

14/88

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

201

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINES & METALLURGIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

contribution à l'étude
métallographique des alliages d'Al
de fonderie A-S13 et A-S10G

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

M.E. DJEGHLAL

T. ZAIDI

M. E. DJEGHLAL

R. MANSOURI

PROMOTION JANVIER 88

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINES & METALLURGIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

contribution à l'étude
métallographique des alliages d'Al
de fonderie A-S13 et A-S10G

Proposé par :

Étudié par :

Dirigé par :

M.E. DJEGHLAL

T. ZAIDI

M. E. DJEGHLAL

R. MANSOURI

PROMOTION JANVIER 88

D.E.D.E.C.A.C.E.S

Je dédie ce modeste travail à :

- Mes chers frères et sœurs
- Mon cher père
- Ma chère mère
- toute ma famille
- tous ceux qui me sont chers.

R. MANSOURI

Jawad

Je dédie ce modeste travail à :

- mes chers parents
- mes chers frères et sœurs
- à tous mes amis (es)
- à tous mes proches.

T. Jaich

— oOo REMERCIEMENTS oOo —

Nous tenons avant tout à exprimer notre profonde reconnaissance à monsieur M. E. DJEGLAL pour son aide précieuse et la direction attentive qu'il a accordé à notre travail .

Nous tenons également à remercier :

- Les enseignants qui ont contribué à notre formation et particulièrement ceux du département mines et métallurgie .

- Tout le personnel et les cadres de la fonderie de la S.N.V.I - C.V.I de Rouiba .

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'ALUMINIUM ET SES PROPRIETES

 I.1 Généralités 2

 I.2 Les propriétés physiques et mécaniques 3

CHAPITRE II : LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

 II.1 Généralités 5

 II.2 Alliages corroyés 6

 II.3 Alliages de fonderie 7

CHAPITRE III : TRAITEMENTS THERMIQUES DES ALLIAGES D'ALUMINIUM
 DE FONDERIE 13

CHAPITRE IV : FONDERIE ET MOULAGE 20

CHAPITRE V : LES ESSAIS MECANIQUES ET ETUDE MICROGRAPHIQUE ... 23

CHAPITRE VI : PARTIE EXPERIMENTALE

 VI.A Alliage A - S13 31

 VI.B Alliage A - S10G 38

RESULTATS ET INTERPRETATIONS 46

CONCLUSIONS 59

BIBLIOGRAPHIE 61

-oO- // INTRODUCTION -oO-

Les alliages d'aluminium ont connu ces dernières années un essor considérable de par leurs propriétés tant mécaniques que physiques.

Ces alliages ont montré de par leurs utilisations dans différents domaines, leur intérêt grandissant vu leur résistance aux différents agents de corrosion. De par les inébranlables propriétés de ces alliages (légereté, la coulabilité conductibilité thermique, électrique) ces alliages occupent une place honorable parmi les métaux non ferreux, les nuances utilisées à la S N V I - C V I de rouiba à savoir A-S10G et A-S13 répondent aux exigences du marché national dans de nombreux domaines industriels.

Notre étude porte sur les caractéristiques mécaniques ainsi que l'étude micrographique de ces nuances.

De plus, notons l'intérêt porté sur les nuances proprement dites et leur comparaison d'un point de vue utilisation (traitement thermique éléments d'addition, modification).

Cette étude comporte 2 parties distinctes :

- une partie théorique
- une partie expérimentale .

Une étude comparative nous permet de dégager les points essentiels concernant l'utilisation des 2 nuances étudiées A-S10G et A-S13.

I/- Généralités sur l'Aluminium et ses propriétés:

L'aluminium est un métal léger, ses propriétés physiques et chimiques le rendent très utilisé dans de nombreuses applications industrielles. C'est un métal susceptible d'acquérir un beau poli, il cristallise en octaèdre, parmi ces propriétés les plus remarquables sa légèreté, et sa malléabilité.

Le métal n'a pratiquement aucune propriété magnétique il est légèrement paramagnétique.

Dans l'industrie nous trouvons deux modes d'utilisation de l'aluminium.

a)- Aluminium pour pièces de fonderie:

C'est un matériau non allié utilisé pour la fabrication des pièces de fonderie lorsque ces dernières doivent posséder une résistance chimique extrêmement élevée vis-à-vis d'agents contre lesquels les alliages d'aluminium résistant à la corrosion ne suffisent pas.

b)- Aluminium destiné à la fabrication d'alliages:

Pour chaque alliage, on choisit l'aluminium convenant à cet alliage; s'il s'agit de fabriquer des alliages qui résistent à la corrosion, les teneurs de Fer, Cu, doivent rester en étroites limites; de même la teneur en silicium ne doit dépasser une certaine limite qui conditionne le degré de pureté de l'aluminium employé.

I.2.- Les propriétés physiques et mécaniques:

I.2.1.- Propriétés physiques:

Nous donnons les principales valeurs caractérisant ce matériau à savoir:

- Poids atomique:.....26,98
- Densité:.....2,70
- Point de fusion:.....660 °C
- Point d'ébullition:.....2000 °C
- Chaleur spécifique à(0°C)...0,22 Cal/g/°K
- Conductibilité thermique:...210 S'I
- Resistivité:..... $2,7 \cdot 10^{-6}$ Ohm - Cm
- Dilatabilité linéique:..... $23 \cdot 10^{-6}$
- Facteur total d'émission(tôle polie):.....0,06
- Système cristallin à 20°C - Système C.F.C.
à 25°C - Système Rhomboédrique.

I.2.2.- Propriétés mécaniques:

Ces caractéristiques dependent beaucoup du titre du métal et pour les améliorer on ajoute intentionnellement d'autres éléments tout en conservant ses propriétés physiques.

- Resistance à la traction R Kg/mm²:.....9Kg/mm²
- Limite elastique E Kg/mm²:.....3Kg/mm²
- Allongement 4 %:.....45 %.
- Dureté:.....16 M.B.
- Module d'elasticité:.....7800 Kg/mm²
- Striction:.....80 %.

La plupart des utilisations de l'aluminium pur sont justifiées par quelques autres propriétés physiques particulières comme :

I.2.3.- La conductibilité thermique:

La conductibilité thermique de l'aluminium est à la base de nombreuses applications (échangeurs thermiques, installations de réfrigération, pistons et hauts de cylindre pour moteur à combustion.)

Cependant un inconvénient se pose, on assiste à un compromis direct entre la conductibilité thermique et la dilatation thermique qui s'explique par une élévation pour l'un et la plus grande légèreté pour l'autre.

Il faut en tenir compte surtout quand l'aluminium est allié à d'autres métaux (éléments d'additions).

I.2.4.- La conductibilité électrique:

La conductibilité électrique de l'aluminium est considérablement plus élevée que celle du cuivre (elle est de 62 % de celle de cuivre), et son absence de magnétisme, sa légèreté trouvent de plus en plus leur emploi dans l'industrie électrique surtout pour les lignes à haute tension elle est diminuée légèrement par déformation à froid et très fortement par la présence d'impuretés.

Tels que le Si, Mg, et le Fer, pour des teneurs à 5%.

I.2.5.- Propriétés chimiques:

Aluminium est un métal peu noble, caractérisé par sa grande affinité pour l'oxygène. Il résiste très fortement à la corrosion atmosphérique, car se recouvre rapidement d'une pellicule protectrice d'alumine (Al_2O_3) mince (de l'ordre de $0,01\mu$). qui est généralement formée par oxydation, et constitue un bon isolant électrique. Son contact avec les métaux plus nombreux forme des couples galvaniques dont les effets détruisent la couche protectrice d'alumine et entraînent ainsi une forte corrosion.

CHAPITRE II/-Les Alliages d'Aluminium :II - 1) GENERALITES,

La diversité des applications des alliages d'aluminium a entraîné la multiplication de leur nombre aussi bien dans le domaine de la fonderie que dans celui de la transformation.

Les alliages d'aluminium industriels ont des formules de plus en plus complexes, comportant généralement :

- Une addition principale :

la teneur de celle-ci fixée a la fois le niveau des propriétés de résistance obtenues et le niveau de difficultés de transformation et de mise en oeuvre.

- Des additions secondaires:

Les additions secondaires à des teneurs généralement faibles, possédant une action spécifique recherchée, d'une part, pour faciliter l'élaboration, la transformation, les techniques d'utilisations et d'autres part, pour améliorer les propriétés d'usage.

- Les impuretés :

La présence des certaines impuretés exerçantes encore une influence spécifique généralement défavorable.

Les alliages d'aluminium sont subdivisés selon leur applications en deux grandes classes :

- Alliages corroyés.
- Alliages de fonderie.

II - 2) ALLIAGES CORROYÉS :

On entend par le corroyage l'ensemble des opérations métallurgiques associant des déformations plastiques (à chaud et à froid) avec différents traitements (homogénéisation, trempe, revenu, recristallisation et restauration).

Le corroyage permet d'assurer simultanément sur les produits métallurgiques ;

- Des dimensions géométriques (formes et tolérances dimensionnelles).
- Une texture et une structure correspondante à celle d'une solution solide.

Les principales classes d'alliages corroyés les plus connues sont :

- Alliages de forge tel que Al - Zn - Mg.
- Alliages de déformation à froid tel que, Al - Zn - Mg.
- Alliages pour conductibilité électriques tel que ,
Al - Mg.
- Alliages pour tenue à chaud, Al - Cu - Si - Ni.
- Alliages à haute résistance mécanique, Al - Cu-Si-Mg.

II - 3) - Les Alliages de Fonderie :

Les Alliages de fonderie subissent une évolution parallèle à celle des alliages de laminage et certains d'entre eux marquent, dès le début des étapes importantes dans le développement de l'industrie de l'aluminium par la naissance d'alliages et de traitements particuliers à la fonderie.

Les alliages d'aluminium destinés au moulage forment plusieurs familles se différenciant nettement des alliages corroyés. Chaque formule est un compromis entre les propriétés de fonderie tel que (La coulabilité, absence de criquabilité etc;;) et les propriétés d'usage exigées de la pièce tel que (les caractéristiques mécaniques, aspect de la surface; résistance à la corrosion).

Les alliages de moulage sont élaborés:

- Soit à partir d'Aluminium provenant directement des cuves d'électrolyse auquel on ajoute des constitutifs de l'alliage.

- soit à partir de déchets récupérés, assortis et purifiés, ce sont les alliages d'affinages.

Le choix des alliages d'aluminium de fonderie est axé sur un certain nombre de règles générales permettant de prévoir le degré de difficulté présenté par une nuance, parmi les quelles on cite:

a) Plus l'intervalle de solidification (entre liquidus et solidus) est large, plus les risques de retassures intercrystalline et de fêlure à chaud (fissilité) sont grands, Inversement, plus cet intervalle est petit, plus le moulage sera sain et sans solution de continuité, ceci justifié la faveur dont jouit l'Alpax , eutectique à 13 % de Si, qui de plus a un très faible retrait de solidifications.

b) Certains éléments réduisent considérablement la fissilité, par exemple, le silicium, pour la plupart des alliages industriels.

c) le magnésium augmente rapidement la sensibilité du métal fondu à la vapeur d'eau, et au chargement par l'hydrogène qui en résulte (soufflures intergranulaires et piqûres à la solidification). Cet effet est éliminé par des additions de Be.

d) Les métaux de haute pureté ont tendance à donner des cristallisations grossières, favorables aux fissures à chaud et à la répartition grossière des phases séparées à la solidification donc nuisibles aux propriétés mécaniques en texture de fonderie.

Pour mettre fin à cette cause, on ajoute des affinants du grain quand il est possible;

- le Sodium et le phosphore pour les alliages Al - Si
- le titane pour les autres alliages.

Les alliages de fonderie sont nombreux et à multiples applications dans l'industrie, on s'intéresse dans notre étude uniquement aux deux alliages proposés, à savoir:

- * Aluminium - silicium
- * Aluminium - silicium - Magnésium

et plus particulièrement aux alliages dénommés:

- A - S 13 dit aussi Alpax
- A - S 10 G dit aussi Alpax H.

II - 3 - 1) Alliages sans traitements thermiques:

Alliages A S 13,

Après le fer, le silicium est l'impureté principale de l'aluminium. Il améliore graduellement la coulabilité, et la résistance mécanique en même temps. on peut réaliser la composition eutectique qui correspond à la coulabilité optimale;

Celle - ci peut-être bien meilleure que dans le cas d'autres alliages d'aluminium.

L'alliages A-S 13 contient des cristaux primaires de silicium relativement gros; l'alliage est fragile et poreux, ses caractéristiques mécaniques sont faibles.

C'est P A C Z, qui a inventa en 1921 le traitement d'affinage par le sodium (ou modification); en ajoutant 0,5 % en poids à l'alliages fondu, juste avant la coulée, ou d'un mélange de sels de sodium tel que $\frac{1}{3}\text{Na Cl} + \frac{2}{3}\text{Na F}$ susceptible de donner le sodium naissant par la réaction de l'aluminium sur Na F.

On ne retrouve pas de sodium dans l'alliages après coulée.

On obtient une structure eutectique très fine qui confère à l'alliage de bonnes propriétés mécaniques et surtout une plus grande tenacité.

On remarque que la résistance est améliorée en même temps que l'allongement est multiplié par deux. sous l'effet du traitement d'affinage par le sodium, deux faits sont bien établis:

- Le sodium abaisse la température de l'eutectique(de la température eutectique 577°C à 564°C , voir diagramme Al-Si).

- Il repousse aussi la composition de l'eutectique vers les fortes teneurs en silicium (la teneur eutectique passe de 11,7 % à 13% de silicium par suite d'une surfusion dans le cas de l'alliage A-S 13).

Cet affinage peut-être obtenu aussi par refroidissement brutal du métal au moment de la coulée (coulée en coquille) .

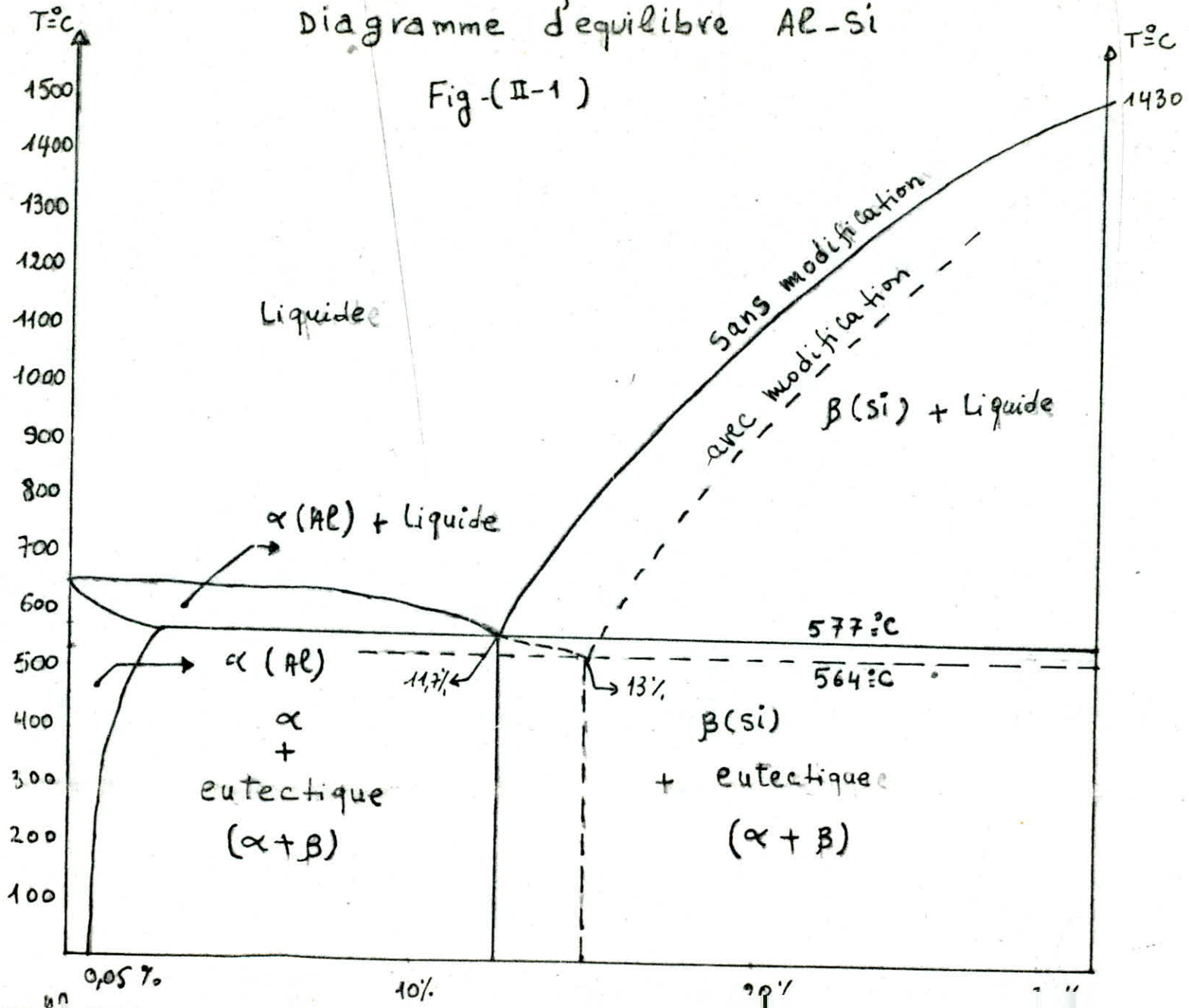
Ce traitement d'affinage s'appelle modification qui correspond à un traitement thermique.

La structure de l'eutectique est plus fine et se compose de petits cristaux des solutions solides β (Si) et (Al) .

Pendant la solidification, les cristaux de silicium se couvrent d'une pellicule de siliciure (Na_2Si) qui rend mal aisée leur croissance, cette structure inoculée amélioré les propriétés mécanique de l'alliage.

Diagramme d'équilibre Al-Si

Fig-(II-1)



II - 3 - 2) Alliage avec traitement thermique:

Alliages - Al - Si - Mg.

Le Système aluminium - Silicium - Magnésium, constitue la base de deux familles extrêmement importante d'alliages dont le durcissement est dû à la précipitation des formes transitoires du composé $Mg_2 Si$

Ces alliages se caractérisent par les propriétés générales ci-après;

- Caractéristiques mécaniques moyennes plus ou moins élevées suivant la composition;

- Très bonne aptitude à la transformation à chaud par laminage, filage, forgeage.

Les alliages Al - Si - Mg doivent être considérés à cet égard comme les alliages de filage par excellence.

- Bonne aptitude à la mise en forme à froid;
- Très bonne résistance à la corrosion.
- Possibilités d'obtenir de beaux états de surface après brillantage et anodisation.
- Bonne aptitude au soudage par points, à l'arc.
- Bonne comportement aux basses températures, résistant à chaud.

Parmi les alliages d'Al - Si, l'alliage A-S 10 G élaboré à la S N V I - C V I de Rouiba que nous allons étudier en détail dans la partie expérimentale.

* A - S 10 G :

L'alliage ~~de~~ (9 à 10,5)% de Si et de (0,17 à 0,3)% de Mg.

Il a une bonne coulabilité et resiste fortement aux phénomènes de corrosion.

Il est possible de transformer sa structure initiale par un traitement de trempe et revenu ce qui lui confère des propriétés mécaniques intéressantes ainsi qu'une bonne usinabilité.

CHAPITRE III) : TRAITEMENT THERMIQUES DES ALLIAGES
D'AL DE FONDERIE :

1°) Generalités sur les traitements thermiques,

Les traitements thermiques sont des opérations de cycles thermiques, consistant à effectuer des opérations de chauffages prolongés et refroidissements contrôlés.

Ils sont effectués dans le but de faciliter la transformation et d'améliorer certaines propriétés de l'Aluminium ou de ses alliages par une modification de leur structure métallographique obtenue à l'état brut de coulée.

Les caractéristiques mécaniques ne sont pas obtenues uniquement en agissant sur la composition des alliages, mais aussi pour une part très importante en effectuant des traitements thermiques qui permettent d'agir dans deux(2) sens à savoir:

a) soit dans le sens d'une diminution de la résistance mécanique cette dernière est accompagnée généralement d'une augmentation de l'aptitude à la déformation plastique (ce sont les traitements d'adoucissement).

b) soit au contraire, dans le sens d'une augmentation de la résistance mécanique qui est accompagnée d'une diminution de l'aptitude à la déformation plastique.(ce sont les traitements de durcissement).

Les traitements thermiques n'ont pas comme seul but d'agir sur le niveau de la résistance mécanique, ils sont susceptibles d'influencer d'autres propriétés parfois très importantes pour les utilisateurs telles que: l'aptitude à la déformation à chaud; la résistance à la corrosion, à la fatigue, au *fluage*, l'aptitude à l'oxydation anodique, la conductibilité électrique, la stabilité dimensionnelle.

2°) LES Principaux types de traitements thermiques:

Les traitements thermiques appliqués aux alliages d'Al peuvent être classés en trois (3) principaux types;

- a) Traitement dit d'homogénéisation.
- b) Traitement d'adoucissement par recuit ou restauration.
- c) Les traitements de trempe structurale comprenant:
 - * une mise en solution
 - * une trempe
 - * une maturation ou un revenu produisant le durcissement.

2-a) HOMOGENEISATION,

l'homogénéisation s'effectue avant transformation, par un chauffage prolongé à haute température, deux types d'évolutions peuvent se produire.

- Uniformisation du titre de la solution par diffusion, mise en solution plus ou moins totale des phases séparées, avec coalescence de l'excès.

- Précipitation fine du soluté en excès, qui est d'autant plus fine et abondante que la température est plus basse.

Ces deux 2 types d'évolutions ne sont remplies (vérifiées) que pour les systèmes suivants:

* Al - Cu	précipitation	d'Al ₂ Cu
* Al - Si - Mg	"	Mg ₂ Cu
* Al - Mg - Zn	"	Mg Zn ₂
* Al - Mg - Cu	"	Al ₂ Cu Mg

Les températures d'homogénéisation sont les plus souvent celles qui correspondent à l'état d'équilibre de la solution solide que l'on trouve dans les diagrammes thermique, donc elles coïncident sensiblement avec les températures indiquées pour la mise en solution avant trempe dans le cas des alliages trempants (ou des alliages à traitement thermique), il faut effectuer un traitement par deux chauffages à des températures précises.

la durée d'homogénéisation est en fonction de l'importance des hétérogénéités ou ségrégations à résorber.

Le temps de maintien à une température définie peut varier de 5 à 48 heures, suivant l'alliage, la masse et les épaisseurs des pièces, la charge des fours et leur puissance.

Les traitements d'homogénéisation sont d'autant plus efficaces qu'il sont appliqués à l'état de coulée, les conséquences de l'homogénéisation sont :

- Les alliages répondent plus rapidement aux traitements ultérieurs (trempe, recuit, revenu).
- Les caractéristiques mécaniques sont généralement améliorées.
- La plasticité à chaud est améliorée.
- La malleabilité à l'état recuit est améliorée (la limite élastique est abaissée alors que l'allongement est augmentée)
- La résistance à la fatigue est augmentée.

2-) TREMPE ET DURCISSEMENT STRUCTURAL (Maturation, revenu) :

Les alliages légers sont caractérisés par les traitements de trempe et de durcissement structural.

Deux caractères communes et fondamentaux en même temps sont à signaler :

- Les éléments d'addition sont en solution solide à haute température.
- Leur solubilité est proportionnelle à la température.

Le chauffage porte l'alliage dans la zone de phase homogène à la température T_1 Voir fig (III- 1).

Si l'on refroidit assez lentement, à chaque température l'équilibre aura le temps de s'établir. la solution solide sursaturée au dessous de la température T_2 , se sépare en plusieurs phases : Une solution solide de moins en moins riche au fur et à mesure que la température décroît, un ou plusieurs précipités contenant des éléments d'additions en forte proportions, par contre si on le refroidit à partir de la phase homogène en l'amenant rapidement à la température ambiante T_3 :

On conserve l'état homogène, mais la solution solide sursaturée à T_3 , est alors dans un état métastable et à tendance à évoluer dans le cas général, vers un état stable par précipitation de la phase en sursaturation, c'est cette précipitation qui produit le durcissement structural, ce dernier est appelé:

* **Maturation:** quand l'évolution se produit à la température ambiante T_3

* **Revenu :** lorsque l'évolution est accélérée par une opération de chauffage à une température modérée T_4 comprise entre T_2 et T_3 ($T_3 < T_4 < T_2$)

Si on élève la température au niveau T_5 , légèrement inférieure à T_2 , il y aura recuit et le durcissement structural n'aura pas lieu.

2- c1), LA TREMPE: Le traitement de trempe consiste essentiellement à porter l'alliage à une température suffisante, se trouvant à l'état de solution solide.

Il est nécessaire d'effectuer un refroidissement suffisamment rapide afin d'éviter une précipitation grossière et non homogène du composé défini, il existe pour chaque alliage une vitesse critique de trempe qui correspond à la vitesse de refroidissement minimale évitant cette précipitation pour la majorité des alliages. (Fig III - 2).

Le milieu de trempe le plus souvent utilisé dans l'élaboration des alliages d'Al est l'eau ordinaire à $15 < T < 40^\circ\text{C}$.

Pour les pièces sensibles aux tapures de la trempe et aux contraintes internes, il est nécessaire d'effectuer une trempe à l'eau chaude à $70 < T < 80^\circ\text{C}$ ou à l'huile.

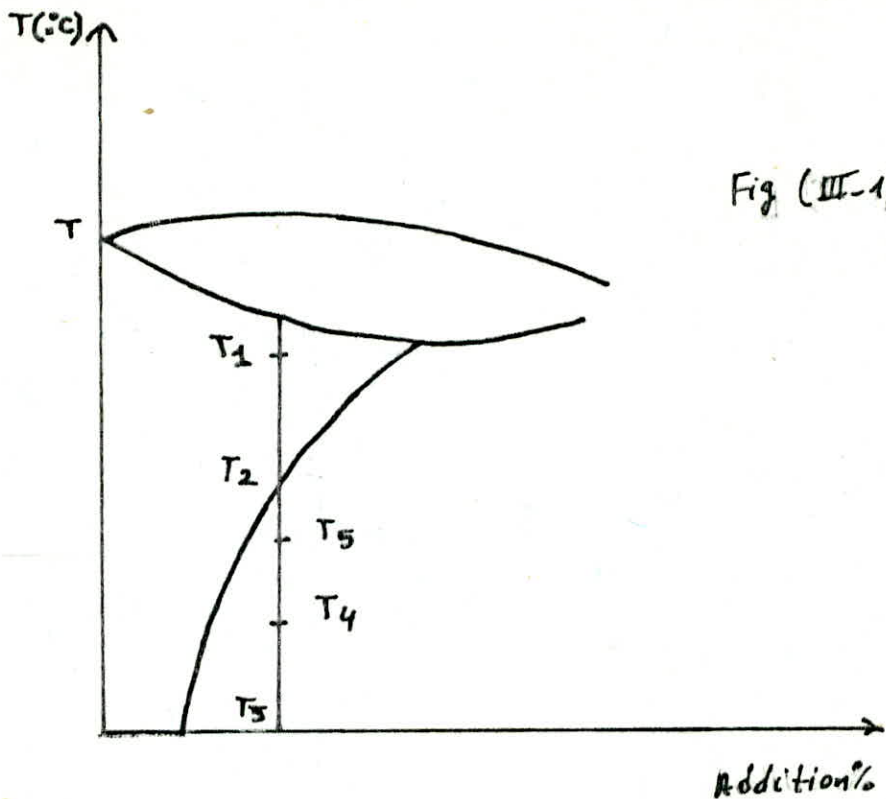


Fig (III-1)

- Mechanisme du durcissement structural

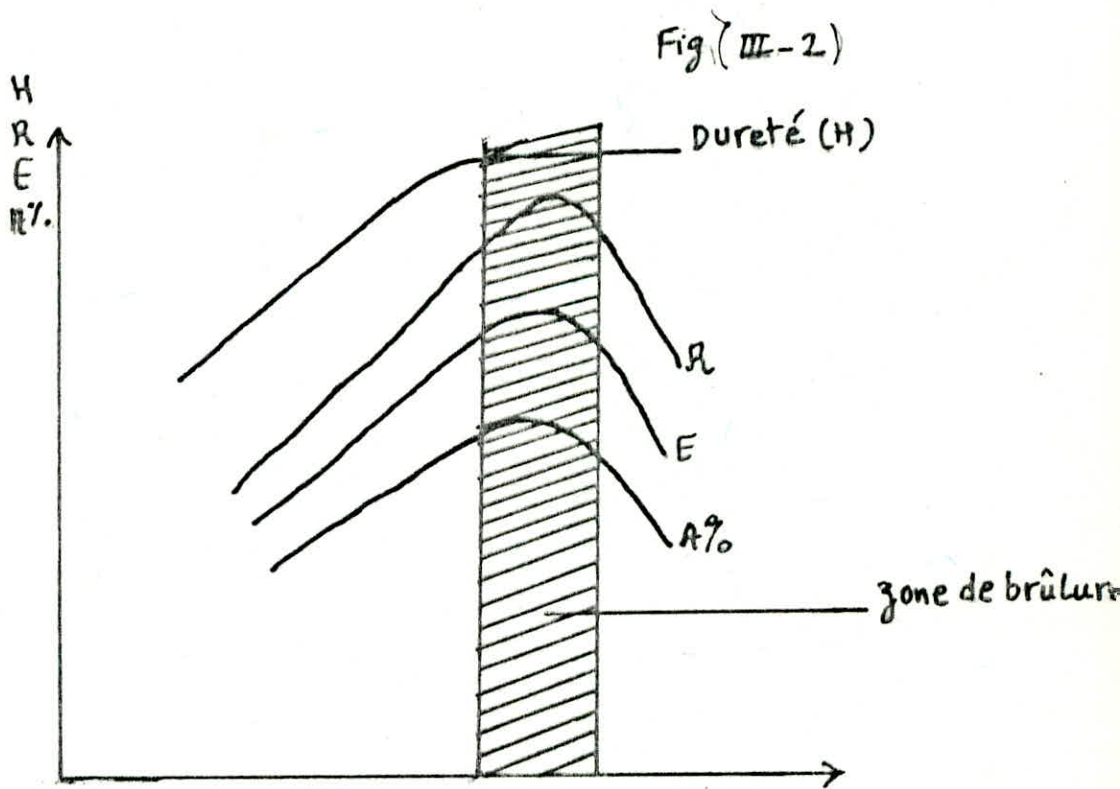


Fig (III-2)

- Variation des propriétés mécaniques avec la température de trempe

Température de trempe

Le Durcissement Structural:

Le durcissement structural des alliages d'Al est dû à la précipitation lors des traitements thermiques de revenu ou lors du vieillissement naturel à la précipitation de composés intermétalliques entre l'Al et les divers éléments d'additions.

À température ambiante se produit une évolution naturelle dite maturation.

Aux températures plus élevées, se produisent toute une série d'évolutions, qui constituent les revenus.

*- MATURATION, ou VIEILLISSEMENT : à lieu spontanément à la température ambiante, elle est marquée par le rassemblement de certains atomes, l'évolution se poursuit pendant des années dans le sens favorable; d'où il y a amélioration de la charge de rupture, et de la limite élastique sans que les allongements diminuent.

La vitesse de maturation dépend des facteurs suivants:

- la vitesse de vieillissement est proportionnelle avec la température de maturation.
- Pour certains alliages (Al - Cu - Mg), la maturation est d'autant plus rapide, que le métal a été trempé plusieurs fois.
- La maturation est fortement accélérée par l'écrouissage surtout quand il est appliqué au début du durcissement et entraîne la création de tensions internes.

*- LE REVENU : le durcissement structural peut commencer à la température ambiante, il s'accroît lorsqu'on élève la température, on tend alors vers un retour à l'équilibre physico-chimique de l'alliages;

Au cours de cette étape, les caractéristiques mécaniques et la dureté évoluent le plus si on les compare à celles de la maturation mais les allongements diminuent sensiblement.

3°) Les formes de corrosion de l'aluminium et de ses alliages:

- Définition de la corrosion:

la corrosion est une destruction relativement lente et progressive, qui résulte d'une attaque chimique à basse température ($T^{\circ} < 100^{\circ}\text{C}$) effectuée par les agents (atmosphérique, eau, vapeur et divers produits chimiques).

la corrosion se traduit par la diminution en poids, altération de la surface et affaiblissement des propriétés mécaniques, on distingue trois principaux aspects de la corrosion suivant la forme géométrique;

- Corrosion uniforme: le métal se dissout régulièrement et uniformément, exemple l'attaque de l'aluminium par la soude (Na OH).

- Corrosion localisée: l'attaque se fait sans forme de piqûres ou de sillons, la surface finissant par devenir tout à fait rugueuse, exemple l'attaque de l'Al par l'eau de mer.

- Corrosion intercrystalline (intergranulaire): se propage en profondeur par cheminement le long des joints des cristaux, ses effets sont particulièrement graves, le métal peut se rompre sous le moindre effet sans qu'il est subi de perte de poids sensible et parfois même sans altération visible de la surface.

- Corrosion transgranulaire ou transcristalline: progresse à l'intérieur des grains par opposition à l'autre forme de progression.

- Corrosion galvanique: pour qu'il ait corrosion galvanique il faut un électrolyte et la continuité électrique entre les deux métaux; cette continuité peut être assurée non seulement par le contact direct, mais aussi par des pièces métalliques intermédiaires tels que des vis, (bien que les faces en contact soient isolées).

CHAPITRE IV/- F O N D E R I E E T M O U L A G E,,,

Pour obtenir une pièces ou une plaque pour transformation elle comporte plusieurs opérations successives:

1°) CONSTITUTION DE CHARGES A FONDRE; la fonderie est alimentée par des lingots et des chutes de sa propre fabrication (jets de coulée, rebuts, masselottes ect;;;;).

Il est bien évident que chutes et lingots doivent être stokes à l'abri des poussières, des salissures et de l'humidité, toute corrosion causera des difficultés par chargement en gaz.

Les proportions de lingots et jets doivent être respectés et on effectue un contrôle constamment des jets afin:

- d'éviter l'emploi massif des jets qui augmente les risques l'écart de teneurs et d'oxydes présents dans le bain métallique, ce qui entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques et la coulabilité de l'alliage.

- d'attacher la plus grande importance à ce qu'aucun jet d'alliage chargé en magnésium, ne soit mélangé aux jets des lingots utilisés.

2°) FUSION ,

a) les Creusets; les creusets en fer ou en acier sont fortement attaqués par l'Al fondu, qui dissout rapidement le fer des la température 650°C, il en résulte deux inconvénients:

- Destruction des Creusets.
- Enrichissement de l'alliage en fer.

Pour cela on utilise sous forme de creusets, le graphite et le carborundum (SiC) sont inertes vis à vis du métal, et de bons conducteurs de la chaleur.

Le graphite et le (SiC) sont moulés avec un liant constitué par une proportion faible de terre réfractaire et de goudron, ils doivent subir une cuisson préalable à leur mise en service, ces types de creusets ont l'inconvénient d'être fragiles.

b) FOURS, Les fours à creuset au mazout ou au gaz remplacent souvent les fours à creuset au coke car ils sont plus maniables et mieux sous contrôle de température, ce qui permet d'éviter tout risque de surchauffe.

Le chauffage électrique par résistance est aussi largement utilisé avec des fours à creusets, mais leur vivacité de chauffage est faible, par contre leur régulation de température est commode, ces fours sont surtout utilisés comme four d'attente contenant déjà le métal liquide dont on peut effectuer les divers traitements possibles. Ces fours ont les avantages et les inconvénients suivants:

* Avantages;

- Risques très faibles de contamination par des gaz.
- Temps de séjour important dans le four en lame mince, ce qui assure le degazage.
- Excellent contrôle de la température.

* Inconvénients;

- chauffage lent, production horaire assez faible.
- Consommation d'énergie plus élevée.
- Difficultés pour l'introduction des éléments d'alliage.

c) CONDUITE DE LA FUSION ; Elle comporte les étapes suivantes:

- Chauffage du creuset au rouge sombre avant d'y introduire la charge.
- Si l'on utilise un creuset neuf, ne pas mettre de lui faire subir les opérations de recuit indispensables.
- Fusion rapide en flamme légèrement oxydante ou neutre en évitant toute surchauffe.
- Contrôle permanent de la température du bain dès le début de la fusion à l'aide d'un pyromètre étalonné.

3)- La COULEE ET LES TYPES DE MOULAGE,

la coulée doit avoir lieu à la température la plus basse compatible avec la bonne venue des pièces (on peut descendre jusqu'à $T = 680^{\circ}\text{C}$ sans problème).

En cas de malvenue il est préférable d'augmenter les tirages d'air au lieu d'élever la température de coulée.

Le métal doit être introduit dans le moule sans aucune perturbation la poche doit être aussi près que possible du jet de coulée en gardant l'entonnoir de coulée constamment plein.

Il est nécessaire d'employer des noyaux peu chargés en agglomérant et un sable modérément humide, pour éviter l'apparition de piqûres ou de soufflures à la surface des pièces.

a) Le moulage en sable; il permet la réalisation des pièces de fonderie de toutes dimensions à l'unité ou en série.

il est préférable de mouler dans le sable humide car la solidification est plus rapide et les propriétés sont meilleures.

b) Moulage en coquille, c'est un procédé dont on coule les pièces dans des moules permanents établis en fonte et en acier, ce sont des coquilles, en versant l'alliage fusionné par un ou plusieurs trous, d'où la pièce se démoule après un refroidissement rapide.

L'avantage du moulage en coquille réside dans une précision plus grande, un grain plus fin et les propriétés mécaniques plus élevées qu'en sable.

c) Moulage sous pression, on injecte la coulée sous pression dans un moule adéquat forçant celui-ci à adopter les plus fins reliefs de ce dernier.

On obtient généralement des propriétés voisines et même supérieures à celle de la coulée en coquille.

La composition du métal n'est plus altérée par la dissolution du fer comme dans le cas précédent (creuset en fer).

V- I, LES ESSAIS MECANIQUES:

Les propriétés mécaniques usuelles des métaux se rattachent aux notions courantes d'élasticité et de plasticité.

L'élasticité est la faculté que possède le métal de pouvoir subir une déformation qui cesse après la suppression de l'effort qui l'a provoqué.

Cette élasticité a une importance remarquable dans le domaine de construction .

La plasticité est la faculté de subir une déformation permanente sans que rupture s'ensuive, cette dernière propriété est utilisée dans les procédés suivants; le forgeage, le laminage, l'enboutissage, le tréfilage,;;; ect...

Il est nécessaire de dimensionner nos éprouvettes de telle sorte que la déformation provoquée par un effort de traction le plus élevé, reste dans le domaine élastique.

Ces deux notions caractérisent l'ensemble des processus qu'un matériau aura à caractériser à travers l'un au l'autre des phénomènes..

V- 2, ESSAI DE TRACTION :

Cet essai nous permet de déterminer les caractéristiques mécaniques essentielles d'un métal ou d'un alliage pour cela, on utilise nos éprouvettes de traction coulées en sable.

le moulage a été effectué avec soin, de telle sorte que les éprouvettes présentent un état de surface adéquat pour l'étude proprement dite.

Cet essai est effectué à l'aide d'une machine de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisée a une force croissante dirigée suivant son axe, et permet de mesurer simultanément la charge en KN et l'allongement en % **Fig (V-3)**

La charge appliquée est fixée à 40 KN (Charge minimale que la machine peut atteindre).

Les caractéristiques mécaniques obtenues par l'essai de traction sont:

- * la limite élastique : R_e (daN/mm²) c'est la contrainte minimale qui produit une déformation permanente de l'éprouvette.
- * La résistance à la traction; exprimée en (daN/mm²) s'est le rapport de la charge maximale que l'alliage peut supporter sans se rompre par la section initiale de l'éprouvette S_0 en mm².
- * Allongement en % : (A%);

Allongement relatif en % que prend l'alliage après la rupture, si on désigne par L_i la longueur mesurée entre repères et L_0 la longueur initiale de l'éprouvette, on a;

$$A \% = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100$$

Notre essai de traction est effectué conformément à la norme NF A 03 251. **Fig (V - 2)**

Le diamètre de l'éprouvette $D = 13,80$ mm

La section de l'éprouvette $S_0 = 149,50$ mm²

La longueur initiale entre repères $L_0 = 70$ mm.

V - 3. INTERPRETATION DE LA COURBE DE TRACTION:

Comme on a pas pu réussir à tracer la courbe conventionnelle de traction par l'enregistreur de la machine au sein du laboratoire de la SNVI - CVI de Rouiba, (il est en panne).

On trace la courbe conventionnelle théoriquement et on l'interprète.

Sur l'axe des abscisses on porte l'allongement en % de l'éprouvette et sur l'axe des ordonnées, la charge de rupture appliquée par unité de surface en daN/mm². **Fig (V-1)**

Jusqu'au point 3, l'allongement est purement élastique, c'est à dire que la charge de rupture est proportionnelle à l'allongement, car si on décharge l'éprouvette dans ce domaine, elle revient à sa position initiale (à sa longueur initiale L_0).

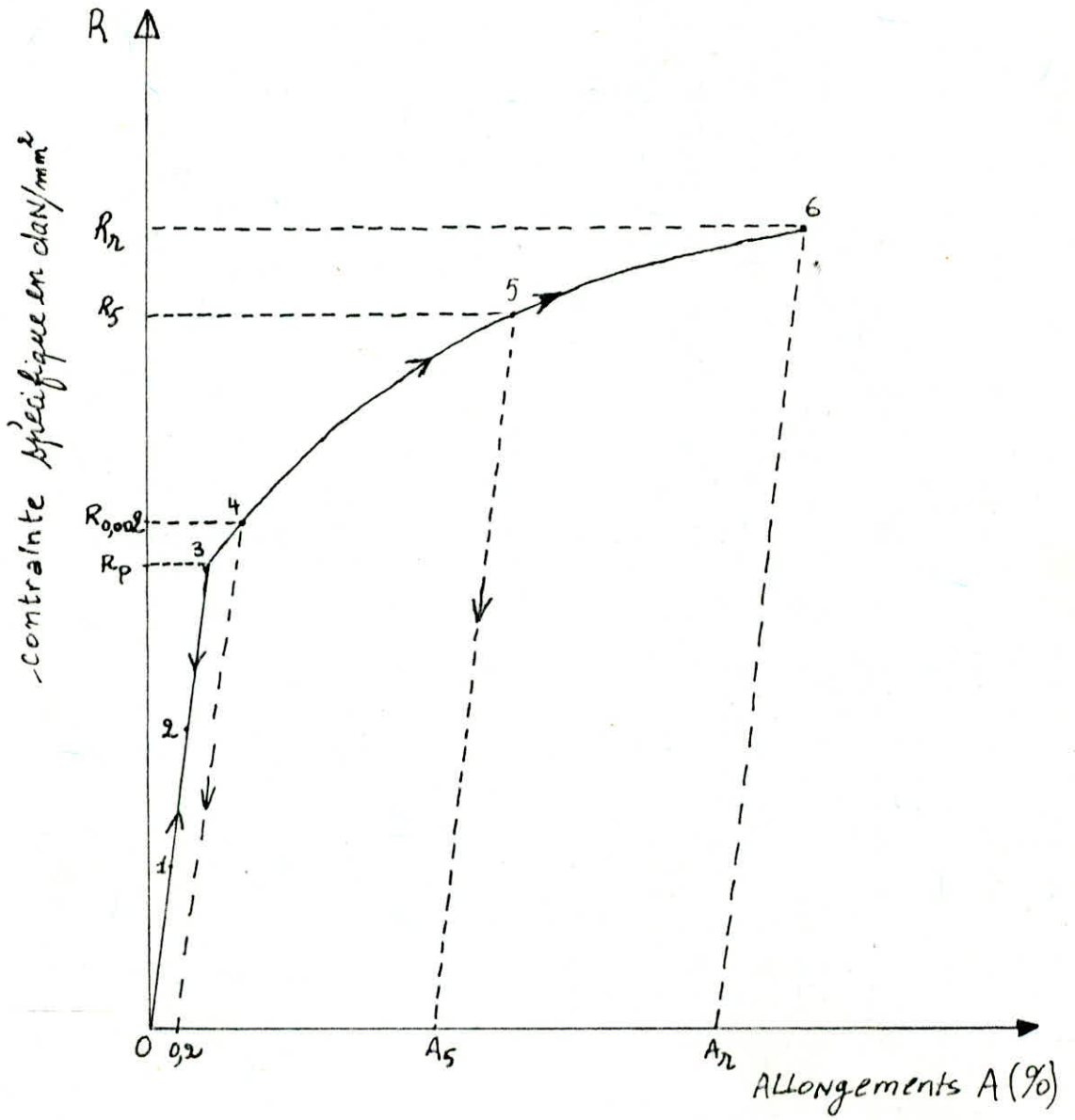


fig (V-1) : Courbe Conventiionnelle de traction.

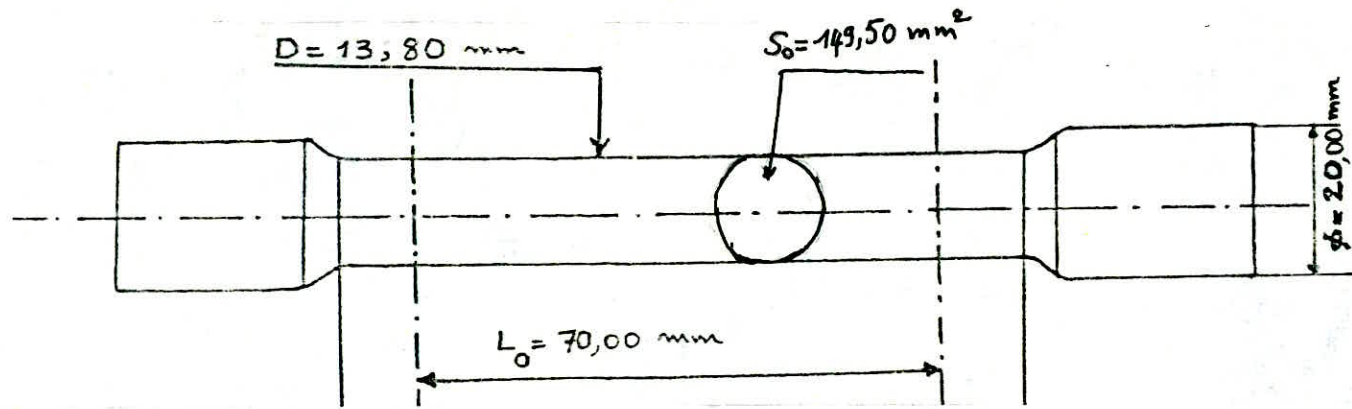


Fig (V-2) : Eprouvette de traction avant rupture.

Si on applique maintenant une charge supérieure à celle appliquée en 3; par exemple la charge 4, l'éprouvette s'allonge élastiquement d'une quantité supplémentaire de 0,65 %; si on la décharge progressivement, l'éprouvette se raccourcit selon la ligne pointillée.

Lorsque la charge est nulle, on remarque que l'éprouvette s'est allongée de 0,2 %, le plus petit allongement plastique que l'on peut mesurer de façon commode avec un dispositif de mesure courant. Cette grandeur est très importante car dans le cas de l'Aluminium et de ses alliages, le passage du domaine élastique au domaine plastique n'apparaît souvent pas sur les diagrammes des charges de rupture.

Dans le cas des alliages d'aluminium tel que Al-Si et Al-Si-Zn, le phénomène de striction qui ^{est} dû à la réduction localisée de la section de l'éprouvette n'apparaît ^{pas}, la courbe conventionnelle ne présente pas une chute de la charge.

Pour les alliages d'Al, le module d'élasticité est faible par rapport à celui de l'acier, il est déterminé par la pente à la courbe.

V- 4, ESSAI DE DURETE :

La dureté d'un métal est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui, elle est d'autant plus grande que la pénétration d'un autre corps est plus faible. Généralement on utilise la dureté BRINELL pour les alliages légers. Les mesures de la dureté ~~sont~~ effectuées sur l'une ou l'autre extrémité des éprouvette de traction.

Pour déterminer la dureté BRINELL (HB), on applique sur l'éprouvette une bille d'acier de diamètre 10mm avec une force de 1000KgF pendant une durée de 30 Secondes on décharge ensuite la bille (certaines machines de dureté se déchargent automatiquement = MACHINE SNVI - CVI de Rouiba), et l'on mesure le diamètre de l'empreinte laissée à la surface de l'éprouvette à l'aide d'un pied à coulisse figurant sur l'écran de la machine. FIG (V-4)

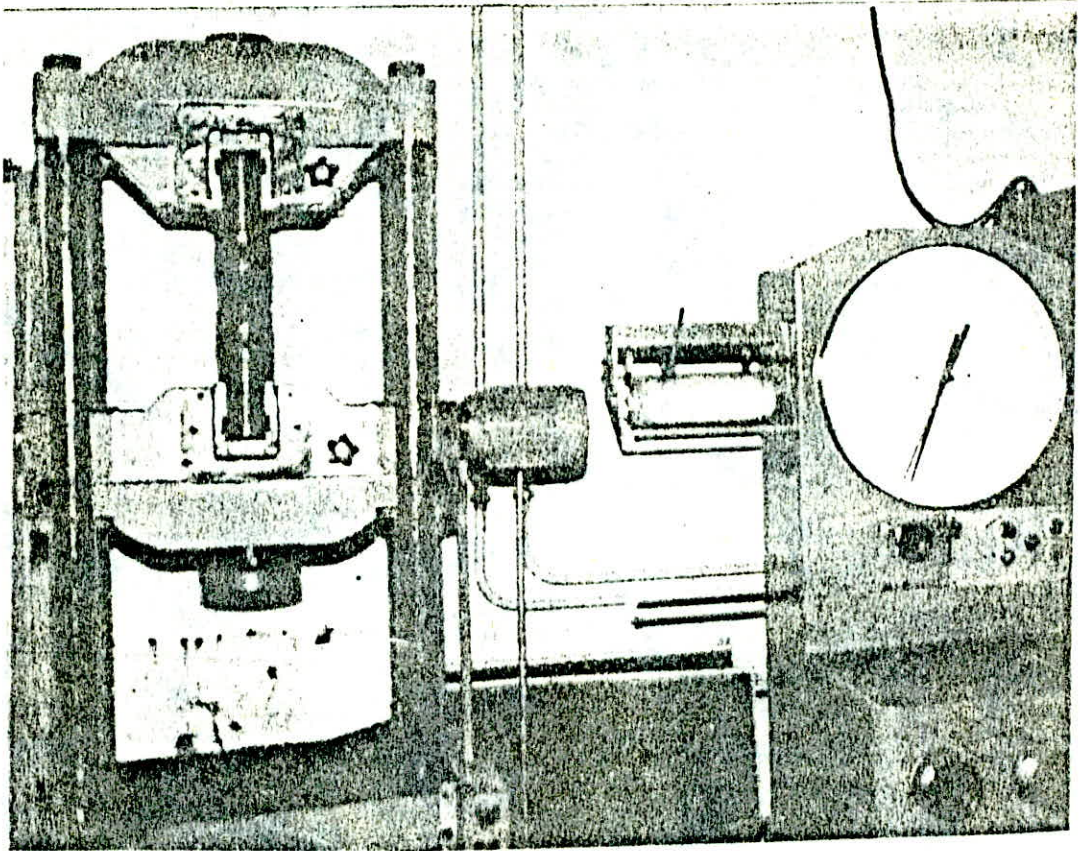


Fig (V.3) : Machine d'essai de Traction (SKF).

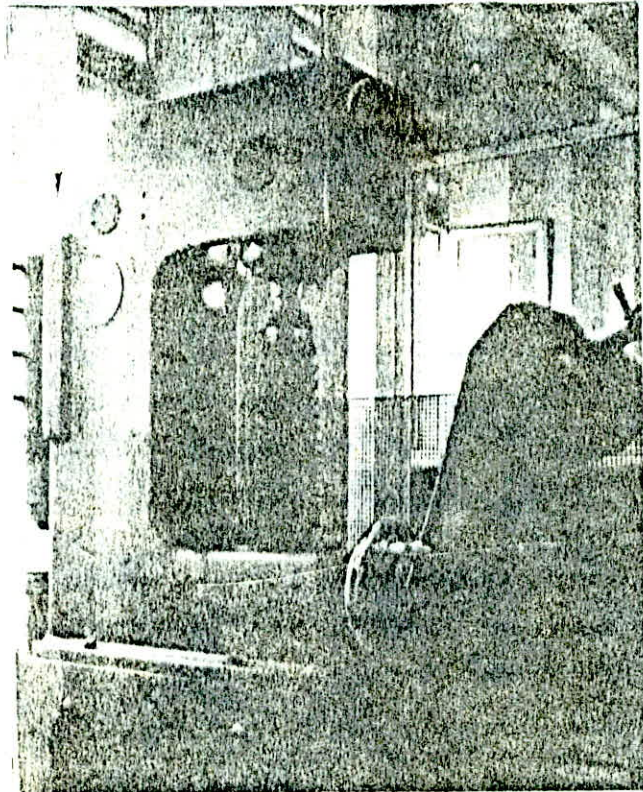


Fig (V.4) - Machine d'essai de dureté (Brinell)

Plus le matériau est tendre, plus le diamètre laissé par l'empreinte de la bille est grand.

Les mesures de dureté ne donnent toute fois qu'une indication grossière sur le comportement à la déformation.

La dureté BRINELL (HB) est exprimée en KgF/mm^2 .

Les résultats obtenus par nos essais de traction sont regroupés dans des tableaux.

V- 5, ETUDE MICROGRAPHIQUE :

Elle permet l'observation détaillée des phases présentes des alliages à étudier.

Pour cela , les échantillons doivent subir préalablement un polissage qui leur confère une surface plane et dénuée de rugosités. Cette étape qui d'ailleurs est d'une grande importance se fait comme suit:

1°) POLISSAGE : Pour avoir une surface plane et brillante

(beau poli), on élimine toute sorte de rugosité à l'aide de papier émeri sous un filet d'eau de granulométrie variant de 100 à 1200 en passant par 120, 320, 600, 1000, on préfère travailler avec des échantillons enrobés par commodité.

2°) FINITION : La finition est une opération qui succède l'opération précédente mais sur un papier très fin (Papier feutre) pour avoir une surface brillante sans rayures, après avoir ajouté la pâte diamantée au papier feutre.

3°) ATTAQUE CHIMIQUE : Pour différencier les joints des grains et des constituants de l'alliage on trempe la face déjà polissée dans de l'acide sulfurique (H_2SO_4 solution à 20%) chauffé à 75°C pendant 30 sec, puis on lave l'échantillon et on le sèche à l'air comprimé pour passer à l'examen au microscope optique. Les différentes structures ont été photographiées à l'aide d'un appareil photo incorporé.

VI - P ARTIE II - XPERIMENTALE

Etude expérimentale de 2 alliages d'Aluminium de
fondérie, élaborés à la SNVI -CVI de Rouiba.

VI. B - L'alliage A - S 10 G.

VII. A - L'alliage A - S 13.

VI-A:

L'ALLIAGE A - S 13

F Composition chimique :

La composition ci-dessus - correspond aux tolérances de composition dans les pièces coulées en sable et en coquille, suivant la norme NF A 57 - 702.

Fe	Si	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Co
≤ 0,70	11 à 13,5	≤ 0,1	≤ 0,15	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,15	≤ 0,2

- La composition Chimique : de l'Alliage étudié : AS 13 - qui a été élaboré à S N V I - C V I de Rouiba.

Les résultats obtenus sont :

Fe	Si	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Co
0,64	12	TRACE	-	0,08	0,31	-	-	-	-	-

2 Influence des éléments d'additions:

Fer : On obtient les charges de ruptures les plus élevées avec des teneurs en fer comprises entre 0,5 et 0,6%.

Au delà de la teneur maximale 0,70 %, le fer forme avec le silicium et l'aluminium un constituant la mellaire qui diminue rapidement les caractéristiques mécaniques, en particulier les allongements et la charge de rupture, par contre une teneur en fer proche du maximum tend à diminuer les retassures. Alors c'est pour ça qu'on évite l'emploi de creusets en fonte ou faire très régulièrement un poteyage soigné des outils de fusion et de coulée.

Magnésium:

Au delà de 0,10 %, maximum de la norme, les allongements diminuent rapidement. Cependant la présence d'une faible teneur en magnésium : 0,05 à 0,10 % améliore l'efficacité de l'affinage.

Manganèse et cobalt:

Ces éléments n'ont pas d'influence sur les caractéristiques mécaniques. Ils peuvent retarder l'apparition du constituant fragile Al-Si-Fe

Cuivre Nickel. Zinc:

Lorsque leurs teneurs dépassent les tolérances de la norme on note une baisse des allongements et une diminution de la résistance à la corrosion, principalement dans le cas du cuivre.

Silicium

La teneur en Silicium peut varier dans les tolérances indiquées par la norme : 11 à 13,5 % sans que les caractéristiques mécaniques soient sensiblement modifiées. Cette souplesse permet d'éviter le défaut de retassures dans la plupart des cas. Les caractéristiques de la norme seront obtenues si l'alliage présente une texture caractérisée par la finesse des grains de silicium. Cette texture fine est obtenue le plus généralement par une opération, en cours de fusion, appelée " affinage " où " modification ".

Titane:

Au dessus de 0,10 % , les caractéristiques mécaniques diminuent et de gros cristaux apparaissent d'autant plus facilement que la teneur en fer est plus élevée. Nous prenons comme précautions en évitant tous mélanges et jets d'alliages risquant d'introduire ces éléments Mn, Co, Mg, Cu, Ni, Zn, Ti.

3 / CARACTERISTIQUE MECANIQUES2°) A- S 13

LES VALEURS MINIMA FIXEES PAR LA NORME A 57-702 -
SUR EPROUVETTES COULEES A PART;

MODE DE MOULAGE	ETAT	R _t (Kgf/MM ²)	R _e Kgf/MM ²	A%	H B
Sable	Brut Y 20	16,5	8	4	50
Coquille	Brut Y 30	18	8	5	60

4 / CARACTERISTIQUES PHYSIQUES:

- Conductibilité thermique a 20°C: $W/Th\ Cm /CM^2\ S^{\circ}C...$ 0,40
- Résistivité à 20°C: $W/Th\ Cm^2/Cm.....$ 4,5
- Température de solidification : (°C) 575

Les autres caractéristiques physique s'approchent sensiblement de l'alliage précédent.

5/ PROCEDE D'AFFINAGE:

Pendant la conduite de la fusion s'opère sur le métal fondu une opération connue sous le NOM d'affinage(ou modification), les produits employés pour cet affinage sont :

- Le Sodium métallique
- Les mélanges de sels de sodium sous forme de poudres d'affinage.

a) SODIUM METALLIQUE :

Le sodium métallique est généralement présenté sous forme de petits prismes, d'un poids déterminé, enveloppés dans une feuille mince d'aluminium et contenus dans une boîte métallique qu'il faut tenir fermée, à l'abri de l'humidité.

Si l'on emploie du sodium métallique en pains, on le conservera dans du pétrole, avant l'affinage le sodium à utiliser sera découpé, pesé et séché avec un chiffon propre ou du papier buvard, puis enveloppé dans une feuille d'aluminium.

Il est recommandé, pour réduire les risques d'explosion et d'incendie, de conserver le stock de sodium dans un casier en tôle ou en ciment fermé avec une porte étanchée.

b) POUDRES AFFINANTES APPELEES (POUDRES PACZ)

Ces poudres libèrent du sodium qui affine le métal.

Elles ont, de plus un pouvoir dégazant.

Il existe deux compositions différentes permettant des affinages à des températures appropriées à celles de la coulée des pièces.

- La poudre PACZ-DK- a haut point de fusion, utilisée au dessus de 750 °c.

- La poudre pacz BTK- à bas point de fusion, utilisée entre 720 et 750 °c.

c) CARACTERES PARTICULIERS DE L'AFFINAGE DE L'A-S 13.

C'est l'affinage qui confère à l'alliage toutes ses propriétés il doit donc être fait dans des conditions précises de températures, de temps et de proportion en produits affinants.

Le métal affiné doit être coulé dans un temps strictement limité avant que l'effet de l'affinage disparaisse.

L'effet de l'affinage de l'A-S13 disparaît après refusion c'est donc sur la totalité de la charge, jets compris, que l'on détermine les proportions de produits affinants.

d) TRAITEMENT D'AFFINAGE OU DE MODIFICATION :

- Procédé d'affinage dans le cas de la coulée en sable.

Dans le four de fusion, une fois le métal complètement fondu vers 650°c, décroiser le bain et le recouvrir avec 0,6% du poids total de la charge de poudre PACZ DK après avoir enfoncé plusieurs fois la couche de poudre au fond du métal au moyen d'une cloche, à trous, on introduit le sodium dans le métal sorti du four entre 740 et 780°c suivant la température de coulée, poids de sodium; 0,06 à 0,07 % du poids total de métal fondu, on agite d'un mouvement de

..../....

rotation rapide jusqu'à la fin du dégagement des flammèches jaunes. Cette pratique est préférable à celle consistant à enfoncer le sodium préalablement piqué au bout d'une tige attendre 5 minutes au moins couler généralement entre 700 et 730°C. le temps entre l'introduction du sodium et la coulée ne doit absolument pas dépasser 10 à 12 minutes.

6°) DEGAZAGE : Les procédés d'affinage décrits précédemment ne nécessitent pas, si la fusion a été bien conduite, l'emploi de flux de degazage, surtout si l'A-S 13 est affiné à la poudre PACZ. Dans le cas où il nécessite un dégazage, on maintient le métal au repos, avant affinage, pendant 20 à 30 mn ou plus suivant le poids de métal traité.

7°) MOULAGE : L'A-S 13 se moule en sable, en coquillé et sous pression, dans notre étude on a élaboré l'alliage par moulage en sable. Ses propriétés de fonderie sont excellentes, ils à une très bonne aptitude au moulage, ne crique pas donne rarement des retasseures externes, par contre il a tendance aux retassures internes dans les parties massives.

L'A-S 13 convient particulièrement aux pièces minces ou d'épaisseur régulière, même si elles sont de grandes dimensions ou de forme compliquée.

Il est préférable d'éviter les parties massives dans les quelles des retassures internes peuvent se manifester, l'A-S 13 se moule bien sous pression.

8°) TRAITEMENT THERMIQUE : L'A-S 13 est toujours utilise sans traitement thermique, les pièces coulées en A-S 13 possèdent la meilleure stabilité dimensionnelle, pour les cas difficiles, on amélioré encore cette stabilité par un revenu à 240°C pendant 8h ou à 350°C pendant 2h, ce revenu est suivi habituellement d'un refroidissement lent dans le four.

Les caractéristiques mécaniques de l'alliage ne sont pratiquement pas modifiées par le traitement thermique de trempe.

Donc on utilise l'A-S 13 brut de fonderie dans les états γ 20 - γ 30 - γ 40.

9°) STABILITE DIMENSIONNELLE: la stabilité dimensionnelle de l'A-S 13 est remarquable dans certains cas particuliers, pour des pièces très minces coulées en moules métalliques.

Il se produit une modification sensible des caractéristiques mécaniques après retour à température ambiante.

10°) PRINCIPAUX DOMAINES D'UTILISATION : l'A-S 13 est choisi pour son excellente coulabilité et sa bonne résistance à la corrosion pour nombreuses applications à savoir:

- a) BATIMENT; coffrages et banches pour béton, barreaux de balcon.
- b) ELECTRICITE; ventilateurs de moteurs électriques, accessoires de montage de lignes aériennes.
- c) CONSTRUCTIONS MECANIQUES; robinets, outillage prtatif, raccords
- d) INDUSTRIE ALIMENTAIRE; plats divers, moules, marmites.

VI - 5 : - L'Alliage A - S 10G

1.- Composition chimique de l'alliage A-S 10 G suivant la norme N.F. A. 57 - 702.

a/- La composition ci-dessous correspond aux tolérances de composition dans les pièces coulées au sable ou en coquilles:

Fe%	Si%	Cu%	Zn%	Mg%	Mn%	Ni%	Pb%	Sn%	Ti%	Co%
≤	9 à	≤	≤	0,17 à	≤	≤	≤	≤	≤	-
0,55	10,5	0,1	0,1	0,40	0,50	0,50	0,05	0,05	0,20	

b/- La composition chimique de l'alliage étudié (A- S10 G) à la S.N.V.I. - C.V.I. de Rouiba.

% Fe	% Si	% Cu	% Zn	% Mg	% Mn	% Ni	% Pb	% Sn	% Ti	% Co
0,33	9,6	TRACE	-	0,25	0,38	-	-	-	-	-

2/- Influence des éléments alliés:

* Silicium:

Jusqu'aux limites de tolérances entre 9 à 10,5 %, les variations du Silicium ont peu d'influence sur les caractéristiques mécaniques. Si la teneur en Silicium augmente, on risque davantage de voir apparaître dans les moulages, des retassures internes.

* Magnesium:

Pour une teneur en Magnesium supérieure à 0,40 %, la dureté après traitement thermique croît rapidement, les allongements diminuent et l'alliage devient fragile.

Si la teneur en Magnesium est inférieure à 0,17 %, la charge de rupture, la limite élastique et la dureté après traitement thermique diminuent rapidement.

Pour le moulage en sable; il est préférable de limiter cette teneur à 0,30 %.

La teneur en Magnesium tend à diminuer pour les raisons suivantes:

- Emploi de flux pour le traitement métallurgique du bain.
- Reutilisation d'un certain pourcentage de jets dans les charges.
- Maintien prolongé en fusion dans le cas de la coulée en coquille.

Elle risque de ce fait, de descendre en dessous du minimum acceptable 0,17 %.

Pour ajuster la teneur en Mg, on utilise l'A - G10 ou du magnésium pur.

* Manganèse:

Il atténue l'influence défavorable du fer et rend l'alliage moins fragile. Pour les teneurs en Fe considérées ($Fe \leq 0,55 \%$) son effet correctif est optimal pour $0,10 \leq Mn \leq 0,20$.

* Le fer:

La teneur en Fer doit être inférieure à 0,55 %.

Si la teneur est supérieure, le fer forme des cristaux lamellaires, qui diminuent les caractéristiques mécaniques, malgré la présence du Manganèse aux teneurs prescrites.

Eviter d'utiliser les creusets en fonte.

* Le titane:

Si la teneur en titane est voisine de 0,10 %, il provoquera un affinage du grain de l'alliage d'où une légère amélioration des allongements et une atténuation des effets néfastes provoqués par un gazage anormal du métal. L'emploi bénéfique du titane est renforcé lors de l'élaboration. Il ne faut pas dépasser la teneur de 0,20 %, car on risque de voir apparaître des points durs dans les pièces d'où un usinage plus difficile.

* Influence des autres éléments:

- Le cuivre diminue la résistance chimique
 - Le Zinc, le Plomb, le Nickel, et l'Etain, diminuent les caractéristiques mécaniques de l'alliage, s'ils sont employés au dessus des tolérances indiquées dans la norme (voir fourchette d'analyses chimiques).

- Le Cobalt, comme le Manganèse, combat l'action néfaste du fer.

Il est considéré dans l'alliage A - S 10 G, comme une impureté non nuisible jusqu'à une teneur de 0,20 %.

Sa présence peut provenir d'une fusion dans un four ayant fondu de l' A - S 9 K G/

3 - CARACTERISTIQUES MECANIQUES;

A - S 10 G, Les valeurs minima fixées par la norme A 57 - 702 - sur éprouvettes coulées a part,

MODE DE MOULAGE	ETAT	R(Kgf/mm ²)	Re(Kgf/mm ²)	A %	HB
SABLE	Brut	16	9,5	3,5	55
	après traitement	23	18	1,5	75
COQUILLE	Brut	18	11	2,0	65
	après traitement	26	18	1,5	80

4 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES;

- Masse spécifique : ρ /Cm³..... 2,65
- Module d'élasticité: h bar7450
- Intervalle de solidification: °c590-570
- Chaleur spécifique à 100°c : uth/g°c..... 0,24
- Conductibilité thermique a 20°c: uth cm/cm² S°c... 0,36
- Resistivité à 20°c : u cm²/cm 4,5
- Coefficient de dilatation entre 20 et 100°c..... $20,5 \cdot 10^{-6}$

5 - PROCEDE D'AFFINAGE; (Modification ou affinage par le sodium)

Pour cet affinage, les flux employés jouent également le role de flux désoxydants et dégazants ou même le flux de protection.

-Particularités de l'affinage de l'A - S 10 G:

l'effet de l'affinage diminue au cours du maintien à l'etat liquide, cependant il persiste plus longtemps sur l'A-S 10G que sur l'A-S 13, ce qui nous permet de prolonger les temps d'attente entre la fin de l'introduction des produits affinants et la coulé jusqu'a 20 minutes, dans le cas de moulage au sable.

Cet effet disparaît en grande partie à la refonte il appauvrit l'alliage en magnésium et oblige le fondeur à en corriger la teneur.

L'apport de magnésium se fait avec l'alliage A G 10 d'une façon plus précise.

Le processus de l'affinage pour la coulée au sable comme l'A-S 10 G est plus sensible aux piqures que l'A-S 13, il donc déconseillé d'utiliser le simple affinage au sodium métallique pour la coulée au sable, pour cela il est préférable d'utiliser les poudres d'affinage (Poudre PACZ).

L'emploi d'un flux dégazant après les opérations d'affinages est à prohiber car il détruirait leur effet,,

- Le procédé d'affinage par poudre PACZ DK ;(a haut point de fusion pour utilisation au dessus de $T = 750^{\circ}\text{C}$).
- Répandre en surface le métal fondu, 0,2 à 0,4 % de poudre PACZ DK.
- Porter le métal a une température comprise entre 760 et 780°C.
- Transvaser dans une poche préchauffée à 780°C environ, en réduisant la hauteur de chute au maximum.
- Entre 760 et 780°C, répandre uniformément 1 à 2% de poudre PACZ DK.
- Laisser la poudre en contact avec le métal pendant 10 à 15 min afin de favoriser le contact métal - poudre PACZ DK, au cours de cette attente, enfoncer légèrement la couche de flux en surface à plusieurs reprises au moyen d'un écremoir poteyé et chaud.
- Decrasser, puis couler, il faut que le decrassage dure le moins longtemps possible avant de couler dans les moules afin d'éviter le regazage du métal.

6)- LE DEGAZAGE: Le dégazage n'est possible qu'avant l'affinage, consiste à introduire un flux de dégazage dans le cas où l'effet dégazage des poutres PACZ est jugé insuffisant.

La perte en magnésium est augmentée par cette opération supplémentaire.

7)- LE MOULAGE : L'A-S 10 G a une bonne aptitude au moulage. Il permet la réalisation des pièces ayant des grandes dimensions et de formes compliquées.

L'A-S 10 G ne crique pas.

On emploie des refroidisseurs pour éviter les piqûres et les microretassures dans les parties épaisses.

8)- TRAITEMENTS THERMIQUES POUR L'ALLIAGES A-S10G:

L'Alliage A-S 10G peut subir un traitement thermique pour obtenir les meilleures caractéristiques mécaniques.

Ce traitement consiste en une trempe à l'eau ambiante après un chauffage de plusieurs heures à une température précise, c'est le chauffage dit l'homogénéisation.

La trempe est suivie d'un revenu.

- Température d'homogénéisation; la température de maintien dans le four avant trempe est de $(540^{\circ} \pm 5)^{\circ}C$.
- la durée de maintien en température avant trempe, Pour les éprouvettes coulées en sable, le temps de maintien est de 6 heures, et on peut prolonger jusqu'à huit à dix heures selon la masse et les épaisseurs de celles-ci.
Pour les éprouvettes coulées en coquille, la durée de chauffage avant trempe peut-être réduite à 3 heures.
- Trempe; l'A-S 10G n'est pas sensible aux tapures de trempe et peut-être trempé à l'eau ambiante à $20^{\circ}C$, cependant, la trempe à l'eau chaude à $80^{\circ}C$ environ ou à l'huile, peut être envisagée pour réduire les contraintes dues à la trempe, dans certains cas. la durée de trempe doit être très courte.

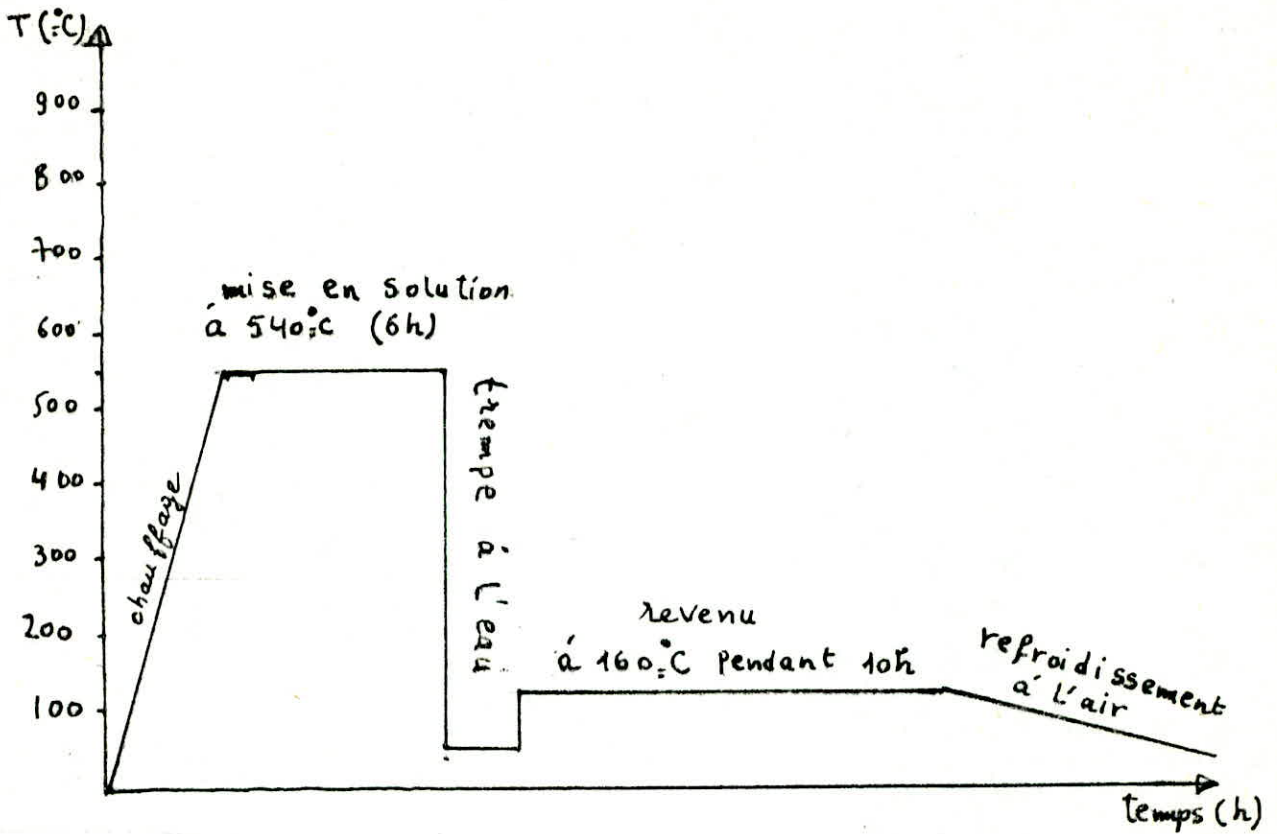
- Revenu , le revenu consiste en un maintien dans le four pendant 10 heures à la température de $(160 \pm 10)^\circ\text{C}$, suivi d'un refroidissement à l'air. Fig (VII-1)

9)- STABILITE DIMENSIONNELLE: L'alliage A-S 10 G est stable , cependant dans certains cas, la trempe peut créer des contraintes dont la libération au cours de l'usinage entraîne des déformations lorsque l'alliage est utilisé non traité, sa stabilité dimensionnelle est améliorée par un traitement de stabilisation de 2 heures à la température de 350°C .

10)- LES PRINCIPAUX DOMAINES D'UTILISATION:

L'A-S 10 G est choisi par les constructeurs pour sa bonne coulabilité et ses bonnes caractéristiques mécaniques, il est appliqué dans de nombreux domaines.

- appareils ménagers et culinaires; carters et accessoires d'appareils.....
- Électricité; pièces divers pour l'électronique, les lignes aériennes.....
- Construction mécaniques; boîtes de vitesses de machines - outils, raccords et pièces de pompes, plateaux de filtres presses.....
- Automobiles et poids lourds; Culasses, boîtiers et carters divers, trompettes de ponts AR, segment de frein..
- Aviation; culasses carburateurs, pièces de compresseurs...



Cycle de traitement thermique pour l'alliage : (AS10G)

Fig (VI-1)

-- RESULTATS ET INTERPRETATIONS --

Dans ce qui suit, nous avons consigné toutes les données expérimentales propres à notre étude pour les nuances choisies à savoir: L'A-S10G et L'A-S13.

Vu l'importance de ces deux nuances d'un point de vu utilisation industrielle, nous essaierons de mettre en relief l'apport de l'un et de l'autre de par ses différentes caractéristiques mécaniques.

- RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES A-S10G
BRUT DE COULEE (SANS MODIFICATION) :

TABLEAU I

ESSAIS	D (MM)	DURETE (H B)	CHARGE P(KN)	R T DAN/MM ²	Li (MM)	A %
1	4,40	62,4	24200	16,20	71,89	2,71
2	4,44	61,2	24000	16,00	71,89	2,71
3	4,32	64,9	24200	16,20	71,89	2,71
4	4,40	62,4	24500	16,45	71,90	2,72
5	4,32	64,9	24200	16,20	71,91	2,73
6	4,36	63,6	24800	16,60	71,89	2,71

- RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES A- S10 G
BRUT DE COULLEE (AVEC MODIFICATION)

TABLEAU II

ESSAIS	D (MM)	DURETE (H B)	CHARGE P(KN)	R T DAN /MM ²	L i (MM)	A %
1	4,65	55,6	23000	15,40	72,20	3,14
2	4,60	56,8	23400	15,65	72,20	3,14
3	4,65	55,5	24200	16,20	72,50	3,71
4	4,54	58,4	23600	15,80	72,30	3,28
5	4,65	55,5	24000	16,00	72,40	3,43
6	4,65	55,5	23800	15,90	72,36	3,37

- RESULTATS DES ESSAIS MECANIQUES A-S10 G

BRUT DE COLEE AVEC MODIFICATION ET TRAITEMENT
THERMIQUE .TABLEAU : III.

ESSAIS	D (MM)	DURETE (H B)	CHARGE P(KN)	R T DAN/MM2	L i (MM)	A %
1	3,48	102	39000	26,10	71,16	1,66
2	3,50	101	38000	25,42	71,19	1,70
3	3,44	104	37 500	25,08	71,10	1,58
4	3,50	101	34000	22,75	71,20	1,72
5	3,48	102	35200	23,54	71,05	1,49
6	3,68	90,7	37900	25,35	71,20	1,72

- RESULTATS DES ESSAIS MECANQUES: 1- S13

BRUT DE COULEE(SANS MODIFICATION)

TABLEAU : IV

ESSAIS	D (MM)	DURETE (H B)	CHARGE P(KN)	R T DAN/MM ²	L i (MM)	A %
1	4,40	62,4	26000	17,40	71,82	2,60
2	4,48	60,1	26200	17,52	71,80	2,57
3	4,52	59,0	26400	17,66	72,00	2,85
4	4,40	62,4	27000	18,10	71,82	2,60
5	4,48	60,1	26300	17,60	71,79	2,55
6	4,40	62,4	26900	17,99	72,10	3,00

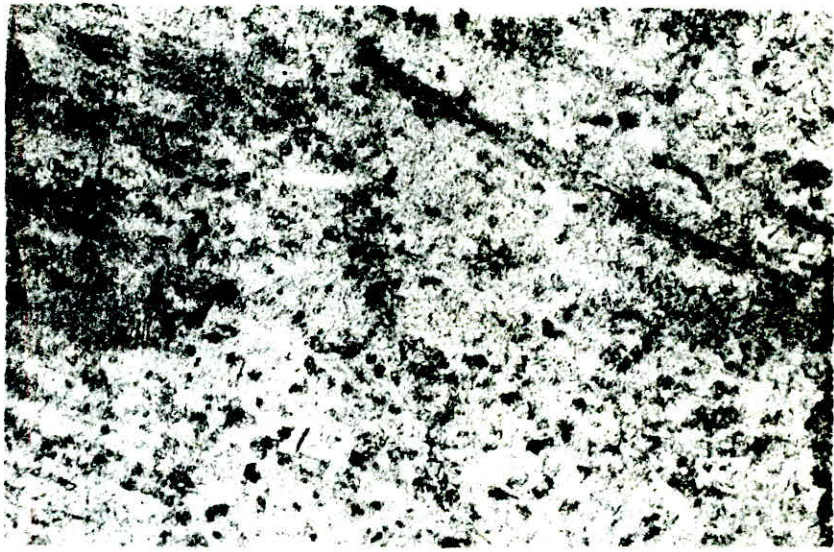
- RESULTATS : DES ESSAIS MECANIQUE: A S 13
BRUT DE COULEE (AVEC MODIFICATION)

// TABLEAU V

ESSAIS	D ^D (MM)	DURETE (H B)	CHARGE P(KN)	R T DAN(MM ²)	L i (MM)	A %
1	4,65	55,5	23800	15,90	72,80	4,00
2	4,60	56,8	24100	16,12	73,00	4,28
3	4,65	55,5	23900	15,98	72,80	4,00
4	4,65	55,5	24000	16,00	72,75	3,90
5	4,58	57,3	24700	16,52	73,10	4,43
6	4,65	55,5	24000	16,00	73,00	4,28



(a)



(b)

fig(I-8-1) A-513 : structure non modifiée $G : 250$

obtenue par brut de carbone

Attaque pendant 30 sec, avec H_2SO_4 à 20% chauffé à $T = 75^\circ C$.



(c)



(d)

A-S13 : structure modifiée

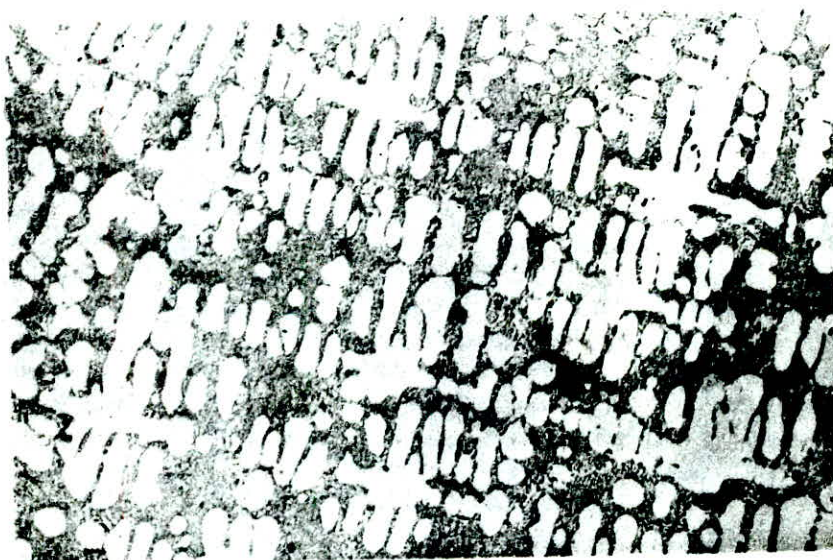
G:250

obtenue par brut de coulée

Attaque pendant 30sec, avec H_2SO_4 à 20%, chauffé à $T=75^{\circ}C$.



(a)

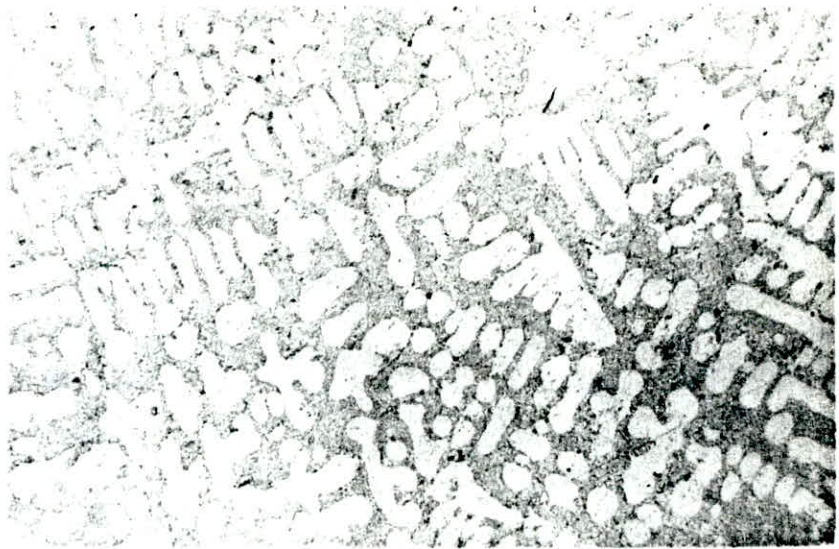


(b)

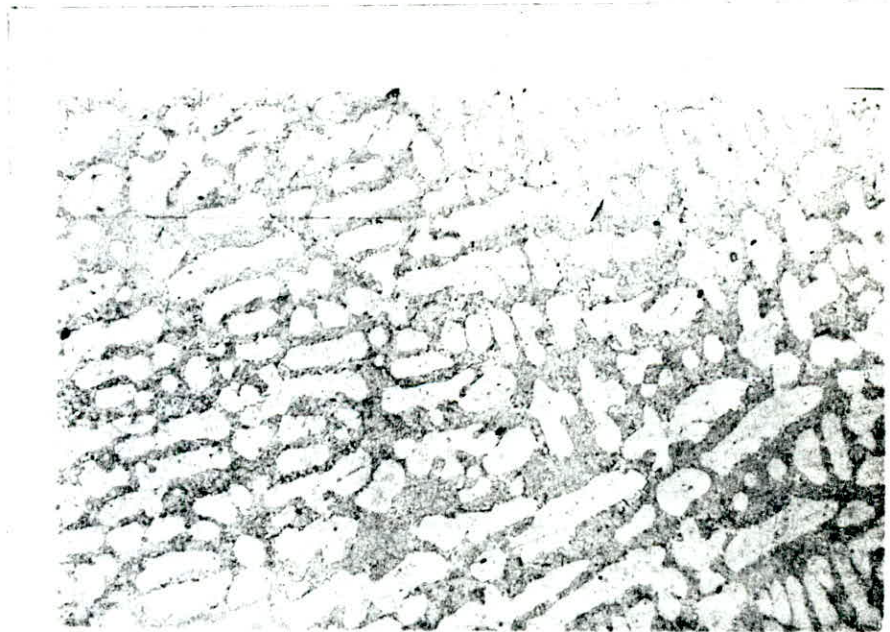
fig(V-8-2) A-S10G: structure non modifiée G: 250

Obtenue par brut de coulée

Attaque pendant 30 sec, avec H_2SO_4 à 20%, chauffée à $T=75^\circ C$.



(c)



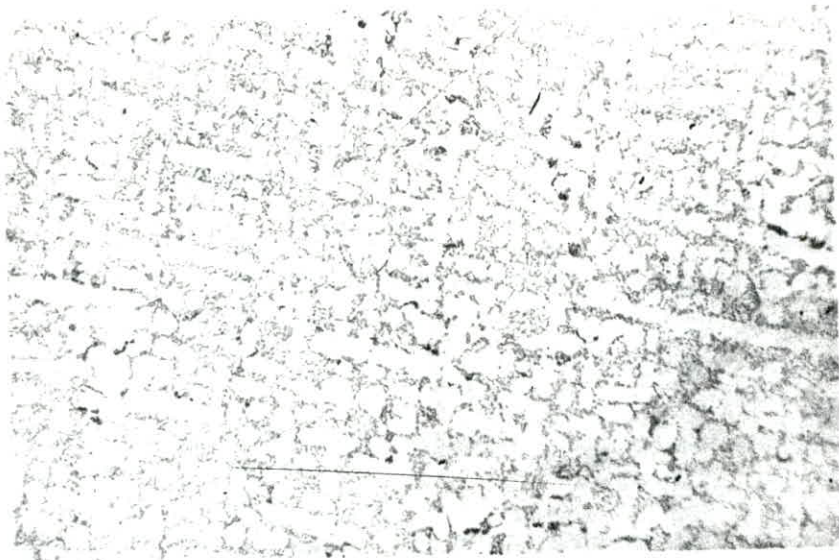
(d)

A-S10G : structure modifiée

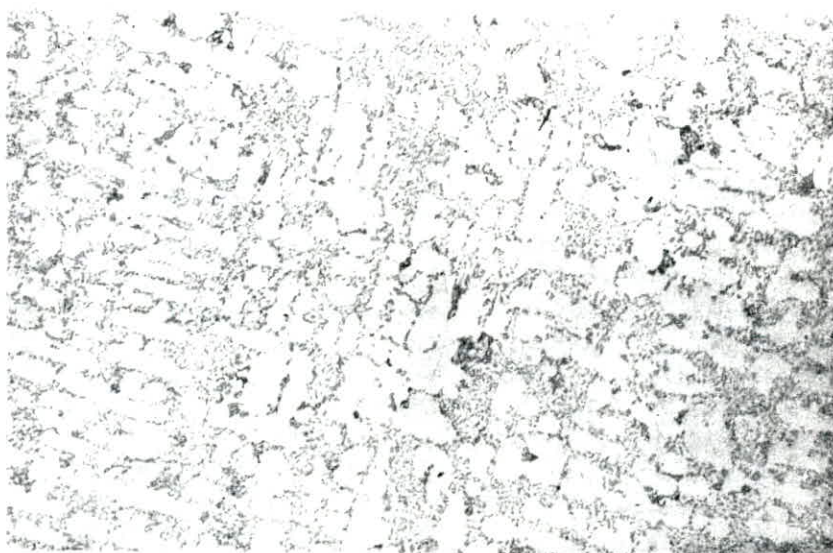
G: 250

obtenue par brut de caillé

Attaque pendant 30 s avec H_2SO_4 à 20%, chauffé à $T=75^\circ C$.



(e)



(f)

$G_i: 250$

A-S10G_i : structure modifiée et traitée thermiquement
obtenue par brut de coulée

Attaque pendant 30 sec avec H_2SO_4 à 20%, chauffé à $T = 75^\circ C$.

-oO- INTERPRETATIONS -Oo-VI- 8 - 1 / Eutectique :

C'est surtout le cas des alliages Al-Si qui contiennent toujours une proportion d'eutectique importante .

a - Soit des dendrites primaires d'Aluminium dans le cas de l'alliage A - S10G hypoeutectique (% Si < 11,7) .

b - Soit des cristaux polyédriques de Si dans le cas de l'alliage A - S13 hypereutectique (% Si > 11,7) .

VI- 8 - 2 / A - S13 :

D'après les structures obtenues avant modification fig (V-8-1-a-b) on remarque qu'elles comportent l'eutectique (+ Si) en aiguilles , avec l'apparition de nombreux cristaux de silicium primaires mais répartis , cette structure est dite granulaire .

Une telle structure entraîne des caractéristiques mécaniques plus ou moins élevées (telles que la dureté , la résistance à la rupture) , tandis que l'allongement est faible (voir tableau IV) , pour affiner les grains de silicium en excès , on introduit du sodium obtenu en mélangeant ($\frac{2}{3}$ NaF et $\frac{1}{3}$ NaCl) , qui fait augmenter la plasticité de l'alliage , et on remarque un léger abaissement sur la dureté et la résistance à la traction (tableau V) car l'eutectique acquiert une structure fine et les cristaux de silicium ainsi modifiés se couvrent d'une pellicule de siliciure de sodium (Na_2Si) qui rend mal aisée leur croissance , en conférant à l'alliage une structure dite (eutectique fibreux ou modifié) , fig (V-84 - 1 - c - d) .

VI-8-3 / A-S10G :

En général les structures comportent l'eutectique avec l'apparition des ramifications dendritiques d'Al orientées suivant des plans sous forme de lamelles .

Avant modification les dendrites d'aluminium sont apparues plus larges et orientées au hasard fig. (V . 8 . 2 . a . b) .

Ce qui conduit aux résultats indiqués sur le tableau I, d'où les valeurs de la dureté et la résistance à la traction sont élevées par contre l'allongement obtenu est faible.

Après le traitement de modification on observe que les ramifications dendritiques commencent à prendre une orientation néanmoins définie et une structure meilleure que la précédente (fig. V8-2-c-d), les caractéristiques mécaniques obtenues sur cette structure (tableau II), montrent qu'une amélioration de la plasticité de l'alliage et un abaissement moins sensible des valeurs de la dureté et de la résistance à la traction.

Le traitement thermique a permis pour l'alliage A-S10G d'accéder à un niveau de caractéristiques mécaniques plus élevées, surtout la dureté et la résistance à la traction, par contre une diminution remarquable de l'allongement, ce qui montre l'influence défavorable du traitement sur le domaine plastique de cet alliage (tab III), d'autre part, le traitement thermique conduit à une structure très fine dont l'extéctique est fin et divisé et les dimensions des dendrites d'aluminium sont plus réduites et bien orientées conférant à l'alliage une structure plus homogène (fig V; 8 - 2, c. β).

- oOo CONCLUSION oOo -

Les deux alliages d'aluminium de fonderie étudiés A-S10G et A-S13, possèdent des propriétés communes telles que :

- La légèreté, actuellement très recherchée en construction mécanique.
- La bonne coulabilité qui résulte de l'addition en forte proportion de Si (A - S10G : 10 % de Si; A-S13 : 13 % de Si).
- Présentent une amélioration de structure par le procédé d'affinage (modification).
- Absence de criques due à la bonne aptitude au moulage.

A-S13 : C'est un alliage hypereutectique, ses propriétés dominantes sont :

- La bonne tenue à la corrosion, appréciable dans de nombreuses applications.
- Sa bonne aptitude aux moulages par tous les procédés, en particulier le moulage sous pression.
- Vue sa tendance aux retassures internes dans les pièces massives cependant il n'est utilisé que pour la réalisation des pièces minces.
- Les caractéristiques mécaniques de cet alliage ne sont pas améliorées par le traitement thermique de trempe, on l'utilise brut de fonderie dans les états Y- 20, Y- 30, Y- 40.


A-S10G : C'est un alliage hypoeutectique, permet la réalisation des pièces de grandes dimensions avec une faible tendance aux retassures.

La susceptibilité de l'alliage au traitement de durcissement structural, confèrent à l'alliage de hautes caractéristiques

...../.....

mécaniques, et une bonne stabilité dimensionnelle, donnent l'avantage d'être choisi par les constructeurs à l'usage de nombreuses applications au niveau industriel.

L' A-S10G est l'alliage le plus utilisé à la S.N.V.I. C.V.I de Rouiba que l'A-S13 pour ses nobles propriétés.

-oOo-  I B L I O G R A P H I E -oOo-

- 1- Métallurgie structuralepar DESY(1969)masson
et Cie.
- 2- Métallurgie spéciale tome I par J.HERENGUEL(1962)
- 3- Métallurgie générale par BENARD
- 4- Le comportement de l'aluminium et de ses alliages ...par
C. VARGEL(1979 dunod.
- 5- l'Aluminium tome I et 2par PECHINEY(1964)
- 6- Alliages métalliques(métallurgie tome I)...par CHAUSSIN Dunod
(1966)
- 7- Métallographie et traitements thermiques les métaux....par LAKHTINE
ed MIR(1978)
- 8- Techniques de l'Ingenieur
- 9- Revues : fonderie, fondeur d'aujourd'hui. 1985 - 1986

