

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Génie Mécanique

Option : Génie des Matériaux

THEME

Influence du cuivre sur les caractéristiques mécaniques de l'alliage d'aluminium AS13 moulé en coquille.

Réalisé Par :

- ❖ DOULACHE SIHAM
- ❖ DJANATI ASMA

Promoteur :

- ❖ DILMI Hamid

Co-promoteur

- ❖ HARIZI MOUNIR

Groupe :

- ❖ MGM17

Boumerdès : 2018-2019

Remerciements

Louange à Dieu tout puissant et clément qui m'a réussi de poursuivre mes études supérieures, et qui m'a offert la santé et la volonté pour réaliser ce travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer toutes nos reconnaissances à monsieur Dilmi Hamid, notre promoteur à la faculté des sciences de l'ingénieur d'avoir accepté de diriger et suivre ce travail.

Monsieur Harizi Mounir, notre encadreur à la fonderie de l'Aluminium de Reuiba et monsieur Ghine Amine d'avoir accepté de diriger et suivre ce travail.

Nous remercions vivement tous les membres du jury qui ont fait l'honneur d'évaluer notre travail.

Un très grand merci pour mon ami Niche Lineb, Douliche Rabah pour leur précieuse assistance et leur aide, avant et durant la réalisation de ce travail.

Enfin, nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

*À la pensée de la femme la plus courageuse, sensible, généreuse,
la plus belle à mes yeux, à celle qui a su me donner amour et joie
de vivre, à celle qui a toujours montrée affection et
compréhension à mon égard, le symbole de la tendresse qui m'a
soutenu en toutes circonstances ma mère que j'aime.*

*À l'homme de courage et de force à celui qui a toujours été
présent dans mon cœur, qui m'a appris les valeurs de la vie à
celui qui m'a soutenu en toutes circonstances, mon père que
j'aime.*

À ceux qui m'ont donné joie et bonheur

*À mes tendres sœurs Rachida, Noura, Chafiaa, Souad et à
tous mes petits neveux et nièces*

*À mes tendres frères Hassan, Rachid, Djilali, Toufik et à mes
neveux et nièces.*

À ma très chère tante Fatiha, ma cousine Rachida.

À mes chères amies d'enfance Baya et Djamila.

*À ma chère binôme Asma et tous les membres du groupe
MGM17.*

Siham

Dédicace

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut . . . tous les mots du monde ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour le respect, la reconnaissance que je ressens en vous dédiant ce modeste travail

À mes chers parents ma mère sahraoui Nasira, et mon père ALI aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont vous m'avez comblé.

À ma tendre sœur Mouna

À mon cher frère

Walid et ses petits : djihad et Jawad

À mon très cher frère Mohamed

À ma meilleure amie Anouar toi la sœur que la vie a oublié de nous donner

À mes cousins et mes cousines et toute la famille Djanati

À mes très chers amis spécialement : Soumia, Nour elhouda et, Asma je vous dis merci pour tous ces moments incoubliables qu'on a passés ensemble et qui seront gravés à jamais dans ma mémoire

À ma chère binôme Siham qui a partagé avec moi les bons et les mauvais moments, je lui souhaite beaucoup de bonheur

À toute la promotion 2019 spécialement M&M17.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Asma

SOMMAIR

Introduction générale	1
Présentation SNVI	3
Chapitre 1 : aluminium et ses alliage	
.Introduction	5
I.1. Historique de l'aluminium	5
I.2. Production et propriétés de l'Aluminium	6
I.2.1. Production de l'Aluminium	6
I.2 .1.1. Obtention de l'alumine : Procédé Bayer.....	6
I.2.1.2. Obtention de l'alumine : Procédé Hall-Héroult.....	7
I.2.2. propriétés de l'aluminium	8
I.2.2.1. propriétés physique.....	8
I.2 .2.2. Propriétés mécanique.....	9
I.2.2.3. propriétés chimique	9
I.2.2.4. Propriétés de mise en forme	9
I.3. Recyclage de l'aluminium	9
I.4.Utilisations de l'Aluminium	9
I.5. Les alliages d'aluminium	10
I.5.1. Alliages d'aluminium de corroyage.....	10
I.5.1.1. Désignation.....	11
I.5.2. Alliage d'aluminium fonderie	12
I.5.2.1. Désignation.....	12

I.6.3. Les familles d'alliages d'aluminium.....	13
I.7. classification des alliages d'aluminium	13
I.8. Alliage aluminium silicium.....	14
I.9. Diagramme d'équilibre Al-Si.....	15
I.10. Solidification de l'alliage Al-Si	15
I.10.1. Alliages eutectiques	16
I.10.1.1. Eutectiques lamellaires	16
I.10.2. Alliages de composition hors eutectique	16
I.10.2.a. Alliages pour lesquels $C_a < C < C_e$	17
I.10.2.b. alliages pour lesquels $C_e < C < C_b$	17
I.10.2.b.1. Eutectique aciculaire	17
I.10.2.b.2. Eutectique fibreux ou modifié	18
I.10.3. Alliages de concentration $C < C_1$	18
I.10.4. Alliages de composition $C_1 < C < C_a$	19
I.11. Quelques alliages d'aluminium-silicium.....	19
I.11.1. Al ₇ SiMg et ses variantes (Al ₇ Si ₀ , 3Mg et Al ₇ Si ₀ , 6Mg).....	19
I.11.2. Al ₁₀ SiMg.....	19
I.11.3. AlSi (ALPAX)	19
I.11.3.a. Composition chimique.....	20
I.11.3.b. Caractéristiques mécanique et microstructurale.....	20
I.12. Effet des éléments d'alliage.....	21
I.12.1. Effet du Magnésium.....	21
I.12.1. Effet du Cuivre.....	21

I.12.1. Effet du Fer.....	21
I.12.1. Effet du Manganèse.....	22
I.13. Alliages apparentés au système Al-Si-Cu-Mg.....	22
I.13.1. Système binaire Al-Si.....	22
I.13.2. Système binaire Al-Mg.....	22
I.13.3. Système binaire Al-Cu	23
I.13.4.Système ternaire Al-Si-Mg.....	23
I.13.5. Système ternaire Al-Cu-Si.....	23
I.13. 6. Système ternaire Al-Cu-Mg (-Si)	23
I.14. Le moulage	24
I.14.1. Moulage en sable	24
I.14.2. Moulage en coquille.....	25
I.14.2.1. Les matériaux mis en forme par moulage en coquille.....	27
I.15. la coulée	27

Chapitre II : élaboration et caractérisation

Introduction.....	28
II.1. matériaux de l'étude.....	28
II.2. Préparation des charges d'élaboration.....	28
II.3. Elaboration de l'alliage d'étude	30
II.3.1. Fusion	30
II.3.2. Dégazage	30
II.3.3. Affinage du grain.....	31
II.4. Moulage	31

Chapitre III : Résultats et discussion

Introduction.....	45
III.1. Analyse de la composition chimique des nuances élaborées	45
III.2. Caractérisation microstructurales de l'AS13.....	46
III.2.1 Observation métallographique.....	46
III.2.2. Analyse à la DSC.....	48
III.3. Essais mécaniques.....	51
III.3.1 Essais de traction.....	51
III.3.2 Essais de dureté.....	56
III.3.3 Essais de résilience.....	57
Conclusion générale	59

Liste des tableaux

Tableau .I.1 : les propriétés physique de l'aluminium.....	8
Tableau. I.2 : Les familles d'alliages d'aluminium.....	13
Tableau. I.3 : Désignation des alliages d'aluminium selon l'Aluminium Association.....	14
Tableau .I.4 la composition chimique de l'alliage AS13	20
Tableau. I.5 : caractéristiques mécanique de l'alliage AS13 [19].....	20
Tableau .II.1 la composition chimique de l'alliage AS13	28
Tableau. II.2 : Quantité de l'alliage AS13	29
Tableau .II.3 : Quantité de Cu ajouté dans l'alliage AS13	30
Tableau. II.4 : nombre d'éprouvettes réalisées	33
Tableau .II.5: Extrait de la norme AFNO.....	38
Tableau III.1 : la composition chimique en % de l'alliage AS13.....	45
Tableau III.2 : la composition chimique de l'AS13+2% de cuivre.....	45
Tableau III.3 : la composition chimique de l'AS13 +3,5% de cuivre.....	46
Tableau III.4 : la composition chimique de l'AS13 + 6% de cuivre.....	46
Tableau III.5 : résultats d'essais de traction de l'AS13.....	52
Tableau III.6 : résultats des essais de traction de l'AS13 +2% de cuivre	53
Tableau III.7 : résultats des essais de traction de l'AS13+3,5% de cuivre	54
Tableau III.8 : résultats d'essais de traction de l'AS13+6% de cuivre	55
Tableau III.9 : Dureté mesurée en HB de l'alliage AS13 sans et avec ajout de cuivre (2 %, 3,5 % et 6%).....	56
Tableau III.10 : Résultats de l'essai de résilience de l'AS13.....	57

Tableau III.11 : Résultats de l'essai de résilience d'AS13 + 2% Cu.....58

Tableau III.12 : Résultats de l'essai de résilience AS13 + 3,5% de Cu.....58

Tableau III.13 : Résultats de l'essai de résilience AS13 + 6%Cu.....58

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : schéma de fabrication	3
Figure 2 : Atelier d'aluminium	4
Figure I.1 : Aluminium.....	5
Figure I-2 : Production de l'Aluminium.....	6
Figure I.3 : la bauxite.....	6
Figure I.4 : l'alumine.....	7
Figure I.5 : désignation des aluminiums et alliages – produits corroyés NF EN 573.....	11
Figure I.6 : désignation des aluminiums et alliages pour la fonderie NF EN 1780.....	12
Figure I.7 : diagramme d'équilibre Al-Si.....	15
Figure I.8 : solidification d'un alliage eutectique A-Ce%B.....	16
Figure I.9 : solidification d'un alliage hypoeutectique A-B.....	17
Figure I.10 : solidification de l'alliage A-C1%B.....	18
Figure I.11 : solidification de l'alliage A-C2%B.....	19
Figure. I.12 : Microstructure de l'alliage AS13 à l'état brut de coulée.....	20
Figure I.13 : moule en sable.....	25
Figure I.14 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau.....	25
Figure I.15 : moule en gravité	26
Figure I.16 : (a) coulée de l'alliage d'aluminium en fusion, (b) sortie de la pièce	27
Figure II.1 : lingots neuf	29
Figure II.2 : lingots retour	29
Figure II.3 : Fusion de l'alliage AS13.....	30
Figure II.4 : Les pastilles de Dégazage et L'affinages.....	31

Figure II.5 : moule Métallique.....	32
Figure II.6 : AQUAGEL 87.....	32
Figure II.7 : La Coulée de l’alliage et sa forme résultante	33
Figure.II.8 : Machine de l’analyse chimiquie.....	34
Figure II.9 : Le prépolissage.....	35
Figure II.10 : polissage de finition	35
Figure II.11 : Produit pour l’attaque chimique.....	36
Figure II.12 : Microscope optique.....	36
Figure II.13 : Appareil DSC.....	37
Figure II.14 : Forme générale de l’éprouvette de traction.....	39
Figure II.15 : machine de traction.....	39
Figure-II.16 : Eprouvettes avant essai de traction	40
FigureII.17 : Eprouvettes après essai de traction	44
Figure II.18 : essai de dureté Brinell	41
Figure II.19 : Machine de dureté Brinell.....	42
Figure II.20 : Dessin de l’éprouvette de résilience.....	42
Figure II.21 : Fraiseuse.....	43
Figure II.22 : Eprouvettes avant essai de résilience	43
Figure II.23 : Machine de résilience.....	44
Figure II.24 : Eprouvette après l’essai de résilience	44
Figure III.1 Microstructure de a) AS13, b) AS13 + 2% Cu, c) AS13 + 3,5% Cu, d AS13 + 6% Cu (X100)	47
Figure III .2 :Courbes DSC et ATG d’un alliage AS13.....	48

Figure III.3 : Courbes DSC et ATG d'un alliage AS13+2% de Cu.....	49
Figure III.4 : Courbes DSC et ATG d'un alliage AS13+3,5 % Cu.....	50
Figure III.5 : Courbes DSC et ATG d'un alliage AS13+6% de Cu.....	51
Figure III.6 : La courbe de traction de l'AS13.....	52
Figure III.7 : La courbe de traction de l'AS13+2% Cu.....	53
Figure III.8 : La courbe de traction AS13+3.5% de Cu.....	54
Figure III.9 : La courbe de traction de l'AS13+6% de Cu.....	55
Figure III.10 : Dureté HB de l'alliage AS13 et AS13+2%,3.5%,6% Cu.....	57

المخلص

في إطار هذا العمل اهتمنا بدراسة تأثير عنصر النحاس على الخصائص الميكانيكية والبنية المجهرية لسبائك الألمنيوم AS13 المستعمل في المجال الصناعي. دراستنا تتضمن إضافة نسب متفاوتة من عنصر النحاس (2%، 3.5%، 6%) داخل سائل الألمنيوم. وقد استخدمنا طريقة القولية في الفذية لصنع عينات الاختبارات بحيث قمنا بإجراء اختبارات ميكانيكية: الجر، الصلابة، المرونة واختبارات التحليل الحراري والملاحظة المجهرية. وفي الأخير توصلنا إلى أن عنصر النحاس يؤدي إلى صلابة وهشاشة سبائك الألمنيوم.

الكلمات الدالة

سبائك الألمنيوم، النحاس، الجر، الصلابة، المرونة، التحليل الحراري، الملاحظة المجهرية.

Résumé

Dans le cadre de notre mémoire nous nous sommes intéressés à étudier l'effet du cuivre sur les caractéristiques mécaniques et microstructurale de l'alliage d'aluminium industriel (le AS13). Notre étude s'est basée sur l'addition de plusieurs pourcentages de cuivre (2%, 3.5%, 6%) dans le liquide de l'alliage d'aluminium ; puis nous avons utilisé le moulage en coquille pour élaborer les échantillons auxquels nous avons appliqué de différents essais mécaniques, à savoir la traction, la résilience, la dureté ainsi que l'analyse thermique et l'observation microstructurale.

A la fin de notre étude, on a remarqué que l'ajout du cuivre a rendu notre alliage AS13 plus dur et plus fragile.

Les mots clés : cuivre, traction, résilience, dureté, analyse thermique, microstructure, alliage d'aluminium.

Abstract

As part of our brief, we were interested in studying the effect of copper on the mechanical and microstructural characteristics of industrial aluminum alloys (AS13). Our study was based on the addition of several percentages of copper (2%, 3.5%, 6%) in the liquid of the aluminium alloy ; then we used die casting to develop the samples to which we applied different mechanical tests, namely tensile strength, impact strength, hardness as well as thermal analysis and microstructural observation.

At the end of our study, we noticed that the addition of copper made our AS13 alloy harder and more fragile.

Keywords : copper, traction, resilience, hardness, thermal analysis, microstructure, aluminium alloy.

Introduction générale

Les matériaux en général et spécialement les métaux en particulier prennent une place assez importante dans tout développement industriel ou progrès technologique. Vu les exigences de l'industrie moderne, de nombreux programmes de recherches sont en route pour le développement d'autres matériaux plus performants et moins coûteux tels que les composites, les céramiques, les polymères...etc. Mais les alliages métalliques occupent toujours une place importante, car les caractéristiques de ces derniers s'améliorent de jour en jour grâce aux recherches.

La compréhension des divers aspects des transformations des phases devient nécessaire pour la maîtrise de la technologie des matériaux métalliques. Parmi les transformations des phases à l'état solide les plus intéressantes et qui ont longtemps attirés un bon nombre de chercheurs c'est la précipitation qui se produit lors des traitements de vieillissement représentant une transformation à l'état solide d'une solution sursaturée et la dissolution qui est une opération inverse de la précipitation.

Les transformations de phases où certaines précipitations modifient les caractéristiques mécaniques des matériaux métalliques de façon le plus souvent non négligeable. L'aluminium à l'état pur présente de faibles caractéristiques mécaniques rendant impossible son utilisation dans la construction de structures mécaniques. Cependant, l'ajout d'éléments d'addition dans la matrice d'aluminium, l'alliage obtenu est alors généralement plus résistant mais aussi moins ductile que l'aluminium pur. Il existe plusieurs familles d'alliages d'aluminium fonderie qui diffèrent par leurs principaux éléments d'addition : Al-Cu (série 200), Al-Mn (série 300), Al-Si (série 400), Al-Mg (série 500), Al-Mg-Si (série 600) et les alliages Al-Mg-Zn (série 700). La faible masse volumique des alliages d'aluminium associée à leurs bonnes caractéristiques mécaniques intéresse l'industrie du transport (ferroviaire, navale, routière, aéronautique). Ainsi actuellement, les alliages Al-Mg-Si filés (série 600) sont fortement utilisés pour réduire le poids des véhicules et par conséquent faire des économies d'énergie.

Dans ce travail de fin d'études intitulé << étude de l'influence de cuivre sur les caractéristiques physiques et mécaniques de l'alliage aluminium **AS13** >> s'inscrit pleinement dans cette perspective.

Nous allons nous intéresser aux alliages aluminium-Silicium (cuivre) en variant le pourcentage du cuivre de son pourcentage initial 0,1 % à 2 %, 3,5 % et 6 %. Dans ce travail on va faire appel à de différentes techniques de caractérisation telle que l'essai de traction, mesure de la dureté et l'essai de résilience et l'analyse thermique et micrographie par microscope optique.

Ce mémoire propose plusieurs chapitres qui se distinguent en trois parties :

- Premier chapitre : généralités sur l'aluminium et ces alliages
- Deuxième chapitre : Elaboration et caractérisation mécanique
- Troisième chapitre : résultats et discussion

Une conclusion finale regroupe l'essentiel des résultats obtenus.

Présentation SNVI

De 1981 à 1995 :

La SNVI devient une entreprise publique socialiste suite au bilan dressé par les autorités publiques du pays sur l'état de fonctionnement de l'économie nationale, une circulaire présidentielle N° 13 du 20 novembre 1980 fixe le cadre réglementaire organisant les opérations de restructuration des entreprises publiques.

De 1995 à 2000 :

Dès mai 1995, la SNVI change de statut juridique pour devenir une entreprise publique économique régie par le droit commun : la SNVI est alors érigée en société par actions (SPA), au capital social 2.2 milliards de dinars.

De 2011 à janvier 2015 :

Au mois d'octobre 2011 la S.N.V.I a changé de statut juridique pour devenir un groupe industriel composé d'une société mère et de quatre filiales.

Depuis février 2015 à ce jour :

Suite à la réorganisation du secteur public marchand de l'Etat en date du 23 février 2015, L'EPE FERROVIAL et toutes ses participations ont été rattachés au groupe S.N.V.I comme 5eme filiale.

Présentation de la Fonderie :

Schéma général de la fabrication

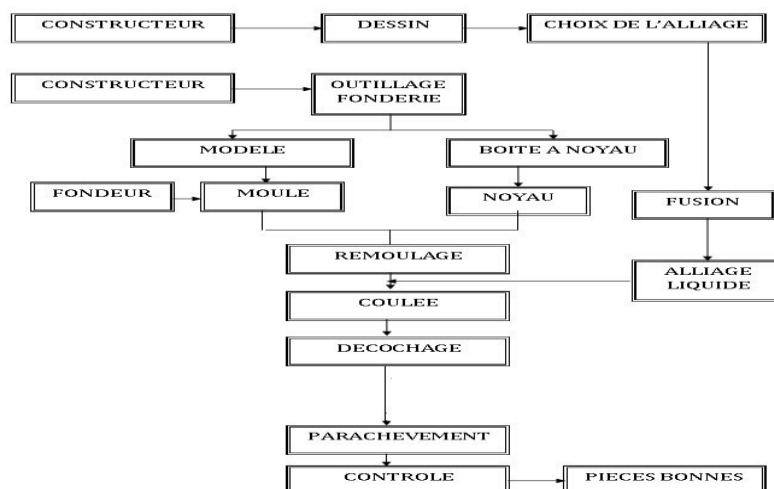


Figure1 : Schéma de fabrication

Fonderie Aluminium :



Figure2 : Atelier d'Aluminium

Appelée fonderie école, elle s'étale sur une superficie de 3200m², elle est consacrée pour la formation du personnel de la fonderie, elle est équipée :

- Un secteur de noyautage, (deux procédés : sable silicate, chronique)
- Secteur de 2 lignes de moulage petites pièces et pièces moyennes (pm, pp) et un secteur de coquille.
- Trois machines coquilles pour moulage par gravité.
- Trois fours de fusion, à gaz capacité 350 kg.
- Trois fours de maintien pour les coquilles, électriques capacité 180 kg.
- Un secteur de parachèvement.
- Un poste de contrôle.

Depuis 1987, elle est devenue une fonderie de production, d'où l'appellation « fonderie aluminium », d'une capacité de production de 330 tonnes par an de pièces bonnes en alliage d'aluminium (AS 10 G, AS7G et AS 13), ainsi que la commercialisation des pièces mécaniques brutes de fonderie.

Chapitre I :

Aluminium et ses alliages

Introduction

L'industrie automobile s'est engagée dans un processus de réflexion visant à réduire le poids des voitures afin de répondre aux réglementations relatives à la pollution, de plus en plus exigeantes dans tous les pays, Il est donc nécessaire d'utiliser des alliages qui permettent l'allègement des véhicules tout en réduisant la consommation de carburant, l'utilisation de l'aluminium et ses alliages a réussi à répondre à toutes ces exigences.

I.1. Historique de l'aluminium

En 1821, un dénommé Blavier avait envoyé au minéralogiste et ingénieur des Mines français Pierre Berthier, professeur à l'école des Mines de Paris, un échantillon, pour analyse, d'un minerai trouvé près des Baux de Provence (proche de Marseille en France), pour savoir si on pouvait l'utiliser comme minerai de fer, auquel il donna le nom de bauxite. En 1827, le scientifique allemand Friedrich Wöhler obtient des particules d'aluminium impur.

En 1854, en France, Henri Sainte-Claire Deville parvient à fabriquer, pour la première fois de l'histoire, un petit lingot d'aluminium dans un laboratoire de l'École normale supérieure de Paris, où il occupe la chaire de chimie et met au point le premier procédé de fabrication industriel.

En 1886, Paul Héroult en France et Charles Martin Hallaux États-Unis découvrent, indépendamment, que l'oxyde d'aluminium ou alumine se dissout dans la cryolite et peut être décomposé par électrolyse pour donner du métal brut en fusion. En 1887, le chimiste autrichien Karl Joseph Bayer fait breveter un procédé de transformation. [1]



Figure I.1 : Aluminium.

I.2. Production et propriétés de l'Aluminium

I.2.1. Production de l'Aluminium

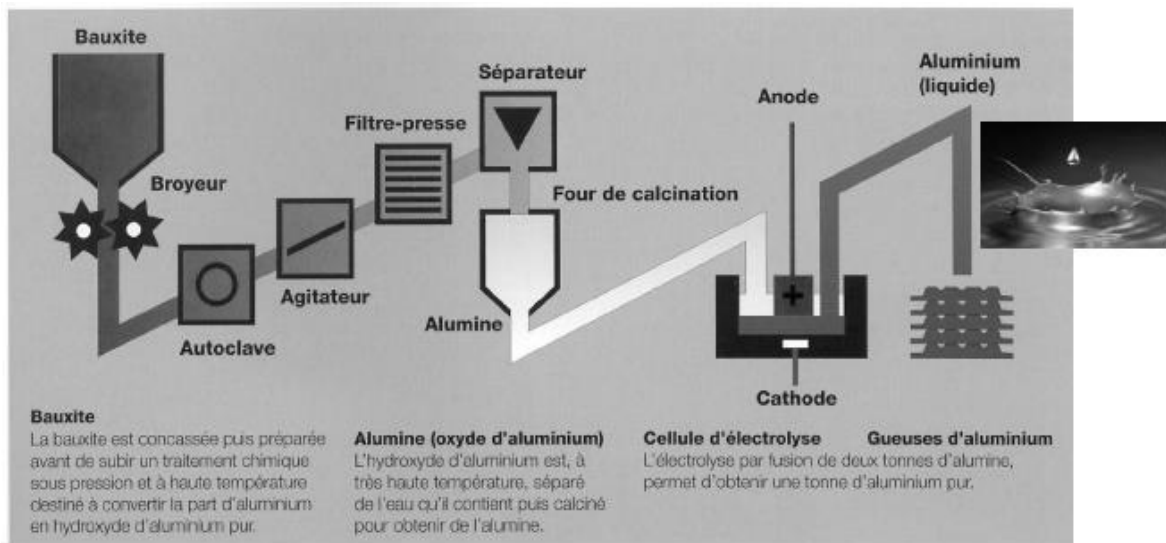


Figure I.2 : Production de l'Aluminium.

I.2.1.1 Obtention de l'alumine : Procédé Bayer

La bauxite calcinée et broyée est attaquée à la soude caustique (NaOH) dans des autoclaves où sous l'action de la pression (30 atm) et de la température (200 à 240°C) l'alumine contenue dans la bauxite se transforme en une solution d'aluminate de sodium.



Les autres composants (oxydes de fer et de silice) ou "boue rouges" sont retirés par décantation et filtration. Le fer précipite ainsi que le titanate de soude, la silice précipite également sous forme de silico-aluminate de soude. Il reste un liquide clair qui est composé d'une solution de soude contenant de l'aluminate de sodium.



Figure I.3 : La bauxite

Cette dernière est obtenue est ensuite pompée dans des décomposeurs de 25 à 30m de haut dans lesquels on ajoute du tri-hydrate d'alumine pur très fin, qui sert à amorcer la réaction. Sous l'effet de l'agitation et du refroidissement graduels, le tri-hydrate d'alumine en solution précipite et forme d'autres cristaux. Ceux-ci sont ensuite séparés de la solution de soude caustique par sédimentation et filtration. La solution de soude caustique est renvoyée aux autoclaves pour être réutilisée.



Eq 2

L'alumine Al_2O_3 est déshydratée par chauffage à 1100°C en vue d'éliminer l'eau combinée chimiquement (dans un four rotatif) et devient une poudre blanche qui titre à 99%.

[2]



Figure I.4 : L'alumine.

I.2.1.2. Obtention de l'alumine : Procédé Hall-Héroult

Le procédé le plus utilisé est le procédé "Hall-Héroult", du nom de leurs inventeurs, l'américain Charles Martin Hall et le français Paul Héroult. Il consiste à dissoudre l'alumine calcinée dans de la cryolite (Na_3AlF_6 , qui est un sel fondu, alumine fluorure de sodium). Le courant de l'électrolyse sert à la fusion du mélange entre 900 et 1000°C .

L'alumine ne fondrait qu'au-dessus de 2000°C si elle n'était pas en présence de cryolithe et de fluorure de calcium pour produire un kilo d'aluminium, il faut compter en moyenne 15 kWh.

Le four servant à l'électrolyse est un four en acier revêtu de briques réfractaires dont la cuve est en charbon aggloméré constituant la cathode sur laquelle se dépose l'aluminium

fondue et il y a un dégagement d'oxygène sur l'anode en coke de pétrole + brai qui est oxydée.

[2]

I.2.2. propriétés de l'aluminium

I.2.2.1. propriétés physiques

L'aluminium est un élément du 3ème groupe de la classification de Mendeleïev comportant les caractéristiques physiques présentées dans le tableau suivant

Tableaux I.1 : les propriétés physiques de l'aluminium.

Nombre atomique Z	Masse atomique M	Température de fusion °c	Température d'ébullition	CFC A°	Densité g/cm ³	conductibilité thermique cal/cm.s.C°	conductibilité électrique ohm .mm ² /m
13	26.97	660°c	2467°c	4.012	2.7	0,57	2,6548

Sa caractéristique la plus importante est sa faible densité : 2,7g/cm³.

Cette densité ne varie pas de façon sensible dans les alliages légers, elle reste toujours inférieure à 3g/cm³. Sa conductibilité thermique est de 0,57 cal/cm.s.C° et sa conductibilité électrique est élevée (2,6548 ohm .mm²/m). [3]

I.2.2.2. Propriétés mécaniques

Compte tenu de sa structure cristalline CFC. L'aluminium pur est très déformable à froid ou à chaud, de ce fait-il, est très ductile, ce qui facilite son usinage et sa mise en forme, de ce fait il est très malléable (allongement de rupture 30à 40%), il est peu résistant à la rupture par traction $\sigma_R=70$ à 100 N/mm² et faible dureté.

- **Module d'élasticité** : il est à 66,6 GPa pour l'aluminium pur et augmente en présence d'impuretés et d'additions pour les alliages, le module est compris entre 69 et 72 GPa et particulièrement sensible à la teneur en silicium 70 à 82 GPa lorsque la teneur en silicium varie de 2 à 18%.
- **Module de torsion (cisaillement)** : il est égal à 25 GPa pour l'aluminium pur titré à 99,9% et 26 GPa pour l'aluminium commercial.
- **Coefficient de poisson** : il varie de 0,33 à 0,35[2].

I.2.2.3. propriétés chimique

L'aluminium se distingue par sa résistance élevée à la corrosion du fait de la formation à la surface d'une couche protectrice (AL₂O₃).

La pureté du métal améliore sa résistance à la corrosion par la solution saline et l'eau de mer ainsi que le brouillard aussi pour l'industrie chimique et agroalimentaire qui emploie un aluminium tirant au moins 95,5%.

La plus parts des acides minéraux (chlorhydriques, sulfurique), et organique (trichloracétique) ainsi que la soude et la potasse attaquent l'aluminium. [4]

I.2.2.4. Propriétés de mise en forme

La température de fusion de l'aluminium est relativement basse 660C° d'où la facilité de fusion qui représente un avantage pour les opérations de fonderie, il est très ductile, on peut facilement le mettre en forme à l'état solide par déformation plastique.

I.3. Recyclage de l'aluminium

A partir des années 1920, le recyclage de l'aluminium a constitué un complément de l'électrolyse, économiquement significatif. Le procédé de recyclage présente un double avantage sur l'électrolyse : d'abord la consommation d'électricité par tonne d'aluminium est divisée par vingt et ensuit la production de gaz à effet de serre est réduit. La multiplication des produits commercialisés composition chimique surtout et leur différence de durée de vie qui complexes les processus de recyclage qu'il est exclu de décrire ici une intéressante étude de Mrs Patricia Plunkert présente, pour les Etats-Unis, un diagramme des flux de l'année 2000 qui rassemble tous les produits en aluminium et permet un calcul de taux de recyclage. L'aluminium qui entre ou sort du pays est codifié : la production primaire des électrolyses domestique et étrangères, la production secondaire <<old scrap>> qui provient d'aluminium usage. La production secondaire << newscrap >> ou << prompt >> qui provient de déchets de fabrication ou d'aluminium neuf et enfin la production secondaire, somme des deux précédents. Les quantités annuelles de ces produits se trouvent dans les états, annuels ou de synthèse, publiés par l'USGS et elles seront utilisées comme unique source. Exemple de grand producteur au monde : << Rio Tinto Alcan, Rusal, Alcoa et Hydro Al Chalco >>. [5]

I.4. Utilisations de l'Aluminium

Les caractéristiques intrinsèques de l'aluminium (légèreté, conductivité, résistance à la corrosion, propriété mécaniques) ainsi que le développement de ses alliages d'une part et des techniques de mise en forme d'autre part, lui ont ouvert d'innombrables domaines d'utilisation, dont les principaux sont : les transports, le bâtiment, la construction électrique et l'emballage.

Dans les transportes, il est utilisé pour la fabrication des carrosseries, pare-chocs, blocs moteurs, etc. Par rapport à l'acier et la fonte, l'aluminium permet un gain sensible de poids et

donc une certaine économie d'énergie. De plus, il ne rouille pas, il peut être moulé sous pression, s'usine facilement et permet d'obtenir des formes complexes par filage. Par rapport aux matières plastiques, il présente l'avantage d'une meilleure tenue à la chaleur et au vieillissement et d'une mise en forme plus rapide.

Dans le bâtiment, il est utilisé dans les ossatures, les bardages, les toitures, la menuiserie et les balcons. Ainsi, l'aluminium remplace aussi bien l'acier que le bois : il ne demande pas d'entretien, il présente une bonne persistance des performances, une possibilité de formes complexes et un encombrement réduit.

Dans la construction électrique, (câble isolé, câble nus, transformateurs), 1 kg d'Aluminium est équivalent à 2 kg de cuivre.

Dans l'emballage (bois, aérosols, emballages divers), l'aluminium présente, par rapport au fer blanc, l'avantage de ne pas rouiller, de s'emboutir, de se filer et de s'usiner facilement.

Il a par ailleurs une grande aptitude à la décoration, de même qu'il est imperméable (gaz, eau, lumière). [6]

I.5. Les alliages d'aluminium

L'aluminium, dont les propriétés mécaniques sont faibles lorsqu'il est pur, est allié à d'autres métaux. Un alliage est constitué de trois types d'éléments : les éléments d'alliages, qui définissent sa famille ; les éléments d'additions, qui modifient certaines propriétés particulières (anti-recristallisant par exemple) ; et les éléments d'impuretés, dont la présence n'est pas désirée, mais qui sont naturellement présentes dans le minerai de base (la bauxite) ou qui proviennent du mode d'élaboration (Fe, Si, Cu).

Les éléments d'alliage principalement rencontrés sont le cuivre, le manganèse, le magnésium, le silicium et le zinc. Ces alliages sont classés en familles selon les éléments principaux ajoutés et permettent d'atteindre des valeurs très variables de propriétés mécaniques (par exemple la résistance à la traction peut s'étendre de 100 à 600 MPa selon l'alliage et le traitement employé). [7]

I.5.1. Alliages d'aluminium de corroyage

Cette famille, la plus utilisée, comprend tous les produits laminés d'usage courant : barres, profilés, tôles, plaques, bandes ; les produits filés et étirés ; les fils ; les produits forgés ou destinés à la forge, etc. Sont exclus : les produits moulés, les lingots de refusions, les composites utilisant l'aluminium et ceux issus de la métallurgie des poudres. Les séries 1000, 3000, 5000 et la plupart des 4000 ne peuvent pas être traitées, sont dites non trempâtes ou

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

sans durcissement structural. Cependant, leurs caractéristiques peuvent être modifiées par écrouissage ("durcissement mécanique") ou par modification de la grosseur du grain. De plus, comme la solubilité des éléments d'alliage est faible dans l'aluminium à température ambiante, leur capacité de durcissement par mise en solution ou maturation est très limitée. Les séries 2000, 6000 et 7000 peuvent être traitées et sont dites trempâtes ou avec durcissement structural. Bien qu'il soit possible d'avoir un bon rapport résistance/poids avec ces alliages, leur capacité à précipiter ou à se transformer reste modérée. De plus, en utilisation au-dessus de 175°C les traitements disparaissent. [8]

I.5.1.1. Désignation

(Norme internationale) : elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW comme préfixe (EN pour norme européenne, A pour aluminium, W pour corroyé).

Désignation des aluminiums et alliages - produits corroyés NF EN 573



Figure I.5 : désignation des aluminiums et alliages – produits corroyés NF EN 573.

Exemples :

- EN AW-1050 A [Al 99,5] est un aluminium pur à 99,50%,
- EN AW-1100 [Al 99,0] un aluminium pur à 99% avec contrôle d'impuretés,
- EN AW-5086 [Al Mg 4] est un alliage d'aluminium avec 4% de magnésium,
- EN AW 2017 [AlCu4MgSi] (« duralumin ou A-U4G ») est un alliage avec 4,5% de cuivre contenant aussi du manganèse (0,5%), du magnésium (0,5%). [8]

I.5.2. Alliage d'aluminium de fonderie

Les alliages d'aluminium de fonderie (série à trois chiffres) sont les plus versatiles de tous les alliages de fonderie et ils offrent de façon générale une facilité de mise en forme, contrairement aux alliages de corroyage (série à quatre chiffres). Les alliages d'aluminium, comme tous les autres matériaux de fonderie, ont les caractéristiques suivantes :

- Une bonne fluidité pour bien remplir toutes les parties du moule.
- Un point de fusion relativement bas.
- Un transfert de chaleur rapide de l'aluminium liquide vers le moule, ce qui assure un cycle de mise en forme rapide.
- L'hydrogène qui est le seul gaz avec lequel l'aluminium et ses alliages sont solubles peut être contrôlé efficacement.
- Plusieurs alliages d'aluminium n'ont relativement pas de tendance au craquage à chaud.
- Une bonne stabilité chimique.
- Un bon fini de surface avec des surfaces lustrées et peu ou pas de défauts. [9]

I.5.2.1. Désignation : (norme internationale NF EN 1780)

Préfixe EN ; espace ; lettre A (pour aluminium) ; lettre B (pour lingots de refusions) ou C (pièces moulées) ou M (alliages mères) ; un tiret ; cinq chiffres représentant la composition de l'alliage et/ou les symboles chimiques donnant la composition de l'alliage ordonnés par teneur décroissante et limités à 4 éléments.

Désignation des aluminiums et alliages pour la fonderie NF EN 1780

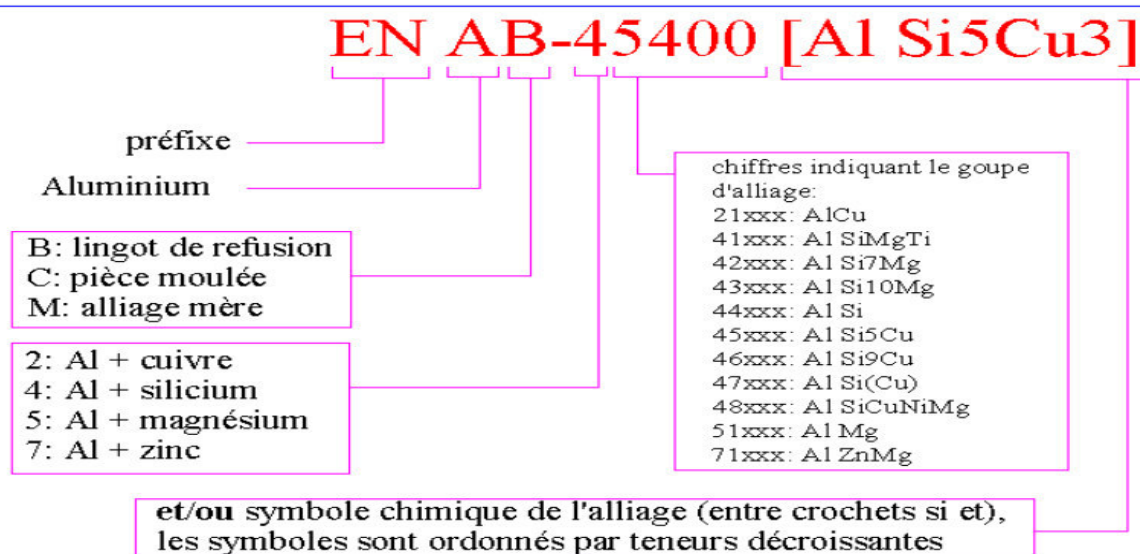


Figure I.6 : désignation des aluminiums et alliages pour la fonderie NF EN 1780.

Exemples :

EN AB-Al 99,8 : lingot pour refusions en aluminium pur à 99,8%. EN AB-Al 99,7 E : lingot pour refusions en aluminium pur à 99,7% pour usage électrique (E). EN AB-45400 [Al Si5Cu3] ou EN AB-Al Si5Cu3 ; lingot pour refusions en alliage d'aluminium avec 5% de silicium et 3% de cuivre (ancien A-S 5U3). EN AC-Al Si12CuMgNi : alliage d'aluminium pour pièces moulées avec 12% de silicium, du cuivre, du magnésium et du nickel. EN AM-Al Sr10Ti1B0,2 alliage mère d'aluminium avec 10% de strontium, 1% de titane et 0,2% de bore. EN AB-Al Si9Cu3(Fe) (Zn) : lingot pour refusions en alliage d'aluminium avec 9% de silicium, 3% de cuivre et des impuretés (fer et zinc). [8]

I.6. Les familles d'alliages d'aluminium

Suivant des principaux éléments d'addition (le chrome, le cuivre, manganèse, le fer) on peut regrouper les alliages d'aluminiums en plusieurs familles, pour chaque famille un code numérique à quatre chiffres, dans lequel l'élément d'alliages prédominant est cité. [10]

Tableau I.2 : Les familles d'alliages d'aluminium.

Série	Elément d'addition Principale
1000	Aluminium non allié > 99%
2000	Cuivre
3000	Manganèse
4000	Silicium
5000	Magnésium
6000	Magnésium-silicium
7000	Zinc
8000	Lithium et autre

I.7. classification des alliages d'aluminium

Les alliages d'aluminium se classent en deux grandes familles : les alliages corroyés et les alliages de fonderie. Les alliages corroyés sont mis en forme mécaniquement par des procédés tels que le laminage, l'extrusion, le forgeage, l'étirage ou le tréfilage. Les alliages de fonderie sont quant à eux coulés par différents procédés comme le moulage sous pression, le moule permanent, le moule au sable à vert, le moule au sable lié chimiquement, la cire perdue, le moule au plâtre, par coulée centrifuge, le moule sous vide ou à basse pression. On différencie

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

ces deux types d'alliages par leur désignation donnée par l'Aluminium Association (Tableau I.2).

Tableau I.3 : Désignation des alliages d'aluminium selon l'Aluminium Association

Alliages de fonderie		Alliages corroyés	
Série	Alliage	Série	Alliage
100	Al commercialement pur	1000	Al > 99%
200	Al-Cu	2000	Al-Cu et Al- Cu-Mg
300	Al-Si-Mg et Al- Si-Cu	3000	Al-Mn
400	Al-Si	4000	Al-Si
500	Al-Mg	5000	Al-Mg
700	Al-Zn	6000	Al-Mg-Si
800	Al-Sn	7000.01	Al-Zn-Mg et Al-Zn-Mg-Cu
900	Al et autres éléments	8000	Al et autres Eléments

I.8. Alliage aluminium silicium

Les alliages au silicium sont les plus nombreux parmi ceux du moulage, il en existe plusieurs variantes environ 70% du tonnage des pièces moulées.

Ils peuvent être coulés soit en sable, soit en coquille, soit sous pression leurs caractéristiques mécaniques dépendent de leurs compositions et du mode de coulée.

Leurs domaines d'application sont très nombreux : appareils ménagers : brûleurs en A_M4, bras de suspensions automobile en A_S12G, blocs moteurs et culasses en A_S9U3, radiateurs de chauffage central en A_S12U.

Les alliages de fonderie au silicium, au magnésium, au zinc ont une excellente résistance à la corrosion à l'opposé des alliages contenant de fortes additions de cuivre (au moins 2 à 3%) qui ont une mauvaise résistance à la corrosion.

Les caractéristiques mécaniques des alliages dépendent de leur composition chimique, ainsi que du mode d'élaboration et des traitements thermiques effectués. [7]

I.9. Diagramme d'équilibre Al-Si

Le diagramme d'équilibre Aluminium-silicium est simple, il indique les compositions des phases et la structure de l'alliage en fonction de la température et de la concentration en silicium. [11]

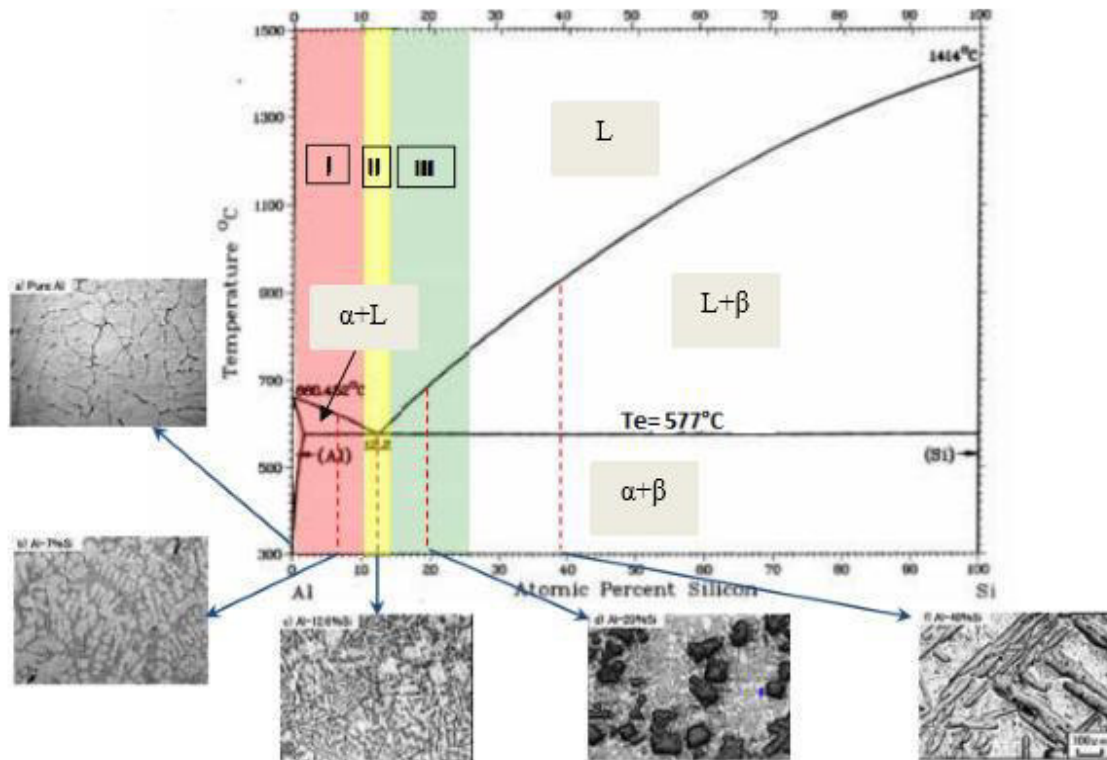


Figure I.7 : diagramme d'équilibre Al-Si. [3]

On distingue sur ce diagramme :

- ✓ Solution alpha : Riche en aluminium, le maximum est de 1,65% de silicium à 577°C.
- ✓ Eutectique (α+β) : Contient 11,7% de silicium à 577°C.
- ✓ Hypo eutectique : constitués de alpha et de l'eutectique (α+β).
- ✓ Hyper eutectique : consiste de bêta et de l'eutectique (α+β).
- ✓ Liquide : forme par deux branches de courbes CEDO.
- ✓ Solide : forme par la branche CA et le palier eutectique AEF.
- ✓ Solution β : pauvre en aluminium contient au maximum 97% de silicium à 20°C.

I.10. Solidification de l'alliage Al-Si

Les alliages industriels Al-Si ne sont pas systématiquement de composition eutectique exacte. L'alliage le plus utilisé contient de 10 à 13% de s'il présente une très bonne tenue à la

Corrosion pour toute température supérieure à la température de l'eutectique T_e . L'alliage se trouve à l'état liquide.

Sa solidification se produit à la température T_e et la structure résultante se différencie selon la forme que prend la phase riche en silicium. Cette structure comporte l'eutectique formé des deux phases ($\alpha+\beta$) et, souvent des cristaux de silicium. Voir le diagramme d'équilibre.

Dans ce qui suit, nous illustrons tous les cas de figure qui peuvent se présenter, pour les alliages Al-Si de différentes compositions. Ainsi, il existe différents types d'alliages Al-Si, se distinguant essentiellement par la concentration en Si et donc par la morphologie de la phase riche en Si. Nous en citons. [12] :

I.10.1. Alliage eutectique :

Cet alliage de concentration $C=C_e$, présente une concentration en soluté correspondant à celle du point eutectique E.

I.10.1.1. Eutectique lamellaire :

Cet alliage présente une microstructure où le Silicium est sous forme de lamelles, c'est une forme connue de l'eutectique quand l'alliage est réduit en impuretés.

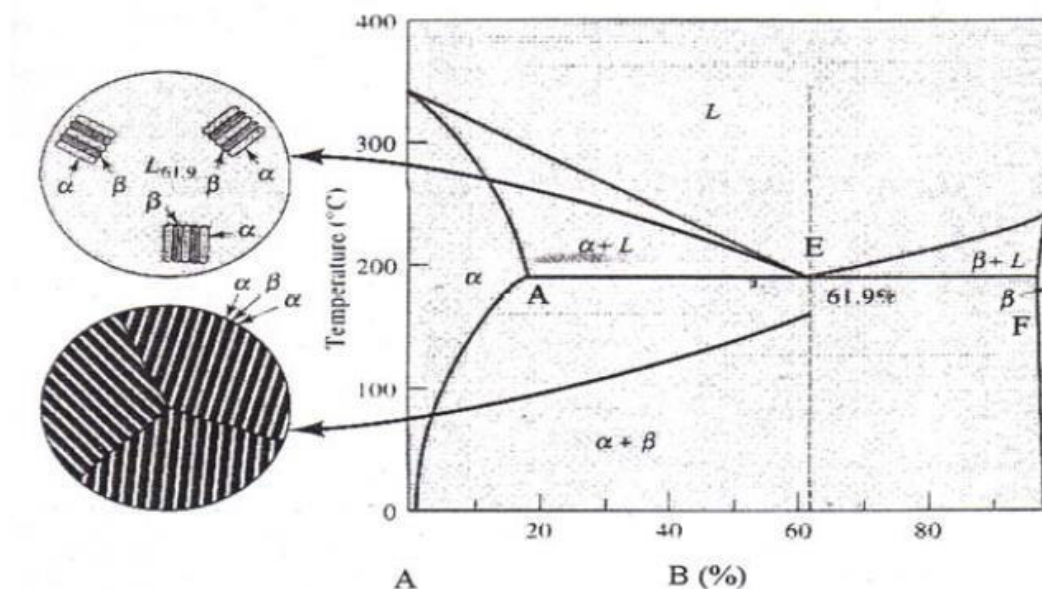


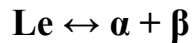
Figure I.8 : solidification d'un alliage eutectique A-Ce%B. [13]

I.10.2. Alliages de composition hors eutectique

On en distingue deux types :

I.10.2.a. Alliages pour lesquels $C_a < C < C_e$

Ils sont appelés alliages hypoeutectique. A $T = T_e + \epsilon$, l'alliage est biphasé il est constitué du liquide et de cristaux de solution solide α . La phase solide qui se forme la première dans un liquide, s'appelle phase primaire (ou proeutectique). Les cristaux de la phase primaire prennent des formes de dendrites à $T = T_e$, la solution solide pro eutectique ne subit aucune transformation seul le liquide eutectique à subir la transformation suivante :



A $T = T_e - \epsilon$, l'alliage est biphasé : il contient toujours une proportion d'eutectique, avec des dendrites primaires de la phase riche en aluminium. [12]

I.10.2.b. Alliages pour lesquels $C_e < C < C_b$

Ils sont appelés alliages hyper-eutectique. Leur étude est similaire à celle pour les alliages hypoeutectiques. La phase proeutectique étant cette fois-ci β , est constituée cristaux polyédriques de silicium. [13]

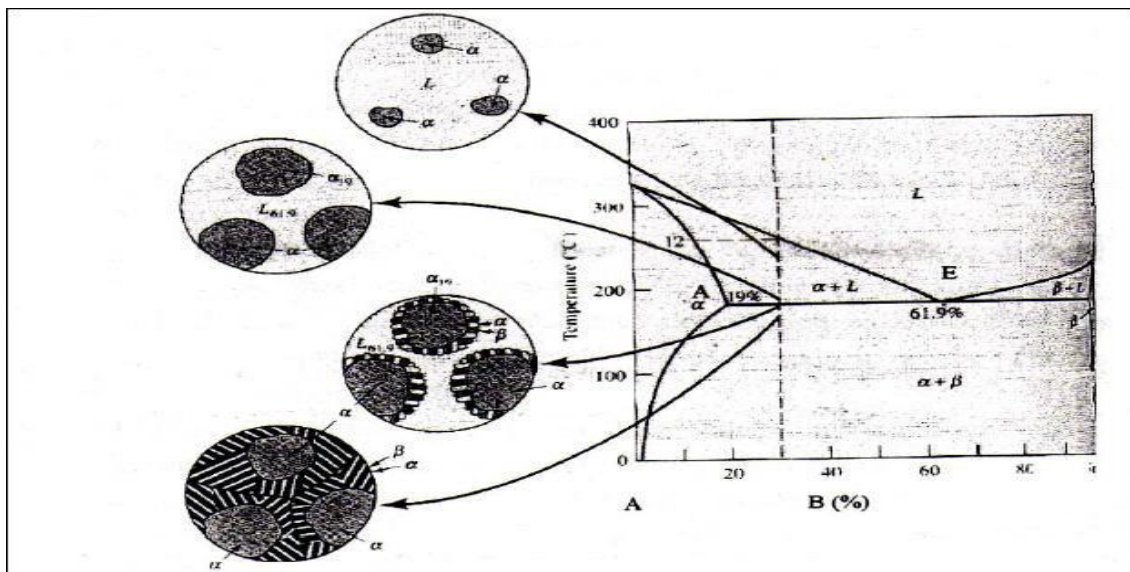


Figure I.9 : solidification d'un alliage hypoeutectique A-B. [13]

Les alliages de composition hypoeutectique contiennent généralement entre 13 et 25% de Si. Les microstructures qu'ils présentent, sont de deux types :

I.10.2.b.1. Eutectique aciculaire

La phase riche en Si se présente en plaquettes épaisses orientées au hasard, qui apparaissent sous forme d'aiguilles au microscope. Cette structure est favorisée par la présence de traces de phosphore (10 à 15 ppm), qui est utilisé comme affinant. En effet, ou

Procède à l'affinage des grains de silicium primaire par l'addition de phosphore aux alliages AL-Si industriels hyper-eutectique ($C < C_e$). Ainsi les tailles de grains industriellement obtenues, sont comprises entre 20 et 40 μm et confèrent à ces alliages d'excellentes propriétés de frottements et d'usure. [14]

I.10.2.b.2. Eutectique fibreux ou modifié

La structure eutectique peut être modifiée par addition d'éléments tels que le sodium et le strontium, les alliages concernés par cette modification sont de composition comprise entre 4 et 13 de Si. Le principal avantage de cette modification est d'améliorer la ductilité (allongement) de ces alliages. Les éléments chimiques modificateurs les germes de phosphore d'aluminium et agissent sur croissance des plaquettes de silicium en multipliant le nombre de branchements. Ainsi, la phase riche en silicium présente une morphologie de fibres allongées ayant de corail. [14]

I.10.3. Alliages de concentration $C < C_1$

Les alliages de cette catégorie forment toujours des solutions solides lors de leur solidification (Figure I.10)

Liquide \rightarrow particules α plongées dans le liquide \rightarrow solution polycristalline de grains α

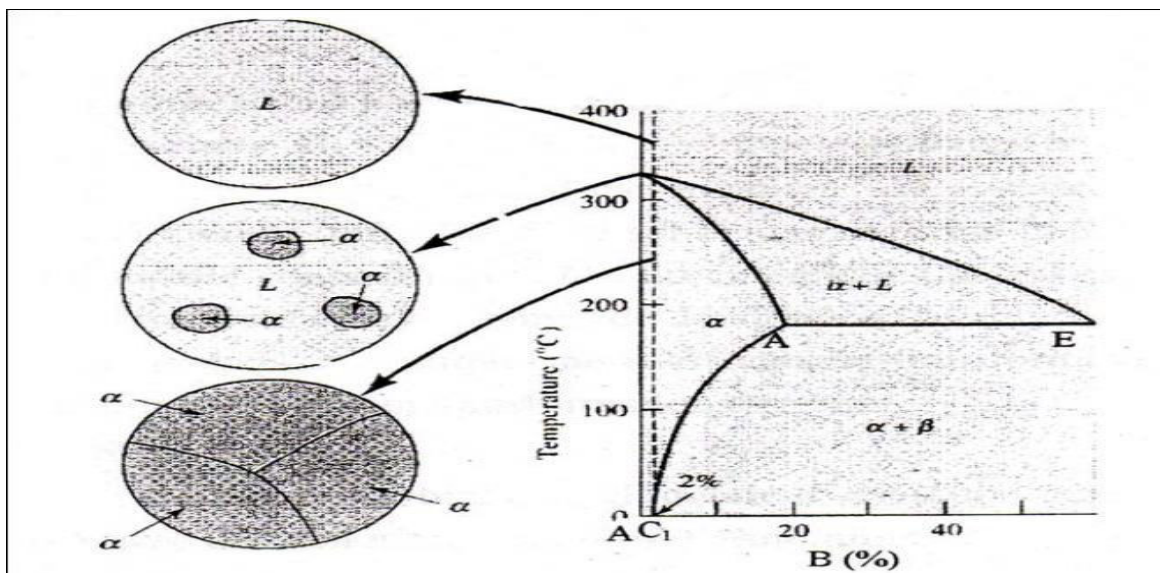


Figure I.10 : solidification de l'alliage A-C1%B. [12]

I.10.4. Alliages de composition $C_1 < C < C_a$

A l'issue de la solidification, on est en présence d'un solide α susceptible de se décomposer, à partir du solvus. En un solide biphasé formé d'un agrégat de phases α et β (Figure I.11) illustre la formation de précipités de la nouvelle phase β dans la matrice α . [15]

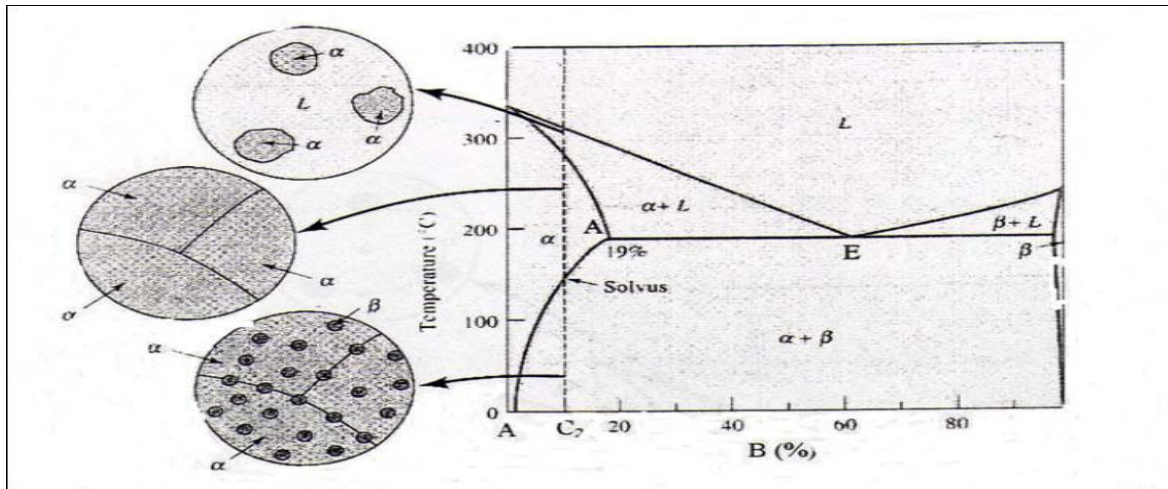


Figure I.11 : solidification de l'alliage A-C₂%B. [12]

I.11. Quelques alliages d'aluminium-silicium

I.11.1. Al7SiMg et ses variantes (Al7Si0, 3Mg et Al7Si0, 6Mg)

Qui peuvent être traitées thermiquement, présentent de bonnes propriétés pour la coulée en sable et en coquille, une bonne aptitude à donner des pièces étanches au soudage, une bonne stabilité dimensionnelle et résistance à la corrosion. Ces alliages occupent, dans la plupart des pays industrialisés, une position prédominante parmi les alliages moulés dans les secteurs suivants : l'automobile (roues, bras de suspension, traverses, pivots, étriers, corps de vérins...etc.), et l'armement. [16]

I.11.2. Al10SiMg

Pouvant également être coulée sous pression, est utilisé pour des pièces mécaniques variées. Il tend cependant à être supplanté par les alliages AlSi7Mg. [16]

I.11.3. Al Si 13 (ALPAX)

Il est le plus ancien, du fait de son excellente aptitude au moulage et de sa bonne résistance à la corrosion, il est encore très utilisé pour la fabrication des appareils ménagers, bâtiments et mécanique. [16]

I.11.3.a. Composition chimique

La composition chimique d'alliage AS13 est donnée par la norme NF A_57 702 [17].

Tableau I.4 : composition chimique d'alliage AS13.

Elément	Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Zn	Su	Pb	Tl	Co
Alliage AS13	≤0,70	11,0 à 13,5	≤0,10	≤0,10	≤0,30	≤0,05	≤0,15	≤0,05	≤0,10	≤0,15	≤0,20

I.11.3.b. Caractéristiques mécanique et microstructurale :

Les pièces de fonderie sont le plus souvent utilisées dans l'industrie mécanique par conséquent les caractéristiques de l'alliage AS13 sont spécifiées par la norme NF A_57 702 des produits moulés. En effet, ces propriétés importantes sont en relation avec la loi de HALL_PETCH qui stipule que la microstructure de l'alliage est fine, plus les propriétés mécaniques ne doivent être élevées. [18]

Tableau I.5 : caractéristiques mécanique de l'alliage AS13. [19]

Mode de Coulée	Etat	σ_r (MPa)	σ_e (MPa)	A%	Dureté(HB)
Sable	Y20	165	80	4	50
Coquille	Y30	180	80	5	60

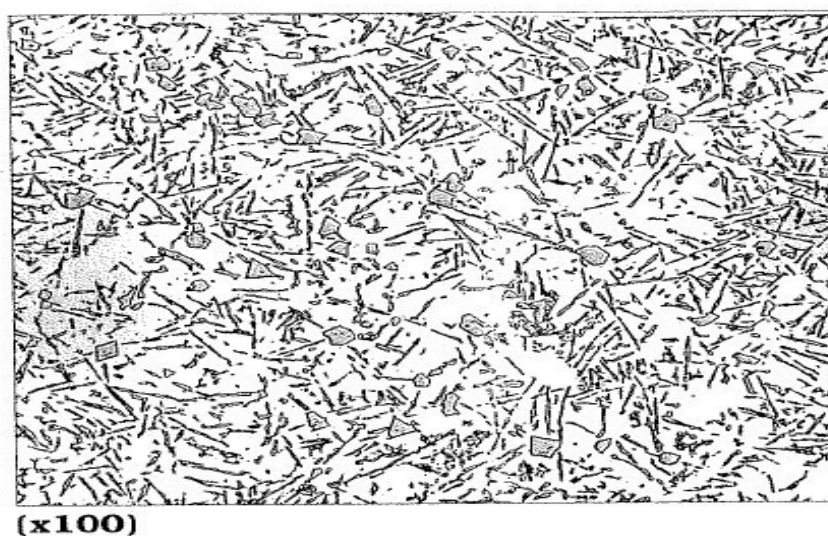


Figure. I.12 : Microstructure de l'alliage AS13 à l'état brut de coulée

I.12. Effet des éléments d'alliage

Il est possible de modifier les différentes propriétés d'un métal en lui ajoutant des Éléments d'alliage. Les nouveaux alliages ainsi formés sont soit plus résistants, plus ductiles, plus durs, etc. selon le choix. Toutefois, pour obtenir précisément ce que l'on veut, il faut savoir quel élément fait quel effet. Dans ce but, certaines sociétés comme l'ASM (American Society of Métal) ou le CTIF (Centre Technique des Industries de la Fonderie) publient des volumes à cet effet.

I.12.1. Effet du Magnésium :

Le magnésium est la base du développement de la résistance et de la dureté lors des Traitements thermiques des alliages Al-Si. Il est en général utilisé dans les alliages Al-Si plus complexes qui contiennent du cuivre, du nickel et d'autres éléments dont le but est également de durcir l'alliage. La phase de Mg_2Si qui durcit l'alliage montre une solubilité limite de 0,70 % de magnésium. Au-delà de cette limite, il n'y a pas davantage de durcissement et il peut même survenir un adoucissement de l'alliage. La composition de magnésium habituellement employée pour les alliages de la famille Al-Si varie de 0,070 à 0,40 %.

I.12.2. Effet du cuivre

Cet élément forme avec l'aluminium le $CuAl_2$ servant au durcissement des alliages.

De plus, il contribue à l'augmentation de la résistance mécanique, à la réduction durant la coulée et à l'amélioration de l'usinabilité. Toutefois, il diminue généralement la résistance à la corrosion. Les alliages contenant de 4 à 6 % de cuivre sont ceux qui répondent le plus fortement aux traitements thermiques.

I.12.3. Effet du Fer

Le fer accroît la résistance au craquage à chaud et réduit la tendance de l'alliage à se coller ou à se souder aux parois du moule. Or, l'augmentation de la proportion de fer est normalement accompagnée d'une réduction de la ductilité. Le fer réagit pour former plusieurs phases insolubles dans les alliages d'aluminium, les plus communes étant $FeAl_3$, $FeMnAl_6$ et $\alpha-AlFeSi$. Ces phases insolubles ou intermétalliques sont responsables de l'amélioration de la résistance, spécialement à température élevée, même si elles donnent des structures grossières et fragiles. Comme le pourcentage de phases insolubles croît avec l'augmentation de la proportion de fer, les caractéristiques de l'écoulement du métal liquide sont affectées. On doit alors tenir compte de ce facteur lors de la procédure de mise en forme. Le fer participe également à la formation de plaquettes ségréguées avec le manganèse, le chrome et d'autres éléments.

I.12.4. Effet du Manganèse

Il sert à augmenter la résistance mécanique à haute température des alliages de fonderie (suite à la formation d'une structure fibreuse) et à réduire le retrait lors de la solidification. Mais, comme ces alliages ne possèdent pas d'opération de durcissement mécanique, le manganèse n'offre pas d'effets bénéfiques pour ces derniers. Certains le considèrent comme une impureté à cause de sa faible solubilité. Cependant, un pourcentage élevé en volume de $MnAl_6$ dans les alliages contenant plus de 0,5 % de manganèse peut influencer favorablement l'équilibre interne de la pièce après la mise en forme.

I.13. Alliages apparentés au système Al-Si-Cu-Mg

L'analyse exhaustive des différents systèmes qui s'apparentent au système Al-Si-Cu-Mg permet d'identifier les phases susceptibles de réagir aux traitements thermiques.

Beaucoup d'informations recueillies par différents chercheurs depuis plusieurs années donnent la possibilité de caractériser le comportement de ces différentes phases lorsqu'elles sont soumises à des traitements thermiques de mise en solution ou de vieillissement par exemple. Donc, avec l'aide de systèmes binaires et ternaires, il est plus facile de comprendre ce qui se passe exactement dans le système Al-Si-Cu-Mg.

I.13.1. Système binaire Al-Si

Le silicium est l'élément d'alliage le plus important dans les alliages d'aluminium. C'est d'ailleurs cet élément qui permet de différencier les aluminiums de fonderie de ceux de corroyage. La présence du silicium réduit le retrait des pièces en plus d'améliorer la fluidité des alliages, facilitant ainsi le moulage. Toutefois, il rend les alliages plus difficiles à usiner.

Un autre avantage indéniable du silicium c'est que pour les alliages hypoeutectiques on peut modifier la répartition (homogénéisation) des particules de ce dernier en le combinant au sodium ou au strontium.

Le système Al-Si forme un alliage eutectique simple avec une solubilité limitée des deux éléments à l'état solide. Le point eutectique se situe à une concentration en poids de 11,7 % de silicium et à une température de 577 °C. Il n'y a aucune formation de phase secondaire.

[20]

I.13.2. Système binaire Al-Mg

Le magnésium possède une solubilité élevée de 17,4 % en poids à 450 °C dans l'aluminium solide. Pour qu'il ait un effet bénéfique au niveau du durcissement structural, il doit être présent à une concentration supérieure à 7 % en poids. La présence du magnésium augmente la résistance à la corrosion, donne un bon fini de surface, facilite le travail à froid à

cause de la ductilité qu'il confère aux alliages et accroît les propriétés des soudures d'alliages d'aluminium. [20]

I.13.3. Système binaire Al-Cu

Le fait que le cuivre contribue au durcissement structural des alliages lui vaut une place de choix parmi les éléments d'addition complémentaires. Le constituant responsable de cette propriété est l'eutectique Al-CuAl₂. On le retrouve sur le diagramme d'équilibre d'Al-Cu à une température de 548 °C, en compagnie du liquide eutectique qui est constitué d'aluminium et de 32,3 % en poids Cu, en équilibre avec une solution solide d'aluminium contenant 5,7 % poids Cu. [20]

I.13.4. Système ternaire Al-Si-Mg

Le système ternaire Aluminium-Silicium-Magnésium est à la base de plusieurs alliages sensibles aux traitements thermiques. Le diagramme de phase obtenu à l'équilibre peut être relativement simplifié si on le considère comme étant binaire c'est-à-dire : aluminium et Mg₂Si pour une proportion de magnésium - silicium qui voisine 1,73 pour 1 (toujours en pourcentage poids). [20]

I.13.5. Système ternaire Al-Cu-Si

Les alliages d'aluminium-cuivre-silicium sont relativement populaires dans les alliages commerciaux. La composition chimique de ces alliages fait en sorte qu'ils sont sensibles aux défauts et aux criques que l'on peut retrouver dans des pièces soudées ou moulées. La présence d'une phase eutectique minimum contribue au développement maximal de ces défauts. Les phases en équilibre avec l'aluminium sont le Si et le CuAl₂. Il est à noter qu'il n'y a aucun composé ternaire pour cette famille d'alliages.

L'alliage eutectique (liquide) contient 26 % à 31 % poids de cuivre et 5 % à 6 % poids de silicium à 524 °C. [20]

I.13.6. Système ternaire Al-Cu-Mg (Si)

Même si les alliages d'aluminium-cuivre-magnésium représentent un système ternaire, ces alliages commerciaux contiennent habituellement suffisamment de silicium pour les considérer comme un système quaternaire. Néanmoins, les principales réactions de précipitation qui peuvent être utilisées afin d'obtenir un durcissement structural proviennent du système ternaire Al-Cu-Mg. La proportion appréciable de cuivre que l'on retrouve dans cette famille d'alliages explique le fait que les réactions de phases qui se produisent sont celles entre une solution solide d'aluminium et les phases intermétalliques CuAl et CuMgAl. Sur les liquides, on trouve deux points eutectiques ternaires. Un premier à 451 °C avec 2,7 % poids Cu, 32 % poids Mg et 65,3 % poids Al. Puis un deuxième à 507 °C avec 6 % poids Mg, 33,1

% poids Cu, $G1Al_2$, $CuMgAl_2$ et une solution solide d'aluminium qui contient 4,28 % poids Cu et 1,35 % poids Mg, se produit à une température de 510 °C. [20]

I.14. Le moulage

Le moulage ou fonderie est un ensemble de procédés qui permet de réaliser des pièces métalliques brutes. Le moulage proprement dit consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule.

- Les différents types de moulage :
 - Moulage en sable (manuel ou mécanique).
 - Moulage en carapaces.
 - Moulage à la cire perdue.
 - Moulage en coquilles (moule permanent).

Ces procédés de moulage conviennent plus particulièrement :

- Aux moyennes et grandes séries ; dans le cas de pièces simples, la rentabilité peut être obtenue à partir d'une série de 500 pièces et en général pour des quantités de 2000 pièces en moyenne.
- A la fabrication de pièces sollicitées exigeant un alliage à traitement thermique,
- Aux alliages à bas point de fusion (alliage d'aluminium par exemple).

I.14.1. Moulage en sable

Le moulage en sable consiste à couler le métal en fusion dans l'empreinte du moule en sable. Ce moulage est le procédé le plus ancien et convient presque pour tous les métaux et alliages de moulage. Il s'adapte bien aux petites séries de production et surtout pour les pièces de grandes dimensions.

Un moule simple est constitué de deux parties :

- La partie supérieure.
- Et la partie inférieure.

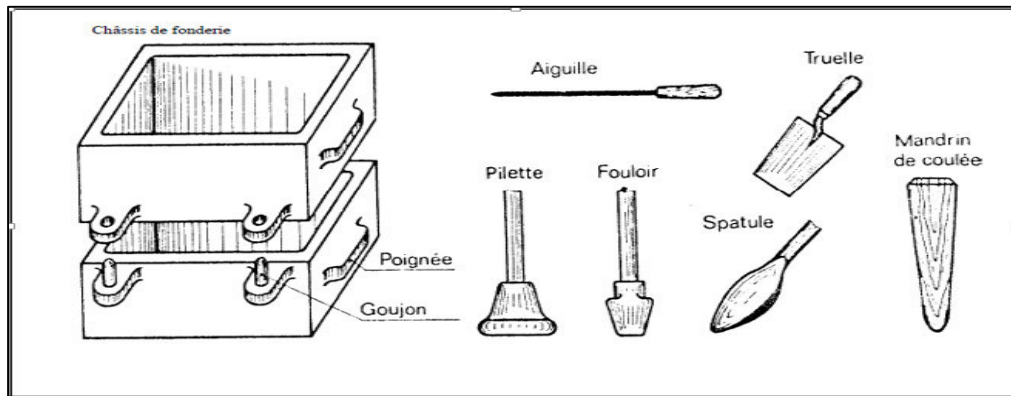


Figure I.13 : Moule en sable

Représente un moule en sable avec les différentes parties essentielles. Le métal en fusion est coulé à travers le trou du système de coulée, en traversant les canaux jusqu'à remplissage de l'empreinte. Après refroidissement et solidification, la pièce est sortie pour subir les différentes opérations de finition. [21]

I.14.2. Moulage en coquille

Le moulage en coquille est un procédé qui permet de couler par gravité le métal en fusion directement dans un moule métallique en fonte ou en acier appelé coquille.

Ce type de moulage est destiné pour la réalisation de pièces compliquées en métaux et alliages ferreux (fonte grise et acier) et alliages non ferreux à point de fusion relativement bas, bronzes (10 -13%Zinc), Al-Si possédant de bonnes propriétés de fonderie, Al-Si-Cu et Al-Cu (4 12%Cu).

Le moule est constitué de deux ou plusieurs parties appelées chapes, formant l'empreinte, de trou de coulée et les évents, les chapes sont solidement assemblées pendant la coulée du métal afin d'éviter leur séparation. [22]

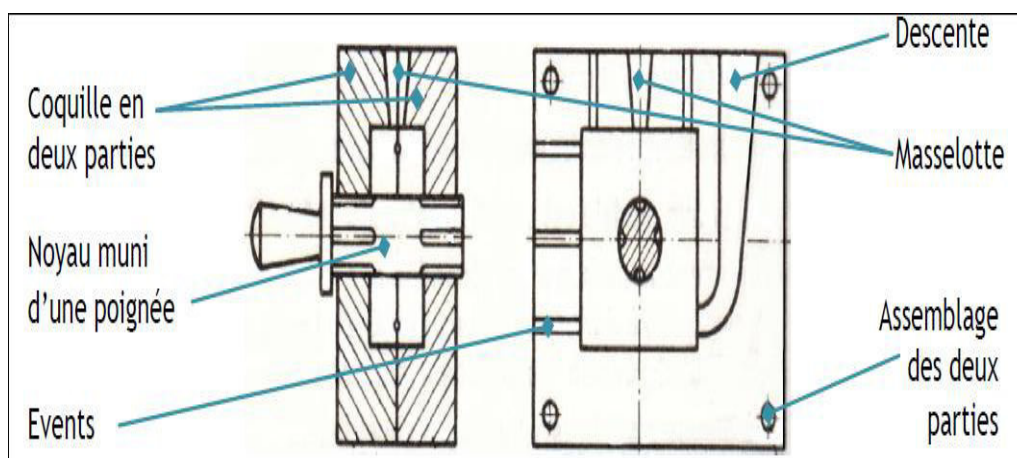


Figure I.14 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau.

Chapitre I : Aluminium et ses alliages

Le métal liquide remplit les cavités du moule sous l'effet de son propre poids (par gravité). Les masselottes, le trou de coulée doivent être situés dans le plan de joint avec des formes permettant le démoulage. Les joints ont généralement des surfaces finement striées ce qui permet l'évacuation des gaz lors de la coulée du métal. Dans certains cas les événements sont réalisés dans les noyaux. Les coquilles résistent de quelques centaines de coulées et pour élever la ténacité de leurs surfaces intérieures qui entrent en contact avec le métal en fusion sont protégées par un film d'enduit appelé poteyage. La nature de ce dernier permet ainsi d'agir sur l'intensité des échanges thermiques entre pièce et moule. L'enduit est porté sur la surface par pulvérisateur ou un pinceau.

Avant chaque moulage les coquilles sont chauffées jusqu'à une température de 200 à 350°C (Tout dépend de la température de coulée du métal), afin d'éviter le refroidissement trop rapide du métal, dans certains cas le chauffage doit être poursuivi pendant la coulée.

C'est lorsque le métal est suffisamment solidifié, qu'on procède au démoulage de la pièce

Donc les opérations à effectuer pour chaque coulée sont :

- a. Potinage du moule.
- b. Fermeture du moule et mise en place de la broche.
- c. Coulée du métal.
- d. Quand le métal est solidifié, extraction de la broche et ouverture du moule.
- e. Démoulage de la pièce.

Les avantages du moulage en coquille sont :

- Précision dimensionnelle.
- Bon état de surface.
- Réduction des surépaisseurs d'usinage.
- Rendement assez élevé.
- Réduction du rebut.
- Texture plus fine et caractéristiques mécaniques élevées. [21]



Figure I.15 : Moule en gravité.

I.14.2.1. Les matériaux mis en forme par moulage en coquille

L'aluminium et ses alliages sont les matériaux les plus employés par le moulage en coquille. Voici quelques exemples :

- Les alliages présentant une bonne aptitude au moulage obtenue par l'apport de silicium :
Al Si 13 - Al Si 10 Mg - Al Si 5 Cu
- Les alliages traités thermiquement à hautes caractéristiques mécaniques obtenues par l'apport de magnésium : Al Cu 5 Mg T1 - Al Si 7 Mg - Al Si 10 Mg
- Le zinc et ses alliages sont fréquemment moulés par ce procédé, à savoir :
 - Zamak - Zn Al4 Mg (principalement en fonderie sous pression)
 - Zn Al12
 - Zn Al Cu

Mais également le cuivre et ses alliages :

- Laiton - Cu Zn39 Pb2
- Bronze - Cu Sn7
- Cupro-aluminiums
- Cupro-nickels. [22]

I.15. la coulée

Avant la coulée, la température est vérifiée à l'aide d'une canne pyrométrique, la coulée est faite dans un intervalle de température compris entre 680 et 720°C à l'aide d'une poche de coulée ou d'une louche poteyée précédemment (selon nombre de pièces à couler)



Figure I.16 : (a) coulée de l'alliage d'aluminium en fusion, (b) sortie de la pièce.

Chapitre II :

Elaboration et caractirisation

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

Introduction

Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu le matériau d'étude, à savoir la nuance d'alliage d'aluminium **AS13** et en second, nous allons présenter la procédure de son élaboration par le procédé de moulage par gravité (moulage en coquille) nous présenterons les caractéristiques mécaniques appropriés.

Par la suite, nous exposerons le processus d'addition du cuivre dans le métal en fusion pour définir son influence sur les propriétés mécaniques de notre alliage. Toutes les techniques de caractérisation chimique et mécanique de nos échantillons sont aussi présentées en détail.

Pour mener à bien ce travail, les parties de cette étude sont réalisées au niveau des différents laboratoires de l'entreprise SNVI de Rouiba d'Alger et laboratoire mécanique de l'unité de recherche de l'UMBB.

Cette expérience a été réalisée dans le cadre de l'étude, les échantillons sont spécialement élaborés pour cela tout en restant dans un contexte industriel.

II.1. matériaux d'étude

Pour notre étude, nous avons utilisé le **AS13** (l'alliage d'aluminium à 13% de silicium) et le cuivre fournis par l'entreprise SNVI. La composition chimique de **AS13** d'après la norme Afnor **NF A 57-702**.

Tableau II.1 : la composition chimique de l'alliage **AS13**.

Elément chimiques	Al	Fe	Si	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Co
% selon NFA57-702	≤ 86,5	≤ 0,7	11+ 13,5	≤ 0,1	≤ 0,15	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,15	≤ 0,2

II.2. Préparation des charges d'élaboration

Au niveau de la fonderie de Rouïba, la charge pour la coulée nécessaire à la préparation du matériau (nuances de base) utilisés pour l'élaboration des pièces est soigneusement calculée. Pour ce type on utilise un mixage constitué de lingots d'aluminium neufs et de lingots d'aluminium de retour.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure II.1 : lingots neufs



Figure II.2 : lingots retour

Exemple :

pour faire une coulée d'alliage AS13 il faut : 50% de lingots neufs et 50% de lingots de retour. Par la suite, on ajoute du cuivre pur (98%) sous forme de granulés ,pour obtenir des alliages à 2%, 3,5% et 6% de Cuivre. Les tableaux II.2 II.3 montrent les quantités de AS13 et du Cuivre ajoutée.

Dans M_{total} de l'alliage AS13 en obtiene les masse suivantes :

Tableau II.2 :Quantité de l'alliage AS13

AS13	Lingot neuf	Lingot retour
Poids Kg	0,75 kg	0,75 kg

En utilise la ragel de trois en obtiene les masse des pourcentage du cuivre successives suivantes :

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

Tableau II.3 : Quantité de Cu ajouté dans l'alliage AS13

% Cu	2%	3.5%	6%
Poids (kg)	0,0285	0,045	0,092

II.3. Elaboration de l'alliage d'étude

II.3.1. la Fusion

La fusion se fait à l'aide d'une louche de coulé chauffée par le billet des brûleurs à gaz et de l'air comprimé (industriel), la température ne devant pas dépasser les 1000°C, le pied de bain de la louche est constitué d'une petite charge de lingot de retour est protégé par une plaque métallique pour éviter l'oxydation du métal en contactant l'air ambiant, après certain temps (environ 30 min), on ajoute au fur et à mesure le reste de lingot neuf. après la fusion du mélange environ 60 min, on ajoute le cuivre.



Figure II.3 : Fusion de l'alliage AS13.

II.3.2. Dégazage

La masse liquide subit un traitement de dégazage dans la louche en utilisant un dégazeur portant un numéro défini (N°701) qui se présente sous forme des pastilles et réagissant à une température de 700°C. La dose d'emploi est de 0,30% de la charge totale. Le

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

- Equipement de préparation d'échantillons pertinent pour le (s) type (s) de métal.



Figure.II.8 : Machine de l'analyse chimique.

II.7. Analyse métallographique et préparation des échantillons

Dans cette partie, nous présentons une description des méthodes utilisées pour la préparation et l'observation microscopique des échantillons.

II.7.1. Préparation des échantillons

II.7.1.1 polissage mécanique des échantillons

le polissage consiste à rendre la surface à analyser plane, brillante et dénuée de toute rayure susceptible de gêner l'examen micrographique, pour cela, on a utilisé une polisseuse à disques alimenté sous une tension 220 V avec une fréquence de 50Hz. La polisseuse est munie d'un dispositif d'arrosage permanent pour éviter les échauffements qui pourraient modifier la structure du métal. Les disques ont une vitesse de rotation de 250tr/mm, Par ailleurs, le polissage comprend deux étapes :

- **Le prépolissage**

Les échantillons doivent passer sur des papiers abrasifs de plus en plus fins, de granulométrie : 240,600 et 1200.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

dégazage doit être assuré sous vide. Il est à noter qu'on procède à l'opération de dégazage afin d'éviter la formation de porosités. On procède ensuite, au contrôle de l'efficacité de cette opération de dégazage à l'aide d'un microscope.

II.3.3. Affinage du grain

L'opération d'affinage du grain est indispensable pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques et se fait à l'aide d'une louche à une température de 750°C, en utilisant un produit appelé COVERAL 32D, à base de titane et qui se présente sous forme d'une pastille verte. Cette opération a pour but de :

- modifier la texture et l'orientation des cristaux de silicium.
- affiner la structure.



Figure II.4 : Les pastilles de Dégazage et L'affinages.

II.4. Moulage

Au niveau de la SNVI, il existe deux types de moulage : le moulage en sable et le moulage en coquille, dans notre travail nous avons utilisé le moulage en coquille.

II.4.1. Moulage en coquille

Dans ce mode de moulage, le moule est métallique : il se compose de deux chapes séparées par un plan de joint. On chauffe ces deux chapes à une température 250°C, pour éviter le choc thermique et faciliter le remplissage de l'empreinte. Pour faciliter l'opération de démoulage et éviter que l'alliage liquide ne colle aux parois des moules après sa solidification, on procède à une opération de poteyage, en les couvrant d'une couche de

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

poudre appelée AQUAGEL 87. On remplit enfin les moules avec du métal en fusion pour obtenir l'éprouvette.



Figure II.5 : moule Métallique.



Figure II.6 : AQUAGEL 87.

II.5. La Coulée

Après vérification de la température à l'aide d'une canne pyrométrique, à 720°C on procède à la coulée des éprouvettes pour les essais mécaniques et des médailles pour l'analyse chimique et la dureté.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure II.7 : La Coulée de l'alliage sa forme résultante.

Tableau II.4 : nombre d'éprouvettes réalisées

Essai Type d'alliage	Traction	Résilience	Dureté
AS13	5	5	1
AS13+2%Cu	5	5	1
AS13+3,5%Cu	5	5	1
AS13+6%Cu	5	5	1

II.6. Analyse de la composition chimique

L'analyse chimique est accomplie par un spectromètre de masse de type PolySpekNeo sur les pastilles prélevées à la coulée de l'alliage aux laboratoires de SNVI. Les conditions suivantes sont exigées :

- Pureté d'argon de 99,999% avec le purificateur de gaz d'argon qui peut être employé selon l'application.
- Système de purge d'azote en option pour l'optique UV.
- Echantillonnage en prenant compte de type de métal.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure II.9 : Le prépolissage.

• Le polissage de finition

Les échantillons passent sur un tapis de tissu mouillé à l'aide d'un feutre imbibé d'un mélange de poudre d'alumine très fine et d'eau distillée.



Figure II.10 : polissage de finition.

II.7.2. Attaque chimique

L'observation de l'échantillon au microscope, nécessite une attaque chimique, après le polissage, pour révéler certains détails de la microstructure. Nous avons utilisé pour cela faire, un réactif dont la composition est la suivante :

- ✓ 95.5ml H₂O
- ✓ 2.5 ml HNO₃
- ✓ 1.5ml HCL
- ✓ 0.5ml HF



Figure II.11: Produit pour l'attaque chimique.

II.7.3. Observation microscopique

Pour l'observation microscopique, nous avons utilisé un microscope optique de marque OPTIKA XDS-3 MET muni de 3 objectifs X50, X100, X200, et équipé d'un appareil photo numérique. Cette technique nous a permis l'observation des phases ainsi que leurs morphologies respectives.



Figure II.12 : Microscope optique.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

II.8. Analyses thermiques

- Calorimétrie différentielle à balayage (DSC)
- Analyse thermogravimétrique (ATG)

Pour étudier le comportement des matériaux lorsqu'on les chauffe ou on les refroidit, on a utilisé l'analyse calorimétrique différentielle.

Les mesures de calorimétrie ont été effectuées sur un appareil de type DSCSTA 409 PC LUXX(simultaneous thermal analysis)

- ✓ Porte –échantillons TG-DSC et TG-DTA fonctionnement réel.
- ✓ Ecart de température : -120°C a 1650°C.
- ✓ Taux de chauffage et de refroidissement 0.1k/min.

L'analyse est effectuée sur 4 type d'échantillonalliage d'aluminium AS13 et a diffirent purcentage de cuivre 2%,3,5% et 6%. La figure représente l'appareil STA 406 constitué de deux cellules identiques (échantillon et référence),qui permet de mesurer le flux de chaleur et la variation de la masse d'un échantillon.

Le cycle thermique appliqué consiste en un chauffage de l'ambiance à 800 °C a une vitesses de chauffage d'environ 5 °C/min.

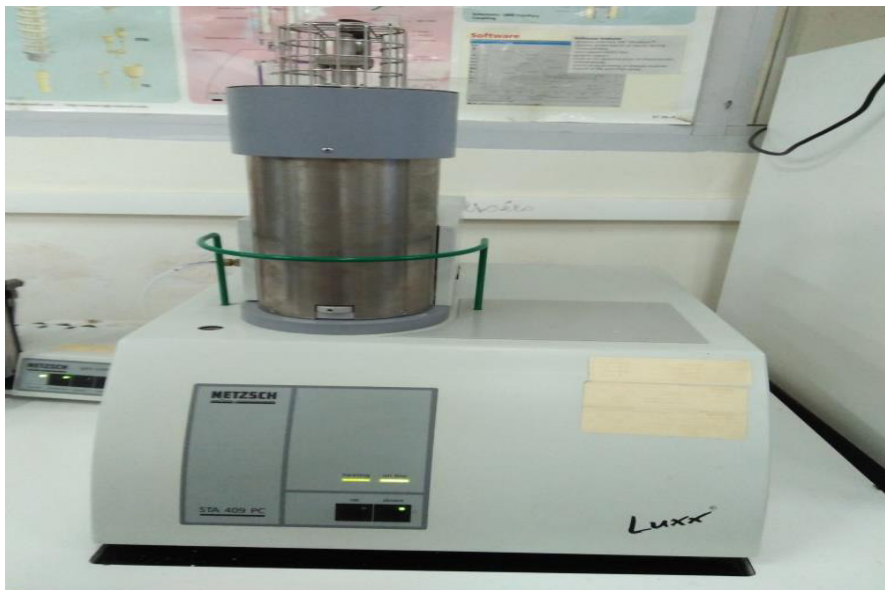


Figure II.13 : Appareil DSC.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

II.9. Les essais mécaniques

Dans l'industrie, l'ingénieur mécanicien a besoin de connaître les valeurs des propriétés mécaniques, qui seront utilisables dans les calculs de résistance des matériaux et leur comportement en service, pour dimensionner les structures de façon à éviter divers modes de destruction.

Afin de caractériser le comportement mécanique d'un matériau, soumis à des forces extérieures qui engendrent des contraintes et des déformations, on a recours à un certain nombre d'essais normalisés. Ces derniers permettent de déterminer des valeurs que les ingénieurs utilisent ensuite dans leurs calculs.

II.9.1. Essais de traction

L'essai de traction montre que pour de faibles déformations, on note d'abord un comportement élastique réversible au cours duquel la contrainte σ_e et la déformation ϵ_e sont proportionnelles ; cela définit le module d'élasticité ou module de Young.

$$E = \sigma_e / \epsilon_e$$

Ce comportement élastique est limité à une contrainte σ_e appelée limite d'élasticité.

II.9.1.1. Forme et dimensions de l'éprouvette

Pour obtenir des résultats corrects, il faut que l'éprouvette usinée soit saine, de structure micro et macrographique identique à celle du métal de base. Pour cela il faut que la passe de finition soit de faible épaisseur (avance et profondeur de passe).

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes de formes et de dimensions normalisées dont la section droite peut être circulaire, carrée, rectangulaire... Elles comportent :

- Une partie calibrée de longueur L_c , et généralement deux têtes d'amarrages.
- Des repères définissent la longueur initiale L_0 .

Le tableau suivant nous donne un exemple de dimension normalisée.

Tableau II.5: Extrait de la norme AFNOR

Matière	Forme	Norme	Dimensions
Aluminium	D'où $b \geq 0.04 \text{ mm}$	AF A03 – 251	$L_0 + d/2 < L_c < L_0 + 2d$

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

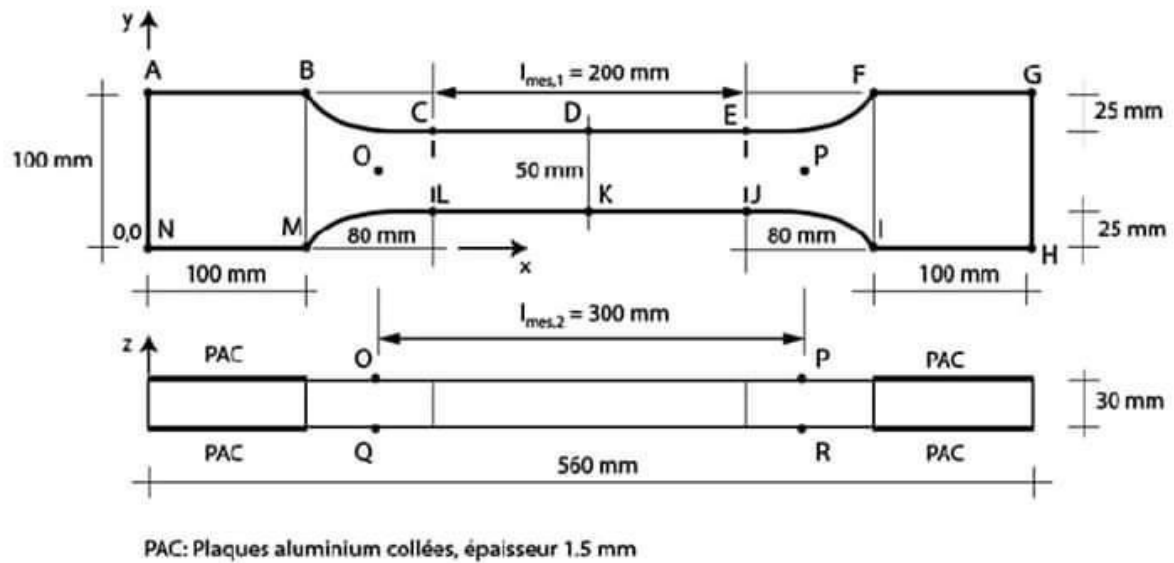


Figure II.14 : Forme générale de l'éprouvette de traction.

II.9.1.2. Conditions de l'essai

Les caractéristiques mécaniques dépendent de la température et de la vitesse de déformation 1mm/min.

La norme prévoit des vitesses classiques en fonction du type de matériau. Par exemple :

Aluminium : $\dot{\epsilon} \leq 0.15 L_0$ (mm/mn)

L'essai de traction est généralement réalisé à la température ambiante avec une faible vitesse de déformation (essai quasi statique).



Figure II.15 : machine de traction.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure-II.16 : Eprouvettes avant essai.



FigureII.17 : Eprouvettes après essai.

II.9.2. Essais de dureté

La dureté d'un métal est la résistance qui s'oppose à la pénétration d'un autre métal plus dur que lui. Elle caractérise la résistance à la déformation et les valeurs obtenues permettent certains classements. Plusieurs types d'essai de dureté sont couramment utilisés, leur principe est le même, ils ne diffèrent que par la forme du pénétrateur et la valeur de charge appliquée.

II.9.2.1. Principe de l'essai de pénétration

Un pénétrateur suffisamment dur pour ne pas être déformé par le matériau à essayer, est de forme variable qui s'enfoncé dans le métal par l'action d'une force constante appliquée dans des conditions bien définies, et on mesure soit les dimensions transversales, soit la profondeur de l'empreinte. Les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell.

II.9.2.2. Essai Brinell (HB)

Le pénétrateur est une bille polie en acier trempé ou en carbure de tungstène. L'essai consiste à imprimer la bille de diamètre D sur le métal sous une charge F .

Après suppression de la charge, elle laisse dans le métal une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d .

La dureté s'exprime par le rapport de la charge F à la surface de la calotte sphérique imprimée dans le métal :

$$HB = 0.102 \frac{2F}{\pi.D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Chapitre II : Elaboration et caractérisation

Avec :

- **F** (Kgf) charge.
- **D** (mm) diamètre de la bille.
- **d** (mm) diamètre de l'empreinte.

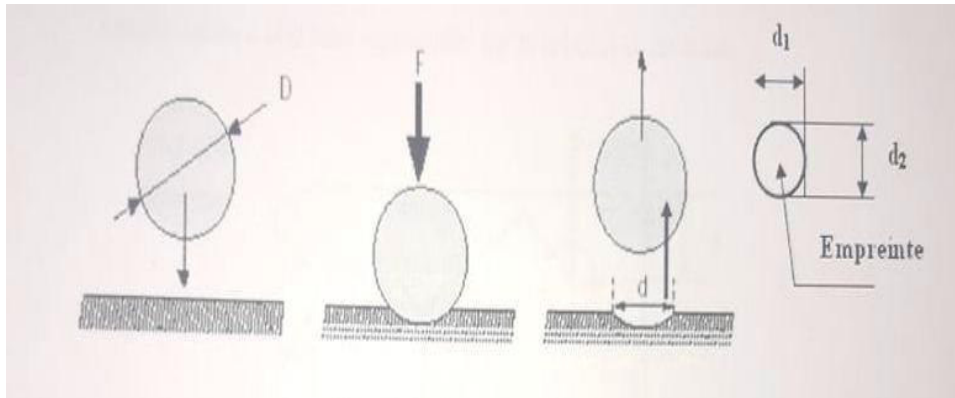


Figure II.18 : essai de dureté Brinell

II.9.2.2.1. Conditions d'essais

L'exécution de l'essai Brinell demande une surface plane, usinée ou moulée pour éviter toute altération. (Oxydation....).

La charge est appliquée progressivement, sans chocs ni vibration, et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 seconds, on décharge et on mesure le diamètre de l'empreinte l'essai est conduit à température ambiante.

On vérifie que l'empreinte est parfaitement circulaire en mesurant deux diamètres rectangulaires.

Une déformation de la bille peut se produire à la longue soit par changement de forme, soit par usure, et ceci d'autant plus que les métaux à essayés sont plus durs. Il est donc prudent de vérifier périodiquement l'état des billes.

Epaisseur de la pièce ≥ 8 fois hauteur d'empreinte (aciers).

Epaisseur de la pièce ≥ 10 fois hauteur d'empreinte (Al, Cu et alliages).

La distance du centre de l'empreinte au bord de la pièce ne doit pas être inférieure à 2.5 d et la distance entre les centres de deux empreintes voisines doit dépasser quatre fois leur diamètre.



Figure II.19 : Machine de dureté Brinell.

II.9.3. Essais de résilience

II.9.3.1. L'usinage des éprouvettes pour la résilience

Les éprouvettes coulées en sable sont usinées sur une fraiseuse verticale pour obtenir leurs formes et leurs dimensions.

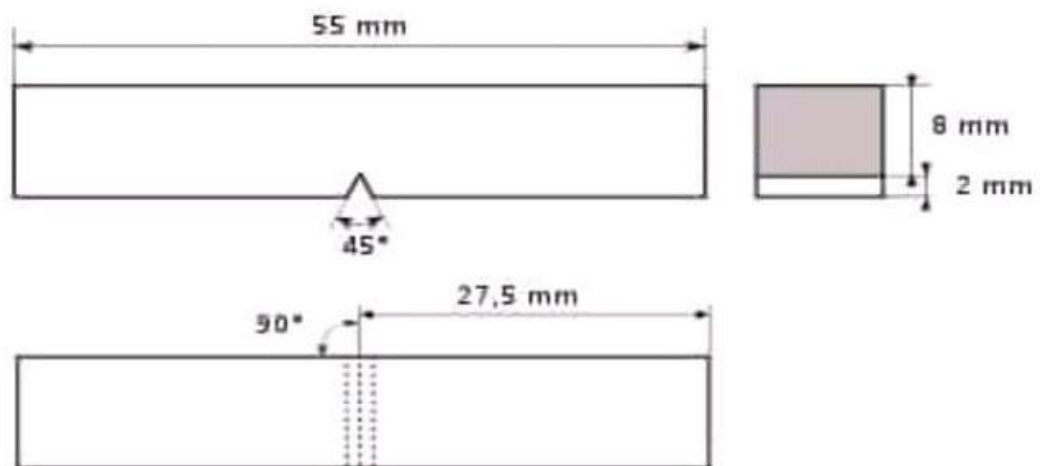


Figure II.20 : Dessin de l'éprouvette de résilience.

II.9.3.1.1. Fraisage

Après avoir découpé les lingots en éprouvettes on les passe au fraisage afin d'atteindre les dimensions normalisées.

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure II.21: La Fraiseuse.



Figure II. 22 : Eprouvettes avant éssai de résilience.

II.9.3.2. Principe de l'essai

Cet essai est destiné à mesurer l'énergie nécessaire pour rompre en une seule fois une éprouvette préalablement entaillée. On utilise le mouton pendule muni à son extrémité d'une masse permettant de développer une énergie donnée au moment du choc.

$$K = m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h'$$

m: masse du mouton pendule

g : accélération de la pesanteur (environ 9.81 m.s-2)

h : hauteur du mouton pendule à sa position de départ

h' : hauteur du mouton pendule à sa position d'arrivée

K : la résilience

Il est à noter que l'éprouvette utilisée pour cet essai est normalisée selon les dimensions suivantes :

a=8mm.

b=d=10 mm

$\alpha = 45^\circ$ (entaille se forme v, profondeur de 2mm)

Chapitre II : Elaboration et caractérisation



Figure II.23: Machine de résilience.



Figure II.24 : Eprouvette après l'essai de résilience

Chapitre III :

Résultats et discussion

Introduction

Ce chapitre comportera les résultats de comparaison sur les propriétés mécaniques et microstructurales de l'alliage **AS13** avant et après l'ajout de différents pourcentages de cuivre dans l'alliage. L'analyse microstructurale permettra de reconnaître l'effet du cuivre sur les transformations de phases et les phénomènes de précipitation enregistrés de manière globale.

Les résultats expérimentaux rapportés dans ce chapitre, sont obtenues par différents moyens d'investigation tels que le microscope optique, le duromètre, la machine de traction et la machine de résilience.

III.1. Analyse de la composition chimique des nuances élaborées

Après l'élaboration des nuances de base nécessaire à l'étude et pour la conformité de la composition de nos alliages élaborés, des analyses sont procédés à partir des prélèvements de chaque nuance. Cette analyse va nous permettre en premier lieu de connaître si ces nuances élaborées sont en conformité avec la norme dans le cahier de charge visé pour l'étude.

En second, l'augmentation ou la diminution dans composition chimique de l'un des éléments de la charge occasionne la perte au feu lors de l'étape d'élaboration. Le (Tableau. III.1) représente la composition chimique de nuance élaborée de AS13 et le (Tableau. III.2) représente la composition chimique de nuance élaborée del'AS13 après l'ajout de 2% de cuivre, (Tableau.III.3) représente l'ajout de 3,5% de cuivre et le (Tableau III.4) représente l'ajout de 6% de cuivre.

Tableau III.1 : la composition chimique en % de l'alliage AS13.

Eléments chimiques	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
pourcentage	86,51	12,27	0,504	0,053	0,336	0,025	0,043	0,011	0,031

Tableau III.2 : la composition chimique de l'AS13+2% de cuivre.

Eléments chimiques	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
pourcentage	83,31	11,95	1,25	2,26	0,373	0,039	0,048	0,115	0,239

Tableau III.3 : la composition chimique de l'AS13 +3,5% de cuivre

Eléments chimiques	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Pourcentage	78,46	12,33	4,77	3,51	0,334	0,017	0,020	0,123	0,222

Tableau III.4 : la composition chimique de l'AS13 + 6% de cuivre.

Eléments chimiques	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Pourcentage	75,11	11,83	6,20	5,93	0,321	0,026	0,005	0,098	0,223

D'après les tableaux ci-dessus, l'analyse de la composition chimique montre que les trois nuances ont été élaborées avec succès. Il s'agit bien des alliages de fonderie de la famille 4000. En effet, ces quatre alliages présentent une perte au feu de l'Aluminium (Al) avec une augmentation remarquable en Fer (Fe), en formant un eutectique avec les autres éléments dont les propriétés mécaniques sont réduites.

III.2. Caractérisation microstructurales de l'AS13

III.2.1. Observation métallographique

La microstructure de l'alliage AS13 sans et avec l'ajout de différents pourcentages de cuivre : 2%, 3,5%, 6% ont été obtenues à l'aide d'un microscope optique, après polissage et attaque chimique des échantillons.

La figure (a) montre la microstructure de l'alliage AS13 sans aucune addition de cuivre, les figures (b) (c) et (d) représentent les microstructures auxquelles on a ajouté respectivement 2%, 3,5% et 6 % du cuivre.

Il est à noter que ces microstructures d'eutectique sont élaborées selon le procédé décrit antérieurement.

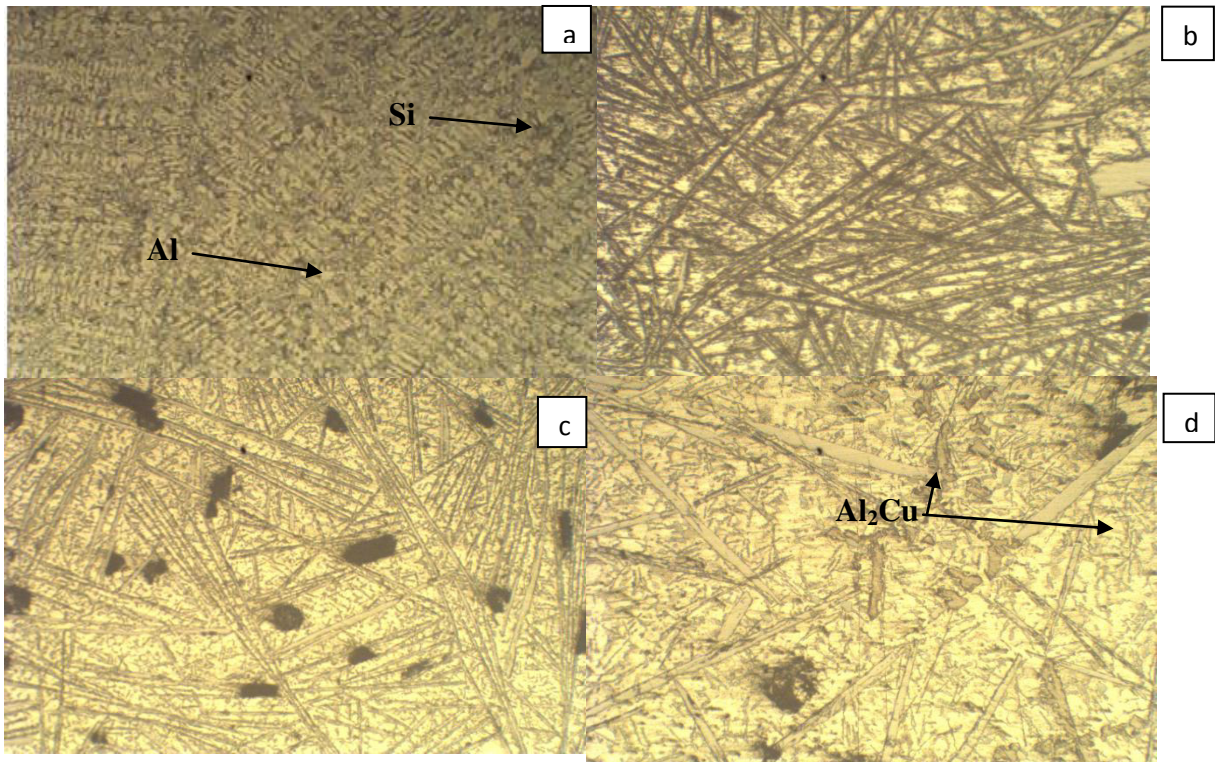


Figure III.1 : Microstructure de a) AS13, b) AS13 + 2% Cu, c) AS13 + 3,5% Cu, d) AS13 + 6% Cu (X100).

La figure (a) montrée une micrographie de l'alliage AlSi13. Elle est caractérisée par une microstructure d'eutectique fine, nous arrivons à distinguer deux phases de part de leur intensité de couleur ; une phase dendritique primaire claire α - riche en Aluminium, et une phase inter-dendritique eutectique sombre β - dispersées dans la matrice de l'Aluminium correspond aux cristaux de Silicium primaire, et un composé eutectique (a + eutectique Si).[23, 24]

Les figures (b), (c) et (d) présentent les microstructures des alliages AlSi13 Cu2, AlSi13 Cu3.5 et AlSi13 Cu6 respectivement. Elles sont caractérisées par la phase α -Al ayant une structure dendritique, la phase β sous forme d'aiguilles correspond aux particules du silicium et les précipités Al_2Cu sous forme de plaquettes [25,26].

La quantité des intermétalliques Al_2Cu augmente au fur et à mesure que la teneur en Cu augmente.

Chapitre III : Résultats et discussion

Des composés intermétalliques peuvent être présents à cause de la teneur importante du Fer qui s'accroît après l'ajout du cuivre dans les trois nuances. Parmi les composés intermétalliques riches en fer, les plus importants sont : α -AlFeMnSi et β -AlFeS.

La quantité, la forme et les dimensions de ces composés riches en fer dépendent des conditions de refroidissement et de la composition chimique, plus particulièrement du taux de fer et du silicium dans la coulée. [27]

III.2.2. Analyse à la DSC

La mesure par D.S.C. (Differential Scanning Calorimetry) est une technique que nous employons pour étudier le comportement des métaux et alliages lorsqu'ils sont chauffés. Nous l'utiliserons pour étudier ce que nous appelons les transitions thermiques.

L'analyse calorimétrique différentielle à balayage (DSC) a permis de suivre l'évolution de la microstructure de l'alliage AS13 sans et avec l'ajoute de différents pourcentages de cuivre : 2%, 3,5% et 6% .

Les figures III.10 et III.11, III.12 et III-13 montrent les courbes de DSC et ATG des échantillons d'alliage AS13 sans et avec l'ajoute de cuivre, obtenus par une vitesse de chauffage de 10°C /min et à 800°C.

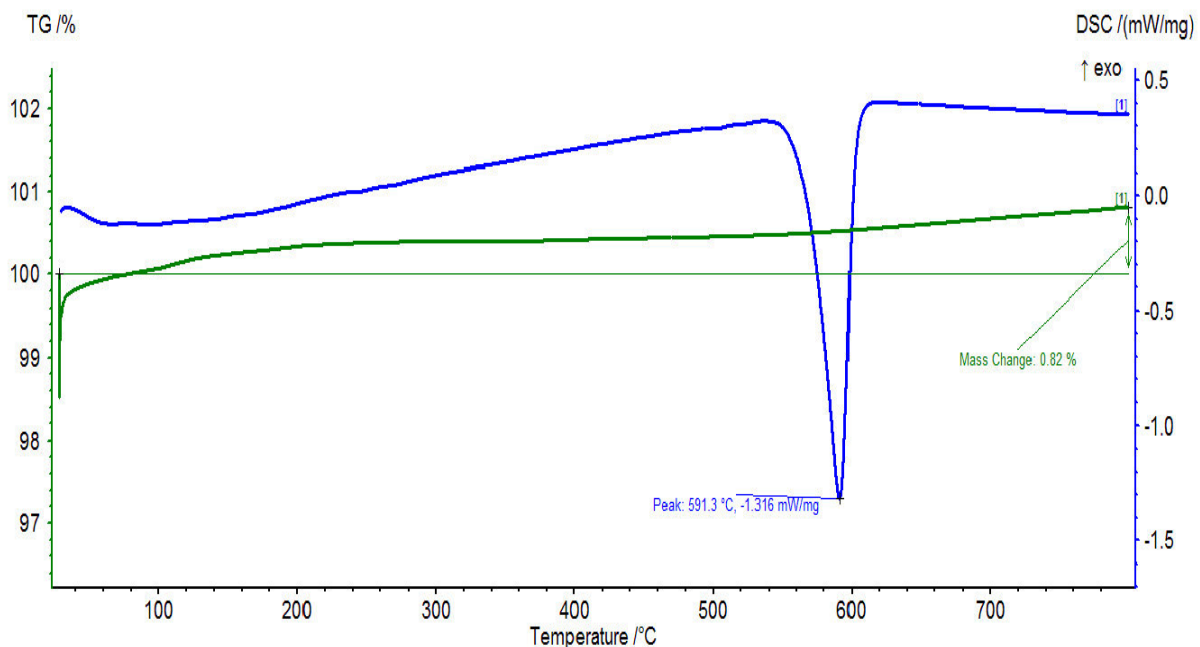


Figure III.2: Courbes DSC et ATG de l'alliage AS13

Chapitre III : Résultats et discussion

Concerant l'analyse thermique de l'alliage AS13 on remarque qu'il y a un seul pic qui représente une réaction endothermique qui signifie une réaction entre les constituants de l'alliage.

Le phénomènes endothermique indique la température de fusion de l'alliage AS13

$T_{\text{fusion}} = 591,3^{\circ}\text{C}$.

Suivant l'analyse de l'ATG pour l'AS13, une perte de masse de 0,82%.

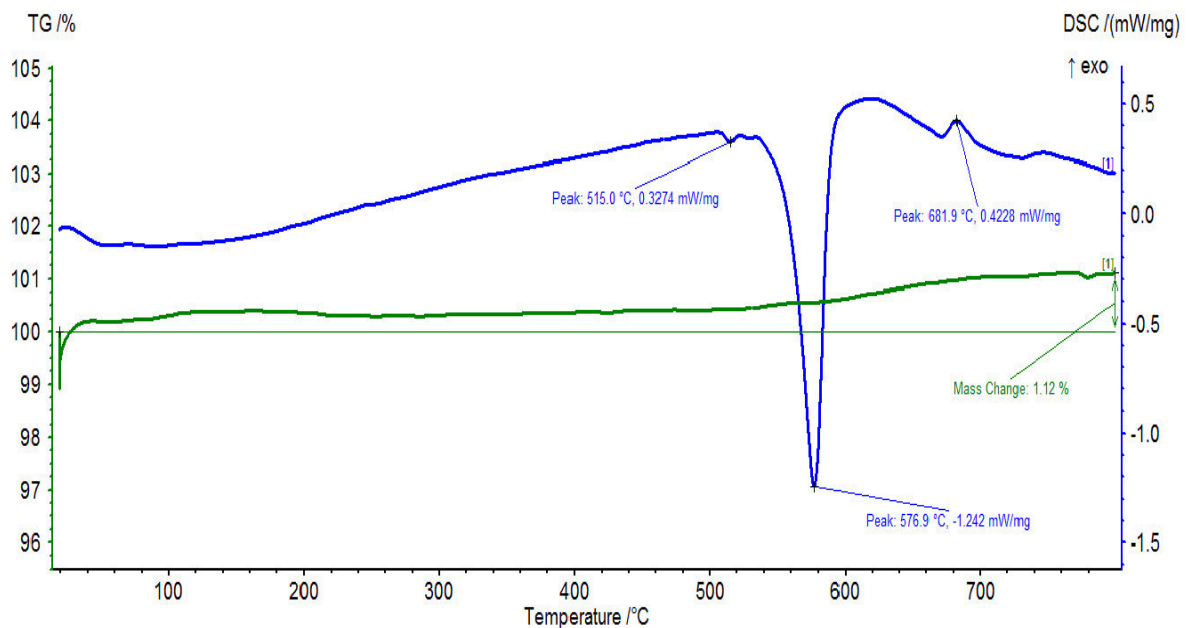


Figure III.3 : Courbes DSC et ATG de l'alliage AS13+2% de Cu.

Concernant l'analyse thermique en remarque qu'en ajoutant 2% de cuivre dans l'alliage AS13, il y a deux pics endothermiques ; le premier pic correspond à la température de fusion de 576,9°C et le deuxième à la température 515°C qui peut correspondre à la dissolution des précipités Al_2Cu . et un pic exothermique à 681,9°C. Suivant l'analyse de l'ATG pour l'AS13 +2% Cu, on a une perte de masse de 1,12%.

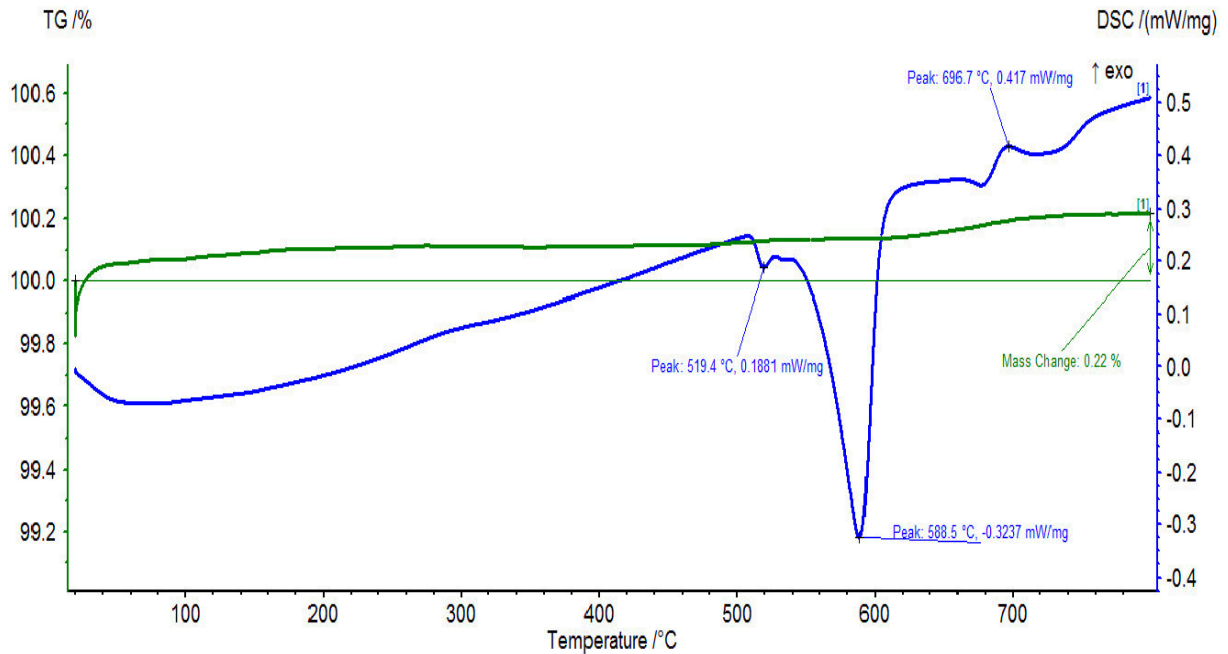


Figure III.4 : Courbes DSC et ATG del'alliage AS13+3,5% de Cu.

Pour l'ajoute de 3,5% de cuivre dans l'alliage AS13, concernant l'analyse thermique en remarque qu'il ya 2 pic endothermiques, l'un à la température de fusion de 519,4°C et l'autre à 588,5°C et un troisième pic exothermique à 696,7°C .

Suivant l'analyse de l'ATG pour l'AS13 +3,5% Cu, on a une perte de masse de 0,22%.

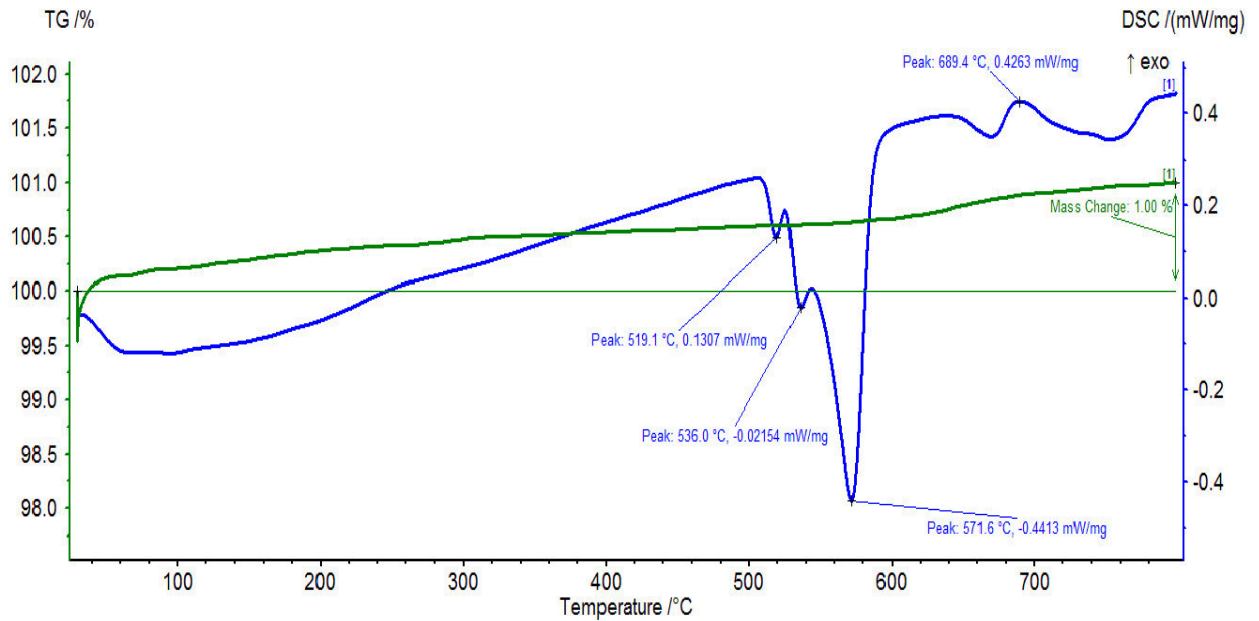
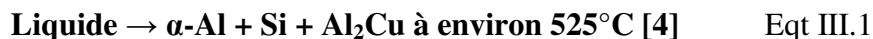


Figure III.5 : Courbes DSC et ATG de l'alliage AS13+6% de Cu.

Concernant l'analyse thermique de l'alliage AS13 à 6% du Cuivre, on remarque trois pics endothermiques aux températures 519,1°C, 536°C et à 571,6°C et un pic exothermique à 689,4°C.

Suivant l'analyse de l'ATG pour l'AS13 +6% Cu, on a une perte de masse de 1%. D'après les quatre courbes thermiques on peut en conclure que :

- La température de fusion varie en fonction de la teneur en cuivre ;
- Le pic endothermique à la température 519°C correspond probablement à la dissolution du précipité Al_2Cu . Il est à noter que le Cu provoque une réaction ternaire suivante :



III.3. Essais mécaniques

III.3.1. Essais de traction

Les résultats des essais de traction des alliages AS13 sans et avec ajout 2%, 3,5%, et 6% de cuivre sont présentés respectivement dans les tableaux et les graphes ci-dessous :

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.5 : résultats d'essais de traction de l'AS13

Série n° 3	1	2	3	Moyenne
σ_{\max} MPa	223,23	199,52	233,27	203,35
σ_{rupt} MPa	223,16	199,52	233,27	203,28
ϵ_{\max}	5,21	4,37	3,81	4,19
ϵ_{rupt}	5,22	4,37	3,81	4,20

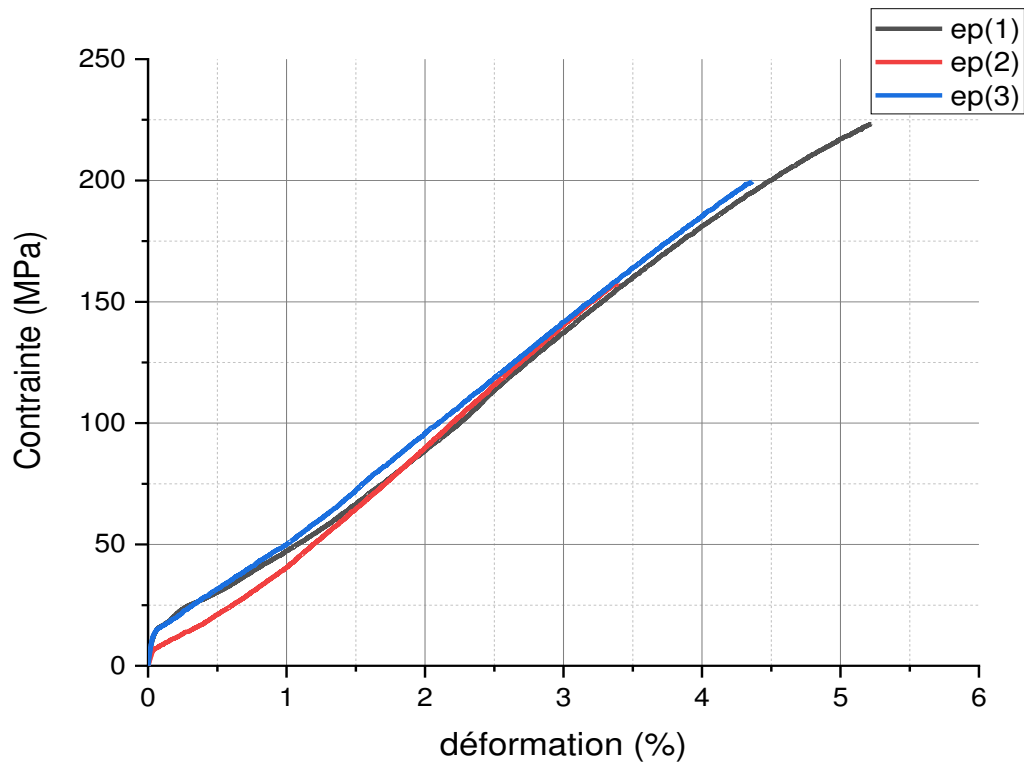


Figure III.6 : La courbe de traction de l'AS13.

- calcul du module d'Young :

$$E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_e}$$

$$E = \frac{25}{0.5}$$

$$E = 50 \text{ GPa}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.6 : résultats des essais de traction de l'AS13 +2% de cuivre :

Série n° 3	1	2	3	moyenne
σ_{\max} MPa	140,83	98,70	145,53	114,30
σ_{rupt} MPa	140,83	98,70	145,53	114,24
ϵ_{\max}	3,02	2,27	2,17	2,33
ϵ_{rupt}	3,02	2,27	2,17	2,33

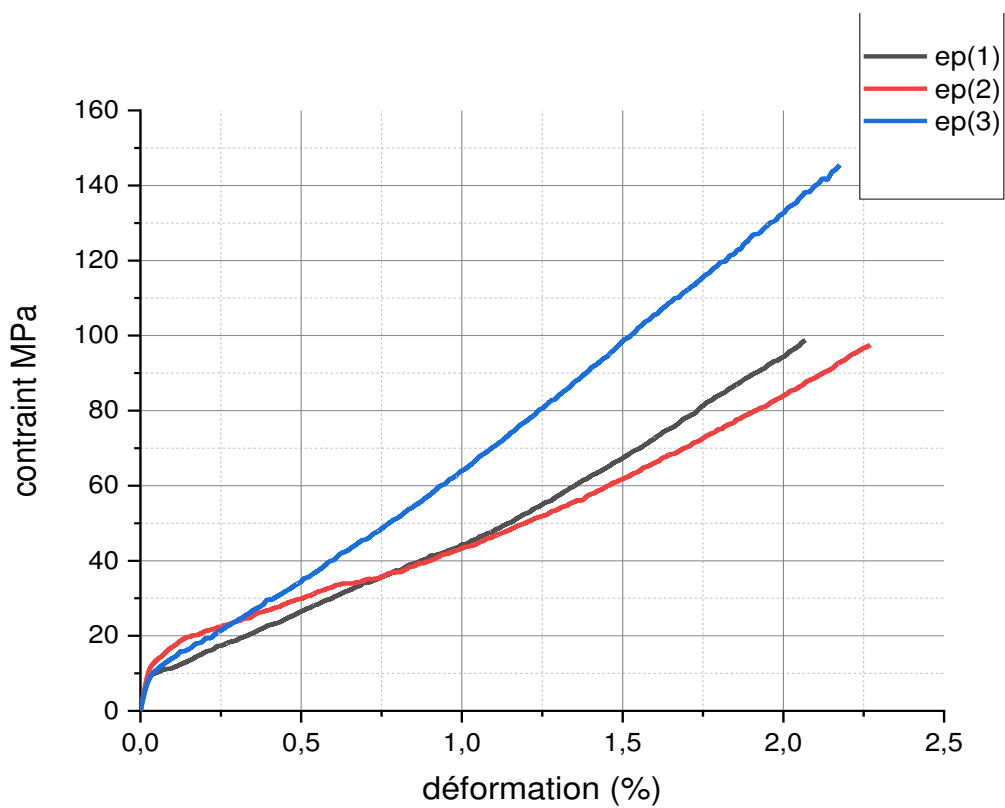


Figure III.7 : La courbe de traction de l'AS13+2% Cu.

- calcul du module d'Young :

$$E = \frac{6e}{\epsilon e}$$

$$E = \frac{31}{0.55}$$

$$E = 56.36 \text{ GPa}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.7 : résultats des essais de traction de l'AS13+3,5% de cuivre :

Série n° 3	1	2	3	moyenne
σ_{\max} MPa	80,74	84,82	96,50	80,41
σ_{rupt} MPa	80,74	84,82	96,50	80,41
ϵ_{\max}	2,33	1,83	2,36	1,93
ϵ_{rupt}	2,33	1,83	2,36	1,93

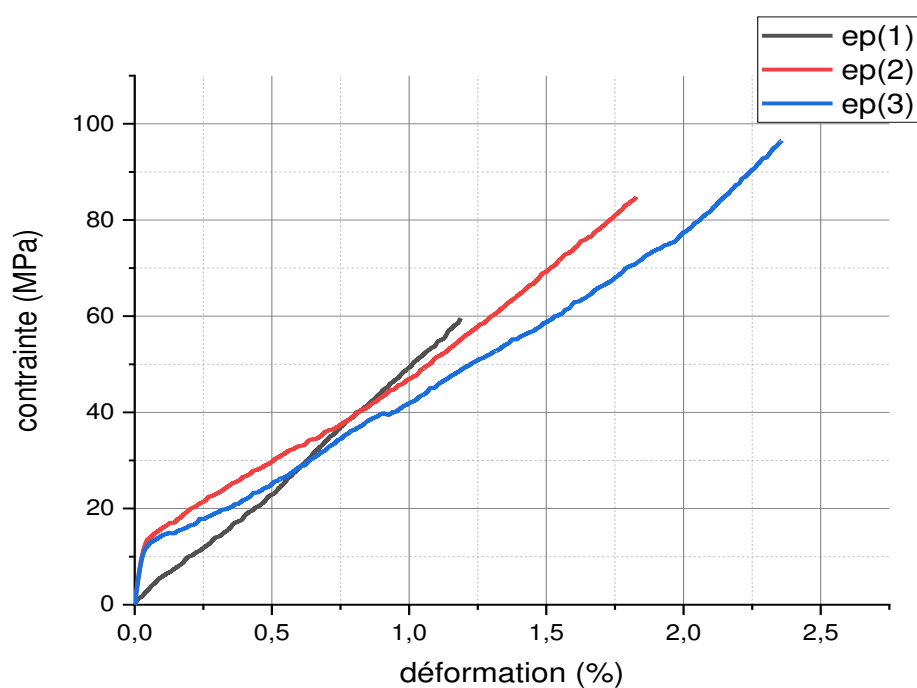


Figure III.8 : La courbe de traction de l'AS13+3.5% de Cu.

- calcul du module d'Young :

$$E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_e}$$

$$E = \frac{25}{0,5}$$

$$E = 50\text{GPa}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.8 : résultats d'essais de traction de l'AS13+6% de cuivre :

Série n° 3	1	2	3	moyenne
σ_{\max} MPa	73,92	76,08	77,,39	75,79
σ_{rupt} MPa	73,92	76,08	77,39	75,79
ϵ_{\max}	1,75	2,61	1,52	1,67
ϵ_{rupt}	1,75	2,61	1,52	1,67

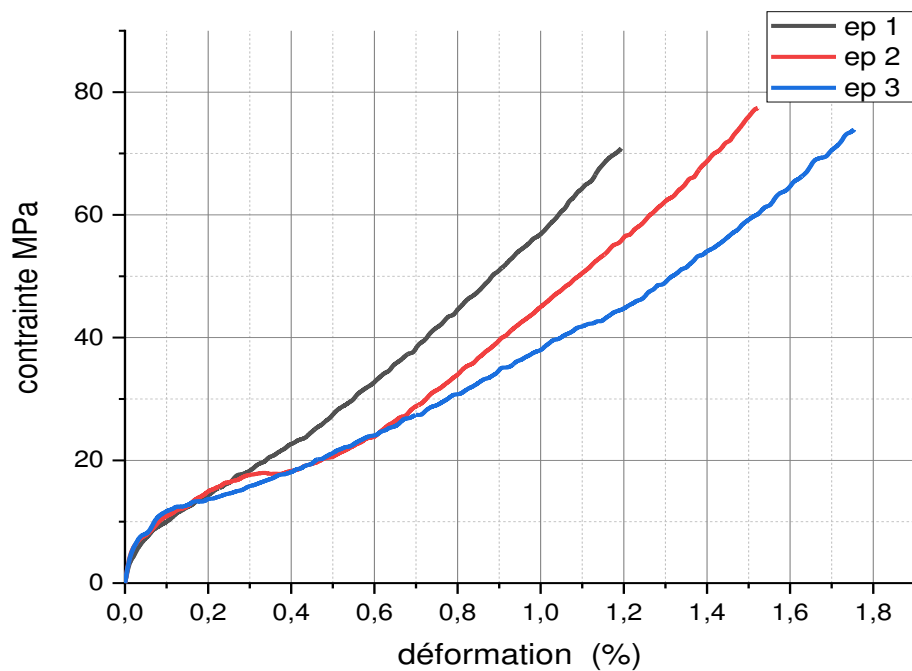


Figure III.9 : La courbe de traction de l'AS13+6% de Cu.

- calcul du module d'Young :

$$E = \frac{\sigma_{\max}}{\epsilon_{\max}}$$

$$E = \frac{18}{0,3}$$

$$E = 60 \text{ GPa}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

L'éprouvette est mise en place, la charge est appliquée progressivement et deux domaines sont mis en évidence par le diagramme, un domaine élastique où la déformation est réversible et le domaine de déformation plastique.

D'après les tableaux de traction on remarque que la valeur de la charge max et la valeur de la déformation max diminuent avec l'augmentation de la quantité de cuivre dans l'alliage cela se traduit par la diminution de la valeur de l'allongement.

On constate que l'ajout de cuivre affecte peu le module d'Young et qu'il y a de petites variations entre les alliages testés (valeurs entre 50 et 60 GPa). L'ajout de 6% de cuivre donne une meilleure valeur du module d'Young.

Le cuivre augmente la limite élastique et diminue la résistance à la traction à cause de la formation du composé Al_2Cu . En effet, les composés riches en Cu qui se forment dans l'alliage en fin de solidification dans les zones inter-dendritiques favorisent la formation de porosité qui diminue ainsi la résistance à la traction.

III.3.2. Essais de dureté

Les résultats de l'essai de dureté Brinell (HB) de l'alliage **AS13** à différents pourcentages de cuivre sont les suivants :

Tab III.9 : Dureté mesurée en HB de l'alliage **AS13** sans et avec ajout de cuivre (2 %, 3,5 % et 6%).

Alliage Dureté	AS13		AS13+2% Cu		AS13+3,5% Cu		AS13+6% Cu	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Points	1	2	1	2	1	2	1	2
HB	60,9	57,6	69,5	69,5	78,7	78,7	111	108
HB _{moy}	59,25		69,5		78,7		109,5	

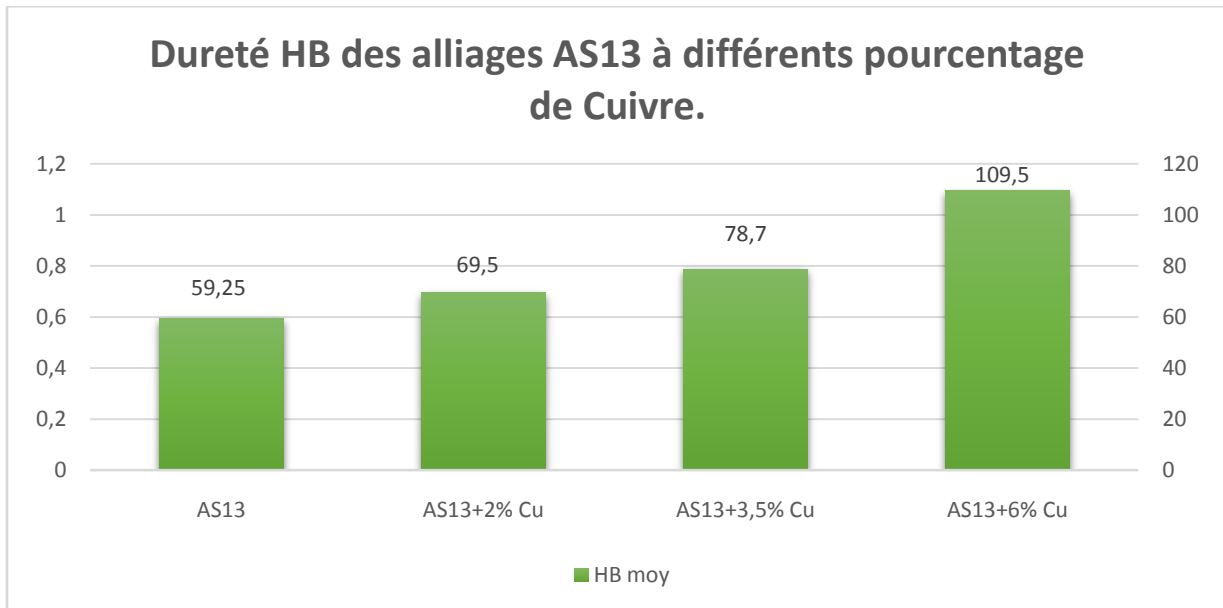


Figure III.10 : Dureté HB de l’alliage AS13 et AS13+2%,3.5%,6% Cu.

D’après les figures et les tableaux précédents, on remarque une augmentation de la dureté **HB** (globale).

D’après les résultats obtenus nous avons remarqué que l’alliage AS13 devient très dure, cette augmentation de la dureté est due à la formation du composé stable Al_2Cu d’un côté et aux cristallites du silicium primaire d’un autre coté, qui ont une forte influence sur l’amélioration de la dureté.

III.3.3.3 Essais de résilience

Dans le but d’accomplir notre étude nous avons effectué un essai sur des éprouvettes identiques. Et les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau III.10 : Résultats de l’essai de résilience de l’AS13.

AS13			
éprouvette	1	2	3
Energie(j)	2,4	2,8	3,6
La résistance moyenne.	2,9		
Résilience (j/cm^2)	3,66		

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.11 : Résultats de l'essai de résilienced'AS13 + 2% Cu

AS13+2% Cu			
éprouvette	1	2	3
Energie(j)	2,8	2,2	3,4
La résistance moyenne.	2,8		
Résilience (j/cm ²)	3,5		

Tableau III.12 : Résultats de l'essai de résilience AS13 + 3,5% de Cu

AS13+3.5% Cu			
éprouvette	1	2	3
Energie(j)	2,2	2,2	2,2
La résistance moyenne.	2,2		
Résilience (j/cm ²)	2,75		

Tableau III.13 : Résultats de l'essai de résilience AS13 + 6%Cu

AS13+6%+Cu			
éprouvette	1	2	3
Energie(j)	1	2	2
La résistance moyenne.	1,66		
Résilience (j/cm ²)	2,08		

Les résultats des essais de résilience de l'AS13 à différents pourcentage de cuivre illustrés dans les tableaux ci-dessus, montre bien que l'augmentation du pourcentage de cuivre dans l'alliage d'aluminium a un effet prononcé sur la résilience, c'est-à-dire au fur et à mesure qu'on augmente le pourcentage du cuivre dans l'alliage d'aluminium, la résilience diminue graduellement, cela veut dire que le matériau devient fragile.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail nous avons étudié l'influence de cuivre sur les caractéristiques mécaniques de l'alliage d'aluminium **AS13**.

Nous avons partagé la partie pratique en six principaux points :

- L'analyse de la composition chimique.
- L'essai de dureté.
- L'observation métallographique.
- L'essai de traction.
- L'analyse thermique.
- L'essai de résilience.

Après étude des résultats d'essais et les analyses effectuées nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- L'analyse de la composition chimique montre que les trois nuances ont été élaborées avec succès.
- L'analyse métallographique nous a montré qu'en ajoutant du cuivre dans l'alliage AS13, il y a un changement structurel par rapport à l'alliage sans ajout de cuivre car il y a apparitions de nouvelles phases Al_2Cu .
- D'après l'analyse thermique on remarque qu'il n'y a pas de vraie perte de masse.
- Les valeurs de la dureté pour l'alliage AS13 augmentent quand on ajoute le cuivre dans l'alliage donc le matériau devient plus dur.
- La résilience de la nuance AS13 diminue avec l'augmentation de la quantité de cuivre ajouté. L'énergie nécessaire pour rompre les éprouvettes est faible et on conclue que le matériau devient fragile.
- La valeur de la charge maximum en traction diminue avec l'augmentation de la teneur en cuivre dans l'alliage AS13. Cela nous a permis de constater que l'effet d'augmentation du pourcentage de cuivre favorise la diminution de la résistance maximale.

Lors de l'élaboration, nous avons eu beaucoup de difficultés pour réaliser des éprouvettes de bonne qualité mais le travail a été réalisé avec succès. En perspective, nous espérons que d'autres travaux complémentaires pourront compléter notre travail par l'étude de l'alliage à l'aide du microscope électronique, au balayage MEB, DRX et la résistance à la corrosion.

Références bibliographiques

- [1] Dr. Ghomari Fouad : université Aboubekr belkaid faculte des sciences de l'ingénieur.
- [2] www.educteuse23.ac-limoges.fr/loewy/aa/voisin.
- [3] Jean baralis, gerard maeder, precis de métallurgie : (elaboration, structure proprieties, normalisation), p. 232, 1ere edition, afnor-nathan, paris (1997).
- [4] C. Vargel, le comportement de l'aluminium et de ses alliages .267 dunod, paris (1979).
- [5] Aluminium recycling in the united states in 2000, patricia a. Plunkert, usgs aluminium commodity specialist.u.s. Geological survey circular1196-w.
- [6] Roger deverlay de montreal, montreal (2000).
- [7] Fournit a. Guinier : small-angle scattering of x-rays. 1955.
- [8] <https://www.researchgate.net/publication/328839427> consulté le 15/05/2019.
- [9] «Aluminum and aluminum alloys », asm specialty handbook, j.r. davis (ed), asm international, materials park, oh, 1993, p. 784-785.
- [10] http://fr.wikipedia.org/wiki/aluminiumet_ses_alliage. Consulté le 02/05/2019.
- [11] F. Soetens, welded connections alloy structure, heron, vol. 32, n°1, 1987.
- [12] Sylvain jacob, techniques de l'ingenieur, proprietes d'alliages d'aluminium de fonderie, m442, dunod-paris p.10 (2000).
- [13] Danald. R. Askeland, the science and engineering and materials, p812, third edition, pws publication, boston (1994).
- [14] <http://www.techniques-ingenieur.fr> mise en forme des métaux et fonderie- fusion des alliages d'aluminium. Consulté le 21/05/2019.
- [15] Jean-paul baillon, jean- marie dorlot, des materiaux, p .729, 3eme edition, école polytechnique de montreal, montreal (2000).
- [16] A M. A. Mohamed, f. H. Samuel, a m samuel, j. Mater design, diol : 10. 1016/ j .matdes. 2009.04.041 (2009).
- [17] Recueil de normes françaises afnor, métaux non ferreux, tome 2, aluminium et alliages d'aluminium-soudage classification et contrôle des joints soudés, 1986, pp461-482.
- [18] k. Nakata, f. Matsuda, evaluation of ductibility characteristics and cracking susceptibility of al alloys during welding, transaction of jwri (wading research), vol. 24. N°1, 1995, pp83-94.

- [19] C.e. cross, j ; f capes. D.I. olson, caracterisation of binary aluminium alloy weld metal microstructures, microstructural science, vol. 14. 1987, pp3-16.
- [20] « Constitution of binary alloys », p.m. hansen (ed.), metallurgy and metallurgical Engineering series, mcgraw-hill book company inc., 1958.
- [21] Le soudage oxyacetylenique, claude.leroux- j.gilles gindres, edition guerrin montreal Annee 1980.
- [22] Bruce anglade - helene horsin molinaro pierre mella – yann quinsat. Edite 13/09/2016.
- [23] gearge f. Vander voort (metallographiqic techniques for aluminiumand its alloys) committee , astm handbook volume 09 : metallography and microstructures. Asm international (2004).
- [24] R. Konecna, g . Hicletto, l. Kunz, m svoboda, a. Bapa. (fatigue strength degradation of alsil2cumg alloy due to high temperature exposure : a structural investigation) procedia engineering 74 (2004) 34-46.
- [25] J. N. Partt, g. V. Raynor ; (the indtermetallic compounds in the alloy of aluminum and silicon with cr, mn, fe, co , ni), journal of the institute of metals 79 (1951) 211-232.
- [26] I. Outmanl (caracterisation des variabilites materiaux process pour une convergence produit de fonderie par appoche predictiv) these de doctorat l'ecole nationale superieure d'arts et metiers (2017).
- [27]. R. Konecna, g. Nicoletto, l. Kunz, e. Riva, (the role of elevated temperature exposure on structural evolution and fatigue strength of eutectic alsil2 alloys) international journal of fatigue 83 (2016) 24-35.

Annexes

FONDERIE S.N.V.I	FICHE SPECIFICATION MATIERE	NO ARTICLE 1113 010					
DESIGNATION DU PRODUIT : <i>Produit pour dégazage de Bain de Métal Liquide d'Aluminium</i>		POSITION TARIFAIRE <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">9</td> <td style="width: 20%;">0</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">1</td> </tr> </table>	2	9	0	2	1
2	9	0	2	1			
ELEMENT : 85. 2019							
CARACTERISTIQUES ASPECT PHYSIQUE : <i>En pastilles de 50 gr ou 100gr</i> <i>Densité : environ 1,3</i>	TECHNIQUES : COMPOSITION : <i>à base d'exachlorethane (C₂ Cl₆).</i>						
CARACTERISTIQUES D'UTILISATION : BUT ET EFFETS PRODUITS : <i>éliminer l'hydrogene contenu dans le metal liquide afin d'éviter les piqûres (bulles de gaz)</i> MODE D'EMPLOI : <i>Introduire au fond du bain, à l'aide d'une cloche à trous, 0,2 à 0,4% du poids total du bain, de produit de dégazage</i> PRECAUTIONS D'UTILISATION : <i>la température du Métal liquide doit être de 720°C environ</i> <i>Respecter les conditions de stockage</i>							
CONDITIONNEMENT : EMBALLAGE : <i>Pastilles enveloppées dans papier étanche</i> <i>Ces pastilles sont mises dans un fût</i> <i>Métallique étanche</i> TRANSPORT : <i>Les fûts sont emballés dans une caisse</i> <i>bois à claire voie . Plancher de 22^m/mm</i> <i>fût de 50 Kgs environ .</i> ETIQUETAGE :	STOCKAGE : CONDITIONS : <i>En fût métallique étanche</i> IMPERATIF : <i> dans un endroit sec à l'abri de l'humidité .</i> DUREE-MXI :						

CONDITIONS DE RECEPTION QUALITATIVE

Fiche technique établie par le fournisseur
Reception qualitative après examen en Atelier

METHODE DE CONTROLE DE RECEPTION

Examen En Atelier par contrôle d'une Eprouvette de degazage. r'alisée selon les conditions habituelles de fabrication

LISTE DES FOURNISSEURS CONNUS :

NOMS :

SERVIMETAL
FOSECO

REFERENCES FOURNISSEURS :

Aluflux X (18.624.024) .
Dépaser 190 (18.624.018) .

DEGASER 701 SM

Pastille de dégazage / désoxydation à l'azote, sans sodium.

Description	<p>Le Degaser 701 SM est une pastille de dégazage et désoxydation sans sodium, qui convient à tous les alliages Aluminium-Silicium et Aluminium-Magnésium.</p> <p>Il est particulièrement adapté pour les alliages modifiés au Strontium et à l'Antimoine.</p> <p>De plus, il contient des sels qui vont désoxyder le métal en faisant remonter les inclusions dans les crasses.</p>
Avantages	<p>Le Degaser 701 SM est un produit non toxique car il agit en libérant des bulles d'azote qui vont dégazer le métal.</p>
Application	<p>Afin d'éliminer tout risque d'humidité, il est recommandé de laisser préchauffer les pastilles ainsi que la cloche en les posant sur le bord du four avant introduction.</p> <p>Les pastilles de Degaser 701 SM doivent être plongées et maintenues au fond du bain à l'aide d'une cloche perforée jusqu'à la fin de la réaction.</p> <p>Puis le bain doit être écrémé avant la coulée.</p>
Température	<p>A partir de 680 °C.</p>
Dose d'utilisation	<p>0,1% – 0,2% du poids de la charge.</p>
Conditionnement	<p>Pastille sécable de 200 g , en carton de 21,6 Kg.</p>
Stockage	<p>Comme tous les flux, le DEGASER 701 SM est sensible à l'humidité. Stocker dans un local à l'abri de l'humidité et de toute source de chaleur. Eviter la présence de substances acides.</p>
Etiquetage	<p>Consulter notre Fiche de Données de Sécurité.</p>
Hygiène et Sécurité	<p>Pour des raisons de sécurité, ce produit ne doit être utilisé que conformément aux prescriptions contenues dans cette fiche technique.</p>
Autres remarques	<p>Les chiffres indiqués ne peuvent être considérés comme spécification. Foseco se réserve le droit de changement technique en vue d'amélioration du produit.</p>

Foseco SAS, 12 Av. Marie Ampère, Champs-sur-Mame, 77437 Mame la Vallée Cedex 02
Tél. : 01 64 73 55 85 · Fax : 01 64 73 55 76 · www.foseco.fr

* Foseco, son logo et COVERAL sont des noms de marque déposés par le Groupe Foseco

S.N.V.I	MATIERE		POSITION TARIFAIRE	
DESIGNATION DU PRODUIT :			3	8
Produit affinant pour Alliage Léger.			1	9
ELEMENT : 85.2039				
<u>CARACTERISTIQUES</u>		<u>TECHNIQUES :</u>		
<u>ASPECT PHYSIQUE :</u>		<u>COMPOSITION :</u>		
Fine poudre		Mélange de sel de Sodium CHLORURE et FLUORURE		
<u>CARACTERISTIQUES D'UTILISATION :</u>				
<u>BUT ET EFFETS PRODUITS :</u> Diminuer la dimension des cristaux (affiner la structure) pour augmenter les caractéristiques mécaniques.				
<u>MODE D'EMPLOI :</u> répandre en surface entre 0,5 et 1% de poudre. Quand cette poudre devient liquide la faire pénétrer dans le bain.				
<u>PRECAUTIONS D'UTILISATION :</u> La température du Métal doit être supérieure à 750°C Respecter les conditions de stockage				
<u>CONDITIONNEMENT :</u>		<u>STOCKAGE :</u>		
<u>EMBALLAGE :</u> fût métallique étanche de 50kg Maxi fûts métalliques étanches dans caisse bois à claire voies.		<u>CONDITIONS :</u> Dans son emballage d'origine IMPERATIF : Dans un endroit sec et à l'abri de l'humidité		
<u>TRANSPORT :</u> Planches de 22"/m mini d'un poids Poids Maxi de 220 Kgs.		<u>DUREE MXI :</u>		
<u>ETIQUETAGE :</u> OBLIGATOIRE MATIERE DANGEREUSE " POISON "				
Code OMCI classe 6 Etiquette n° 66				

CONDITIONS DE RECEPTION QUALITATIVE

fiche technique établie par le fournisseur.
Reception qualitative après examen en Atelier et en Laboratoire

METHODE DE CONTROLE DE RECEPTION

Examen en Atelier par réalisation d'un essai d'affinage selon les conditions habituelles de fabrication.

Examen en Laboratoire par contrôle des caractéristiques mécaniques obtenues sur éprouvette de traction ϕ 8^m et par examen micrographiques de la structure obtenue.

Normes de références. { NF.A.03.251 à A.03.259.
catalogue NF 1973 { NF A 04.103.

LISTE DES FOURNISSEURS CONNUS :

NOMS :

SERVIMETAL.

REFERENCES FOURNISSEURS :

Poudre PACZ DK.

REMARQUES PARTICULIERES

FONDERIE S.N.V.I	FICHE SPECIFICATION MATIERE	No ARTICLE 1 1 1 3 1 3 3
<u>DESIGNATION DU PRODUIT :</u> Enduit pour Poteyage (sous.couche).		<u>POSITION TARIFAIRE</u> 3 8 1 9
<u>ELEMENT :</u> 85 . 2116		
<u>CARACTERISTIQUES</u> <u>ASPECT PHYSIQUE :</u> Pâte rouge	<u>TECHNIQUES :</u> <u>COMPOSITION :</u> Poteyage neutre : ni conducteur ni isolant	
<u>CARACTERISTIQUES D'UTILISATION :</u> <u>BUT ET EFFETS PRODUITS :</u> Protéger la surface de l'empreinte et des outils contre l'attaque du Metal liquide permet l'accrochage du poteyage intermediaire et de finition <u>MODE D'EMPLOI :</u> dilué dans l'eau s'applique aussi bien en pulvérisation qu'au pinceau . <u>PRECAUTIONS D'UTILISATION :</u> ne s'applique que sur les parties fixes de la coquille préchauffée $\geq 150^{\circ}\text{C}$		
<u>CONDITIONNEMENT :</u> <u>EMBALLAGE :</u> Flacon plastique etanche de 1,9 Kgs <u>TRANSPORT :</u> Flacons plastique dans caisse bois (planches de 22 mm mini) <u>ETIQUETAGE :</u>	<u>STOCKAGE :</u> <u>CONDITIONS :</u> Dans son emballage d'origine . <u>DUREE MXI :</u>	

CONDITIONS DE RECEPTION QUALITATIVE

- Fiche technique établie par le fournisseur
- Reception qualitative après examen en Atelier

METHODE DE CONTROLE DE RECEPTION

- L'examen d'Atelier consiste en :
 - mise en œuvre du produit selon les conditions habituelles de fabrication
 - des contrôles de viscosité et densité pour la dilution d'utilisation préconisée par le fournisseur
 - Les valeurs retenues seront définies en fonction des produits.

Liste des fournisseurs connus :

NOMS :

GRAPHOIL

REFERENCES FOURNISSEURS :

AQUAGEL 87

REMARQUES PARTICULIERES