium allié  
Profilés de châssis de fenêtre : aluminium allié  
Roues de voiture et enjoliveurs : aluminium allié  
Câbles électrique haute tension : aluminium allié  
Blocs moteurs et boîtiers à vitesses de voitures Volkswagen : alliages au magnésium  
Pièces de voitures : corps de pompes, boîtiers électriques coulées sous pression : alliages de zinc  
Pistons de moteur : aluminium allié  
Pièces électriques non magnétiques, paliers pour arbres, pièces de robinetterie : alliages cuivreux  
Pièces de machines lourdes, blocs moteurs, pièces de machines agricoles ; métal ferreux  
Fils électriques ordinaires : alliage cuivre  
Conduites d'eau : acier ou cuivre ; distinction par l'aspect  
Ressorts, pièces de contacts électriques, paliers pour arbres de rotation : alliage cuivreux ou acier étamé  
Gouttières : zinc  
Plaques de batteries, armement de câbles électriques : plomb  
Carburateurs de moteurs de véhicules, pompes, boîtiers électriques : zinc

## **9.4 Annexe 4 : Moulage traditionnel**

### **9.4.1 Moulage au sol pour coulée en chute au moyen d'un seul châssis**

Il s'agit de la méthode la plus simple de réalisation du moule. Elle est pratiquée notamment en Inde, en Egypte et en Afrique subsaharienne (Cameroun, Bénin,...) mais ne donne qu'une qualité de fini de surface médiocre.

On prépare sur le sol une surface bien plane, une semelle en quelque sorte. La marmite-modèle est remplie de sable, bien tassé au fouloir.

Elle est déposée dessus, ouverture vers le bas; on aura évidé préalablement une partie du sable de façon à en diminuer le poids.

Un isolant tel le talc ou la cendre de bois pilée est répandu sur la motte ainsi formée.

Un châssis est posé qui entoure la marmite de même qu'un modèle de chenal de descente, et un tube ou un manche de brosse, modèle pour le chenal de coulée. Le sable de moulage est tassé dans le châssis.

On repère par quelques traits la position du châssis par rapport à la semelle. Le châssis accompagné de la marmite est démoulé, le modèle désolidarisé du moule-châssis. Finalement le châssis est reposé sur la semelle et la motte tenant compte du repérage.

Le procédé est illustré en annexe.

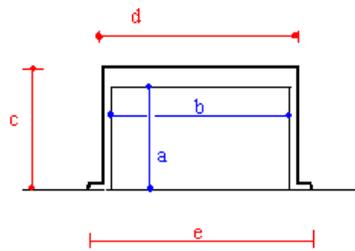
Utilités particulières :

- pour des pièces simples et de grandes dimensions pour lesquelles le temps de solidification est compté, cette méthode elle peut être utile
- avec une rehausse, ou surépaisseur de métal, la qualité de la pièce peut être améliorée ; elle permet de récolter plus efficacement les crasses qui se forment lors de la coulée
- pour certaines marmites, en forme hémisphérique, le moule peut être réalisé en deux ou trois pièces pour éviter la manutention de charges trop pesantes.
- la qualité, l'aspect de surface seront moins bons, mais des éventails crayons sont à localiser, si nécessaire pour l'évacuation des gaz à la coulée.

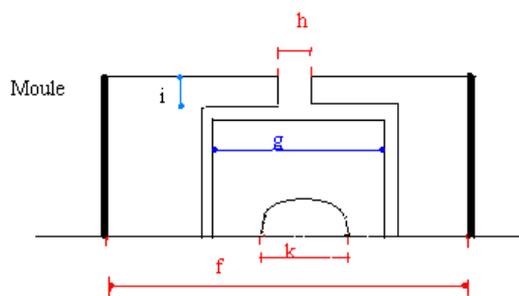
## 9.4.2 Croquis d'un Moule Camerounais traditionnel pour Marmite Ø 30 cm

Type Casserole: D.30

Casserole



a= profondeur 120 ....  
 b= diamètre intérieur 296 .....  
 c= hauteur...127 .....  
 d= diamètre extérieur...304 ...



e= diamètre poignées comprises...394 .....  
 f= Largeur intérieure du moule 510 .....  
 g= Diamètre mâle ..290 ...  
 h= Diamètre trou coulée ..35 ...  
 i= Hauteur trou de coulée.....60 ...  
 k= diamètre de l'évidement ...196 ....

## **9.5 Annexe 5 : Fabrication d'un creuset argile/graphite**

La littérature sur le sujet propose souvent de très anciennes formules pour cette fabrication, qui présentent parfois un côté qui peut paraître anecdotique, mais efficace, faisant appel à un mélange de sable, d'argile, de graphite, de son et de bouse de vache.

## **9.6 Annexe 6 : Couleur du métal selon la température**

Couleur	Température
A peine visible	630°C
Visible	675°C
Rouge mat, terne	775°C
Rouge foncé	850°C
Rouge brillant	990°C

## 9.7 Annexe 7 : Essais de coulée en source d'un poêlon

L'essai de coulée a été réalisé sur un poêlon modèle Tefal<sup>1</sup> au moyen de deux châssis.

### Moule pour le poêlon

La figure 37 représente un poêlon moulé non fini provenant de Yaoundé et la réplique de celui-ci réalisée en Belgique et dont la description est faite ci-dessus ainsi que le moule utilisé.

Objet de l'essai : coulée en source d'un poêlon de ce type.

### Fiche d'essai :

Pièce : poêlon

Dimensions : Ø ext. 260 mm

H 20mm

Manche Al+ plastic L, 170 mm, légèrement incliné

l, 25 mm

riveté

épaisseur du fond 3,5 mm

parois latérales légèrement inclinées, hauteur : ~ 20 mm

Modèle : poêlon de marque Tefal/Armatal



Figure 37 : Poêlons moulés Yaoundé/Divry

<sup>1</sup> Tefal : marque française

Objet de l'essai : coulée en source d'un poêlon de ce type  
Alliage : ASG3  
Sable : chimique granulométrie ~ 95 AFS  
Atelier : Divry-Bertrand  
Date : semaine du 7 juin 2004  
Moule : 2 châssis



**Figure 38 : Moule de coulée**

Châssis acier : 500\*400, H 225 mm  
Coulée en source, légèrement penché, côté manche  
Trou de coulée : Ø 20



**Figure 39 : Moule de coulée**

Descente de coulée 60, surmontée d'un  
Entonnoir tronconique : H25 Ø 34  
Alimentation par le manche

Chenal de coulée : demi-cylindre Ø 18, L 65

Chenal d'attaque à angle droit vers le manche, longueur 16 raccordé au manche sur une largeur située de 50 à 90 depuis l'extrémité du manche.

Event : à l'opposé du manche, Ø 5 L 70

Surface évent lisse sur 18 de haut

Surface ext. et int. brillantes.

## 9.8 Annexe 8 : Diversification des produits

Le présent dossier a été axé principalement sur la fabrication d'ustensiles de cuisine type marmites. Les techniques suggérées peuvent être utilisées pour bien d'autres produits encore, que ce soit pour des :

- pièces mécaniques : poulies, roues disques (cfr photo de couverture)
- médailles, plaques commémoratives et autres objets de décoration
- ustensiles de cuisine plus spéciaux, comme des louches, des marmites sur 4 pieds, telles qu'utilisées en Egypte, ou des louches (cfr photo de couverture).

Avec un peu d'ingéniosité ou d'adresse, il est même pensable de réaliser :

- *une marmite à paroi arrondie* comme au Bénin (voir photo de couverture à l'extrême droite), qui nécessite lui un moule en plusieurs pièces
- *un presse-agrumes manuel* plus commun en Asie tel, par exemple, du modèle figuré dans le présent document et dont nous avons vu une copie en Al moulé.
- *des altères d'exercice pour la musculation de la main* avec ressorts ; ces derniers évidemment en acier et encore à monter.
- *des roues à rayons pour chariots* (cfr figure 1).
- *des poulies à gorge*.



**Figure 40 : Presse-agrumes manuel**

## 9.9 Annexe 9 : Références

- Irrmann (R.) La Fonderie d'Aluminium en Sable et en Coquille, trad. Moiroud (J.), Paris, Dunod, 321 p.
- Le Breton (H), 1955, Pour le Fondateur d'Alliages légers, Paris, Dunod, 248 p.
- Nicolet (A) et all, 1954, Le Modeleur-Mécanicien, Paris, Eyrolles, 360 p.
- Fabart (A E), 1926, Manuel du Fondateur, Paris, Librairie J.B. Baillière et Fils, 416 p.
- Laurat (Ph) , 2001, Mise au point d'une gamme de foyers améliorés et réchauds et préparation de la diffusion, Ndjamena, AEDE, 35 p.
- Goovaerts (L) et all, 2001, Beste beschikbare technieken voor de Gieterijen, Gent, Academia Press, 328 p.
- Fonderie G.Fallais, 2003, divers documents commerciaux et techniques reçus en consultation, Villers-Le-Bouillet
- Hitchings (R), 1985, How to make cutting-shears for sheet metal, London, Intermediate Technology Publications, 22 p.
- Dudouet (M), 1980, Fonderie Memento de Technologie de Moulage- en Moules non permanents, Paris, Syndicat général des Fondateurs de France, 90 p.
- Sandam (R) et all, 1967, Metalwork, London, Edward Arnold, 256 p.
- Documents du Centre Technique des Industries de la Fonderie (CTIF), France.
- Documents commerciaux des sociétés M.C.Technics, Sival, Deby, Bouvier Technofour, etc.
- Le Breton (H.), 1955, Pour le Fondateur d'Alliages légers, Paris, Dunod, 248 p.
- Nicolet (A. et R.), Brodbeck (G.), 1954, Le Modeleur-Mécanicien, Paris, Eyrolles, 360 p.
- De Smet (G.), 1972, La Pratique des Traitements thermiques des Métaux industriels, Paris, Dunod, 529 p.
- Dennis ( W.H.), 1963 2d 2e éd., Metallurgy of the non-ferrous Metals, London, Pitman, 790 p.
- Razous (P.), 1949 5e éd., Théorie et Pratique du Séchage industriel, Paris, Dunod, 259 p.
- Hirst (S.), repr. 2002 , Metal Casting Appropriate Technology in the small Foundry, London, ITDG Publishing , 227 p.
- Feinberg ( W.), repr. 2002, Lost Wax Casting A Practitioners Manual, London, ITDG Publishing, 74 p.
- Gingery ( D.J.), rev. 2002, The Charcoal Foundry, Rogersville (MO.USA), David J. Gingery Publishing L.L.C.-
- Cosack+Co, Taco Crucible Service, Neheim-Hüsten 1 (RFA)
- Chastain (S.), 2002, Oil-Fired tilting Furnace, Jacksonville (FL.USA), 192 p.
- Navy Department-Bureau of Ships, United States Foundry Manual, 1944 repr. 1957, Lindsay Publications Inc., 291 p.
- International Correspondence Schools, 1906, repr. 1983, Secrets of Green-Sand Casting, Lindsay Publications Inc., Bradley( IL.USA), 167 p.
- Harper (J.D.), 1981, Small Scale Foundries for Developing Countries, ITDG, London.
- Gingery (V.), 1986, Making Crucibles, Paperback David J. Gingery Publishing.
- Relf (C.), Scrap Metal Recovery, An Experience of intermediate Technology in Papua New Guinea, IT Publications
- ?, ?, Aluminium Kookpotten, Atol, 5 p.
- Defrancq (Ch.), 2005, Les Défauts de Fonderie générés par le Sable, Origines et Remèdes, Groupe de Travail Wallonie-Bruxelles, Seraing, Edition Enseignement Supérieur-Perspectives nouvelles, 14 p.

- Dejonghe (M.), 2005, Les Défauts de Fonderie générés par le Sable, Expériences pratiques, Groupe de Travail Wallonie-Bruxelles, Seraing, Edition Enseignement Supérieur-Perspectives nouvelles, 11 p.

- Marchioni(B.), 2005, Les Défauts de Fonderie générés par le Sable, Expériences pratiques, Groupe de Travail Wallonie-Bruxelles, Seraing, Edition Enseignement Supérieur-Perspectives nouvelles, 38 p.

Bellanger (G.), 2005, Conception et Tracé des Pièces de Fonderie en Fonte et en Acier, Seraing, Edition Enseignement Supérieur-Perspectives nouvelles, 55p.

**Ainsi que de nombreux autres documents repérés sur la Toile**