

L'ALUMINIUM DE RÉCUPÉRATION AU SERVICE DE L'ALIMENTAIRE : FONDERIE ET AFFINAGE (CAS DU CAMEROUN)

Médard Fogue, Guy F. Anago, Bertin Soh Fotsing, Patrice Ngnaguepa
Laboratoire de mécanique des solides - École nationale supérieure polytechnique de Yaoundé - Cameroun

L'aluminium de récupération (ou aluminium de deuxième fusion) est obtenu à partir des déchets en aluminium par les artisans-fondeurs. Ces déchets proviennent des pièces obsolètes : vieilles tôles, boîtes, ustensiles de cuisine, et surtout de la destruction des épaves de voitures.

En Afrique Sub-Saharienne, les artisans fondeurs utilisent l'aluminium récupéré pour fabriquer des ustensiles de cuisine et des outils d'usage divers, par des méthodes qui induisent des impuretés au cours de la fabrication, notamment des métaux pouvant être toxiques.

L'objet de ce travail est d'abord de déceler la présence effective (ou la teneur en excès) de ces impuretés dans les objets fabriqués. La perspective étant d'étudier les méthodes pouvant permettre aux artisans fondeurs de respecter un certain dosage des éléments d'addition qui garantirait une sécurité alimentaire et une meilleure fabrication par moulage des ustensiles de cuisine et outils d'usage divers.

One hears by salvaged aluminum, the second melting aluminum obtained since scrap made of aluminum by the craftsmen casters. Those scrap proceeds of obsolete devices : old sheets, cans, kitchen utensils, and especially from the destruction of wreckages of cars. In sub saharian africa, the craftsmen casters use the salvaged aluminum to make some kitchen utensils and some tools of various convention.

While the retrieval and the recycling of the aluminum are making without any norm in Cameroun and in the African countries, the methods used by the craftsmen in the making of utensils and objects induce impurities, notably some toxic metals.

The aim of this work is first to disclosing the effective presence (or the content in excess) of those impurities in the made objects. The purpose being to studying the methods which could permit to craftsmen casters to respecting a certain dosage of adding elements who would warrant an alimentary security and one masters of the procedure of milling of the aluminum.

INTRODUCTION

Ce travail constitue la première phase d'une étude qui a pour objectif la maîtrise de la récupération et du recyclage des déchets d'aluminium dans la fabrication artisanale de marmites de cuisson appelées « cocottes » et d'autres ustensiles de cuisine. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet intitulé « Pour une meilleure utilisation de l'aluminium dans l'industrie et l'artisanat en Afrique centrale ».

L'aluminium ainsi que de nombreux alliages à base d'aluminium sont de plus en plus issus des rebuts et utilisés par les artisans - fondeurs pour la fabrication d'objets divers dans les pays de l'Afrique centrale et occidentale. Bon nombre de ces objets tels que les cocottes, les cuillères, les louches, les poêles, les couteaux sont utilisés dans la plupart de nos cuisines. Une première évaluation fait état d'une production annuelle de 500 tonnes de cocottes, par exemple, au Cameroun^[1].

Les méthodes archaïques de recyclage de l'aluminium récupéré font que le produit obtenu contient en excès des impuretés d'origines diverses non recommandées. La connaissance de l'existence et de la nature de ces impuretés dans le métal récupéré est très importante au regard du risque d'intoxication qu'ils peuvent créer.

Dans cet article nous présentons :

- l'analyse métallurgique et chimique de l'aluminium de récupération à partir d'une enquête sur le marché camerounais concernant le mode de récupération, la fusion et la fabrication des objets ;
- les résultats des analyses faites en laboratoire sur les teneurs des différents composants des échantillons obtenus à Yaoundé et Douala (Cameroun) ;
- une comparaison de ces résultats avec des extraits de la norme française NF A50-105¹ (voir tableau 4) à défaut d'une réglementation camerounaise.

Il est cependant primordial de présenter de façon succincte les différentes étapes du trajet de ce matériau avant d'arriver aux utilisateurs afin de pouvoir bien circonscrire en temps opportun les problèmes et les améliorations à préconiser.

MÉTHODE

Méthode d'obtention des objets en aluminium de récupération^[2, 3]

L'aluminium est le métal dont les applications sont les plus répandues. On le rencontre presque dans tous les secteurs : emballage, transport, matériel ménager, industrie alimentaire, etc.

Le vaste domaine d'utilisation de ce métal léger fait que l'on retrouve beaucoup d'objets en aluminium dans les rebuts. Sa récupération se fait de façon artisanale dans certains quartiers de nos grandes métropoles.

Les alliages d'aluminium de moulage sont élaborés :

– Soit à partir de métal provenant directement des cuves d'électrolyse après addition des éléments constitutifs de l'alliage : il s'agit alors d'alliages de première fusion^[4]. C'est le cas de l'aluminium produit par Alucam-Socatral (sociétés de fabrication et transformation d'aluminium au Cameroun du groupe Pechiney).

– Soit à partir des déchets triés et refondus : c'est l'alliage de 2^{ème} fusion ou alliage d'affinage. C'est cet alliage qui nous intéresse dans le cadre de ce travail.

Récupération^[5]

Un ratissage minutieux des quartiers de Yaoundé, (Nkomkana, Carrière, Madagascar, Tsinga, Briqueterie, Ekounou, Mimboman, Nvog Ada, Mbankolo, etc.) a permis de dénombrier 7 ateliers plus ou moins importants de fabrication des objets en aluminium récupéré. Les plus importants sont regroupés et concentrés dans le quartier Tsinga (Tsinga-Elobi et Ntougou II). De l'enquête que nous avons menée auprès de ceux-ci il ressort que :

– les fabricants mélangent pour chaque bain des déchets dits « lourds »² et des déchets dits « légers »³ ;

– le métier d'artisan fondeur se transmet de père en fils ;
 – le ravitaillement en matières premières est difficile et de ce fait les artisans sont obligés d'acquérir n'importe quel rebut, pour peu qu'il contienne quelques traces d'aluminium.

La récupération des objets en alliages d'aluminium ou contenant des traces d'aluminium est effectuée par des jeunes et adultes dans les quartiers de la ville où ils peuvent trouver des poubelles et des dépôts d'ordures. Dans ces poubelles et dépôts d'ordures on retrouve des déchets provenant des entreprises, des casses automobiles, des casses de matériels industriels, des ménages (vieux ustensiles de cuisine, conserves, emballages, etc...), des hôpitaux (emballages de produits pharmaceutiques, divers matériel en aluminium etc.).

Ces objets récupérés sont vendus aux artisans fondeurs à raison de 3,50 FF le kg.

Recyclage

La figure n° 1 présente l'organigramme du recyclage tel qu'il est fait actuellement.

La fusion et l'affinage : la fusion des déchets et débris d'aluminium est réalisée dans un four à charbon à l'aide d'un creuset en acier. Après un préchauffage du creuset, on introduit dans ce dernier d'abord les déchets « légers » et ensuite progressivement les déchets « lourds » jusqu'au remplissage du creuset. Ceci permet d'avoir une bonne composition des charges. On continue le chauffage jusqu'à l'obtention d'une pâte dans laquelle sont introduites des boîtes vides d'huile raffinée qui sont constituées de PVC [formule (C₂H₃Cl) n].

Notons que cette fusion qui se fait sans aucun contrôle de température peut atteindre dans certains cas 1 800 °C. La fluidité du métal étant un élément important de la fluidité. La combustion du PVC dans le bain de métal fondu forme

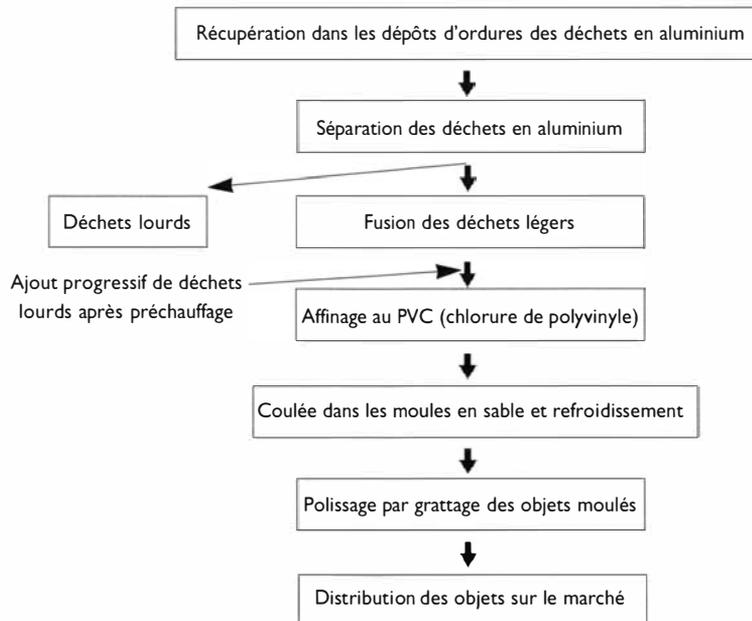


Figure 1 : Organigramme de recyclage

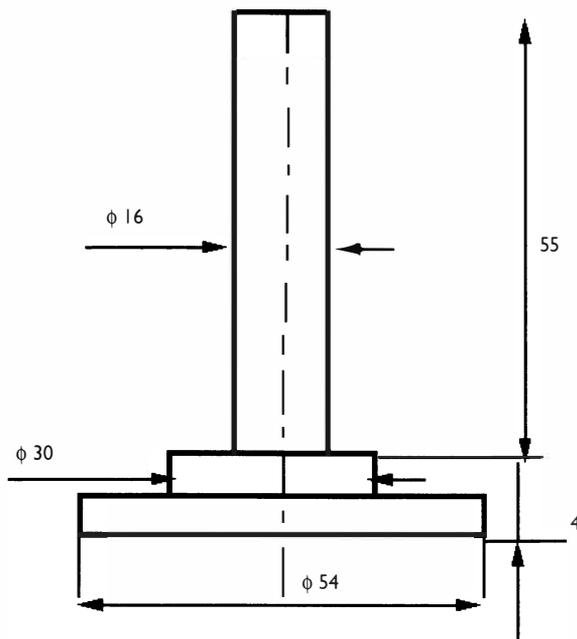
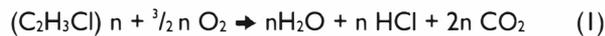


Figure 2 : Éprouvette (échantillon) de spectrométrie

l'acide chlorhydrique selon la réaction ci-dessous :



Cet acide chlorhydrique réagit avec les oxydes métalliques pour former les chlorures tels que : $MgCl_2$; $SiCl_4$; $AlCl_3$; Fe_2Cl_4 ; Fe_2Cl_6 . Ces chlorures forment une scorie (à base de silicates et de métaux non fondus) qui surnage dans le bain et que les artisans fondeurs éliminent après décantation.

Cette réaction permet également la coagulation des déchets dispersés et le dégazage massif du bain de métal fondu qui pendant l'opération est remué à l'aide d'un ringard. Cette coagulation serait causée par la formation de chlorure de magnésium ($MgCl_2$) liquide à 700 °C.

Cette opération est à l'origine de plusieurs impacts :

- sur la santé des opérateurs et des voisins des quartiers environnants (attaque des poumons par l'acide chlorhydrique dégagé),
- sur l'environnement (à cause des fluoro-chloro-carbone qui pourraient éventuellement se former dans le milieu et qui sont soupçonnés d'agir sur la couche d'ozone).

Analyse chimique des objets en alliages d'aluminium récupéré

Nous avons identifié et quantifié les teneurs des éléments constitutifs dans les

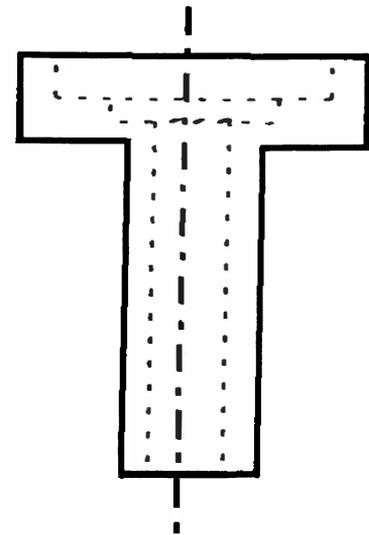


Figure n° 3 : Moule en coquille

alliages d'aluminium récupérés par deux méthodes :

- La spectrométrie de masse (équipement disponible à Alucam-Socatral) qui nous a permis d'analyser 30 échantillons d'origines diverses sous forme de pions (figure 2). Ces échantillons sont obtenus par moulage en coquille (figure 3), à partir des alliages récupérés directement dans l'atelier du fondeur pendant l'opération de coulée d'une part et d'autre

Tableau 1 : Teneur en % des impuretés sur les échantillons moulés au Laboratoire de mécanique des solides de l'ENSP de Yaoundé

Éléments/ Échantillons	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Pb	Ti	Ga
L1	2,36	1,10	1,14	0,06	0,01	0,25	0,52	0,02	0,05	0,02	0,01
L2	2,39	1,24	1,10	0,018	0,03	0,05	0,54	0,05	0,06	0,02	0,01
L3	2,53	1,28	1,60	0,01	0,04	0,25	0,42	0,07	0,07	0,01	0,01
L4	2,41	1,36	0,96	0,01	0,08	0,1	0,42	0,1	0,08	0,02	0,01
L5	2,14	1,07	1,11	0,016	0,02	0,05	0,43	0,03	0,05	0,02	0,01
L6	2,41	1,49	1,01	0,08	0,18	0,32	0,43	0,02	0,08	0,02	0,01
L7	2,08	1,10	0,90	0,025	0,01	0,04	0,42	0,02	0,04	0,02	0,01
L8	2,27	1,81	1,13	0,016	0,43	0,27	0,43	0,2	0,12	0,02	0,01
L9	2,13	1,12	1,08	0,02	0,02	0,04	0,43	0,03	0,05	0,02	0,01
L10	2,20	1,13	0,87	0,032	0,01	0,04	0,43	0,01	0,04	0,01	0,01
L11	2,05	1,42	0,90	0,025	0,02	0,06	0,58	0,02	0,05	0,02	0,01
L12	2,42	1,36	0,87	0,089	0,02	0,06	0,59	0,02	0,05	0,01	0,01
L13	2,12	1,14	0,88	0,051	0,02	0,04	0,5	0,2	0,04	0,02	0,01
L14	2,26	1,84	1,27	0,017	0,41	0,26	0,43	0,02	0,14	0,02	0,01
L15	2,47	1,26	0,93	0,074	0,02	0,05	0,56	0,02	0,05	0,01	0,01
L16	2,21	1,08	0,93	0,011	0,02	0,05	0,54	0,02	0,04	0,02	0,01
L17	2,81	1,47	0,95	0,06	0,02	0,06	0,58	0,03	0,06	0,01	0,01
L18	2,20	1,94	1,14	0,01	0,32	0,25	0,43	0,21	0,14	0,01	0,01

part à partir des ustensiles achetés par nos soins sur le marché camerounais et refondus.

– La microscopie à balayage (équipement disponible à l'Insa de Lyon GEMPPM^[4]) qui nous a permis de compléter les résultats pour des échantillons récupérés dans un atelier à Douala.

RÉSULTATS

Présentation

Chaque échantillon a été analysé quatre fois et le résultat présenté correspond à la moyenne arithmétique des quatre mesures.

Les tableaux 1 et 2 présentent les résultats des analyses sur les échantillons moulés au Laboratoire de mécanique des solides (LMS)^[5] et ceux moulés chez les artisans.

Le tableau 3 présente les résultats des analyses effectuées sur des échantillons récupérés dans un atelier de Douala. Ces analyses ont été faites sur le microscope électronique à

balayage du GEMPPM de l'Insa de Lyon. Les cases grisées sont celles dont les teneurs des éléments concernés dépassent les recommandations de la norme NF A 50-105^[6].

Précision des résultats

Le spectromètre que nous avons utilisé ne pouvait doser que 18 éléments au maximum dans un échantillon, c'est pourquoi nous n'avons pas pu doser certains éléments comme le Cadmium ($T_f = 321 \text{ °C}$), le Mercure ($T_f = 357 \text{ °C}$) et l'Antimoine ($T_f = 630,5 \text{ °C}$) dont la température de fusion est inférieure à celle de l'aluminium.

La précision de la technique utilisée est très dépendante de l'état de surface des échantillons.

En dépit de ces limitations, les applications de la spectrométrie de masse sont très nombreuses. Cette technique a fait ses preuves dans le domaine environnemental et compte tenu des précautions prises et du respect des protocoles d'analyses observés nous considérons les résultats obtenus fiables.

Interprétation des résultats

Tableau 1

– Les teneurs des éléments Fe + Si, Cu, Mg, Zn sont supérieures aux valeurs recommandées par la norme pour tous les échantillons testés.

– La teneur en plomb est supérieure ou égale à la valeur recommandée pour 14 échantillons sur 18.

– La teneur en nickel est supérieure ou égale à la valeur recommandée pour 6 échantillons sur 18.

Tableau 2

– Les teneurs des éléments Fe + Si, Cu, Mg, Zn sont supérieures aux valeurs recommandées par la norme pour tous les échantillons testés, comme dans le cas précédent.

– Par contre le nickel et le plomb sont dans des proportions admissibles.

Tableau 3

– Les teneurs des éléments Fe + Si, Cu, sont supérieures aux valeurs recommandées par la norme pour tous les échantillons testés.

La présence, à une forte teneur du fer et du silicium peut se justifier par deux sources lors des opérations de fusion chez les artisans. La première source (la plus plausible) est celle des déchets et débris non triés et la deuxième tient au creuset lui-même qui est en fonte (car $T_f \geq 1400 \text{ °C}$). La fonte étant un alliage formé du fer, du carbone et de certains

Tableau 2 : Teneur en % des impuretés sur les échantillons moulés chez les artisans

Éléments/ Échantillons	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Pb	Ti	Ga
Ar.1	1,61	0,89	0,43	0,55	0,008	0,03	0,24	0,04	0,02	0,007	0,02
Ar.2	1,07	0,56	0,38	0,48	0,006	0,02	0,17	0,02	0,017	0,016	0,01
Ar.3	1,28	0,69	0,34	0,49	0,006	0,02	0,21	0,03	0,012	0,012	0,01
Ar.4	1,69	1,40	0,61	0,89	0,007	0,05	0,26	0,05	0,034	0,009	0,02
Ar.5	1,23	0,68	0,44	0,5	0,007	0,02	0,20	0,03	0,014	0,012	0,02
Ar.6	1,20	0,65	0,36	0,51	0,007	0,02	0,18	0,03	0,013	0,013	0,02
Ar.7	1,83	1,56	0,55	0,16	0,03	0,06	0,32	0,20	0,034	0,023	0,01
Ar.8	1,23	0,71	0,40	0,54	0,008	0,02	0,20	0,02	0,013	0,008	0,02
Ar.9	1,10	0,55	0,38	0,49	0,007	0,02	0,17	0,02	0,013	0,017	0,01
Ar.10	1,28	0,69	0,34	0,49	0,007	0,02	0,17	0,03	0,010	0,01	0,01
Ar.11	0,99	0,59	0,36	0,49	0,007	0,01	0,17	0,02	0,010	0,01	0,01
Ar.12	1,89	1,53	0,57	0,16	0,03	0,06	0,32	0,20	0,03	0,02	0,01

Tableau 3 : Teneur en % des impuretés sur les échantillons récupérés dans un atelier de Douala et analysés sur le MEB de l'Insa de Lyon

Éléments/ Échantillons	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Pb	Ti	Ga
EF 12 (1)	6,75	0,77	0,35	*	*	*	*	*	*	*	*
EF 12 (2)	12,15	1,49	0,56	*	*	*	*	*	*	*	*
EF 12 (3)	6,226	0,70	0,28	*	*	*	*	*	*	*	*
EF 12 (1)	16,53	0,94	0,45	*	*	*	*	*	*	*	*
EF 12 (2)	18,96	0,74	0,48	*	*	*	*	*	*	*	*
EF 12 (3)	15,43	0,83	0,36	*	*	*	*	*	*	*	*

* Trace des éléments

Tableau 4 : Extrait de la norme NFA50-105 (Caractéristiques chimiques du métal utilisé dans la fabrication de matériel et ustensiles servant à la préparation, à la cuisson des aliments et à la conservation des aliments)

Éléments	Fe + Si	Ti	Cr	Cu	Mn	Mg	Ni	Sn	Zn	Be	Pb	Tl	Autres
Teneur maxi %													
NFA50-105	1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05

DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES

APPEL À PUBLICATIONS

Nous souhaitons publier dans cette revue et nous espérons pouvoir ouvrir nos colonnes à tous les travaux relatifs aux différents aspects du problème des déchets :

- Collecte, tri, préparation, transfert, stockage,
- Valorisation énergétique : énergie, matière première, matériaux, agriculture,
- Analyse et caractérisation, tests de comportement, nomenclature, classification,
- Traitements thermiques,
- Traitements biologiques,
- Traitements chimiques et physico-chimiques,
- Stabilisation-solidification : procédés et comportement à long terme,
- Déchets, sol et sous-sol,
- Procédés propres,
- Déchets-santé,
- Droit et législation.

Présentation des articles

- 5 Pages incluant textes, figures et références soit l'équivalent de 15 000 signes au maximum.
- Les textes originaux doivent être expédiés sur disquette 3,5 pouces (Mac ou PC) accompagnés d'une version papier en 3 exemplaires pour le comité de lecture dont une version originale comportant tableaux, figures, ou photographies éventuels. Les fichiers de tableaux ou de figures existants doivent être joints sur la disquette avec originaux papier.
- Le nom du logiciel utilisé doit être spécifié.
- L'article doit impérativement comporter les éléments suivants si possible dans cet ordre :
 - titre,
 - nom, qualité et coordonnées de l'auteur,
 - résumé de 50 mots en français et en anglais,
 - introduction,
 - matériels et méthodes,
 - résultats,
 - discussion,
 - conclusion,
 - références.

Nous publions également les résumés de thèses qui nous sont envoyés ainsi que les résumés de mémoires de DEA ou de DESS lorsqu'ils sont accessibles, sur demande, aux lecteurs.

Envoi des articles

Alain Navarro, Laboratoire d'analyses environnementales des procédés et systèmes industriels (Laepsi) - Insa bâtiment 404 - 20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex - Tél. : 04 72 43 84 30 - Fax : 04 72 43 87 17. Secrétariat : Norma Renard (Tél. : 04 72 43 87 72 - Fax : 04 72 43 80 84)

éléments d'addition parmi lesquels le Silicium.

L'élément Béryllium est absent de tous nos échantillons. Le Lithium, le Sodium, le Calcium et le Bore sont à des teneurs très faibles.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présence des impuretés non recommandées dans la norme NF A 50-105 est effective et les teneurs sont très élevées. Cette situation n'est pas sans effet à court terme et à long terme sur l'état de santé des utilisateurs de produits en aluminium de récupération. A titre d'exemple, les effets toxiques du plomb sur l'organisme sont bien connus.

La technique de recyclage et le mode opératoire actuel de fabrication des ustensiles en aluminium a une influence évidente sur l'état de santé des opérateurs directs et de leurs voisins. C'est particulièrement vrai pour le HCl issu du PVC. De plus, dans la suite de ce travail, nous allons nous intéresser aux différentes interactions chimiques susceptibles de se produire pendant la cuisson des aliments dans les cocottes et à leur impact sur l'organisme humain. Il conviendra d'élaborer et de proposer des méthodes appropriées aux artisans-fondeurs afin de respecter des normes pour garantir non seulement les conditions de sécurité alimentaires, mais aussi une meilleure technologie de moulage sans risque de pollution atmosphérique (utilisation du PVC).

Médard Fogue, Guy F. Anago, Bertin Soh Fotsing, Patrice Ngnaguepa

Laboratoire de mécanique des solides - École nationale supérieure polytechnique - BP 8390 - Yaoundé Cameroun

Notes :

- [1] NF A50 - 105 : *Caractéristiques chimiques du métal utilisé dans la fabrication de matériel et ustensiles servant à la préparation, à la cuisson des aliments et à la conservation des aliments*
- [2] Les déchets lourds sont constitués de vieilles pièces de moteurs d'automobile (culasses, pistons, etc.).
- [3] Les déchets légers sont les vieilles tôles, les vieux ustensiles de cuisine (casserole, cuvettes, etc.).
- [4] GEMPPM : Groupe d'étude de métallurgie physique et de physique des matériaux.
- [5] LMS : Laboratoire de mécanique des solides de l'École nationale supérieure polytechnique de Yaoundé.

Remerciements : nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, collègues enseignants, chercheurs, étudiants et techniciens, particulièrement, aux responsables de Alucam-Socatral qui ont mis à notre disposition leur laboratoire. Nos remerciements vont également à la Mission Française de Coopération pour le financement de l'étude par le biais du projet Campus sur l'aluminium.

Bibliographie

1. O. Nana Sinou : *Études métallurgiques des objets en aluminium*, mémoire de fin d'études d'ingénieur en génie mécanique, École nationale supérieure polytechnique de Yaoundé. Juin 1996.
2. P. Junière et Sigwalt : *Les applications de l'aluminium dans les industries chimiques et alimentaires*, Eyrolles, Paris 1962.
3. G. Lindem et Al., *Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires*, vol 2 imp. Jouve 17, 1981, PP : 243-257.
4. Ing. du groupe Pechiney : *L'aluminium*, Eyrolles, Paris 1964.
5. P. Ngnaguepa : *L'aluminium de récupération*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur en génie mécanique de l'ENSP de Yaoundé. Juin 1997.
6. Norme NFA50-105 *Caractéristiques chimiques du métal utilisé dans la fabrication de matériel et ustensiles servant à la préparation, à la cuisson des aliments et à la conservation des aliments*.