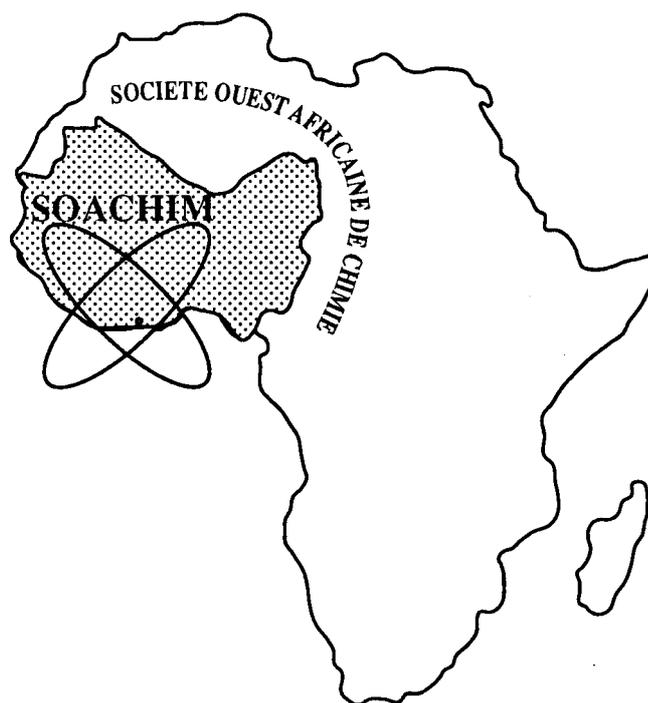


Caractérisations physico-chimiques des ustensiles de cuisine (marmites artisanales) fabriqués au Burkina Faso.

**Jacques Sawadogo, Moussa Bougouma, Tambi Ramde,
Guel Boubié, Lucien Désiré Bonou,
Marie-Paule Delplancke Ogletree, Jean Boukari Legma**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2014), 037 : 18- 28
19^{ème} Année, Juin 2014



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2
Cote INIST (CNRS France) : <27680>
Site Web: <http://www.soachim.org>

Caractérisations physico-chimiques des ustensiles de cuisine (marmites artisanales) fabriqués au Burkina Faso.

**Jacques Sawadogo^{1*}, Moussa Bougouma¹, Tambi Ramdé¹, Guel Boubié¹,
Lucien Désiré Bonou¹, Marie-Paule Delplancke Ogletree², Jean Boukari Legma¹**

¹*Laboratoire de chimie Physique et d'Electrochimie, UFR/SEA, Université de Ouagadougou
03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso, TEL: (+226) 78 28 40 66*

²*Service Matières et Matériaux, Groupe Chimie Industrielle, Faculté des Sciences Appliquées,
Université Libre de Bruxelles CP 165/63, Avenue F.D.Roosevelt 50 B-1050 Bruxelles, Belgique*

(Reçu le 10/03/2014 – Accepté après corrections le 15 /08/2014)

Résumé : Dans le cadre de la valorisation des matériaux d'origine artisanale du Burkina Faso, quelques échantillons d'ustensiles de cuisine (marmites artisanales) prélevés dans les différentes zones de la ville de Ouagadougou ont subi une série d'analyses chimiques et physico-chimiques. Les analyses à la fluorescence X (XRF) et à la Spectroscopie d'émission atomique à plasma inductif (ICP-OES) indiquent que la majeure partie des échantillons étudiés contiennent environ 89% d'aluminium. La diffraction aux rayons X (DRX), la Microscopie Electronique à Balayage (MEB) montrent que les éléments constitutifs essentiels des échantillons d'ustensiles de cuisine sont : Aluminium, Silicium, Cuivre, Magnésium et de Zinc. Enfin une mesure de dureté de VICKERS a été effectuée afin d'évaluer les propriétés mécaniques des matériaux.

Mots clé : ustensiles de cuisine, Analyses, physico-chimiques, MEB, Dureté

Physico-chemical characterization of kitchen utensils (artisanal pots) produced in Burkina Faso

Abstract : In order to enhance the value of artisanal materials from Burkina Faso, some samples of kitchen utensils (artisanal pots) collected in different areas of the city of Ouagadougou have undergone a series of chemical and physico-chemical analysis. Analysis of X-ray fluorescence (XRF) and the inductively coupled plasma atomic emission (ICP-OES) spectroscopy indicate that the majority of samples studied contain about 89% aluminium. The X-ray diffraction and the Scanning of Electron Microscopy show that the main minerals components of kitchenware samples include: Aluminium, Silicon, Copper, Magnesium and Zinc. Lastly, a measurement of VICKERS's hardness was conducted to evaluate the mechanical properties of materials.

Key Words: kitchen utensils, analysis, Physico-chemical, SEM, hardness

* Auteur de Correspondance : Jacques Sawadogo : jacquischimie@yahoo.fr

1. Introduction

Au Burkina Faso, les ustensiles de cuisine de fabrication artisanale occupent une place de choix dans l'art culinaire car se prêtant mieux aux conditions de vie des populations les plus vulnérables^[1, 2]. Ces ustensiles sont en général obtenus à partir d'aluminium de récupération de toutes nature (piston, carter, pièces d'avion, canette, etc.) que les fondeurs classent en alliages « durs », « mous » et « normaux »^[3-6]. Ces matériaux recyclés outre l'aluminium ont une composition chimique diversifiée. Ils contiennent, à l'état de traces, des métaux lourds qui à long terme exposent les populations à des risques réels de contamination^[7-8]. Compte tenu de l'absence de règles préétablies pour la préparation de la charge de fusion et de la diversité des déchets d'aluminium, chaque alliage est unique. Une évaluation du processus d'élaboration, des propriétés mécaniques (dureté de Vickers) et des propriétés physico-chimiques des ustensiles de cuisine permettront une évaluation de la qualité de ces ustensiles de cuisine. L'objectif principal de cette étude est de présenter des résultats chimiques et la caractérisation minéralogique des ustensiles de cuisine, avec les objectifs spécifiques pour l'avenir, leurs résistances dans les cuissons.

2. Matériels et Techniques expérimentales

2.1. Nature et préparations des échantillons

Dans ce travail, quatre types d'échantillons d'alliages d'aluminium coulés en forme rondelle ont été utilisés. Les échantillons d'ustensiles de cuisine ont été prélevés dans quatre ateliers de la ville de Ouagadougou à savoir alliage Zone I (échantillons n°1); alliage Goughin II (échantillons n°2); alliage Goughin I (échantillon n°3); alliage Zone non lotie (échantillon n°4). Chaque alliage est unique. Pour avoir un point de comparaison avec les alliages artisanaux, des échantillons témoins ont été prélevés sur un autocuiseur de fabrication européenne. Cet échantillon sera dénommé « témoin » lors de la présentation des résultats des expériences menées. L'étude métallographique, l'observation au microscope optique et électronique nécessite une bonne préparation de la surface. Les échantillons traités ont subi un polissage mécanique suivi d'une attaque chimique.

- Matières premières et produits finis : Les matières premières utilisées pour la fabrication des ustensiles de cuisine proviennent d'une grande variété de déchets d'aluminium comme le montre la **figure 1** et les produits finis sur la **figure 2**.



Figure 1 : matières premières utilisées pour la fabrication des ustensiles de cuisines



Figure 2 : produits finis obtenus (marmites artisanales de cuisine)

- Préparation des échantillons : Les échantillons à analyser ont été polis mécaniquement d'abord à l'aide des papiers abrasifs en carbure de silicium par ordre de granulométrie décroissant (**de 300 à 4000**), puis à la pâte diamantée (**de 6 µm à 1 µm**) sur drap. Après ces deux séries de polissage les échantillons sont lavés à l'eau milli-Q puis rincés successivement à l'acétone, au diéthyler puis aux ultrasons dans de l'éther de pétrole. Cette dernière opération permet d'éliminer les incrustations ou impuretés encore présentes dans l'échantillon; ils sont ensuite séchés à l'air comprimé.

- Attaque chimique : Cette opération a pour but de permettre l'observation des différentes phases présentes à la surface de l'échantillon. On utilise le réactif de Flick dont la composition est de l'acide fluorhydrique – eau milli-Q dans le rapport (**5 : 95**) en volume. Une goutte de la solution est déposée sur une petite partie de la surface. Le réactif de Flick a

pour rôle d'attaquer les joints des grains des alliages d'aluminium.

2.2. Techniques expérimentales

Afin de déterminer les éléments présents dans les alliages d'aluminium ainsi que leur teneur, nous avons dans un premier temps fait une analyse semi-quantitative par fluorescence X et comparé les résultats avec ceux obtenus par Spectroscopie d'émission atomique à plasma inductif (ICP-OES). La DRX, le MEB, la dureté de VICKERS et la Microscopie Optique ont respectivement été utilisés pour la suite de nos analyses.

Technique ICP-OES : Chaque échantillon est mis en solution par attaque acide dans un mélange d'acide chlorhydrique - eau milli-Q (50 : 50). Les analyses sont effectuées sur des prélèvements de 10 ml de la solution contenant les échantillons dissous. Pour le dosage des éléments majeurs, la solution initiale a été diluée de façon à obtenir des concentrations à l'échelle de traces pour rester dans le domaine de Beer-Lambert [9 -11]. Le spectromètre utilisé est de type VISTA-MPX CCD Simultaneous séries ICP-OES spectrometer.

Technique de fluorescence X : Elle permet une analyse qualitative et semi quantitative. L'appareil utilisé est de type SRS 3000.

Technique DRX : Cette technique permet la mise en évidence de la nature des phases en présence. Le diffractomètre utilisé est de marque Bruker de type SIEMENS D5000 en mode 2θ .

Technique MEB : Cette technique permet une étude morphologique de la surface et une quantification de la surface étudiée des éléments constitutifs. L'appareil utilisé est de type JEOL modèle JSM 6100 couplé avec un analyseur EDAX.

Technique Microscopie Optique : La Microscopie Optique (de marque ZEISS JENAPOL équipé d'une caméra), permet d'observer l'état des surfaces des échantillons d'aluminium fabriqués.

Technique de dureté de Vickers : La dureté d'un matériau (métal, polymère, céramique) est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui. Elle donne une indication sur le niveau global de résistance au poinçonnement du matériau.

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse chimique des échantillons

Les résultats de l'analyse de spectrométrie à fluorescence X des échantillons sélectionnés ont été regroupés dans le **tableau I** et ceux de l'ICP-OES dans le **tableau II**. Dans ces tableaux figurent les résultats en pourcentage massique des éléments analysés en fonction de leur origine.

On observe une grande variété de composition chimique des alliages qui résulte de l'extrême diversité de la qualité et de la quantité des matériaux composant le gisement des déchets d'aluminium.

Le silicium, l'un des constituants majeurs des alliages d'aluminium destinés à la fonderie, permet d'abaisser la température de fusion des alliages et améliore la coulabilité par conséquent, de limiter les risques critiques (fentes dans le métal) [12-15].

Les teneurs en cuivre dans les échantillons n°1, 2 et 4 sont hors norme et les teneurs en zinc dans les quatre échantillons sont supérieures à la norme.

Le nickel, le magnésium, le titane, le chrome, le fer, le manganèse, le zirconium et le plomb sont présents en faibles quantités dans les quatre échantillons. En effet, tous les échantillons ont des teneurs en chlorure nettement supérieures à celles autorisées par la norme française, dues à la charge dont il est issu [15-16]. Les teneurs en fer et manganèse des alliages sont conformes à la norme [17 - 18]. Ce qui confirme ce que nous avons dit précédemment à savoir que compte tenu de l'absence de règles préétablies pour la préparation de la charge de fusion et de la diversité des déchets d'aluminium, chaque alliage est unique. Le creuset en acier où l'aluminium en fusion demeure à une température élevée (plus de 650°C) pendant plus d'une heure est aussi une source de contamination.

3.2. Analyse par diffraction aux rayons X (DRX)

Chaque famille d'alliage se caractérise par une valeur de d du plan (100). Les diffractogrammes des échantillons n°1, 3 et 4 (**figure 4, 6, 7**) présentent une orientation préférentielle (textures) suivant le plan (111), l'angle de diffraction est de 38,47° et seul l'alliage de l'échantillon n°2 (**figure 5**) est orienté suivant le plan (311) dont l'angle de diffraction se situe à 78,23°. Par contre le spectre de l'aluminium témoin (**figure 3**) a un pic intense qui se situe dans le plan (200) avec un angle de diffraction de 44,8°. On remarque, la présence de petits pics de silicium sur tous les spectres de diffraction. Cependant, sur la **Figure 5** de très petits pics sont présents sur le diffractogramme de l'échantillon n°2, ce phénomène traduit la présence des traces de phases étrangères dans la matrice d'aluminium de l'échantillon n°2 qui serait

constituées du Cu, du Cu₃Al₂, du MnO₂ et du Fe₃Al₂Si₃. L'existence de ces différentes phases dans cet alliage explique le décalage du pic intense vers la droite^[19].

3.3 Microscopie Optique (MO)

Une attaque chimique à l'acide fluorhydrique(HF) 5% permet d'observer les différentes phases suivantes.

Tableau I : Composition chimique (XRF) en % massique des échantillons récoltés auprès des fondeurs du Burkina Faso et teneurs maximales admises par la norme NF EN 601 (juillet 2004).

Elements	Al	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Cl	Cr	Mn	Pb	Ni	Ti	Zr	P	S	K	Ca	Co
<i>échantillons</i>																		
Echantillon 1	82,33 ±0,33	12,70 ±0,24	0,658 ±0,017	1,11 ±0,016	1,27 ±0,150	0,48 ±0,03	0,19 ±0,03	0,021 ±0,006	0,204 ±0,001	0,0056 ±0,006	0,31 ±0,01	0,041 ±0,007	0,012 ±0,001	0,22 ±0,04	0,22 ±0,03	0,1 ±0,01	0,079 ±0,01	0,017 ±0,004
Echantillon 2	90,3 ±0,34	6,24 ±0,18	0,758 ±0,019	0,854 ±0,014	0,676 ±0,011	0,17 ±0,03	0,14 ±0,03	0,034 ±0,007	0,11 ±0,009	0,026 ±0,004	0,061 ±0,004	/	0,011 ±0,001	0,19 ±0,04	0,25 ±0,03	0,079 ±0,03	0,072 ±0,029	/
Echantillon 3	93,24 ±0,34	4,27 ±0,15	0,601 ±0,016	0,538 ±0,011	0,311 ±0,010	0,24 ±0,03	0,13 ±0,03	/	0,055 ±0,007	0,02 ±0,004	0,045 ±0,004	0,023 ±0,006	/	0,14 ±0,04	0,2 ± ±0,03	0,08 ±0,03	0,076 ±0,011	/
Echantillon 4	91,76 ±0,34	5,43 ±0,17	0,474 ±0,015	0,728 ±0,013	0,404 ±0,001	0,24 ±0,03	0,15 ±0,028	0,022 ±0,006	0,067 ±0,007	0,031 ±0,004	0,056 ±0,004	0,022 ±0,014	/	0,24 ±0,04	0,23 ±0,03	0,069 ±0,029	0,078 ±0,012	/
Témoin	96,84 ±0,34	2,13 ±0,11	0,19 ±0,010	0,014 ±0,003	0,018 ±0,002	<0,01	0,21 ±0,03	<0,005	<0,005	<0,002	0,011	<0,005	/	0,18 ±0,04	0,19 ±0,008	0,075 ±0,029	0,14 ±0,015	/
Norme NF 601 de juillet 2004	reste	13,5	2	0,6	0,25	11	<0,05	0,35	4	<0,05	3	0,3	0,3	/	/	/	/	/

Tableau II : composition chimique donnée par ICPen % massique des échantillons récoltés auprès des fondeurs du Burkina Faso.

Eléments analysés Echantillons	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn	Ti	Pb
Echantillon 1	81,92 ± 0,201	1,026 ± 0,04	0,626 ± 0,016	0,437 ± 0,02	0,196 ± 0,0036	12,537 ± 0,082	1,247 ± 0,012	0,043 ± 0,001	0,052 ± 0,002
Echantillon 2	90,56 ± 0,211	0,827 ± 0,038	0,808 ± 0,016	0,171 ± 0,01	0,122 ± 0,0052	6,516 ± 0,068	0,596 ±0,018	0,126 ± 0,007	0,024 ± 0,004
Echantillon 3	93,20 ± 0,230	0,559 ± 0,041	0,590 ± 0,021	0,273 ± 0,01	0,052 ± 0,0043	4,661 ± 0,057	0,291 ± 0,018	0,025 ± 0,008	0,022 ± 0,004
Echantillon 4	91,92 ± 0,208	0,726 ± 0,044	0,480 ± 0,024	0,248 ± 0,02	0,069 ± 0,0047	5,506 ± 0,072	0,415 ± 0,025	0,023 ± 0,006	0,028 ± 0,005

NF : Norme Française

La **figure 8** révèle la présence quasi systématique de trois phases en proportions différentes sur tous les échantillons :

Un fond marron qui occupe 80 à 90% de la zone observée (**repère 1**) : c'est lamatrice d'aluminium ; des zones de couleur noire très répandues dans l'échantillon **n° 2** et **n°4** indiquent probablement la virulence de l'attaque de HF (**repère 2**) ; il s'agit des germes de silicium. Des lignes sombres sans contour défini semblent être issues des joints de grains ; elles seraient composées d'un réseau de fines particules eutectiques dispersées dans la matrice d'aluminium (repère 3) ^[20].

Les lignes sombres (repère 3) révèlent la présence de la phase silicium et jouent le rôle D'entaille (fissures internes) dans la solution solide

α plastique; les propriétés mécaniques de cette structure α sont faibles ^[21]. En effet, la littérature affirme que près de l'alliage eutectique, se trouvent le plus souvent les cristaux primaires de silicium, c'est à dire, qu'il y a accumulation de cristaux de silicium, qui ne sont pas fondus ; et lors de la recristallisation, ils agissent comme germes cristallins du silicium, ce qui engendre la présence des zones de couleur noire dans l'échantillon ^{°2}(repère 2) ^[22]. En plus, la quantité de silicium présente dans les différents échantillons conditionne dans une large mesure la microstructure des alliages étudiés. Au vu de ce qui précède l'artisan doit procéder à un tri important des déchets riches en silicium en regroupant les déchets par famille.

Témoin Al

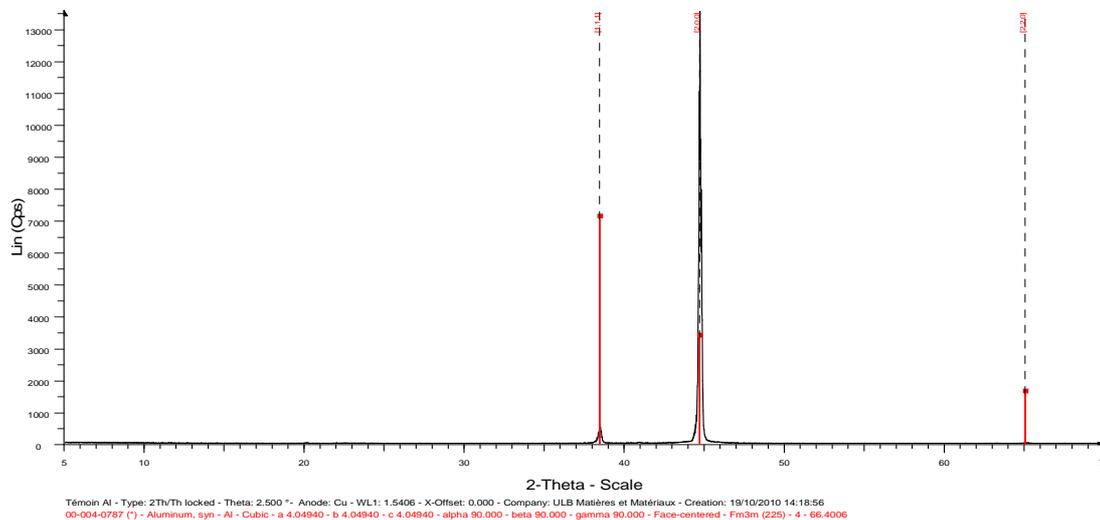


Figure 3: Spectre de diffraction de rayons X (XRD) de l'échantillon témoin

Chateau zone I

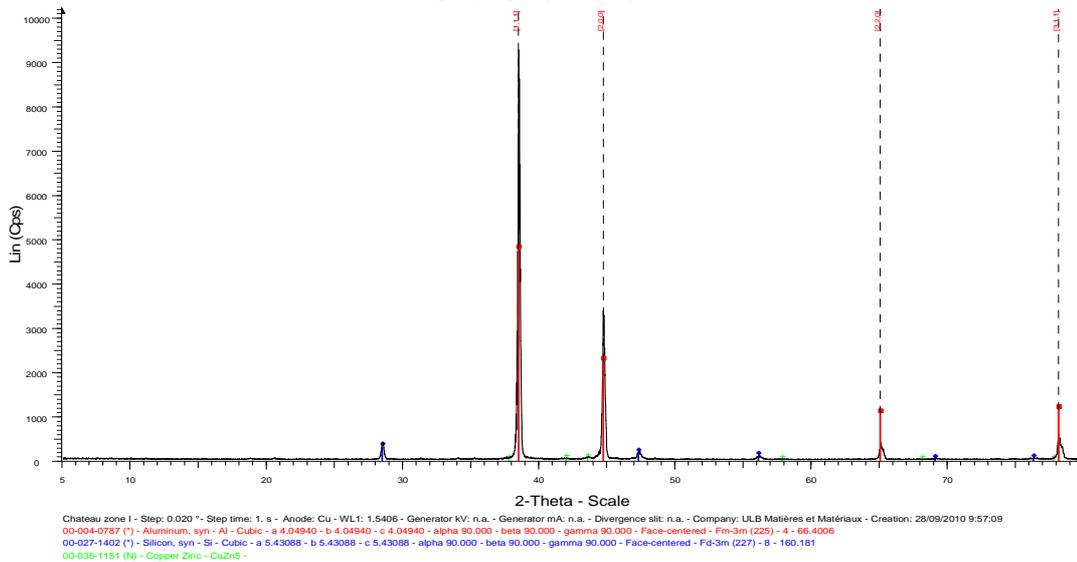


Figure 4: Spectre de diffraction de rayons X (XRD) de l'échantillon n°1

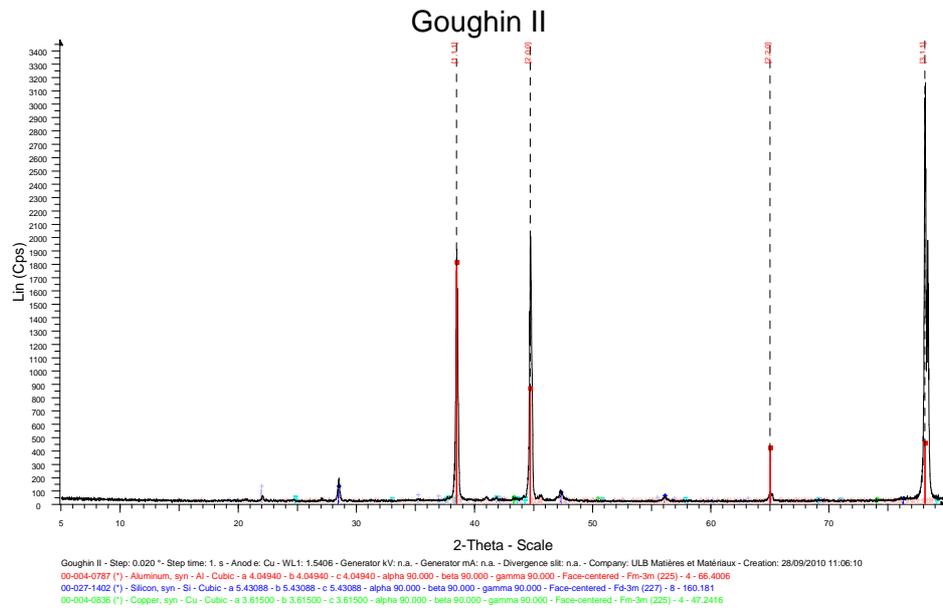


Figure 5 : Spectre de diffraction de rayons X (XRD) de l'échantillon n°2

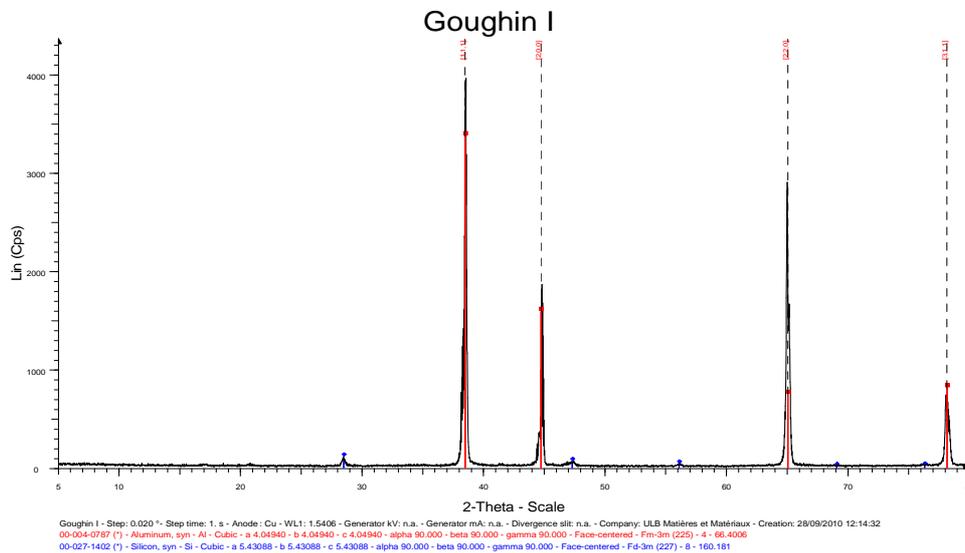


Figure 6 : Spectre de diffraction de rayons X (XRD) de l'échantillon n°3

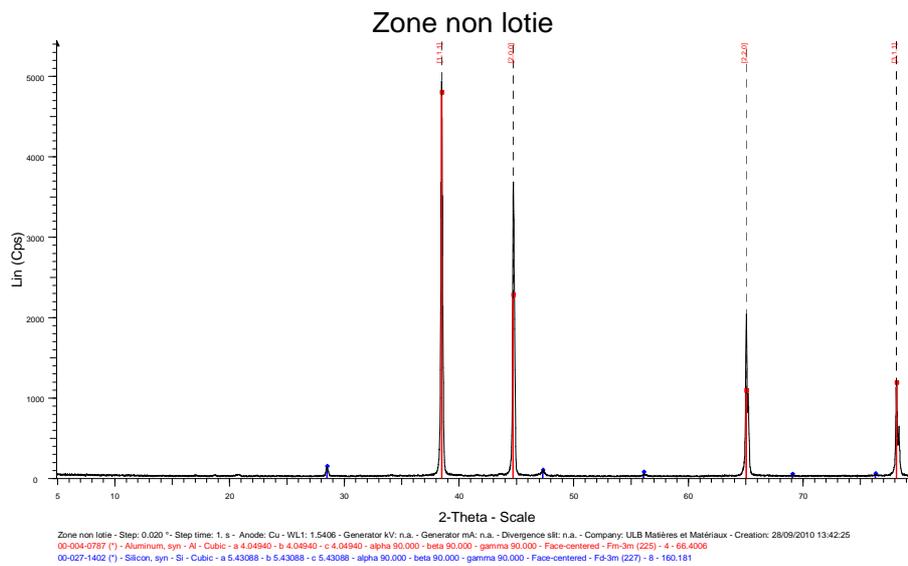


Figure 7 : Spectre de diffraction de rayons X (XRD) de l'échantillon n°4

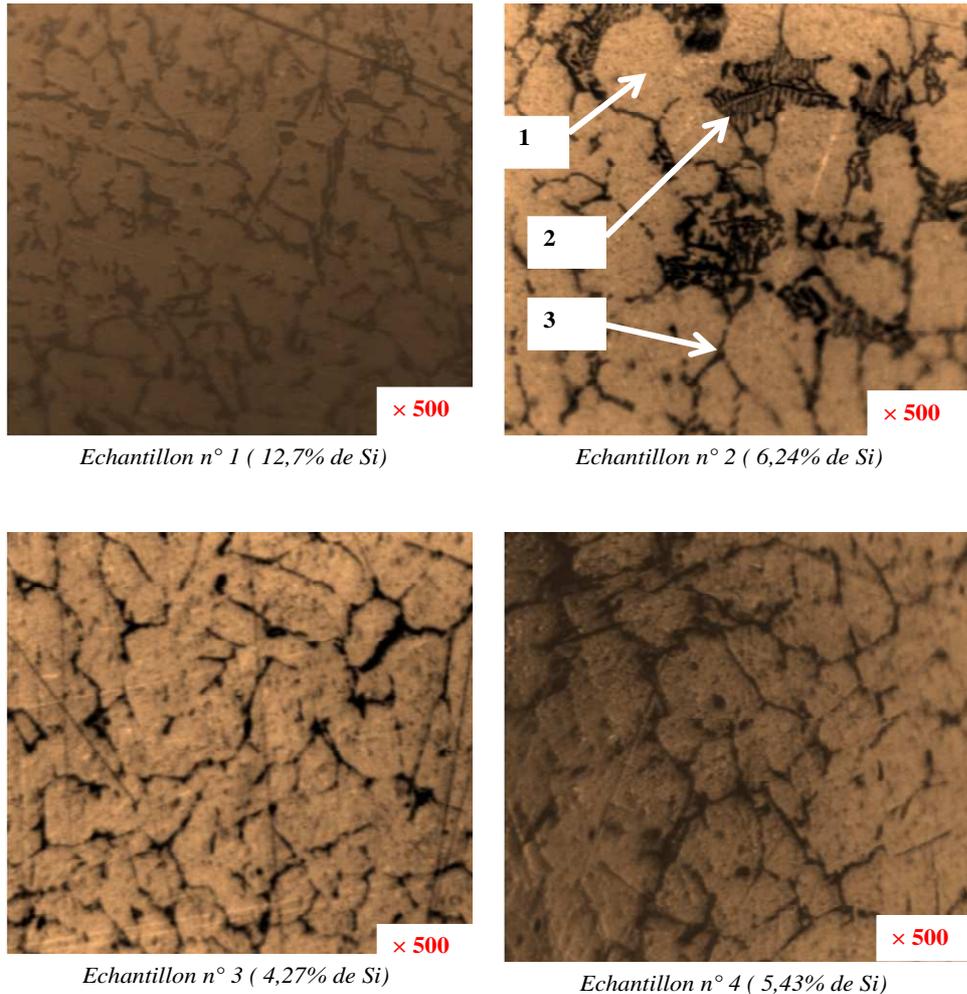


Figure 8 : Microstructures représentatives des surfaces polies après attaque par HF 5%
Flèche 1 : matrice d'aluminium, flèche 2 : germes de silicium, flèche 3 : silicium

3.4. Analyse Chimique des phases (MEB & EDAX)

L'identification des éléments chimiques constituant les échantillons d'ustensiles de cuisine est faite grâce à la Microscopie Electronique à Balayage couplée à EDAX. Sur la **figure 9** les traits clairs confirment la présence du silicium qui se situe entre les joints de grains ; les grands traits bruns clairs peuvent être assimilés au composé intermétallique $Fe_2Si_2Al_9$ dont la présence est assez courante dans les alliages d'aluminium riches en fer [20, 22 - 23] ; cette formule est par ailleurs proche de celle du composé $FeSiAl_5$ qui a été identifié ; confère **figure 9**.

La cartographie spectrale (**figure 10**) de l'échantillon n°1 après attaque chimique au HF 5% montre bien la présence de la matrice d'aluminium et des éléments tels que le silicium, le fer ce qui laisse bien supposer la présence de l'alliage $Fe_2Si_2Al_9$.

Dans les alliages riches en magnésium (comme dans l'échantillon n°1 avec 0,48% en masse de magnésium), le silicium et le magnésium se combinent pour former le composé Mg_2Si ^[15]. Dans le cas de notre étude 32% at. de Mg et 15 % at. de Si confirme la présence de ce composé comme le montre la **figure 11** ci-dessous.

L'analyse par fluorescence aux rayons X et par ICP, ont révélé la présence de zinc dans l'échantillon n°1 et n°2 en des proportions hors normes. Il forme toutefois avec le magnésium un composé intermétallique $MgZn_2$ ^[3].

L'observation au MEB couplé à l'EDAX a aussi montré la complexité de la microstructure dans laquelle d'autres éléments mineurs (Mn, Pb, Ni) sont présents mais en faible quantité :

Des auteurs^[24] ont montré que le manganèse forme des composés stables tels que $(FeMn)_3SiAl_{12}$ et $(CuFeMn)Al_6$ dans les alliages d'aluminium contenant du silicium et du cuivre. Nous pouvons donc supposer que ces composés contenant du

manganèse peuvent aussi se former dans nos échantillons. De plus, aussi bien le fer que le cuivre purs peuvent dissoudre, en solution solide, une certaine proportion de manganèse (d'après les diagrammes binaires correspondants) d'où une certaine affinité du manganèse pour ces éléments. **La figure 12** donne un exemple d'analyse de microstructure où l'on décèle la présence de manganèse. Malgré la petite taille des phases, les éléments qui les constituent ont été identifiés et nous pouvons en adéquation avec les données de la bibliographie, admettre l'existence de la phase $(\text{CuFeMn})\text{Al}_6$ [2].

Des éléments chimiques tels que le calcium, l'oxygène, le sodium le chlorure et le potassium ont été détectés localement en surface **figure 13**.

Ainsi, la structure des alliages d'aluminium peut être très complexe suivant leur composition chimique et les traitements thermiques qui rendent certains d'entre eux sensibles au durcissement structural. Cependant, les principaux constituants de ces matériaux restent une matrice d'aluminium et des cristaux de silicium que l'on trouve en grande quantité dans les alliages de fonderie du Burkina Faso.

De l'étude de la caractérisation des alliages utilisés dans la fabrication des ustensiles de cuisine au Burkina Faso, nous pouvons conclure qu'ils contiennent tous du silicium en proportions variables mais inférieures à 13% correspondant à l'eutectique Al-Si.

3.5. Caractérisations mécaniques des alliages d'ustensiles de cuisine

Afin d'évaluer la propriété mécanique des échantillons, des mesures de microdureté Vickers sous une charge de 0,3 kg ($\text{HV}_{0,3}$) ont été réalisées sur chaque échantillon. La charge est normalement appliquée pendant 30 secondes.

Les résultats des différents échantillons sont représentés dans le **tableau III** et sont calculés à partir de la formule suivante :

$$H_V = \frac{m}{S} \quad \text{Ou} \quad S = \frac{d^2}{(2 \times \sin 68^\circ)} \quad \text{et} \quad h = \frac{d}{7}$$

Avec :

H_v : dureté de Vickers en kg/mm^2 ,

m : la charge appliquée (en **kg**) par le pénétrateur,

S : la surface latérale (en mm^2) de l'empreinte pyramidale

d : diagonale (mm)

h : hauteur de pénétration (mm)

Sur le **tableau III**, chaque valeur est une moyenne d'une vingtaine de mesures de dureté sur l'échantillon concerné. Plus la dureté ($\text{HV}_{0,3}$) est petite plus l'échantillon est résistant c'est-à-dire moins la pointe en diamant pénètre l'échantillon. La valeur de la microdureté de l'échantillon n°3 étant plus petite il est plus résistant. Ceci ajouté à la présence d'un pourcentage élevé de silicium dans l'échantillon n°3 corrobore son caractère de coulabilité. Les valeurs de duretés mesurées sont comparables avec celles mesurées avec des alliages industriels de compositions voisines à l'état brut de coulée [24].

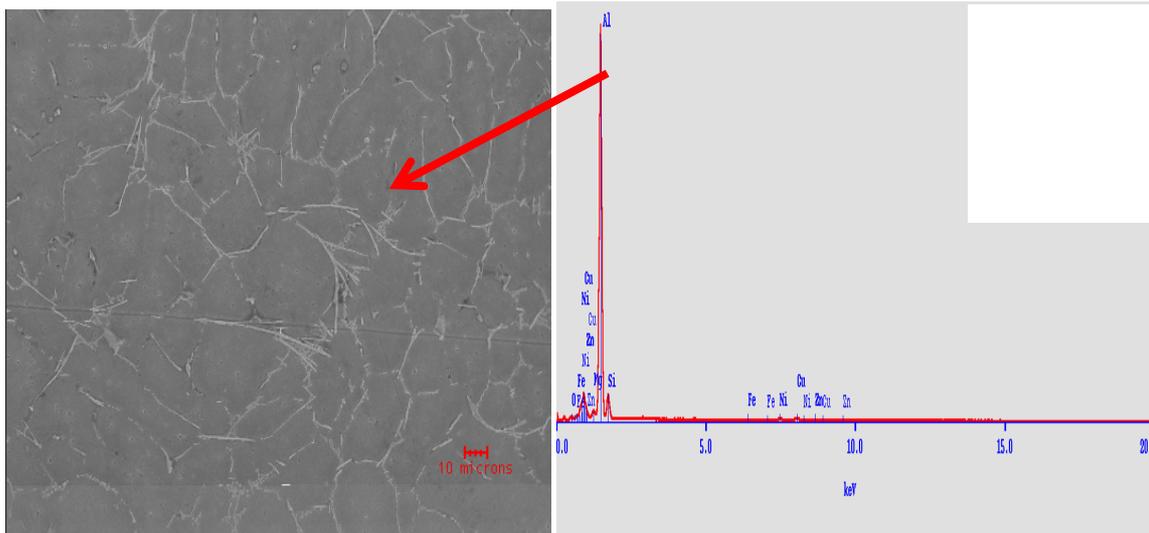


Figure 9 : Identification d'une phase d'un alliage artisanal du Burkina Faso (exemple de l'échantillon n°1)

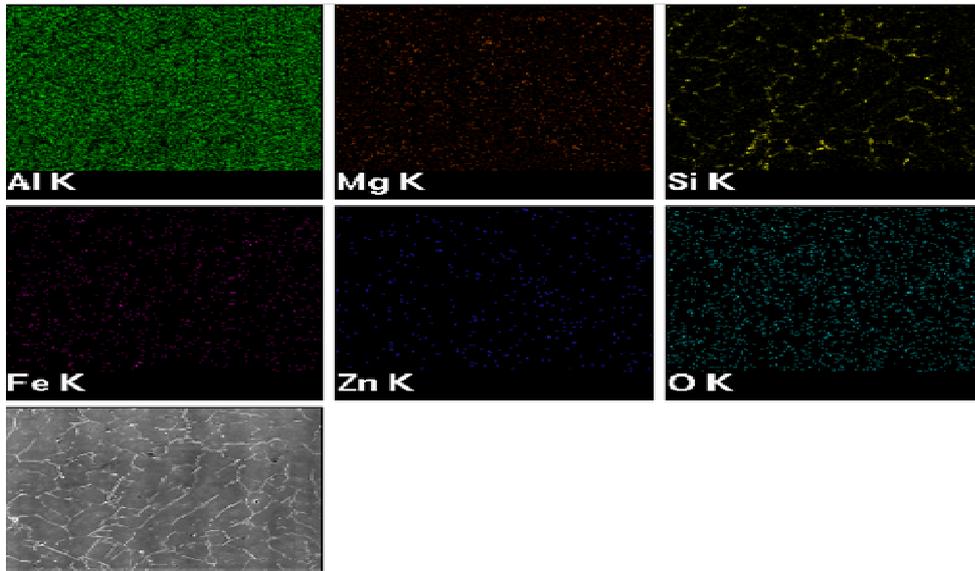


Figure 10 : Cartographies MEB/EDAX de l'échantillon n°1

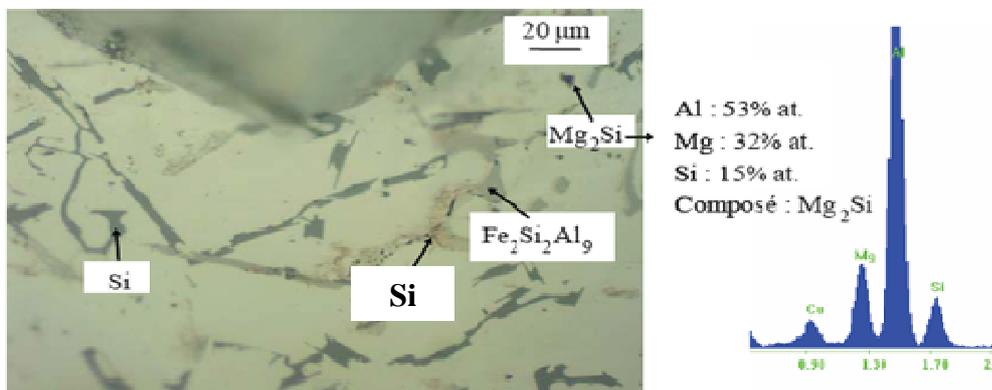


Figure 11: Identification du composé Mg_2Si sur l'échantillon n°1 représentatif des échantillons riches en magnésium

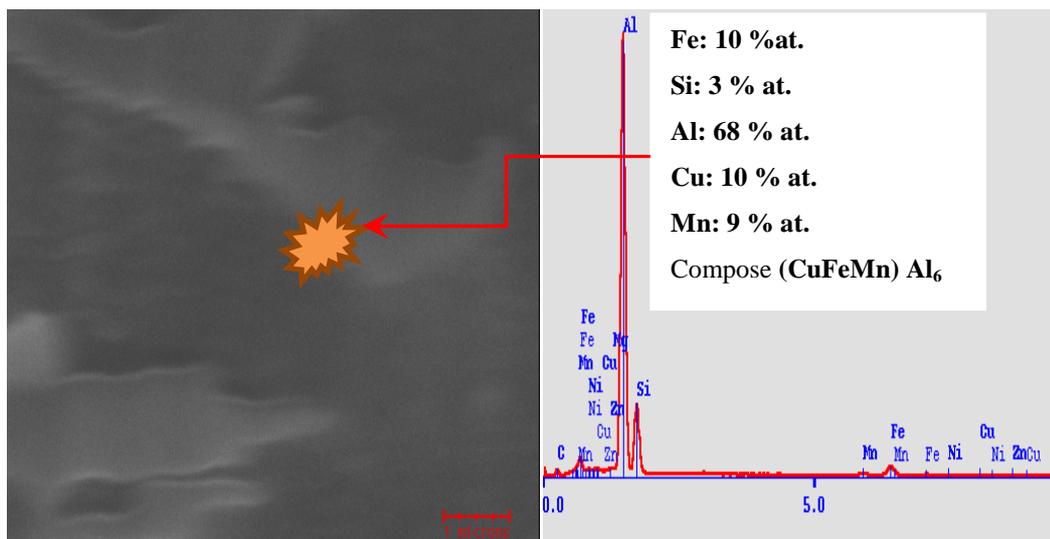


Figure 12 : Analyse de la zone pointée sur l'échantillon n°1.

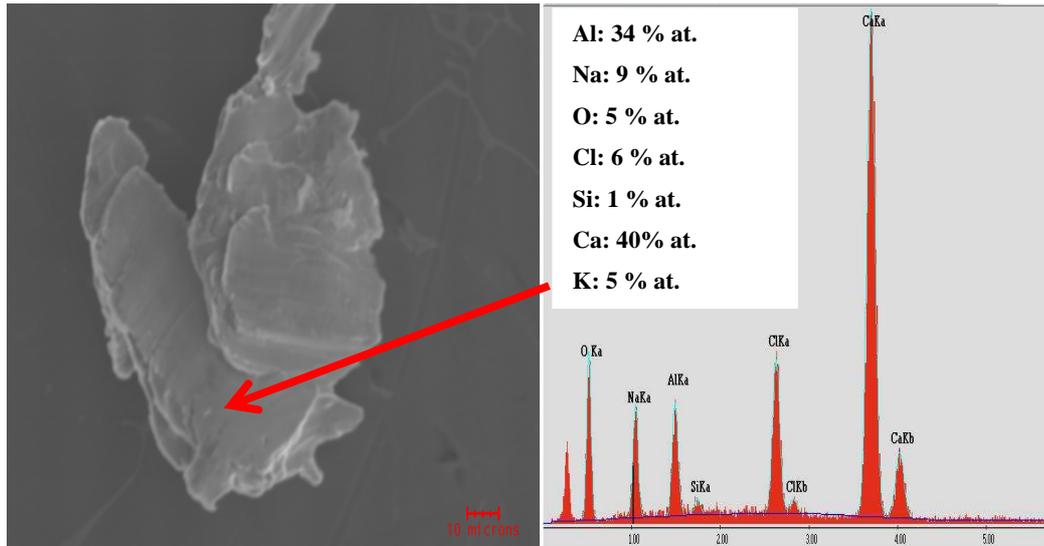


Figure 13: Analyse de la zone pointée par la flèche de l'échantillon n°1

Tableau III : Dureté moyenne $Hv_{0,3}$ des échantillons d'alliages d'aluminium du Burkina Faso étudiés.

échantillons	n°1	n°2	n°3	n°4	témoin
Longueur des diagonales ($d \pm 1$) (mm)	76	74,5	77	76,5	75
Hauteur de pénétration ($h \pm 0,15$) (mm)	10,86	10,64	11	10,93	10,71
($Hv_{0,3} \pm 2,54$) kg/mm^2	96,3	100,21	93,81	95,04	98,88

4. Conclusion

La qualité des produits finis est fortement dépendante d'un approvisionnement irrégulier en déchets, en qualité et en quantité, de la connaissance empirique et de l'expérience en « sciences des matériaux » des artisans. Cette qualité des produits finis est vérifiée par les analyses et les caractérisations effectuées. De l'étude des caractérisations métallurgiques des alliages utilisés dans la fabrication des ustensiles de cuisine au Burkina Faso, les échantillons contiennent tous du silicium en grande quantité. Les proportions sont variables mais toutes inférieures aux 13% correspondant à l'eutectique Al-Si. En effet, pour un meilleur usage des déchets d'aluminium, afin d'améliorer la qualité alimentaire des alliages d'ustensiles de cuisine, qui est fortement liée à la composition chimique des alliages, les artisans doivent faire un tri judicieux, après la collecte pour sélectionner les déchets les plus aptes à entrer dans la confection des marmites artisanales et évaporer le zinc et le plomb en augmentant la température. Cependant, on trouve du cuivre dans beaucoup de type d'aliments, dans l'eau comme dans l'air. L'absorption de cuivre est nécessaire, car le cuivre est un élément qui est essentiel pour la santé. Mais

des quantités excessives peuvent causer des problèmes de santé importants. En outre, le zinc est également un élément essentiel pour la santé de l'homme. La carence en zinc peut entraîner une diminution des sensations de goût et d'odeur. Les échantillons étudiés contiennent tous un excès de zinc et de chlorure, il pourrait se former du chlorure de zinc ($ZnCl_2$) à l'origine des problèmes respiratoires. Le problème de la compatibilité alimentaire de ces marmites artisanales reste à élucider. Sur le plan microstructural, les échantillons d'ustensiles de cuisine, bien que très diversifiés au niveau de la composition chimique, sont bien constitués tous d'une matrice d'aluminium.

Bibliographie

- [1] Bulteau G. apport technique dans la fabrication de marmite en aluminium issu de récupération (2004), P. 3-21.
- [2] Draïssia M, Debili MY, Millet JPJ. New. Mat. Electrochem. Syst. (2005) 8, 229-233.
- [3] Ndiaye MB, Le recyclage de métaux d'origine industrielle au Sénégal. Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, France (2006) P. 84.

- [4] Karbouj R, Transfert d'aluminium : Cas des matériaux pour contact alimentaire. These de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble (2008) P.67-70
- [5] Gramiccioni L. et al., "An experimental study about aluminium packaged food", International symposium on Nutritional and toxicological aspects of food processing, Rome, April, 14-16, 1987, R. and Quattrucci Eds, Taylor and Francis London (1989) 331-336.
- [6] Pennington JAT, Jones JW. Dietary intake of aluminium in: Aluminium and health, A Crit. Rev. Hillel Gitelman (1989) 67-70.
- [7] Mei L, Yao T. Inter. J. Env. Anal. Chem. (1993) 50, 1-8.
- [8] Müller JP, Steinegger A, Christian S, Z. Lebensm. Unters. Forsch. (1993) 197, 332-341.
- [9] Nagy E, Jobst K. Bull. Environ. Contam Toxicol. (1994) 52, 336-399.
- [10] Woodson GC, An interesting case of osteomalacia due to antacid use associated with stainable bone aluminium in a patient with normal renal function. Bone (1998) 22, 695-698.
- [11] Zatta PF, Nicolini M, Corain B. Aluminium (III) Toxicity and Blood-Brain Barrier Permeability. In: Nicolini M, Zatta PF, Corain B. Cort. Intern. (1991) 569, 97-112.
- [12] Roberts NB, Clough A, Bellia JP, Kim JY. J. Inorg Biochem. (1998) 69, 171-176.
- [13] Ramdé T, Comportement à la corrosion des alliages d'aluminium recyclés pour la confection de marmites, Université de Ouagadougou (2009) p. 109
- [14] Grégory B, nouvelles voies d'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium 2024 plus respectueuses de l'environnement: applications aux couches d'anodisations colmatées; Université de Toulouse (2008) p.183
- [15] Herbulot F, Techniques de l'Ingénieur traité Matériaux métalliques de récupération et recyclage de l'aluminium dossier M 2 345 (2001).
- [16] Wang D, Shi Z, Zou L. Appl. Surf. Sc. (2003) 214, 304-311.
- [17] Mehl RF. Metals Handbook Atlas of microstructures of industrial alloys. Amer. Soc. Met., 8th Ed 1972 Ohio.
- [18] Xiang C, Huiyuan G, Li Y. Mat. Sc. Engin. (2006) A419, 283-289.
- [19] Guillaume B, Etude de l'inflammabilité d'un nuage de particules d'aluminium partiellement oxydées thèse de doctorat université d'Orleans (2007) pp. 88-200
- [20] Usinabilité : influence de la teneur en silicium <<<http://aluminium.matter.org.uk>>> date de consultation 12 novembre 2010
- [21] Préparation métallographique de l'aluminium et des alliages d'aluminium <<www.struers.com>> date de consultation 12 septembre 2013
- [22] Sarah H. Etude du comportement en oxydation de nouveaux revêtements en aluminium de Nickel dopé au Zirconium : application aux barrières thermiques, Université pierre et Marie Curie (2009) P. 98-110.
- [23] Shabestari SG. Mat. Sc. Engin. (2004) A383, 289-298.
- [24] Facy G, Pompidou M. Précis de Fonderie méthodologie, production et normalisation, AFNOR (1999) p.178