

19/87

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
—oOo—

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique
—oOo—

NEA

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: MINES ET METALLURGIE

المدرسة الوطنية
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

INFLUENCE DE FAIBLES ADDITIONS DE
ZINC SUR LES PROPRIETES DE L'A-S10G

Proposé par :

M.CHITROUB

Etudié par:

A.ZIANI

Dirigé par:

M.CHITROUB

PROMOTION: JUIN 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
—oOo—

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique
—oOo—

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT: MINES ET METALLURGIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

INFLUENCE DE FAIBLES ADDITIONS DE
ZINC SUR LES PROPRIETES DE L'A-S10G

Proposé par :

M.CHITROUB

Etudié par:

A.ZIANI

Dirigé par:

M.CHITROUB

PROMOTION: JUIN 1987

R. E. M. E. R. C. I. E. M. E. N. T. S.

J e ne saurais présenter ce travail sans exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui y ont contribué.

Mes remerciements sont particulièrement adressés à :

-Monsieur CHITTOUB pour la direction attentive qu'il a accordé à mon travail.

-Monsieur SAADA chef de Département Mines et Métallurgie pour sa compréhension et son sincère dévouement.

- A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation et particulièrement à ceux du Département Mines et Métallurgie.

- A tous les cadres et ouvriers de la fonderie (S.N.V.I- C.V.I ROUIBA) et à Messieurs: BELKACEM, HADJAM, CHABANE, MAANDI et BOUHASSI.

- Monsieur RANDANE Nassim pour son aide.

A. ZIANI

SOMMAIRE

	Page
I. INTRODUCTION.....	01
II. GENERALITES SUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM.	
II-1 Introduction.....	02
II-2 Alliages corroyés.....	03
II-3 Alliages de fonderie.....	04
II-4 Alliages Al - Si.....	05
II-5 Alliages Al- Zn.....	08
II-6 Fonderie et moulage.....	10
II-7 Traitements thermiques.....	12
III METHODES EXPERIMENTALES	
III-1 Préparation des éprouvettes de traction.....	19
III-2 Essais mécaniques.....	22
III-3 Essai de corrosion.....	26
IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
IV-1 Resultats.....	31
IV-2 Interprétations.....	35
V CONCLUSION.....	48
BIBLIOGRAPHIE.....	49

I INTRODUCTION

Les alliages d'aluminium possèdent souvent des caractéristiques mécaniques supérieures à celles de l'aluminium pur, le durcissement par formation d'alliage résulte en revanche de l'interaction entre dislocations et atomes étrangers.

Les atomes étrangers ont toujours une taille et une structure électronique différentes de celles de l'aluminium, leur adjonction à ce métal provoque donc systématiquement une perturbation du réseau cristallin.

Tous les éléments n'ont à cet égard pas le même effet, cet effet est en outre différent suivant que les atomes étrangers sont en solution solide ou qu'ils sont groupés sous forme de précipités plus ou moins fins. Selon leur distribution, les atomes étrangers gênent donc plus ou moins le déplacement des dislocations et influencent ainsi de manière très variable la déformation plastique.

Le but de ce travail est de voir l'influence de faibles additions de zinc sur les propriétés mécaniques de l'alliage A-S10G utilisé à la fonderie de la S.N.V.I - C.V.I.

Le choix du zinc comme élément d'alliage entre dans le cadre de développement des métaux et alliages élaborés en Algérie.

Dans le chapitre généralités nous avons cité les alliages d'aluminium les plus importants et leurs propriétés, en particulier les alliages Al - Si - et Al - Zn, on a également parlé en détail de l'étape élaboration de l'A-S10G (fusion, matières premières, matériel) et des traitements thermiques souvent pratiqués pour les alliages d'aluminium.

Le chapitre techniques expérimentales expose la méthode utilisée pour l'élaboration et l'étude des alliages élaborés à partir de l'A-S10G, les résultats trouvés sont rassemblés et interprétés dans le chapitre IV, la conclusion tirée de cette étude est donnée au chapitre V.

II GENERALITES SUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM.

II - 1 INTRODUCTION :

L'aluminium à l'état pur est très mou, et comme les additions rentrant en solution solide constituent un autre mécanisme utilisé pour obtenir l'augmentation de la résistance à la déformation, les alliages industriels seront donc obtenus par des additions de métaux rentrant largement en solution solide.

Grâce au système cristallin et à la maille de l'aluminium, les autres métaux communs donnent de larges possibilités dans cette voie.

Les alliages industriels ont des formules de plus en plus complexes, ils comportent généralement;

- Une addition principale, dont la teneur fixe à la fois le niveau des propriétés de résistance qu'on pourra obtenir et, le niveau de difficultés de transformation et de mise en oeuvre.
- Des additions secondaires, à des titres généralement beaucoup plus faibles, et qui ont une action spécifique recherchée soit pour faciliter l'élaboration, la transformation, les techniques d'utilisation, soit pour améliorer les propriétés d'usage.
- Des restrictions plus ou moins rigoureuses pour certaines impuretés qui exercent encore une influence spécifique, comme les précédentes, mais défavorables cette fois.

Parmis les solutions solides certaines restent stables à toutes températures; elle se comportent et se transforment dans des conditions analogues à celles du métal non allié. D'autres au contraire dépassent la limite de solubilité à la température ordinaire; elle relèvent alors des traitements thermiques.

Certaines parmi ces dernières - la plupart - peuvent subir un durcissement structural après homogénéisation et trempe. Ce durcissement se produit au voisinage de la température ordinaire (maturation) et s'accélère quand la température s'élève jusqu'à 100 - 200°C.

Le durcissement structural permet d'accéder à un niveau de propriétés mécaniques que ne peuvent pas procurer les solutions solides stables.

Les alliages d'aluminium sont classés en deux grandes catégories du fait de la spécialisation technologique essentielle qu'elles matérialisent :

- Les alliages corroyés
- Les alliages de fonderie.

II - 2 ALLIAGES CORROYES :

Le corroyage est un ensemble d'opération métallurgiques, associant des déformations plastiques (à chaud et à froid) avec des traitements thermiques (homogénéisation, trempe, revenu ainsi que recristallisation et restauration).

Le corroyage permet d'assurer sur les produits métallurgiques :

- des dimensions géométriques (formes et tolérances dimensionnelles)
- une texture, et une structure correspondant autant que possible à celle d'une solution solide.

Les classes principales d'alliages corroyés connues actuellement sont :

- * Les conducteurs électriques tel que : Al - Mg à 0,7%
- * Déformation à froid tel que : Al - Zn, -Mg
- * Soudage tel que : Al- Mg - Si
- * Traitements anodiques
- * Tenue à la corrosion tel que : Al - Zn - Mg.
- * Haute résistance mécanique tel que l'alliage quaternaire : Al-Cu-Si-Mg
- * Alliages pour tenue à chaud tel que le quaternaire: Al - Cu - Mg - Ni
- * Forgeage tel que l'alliage ternaire : Al - Zn - Mg.

II - 3 ALLIAGES DE FONDERIE :

Le choix des alliages de fonderie repose sur un certain nombre de règles générales parmi lesquelles citons :

a) plus l'intervalle de solidification est large, plus les risques de retassure intercrystalline et de fêlure à chaud (fissilité) sont grands. Inversement, plus cet intervalle est petit, plus le moulage sera point et sans solution de continuité.

b) certains éléments réduisent considérablement la fissilité : le silicium par exemple 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).

d) les métaux de haute pureté ont tendance à donner des cristallinités 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. On y remédie quand celà est possible en ajoutant des affinants du grain tels que :

- le sodium et le phosphore pour les alliages Al - Si
- le titane pour toutes les autres formules.

On peut encore classer les formules d'alliages industriels suivant leurs caractères subjectifs :

-bonne aptitude au moulage :

a) Alliage Al - Cu (à 12% de Cu) il se coule bien, mais sa tenue à la corrosion est très mauvaise.

b) Alliage entocétique Al - Si (voir paragraphe II -4)

-bonne tenue à la corrosion :

Le cuivre et les éléments électropositifs par rapport à l'aluminium doivent être absents.

Les plus importantes sont les alliages Al - Mg.

Haute résistance mécanique :

Il s'agit exclusivement des nuances à traitement thermique, qui nécessitent donc après la solidification la séquence : chauffage d'homogénéisation, trempe et revenu durcissant.

Parmi ces alliages citons : Al - Cu - Mg; Al - Zn - Mg.

-Décoration anodique :

Ce sont les alliages Al - Mg qui sont exclusivement employés avec du titane (pour obtenir un grain fin).

-Tenue à chaud :

On utilise des formules analogues à celles des produits corroyés.

Pour l'ensemble des alliages de fonderie, on peut relever les actions spécifiques suivantes :

-Titane : ajouté à 0,05 - 0,1%, favorise la finesse du grain à la solidification.

-Bore : ajouté à la teneur de 0,005 à 0,01% à la même action.

-Zirconium : 0,05 à 0,1% est un puissant agent de dégazage (pour Zr surtout par dissociation de fluosels) et, diminue la tendance à la microsoufflure et à la microretassure.

Il affine aussi le grain.

-Béryllium : 0,005 à 0,01%, diminue la sensibilité à l'oxydation à chaud et indirectement, la tendance à la microsoufflure, mais favorise le grossissement du grain à la solidification.

-Silicium : 0,05 à 0,8%, abaisse fréquemment la tendance à la fissuration à chaud (Al - Mg et Al - Cu en particulier).

-Nickel : 1 à 2%, augmente la tenue mécanique à chaud.

-Cuivre : Cu 0,1%, altère la tenue à la corrosion, surtout marine.

II - 4 ALLIAGES Al - Si :

Après le fer, le silicium est l'impureté principale, de l'aluminium, mais ce n'est pas le seul intérêt du diagramme Al-Si, les alliages Al - Si forment le groupe le plus important des alliages légers de fonderie.

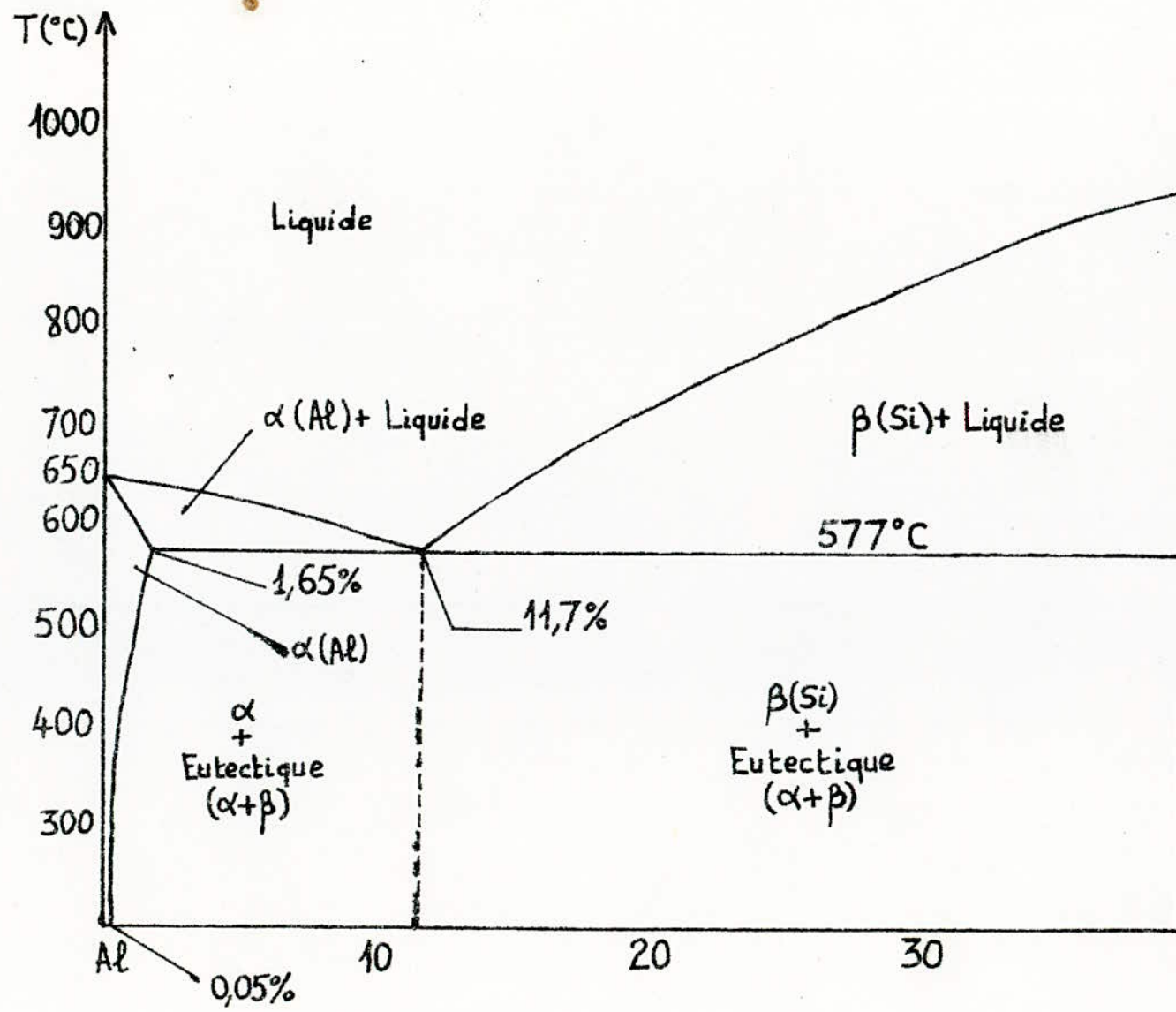


fig. II.1 Diagramme d'équilibre Al-Si

Le diagramme d'équilibre (fig II.1) comporte un eutectique :
Liq $\text{Al} + \text{Si}$ fondant à 577°C et contenant 11,7% de silicium.

La solubilité maximale du silicium dans l'aluminium est de 1,65% en poids.

L' A- S13 et l' A - S10 G, dénommées aussi alpax et alpax H, coulés sans traitement thermique préalable contiennent des cristaux primaires de silicium relativement gros, ceux-ci jouent le rôle d'entailles internes dans la solution solide plastique il en découle des caractéristiques mécaniques faibles.

PACZ a montré en 1921 que l'on pouvait affiner le grain de silicium en ajoutant à ces alliages, avant de les couler, 0,5% en poids de sodium, ou d'un mélange de sels de sodium tel que : $\text{NaCl} + \text{NaF}$ susceptible de donner Na naissant par réaction de Al sur NaF.

En fait on ne retrouve pratiquement pas de sodium dans l'alliage après coulée.

La résistance est améliorée de 20%, en même temps que l'allongement est multiplié par deux.

Le mode d'action du sodium est encore très discuté, mais deux faits sont bien établis :

-Le sodium abaisse la température de l'eutectique.

-Il repousse la composition de l'eutectique vers les fortes teneurs en silicium.

L'affinage peut être obtenu également par refroidissement brut du métal au moment de la coulée (coulée en coquille).

L'action du phosphore, élément affinant pour les alliages hypereutectiques (A - S22), est un peu différente, le phosphore affine les cristaux primaires de silicium, mais il entraîne également leur sphéroïdisation.

En présence de sodium, au lieu du silicium excédentaire, on observe dans la structure de l'alliage, l'apparition des cristaux de la solution solide.

Dans ces conditions l'eutectique acquiert une structure plus fine et se compose de petites cristaux des solutions solides β (Si) et α .

Pendant la solidification les cristaux de silicium se couvrent d'une pellicule de siliciure de sodium (Na_2Si) qui rend malaisée leur croissance, cette structure inoculée améliore les propriétés mécaniques de l'alliage.

II - 5 ALLIAGES Al - Zn :

Le diagramme Al - Zn (fig II-2) a deux particularités :

-Un vaste domaine de solution solide s'étendant jusqu'à 84% en poids de zinc à 382°C.

-Un domaine d'immiscibilité entre 2 phases contenant des pourcentages différents en zinc.

Etant donnée l'étendue du domaine de la solution solide, ces alliages se prêtent bien aux traitements thermiques.

Le durcissement structural des alliages Al - Zn se produit seulement si les métaux sont très purs.

Le mûrissement qui a lieu à température ambiante, est d'autant plus rapide et, la dureté finale est d'autant plus grande que la teneur en zinc est plus élevée, cette dureté et cette vitesse sont maximales pour une température de trempes de 450°C.

Le durcissement structural est très influence par la présence d'impuretés, le fer et le silicium le font pratiquement disparaître, alors que le Mg ne fait que le ralentir dans le cas de métaux purs et, le rétablit dans le cas d'alliages industriels.

Le durcissement serait dû à la formation d'amas sphéroïdaux de zinc.

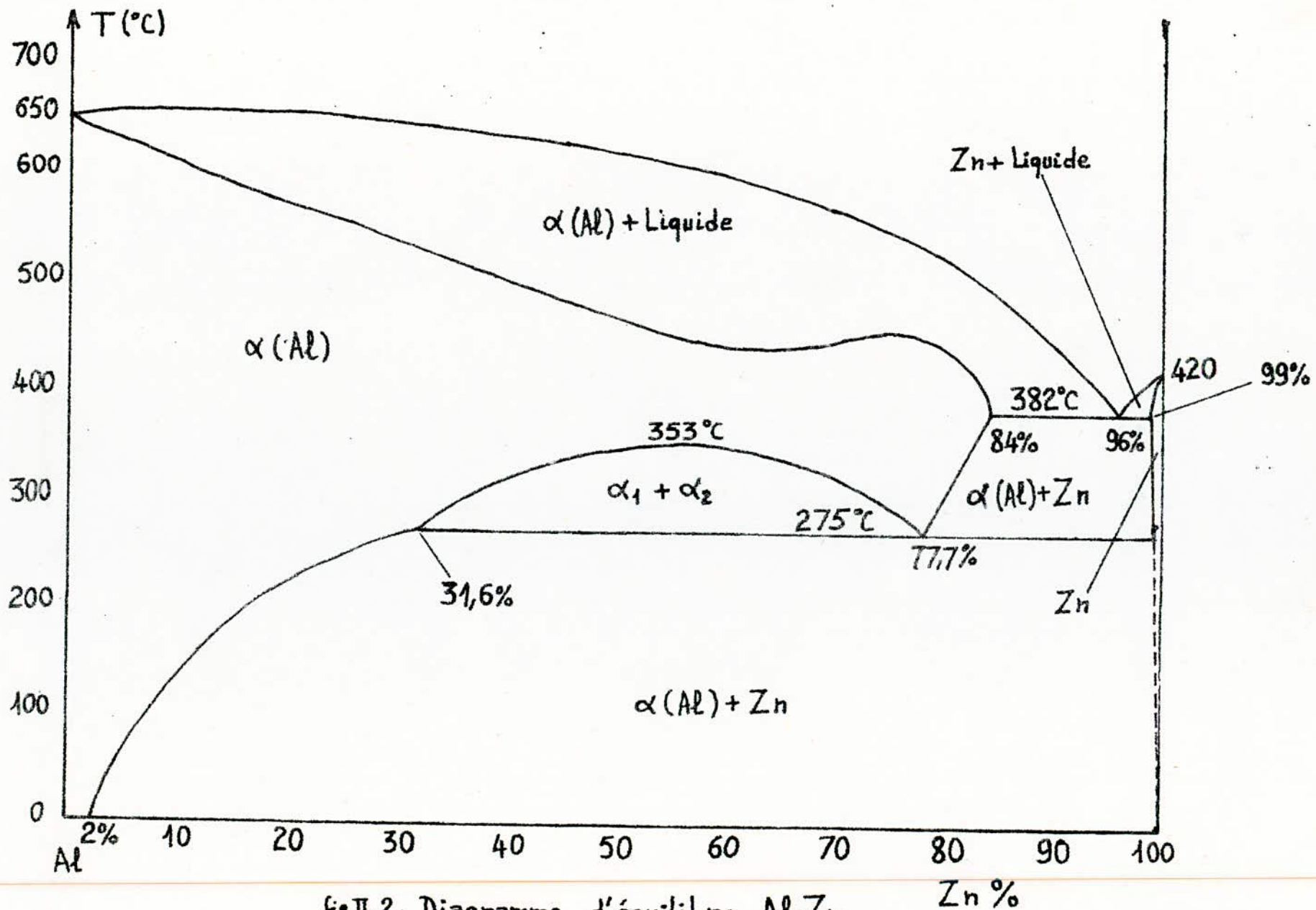


fig II.2. Diagramme d'équilibre Al-Zn

II - 6 FONDERIE ET MOULAGE :

II - 6 - 1 Constitution de la charge :

La charge est constituée le lingots d'A-S 10G et de jets (retours).

Les proportions de lingots et de retours doivent être respectées et le contrôle des jets constamment effectué pour les raisons suivantes :

-Eviter l'emploi massif de jets qui accroît les risques d'écart de composition chimique (notamment en ce qui concerne le magnésium) et augmente la quantité d'oxydes présents dans le bain métallique (ce qui entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques et de la coulabilité de l'alliage).

-Attacher la plus grande importance à ce qu'aucun jet d'alliage chargé en cuivre ou en magnésium ne soit mélangé par inadvertance aux jets d'A - S 10G.

L'A - S10G est vendu en lingots titrés mais on peut en cas de besoin l'élaborer soi-même à partir d'aluminium pur (qualité A5) et d'alliages - mères de silicium, de magnésium et de manganèse.

Voici une charge type pour 100 Kg d'A - S10G :

aluminium (A5).....	46Kg
alliage -mère de Si A-S20.....	47Kg
alliage-mère de Mn A - M10.....	4 Kg
alliage-mère de Mg A - G10.....	3 Kg

II - 6 - 2 Fusion.

a) Creusets : Le graphite et le carborundum (SiC) sont inertes vis à vis du métal (Al) et sont de bons conducteurs de la chaleur, ils sont largement employés sous forme de creusets, le graphite et le carborundum 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 à chauffage au mazout ou au gaz sont plus maniables et mieux sous contrôle de température que les fours à creusets à chauffage au coke, ce qui permet d'éviter tout risque de surchauffe (le volant thermique est l'un des facteurs susceptibles de provoquer cette surchauffe).

Le chauffage électrique par résistance est aussi largement utilisé avec les fours à creusets, mais leur "vivacité" de chauffage est faible (l'énergie rayonnée par unité de surface est limitée), par contre leur régulation de température est commode : ces fours sont surtout utilisés comme fours d'attente contenant le métal déjà liquide sur lequel on peut effectuer les divers traitements.

Les outils de fusion sont préchauffés et séchés complètement avant de les introduire dans l'alliage, les outils en fonte ou en acier sont soigneusement potoyés avec des enduits du type "talc silicate", ou "graphite silicate" pour éviter l'attaque et la diffusion intermétallique.

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 omettre 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°) Coulée et moulage :

La coulée doit avoir lieu à la température la plus basse compatible avec la bonne venue des pièces (on peut sans inconvénient, descendre jusqu'à 680°C).

En cas de malvenue, plutôt que d'élever la température de coulée, il est préférable d'augmenter les tirages d'air, la perméabilité des moules en sable ou la température des coquilles.

Le métal doit être introduit dans le moule sans aucune turbulence : le bec du creuset ou de la poche doit être aussi près que possible du jet de coulée en maintenant l'entonnoir de coulée constamment plein.

Pour éviter l'apparition de piqûres ou de soufflures à la surface des pièces, il faut employer des noyaux peu chargés en agglomérant et, un sable perméable modérément humide (d'où l'intérêt de contrôler la teneur en eau avec une bombe speedy)

II - 7 TRAITEMENTS THERMIQUES

II - 7 - 1 Homogénéisation :

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, cette précipitation est d'autant plus fine et abondante que la température est plus basse.

Les températures d'homogénéisation sont le plus souvent celles qui correspondent à l'état d'équilibre de la solution solide que l'on trouve dans les diagrammes thermiques, elle coïncident donc sensiblement avec les températures indiquées pour la mise en solution avant trempe dans le cas des alliages trempants.

Pour assurer les deux types d'évolution, il faut effectuer un traitement par deux chauffages à des températures échelonnées.

Si la température est trop élevée il peut y avoir fusion des eutectiques entourant les cristallites et même parfois brûlure et destruction de la cohésion métallique.

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

Les durées de maintien à température peuvent varier de 5 à 48 heures, suivant l'alliage, les dimensions des pièces et leurs formes, la charge des fours et leur puissance.

Les traitements d'homogénéisation sont d'autant plus efficaces qu'ils sont appliqués à l'état coulé ou légèrement corroyé, 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 malléabilité à l'état recuit est améliorée (la limite élastique est abaissée et l'allongement augmenté).
- La résistance à la fatigue est augmentée.

II - 7 - 2 Trempe et durcissement structural (maturation, revenu)

Les traitements de trempe et de durcissement structural caractérisent les alliages légers dits à traitement thermique ou trempants.

Deux caractères communs et fondamentaux sont :

- Les éléments d'addition sont en solution solide à haute température;
- Leur solubilité décroît avec la température.

Le chauffage porte l'alliage dans la zone de phase homogène à la température (t_1) (fig II -3).

Si l'on refroidit l'alliage assez lentement pour qu'à chaque température l'équilibre ait le temps de s'établir, la solution solide qui serait sursaturée au dessous de (t_2), se sépare en plusieurs phases : une solution solide de moins en moins riche à mesure que la température décroît et, un ou plusieurs précipités contenant des éléments dissous en forte proportion.

Par contre, si on refroidit l'alliage à partir de la phase homogène en l'amenant rapidement à la température ordinaire (t_3), on conserve l'état homogène.

Mais la solution solide sursaturée à t_3 , est alors dans un état métastable et a 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 qui est appelé :

-maturation, lorsque l'évolution se produit à la température ordinaire (t_3).

-revenu, lorsque l'évolution est accélérée par un traitement à une température modérée (t_4) inférieure à (t_2).

Si l'on élève la température au niveau (t_5), peu inférieur à (t_2), il ya recuit et le durcissement structural ne peut plus avoir lieu.

II - 7.2.1 La trempe :

Le traitement de trempe consiste essentiellement à porter l'alliage à une température suffisante pour qu'il se trouve, aussi complètement que possible, à l'état de solution solide et à le refroidir rapidement afin qu'il conserve pendant quelques temps, à la température ordinaire, un état très voisin de celui qu'il avait à la température de mise en solution.

Pour la majorité des alliages, si l'on considère les courbes représentant la variation des caractéristiques mécaniques (fig II-4) relevées après durcissement structural en fonction de la température de trempe, on constate que toutes les caractéristiques passent par un maximum pour une bande plus ou moins étroite de température et s'abaissent ensuite pour des températures de mise en solution supérieures ou inférieures.

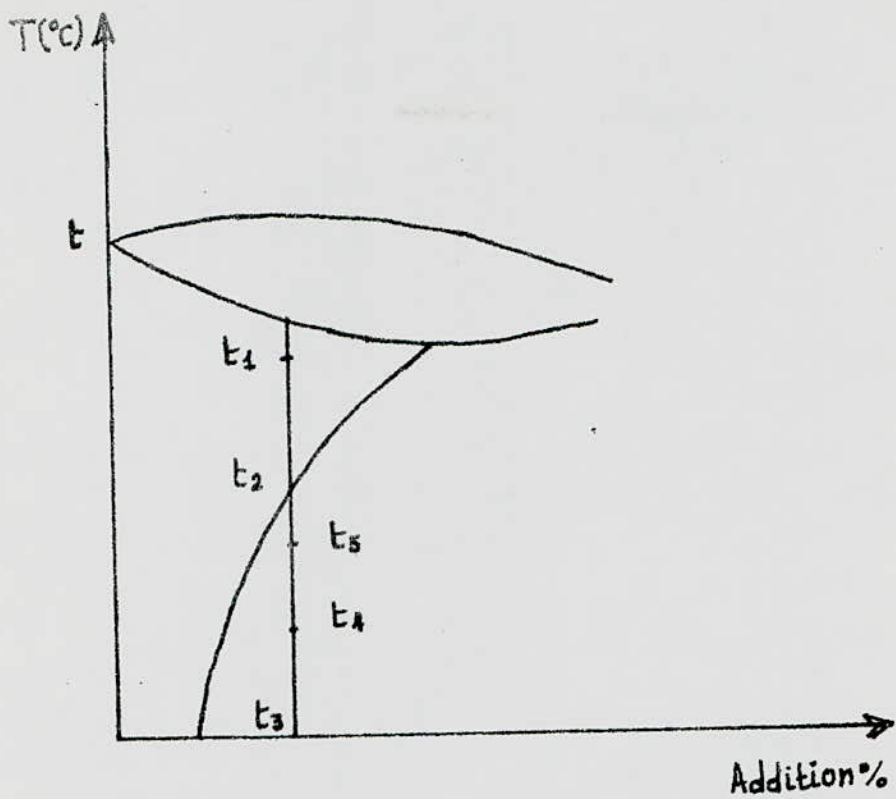


fig II.3. Mécanisme du durcissement structural

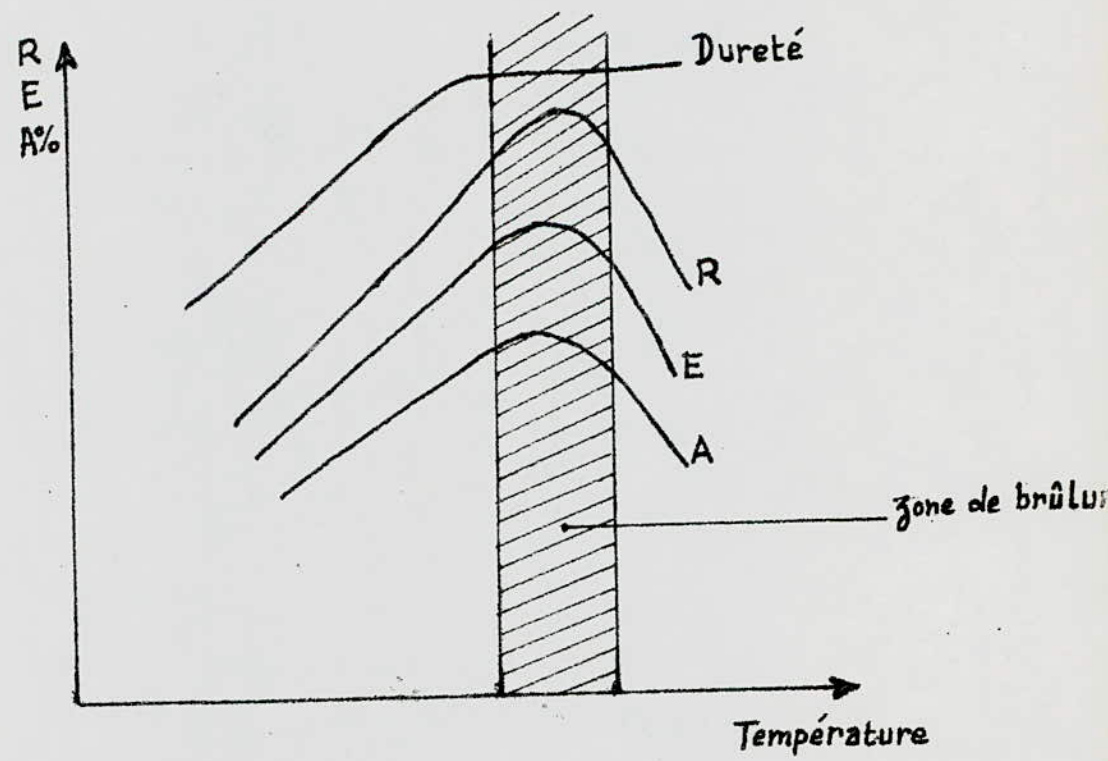


fig II.4. Variation des propriétés mécaniques avec La température de trempe

Les températures supérieures à un certain optimum pratique étant les températures de brûlure à éviter.

Aux températures inférieures à l'optimale (qui doit être respectée à $\pm 5^{\circ}\text{C}$ près), l'abaissement des caractéristiques résulte de la mise en solution incomplète du ou des constituants actifs.

Aux températures supérieures à l'optimale, il ya fusion des eutectiques complexes intergranulaires et il ya donc brûlure et décohesion fragilisante : le métal perd son allongement, présente un grain de cassure grossier et brillant et n'est plus récupérable.

La dureté n'est pas sensiblement modifiée par la brûlure elle ne peut donc servir à la caractériser.

La vitesse de refroidissement doit être supérieure à une certaine vitesse de trempe dite "vitesse critique de trempe"; sinon une précipitation peut avoir lieu ce qui correspond à une mise en solution incomplète défavorable au durcissement structural ultérieur et, par conséquent, aux caractéristiques mécaniques finales.

Le milieu de trempe le plus courant dans l'élaboration des alliages d'aluminium est l'eau ordinaire à 15 à 40°C .

Lorsque les pièces sont sensibles aux tensions internes et aux tapures, on peut pratiquer la trempe à l'eau bouillante ou à l'huile.

II - 7.2.2 Le durcissement structural :

Un alliage fraîchement trempé, en équilibre métastable, a tendance à évoluer vers un état plus stable par précipitation de la phase en sursaturation, ce qui provoque le durcissement structural.

A température ordinaire se produit une évolution naturelle dite maturation.

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

1°)-Maturation_

La maturation appelée aussi "vieillissement" a lieu spontanément à la température ambiante, elle est marquée par le rassemblement de certains atomes.

L'alliage mou au départ voit ses caractéristiques mécaniques augmenter d'abord rapidement, puis lentement jusqu'à atteindre des valeurs voisines de l'équilibre après un certain temps (de l'ordre d'une semaine), l'évolution peut se poursuivre encore pendant des années, mais elle se poursuit en général dans le sens favorable, il ya 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 augmente lorsque la température de maturation augmente
- pour certains alliages (Al - Cu - Mg), la maturation est d'autant plus rapide que le métal a été trempé un plus grand nombre de fois.
- la maturation est fortement accélérée par l'écrouissage, surtout lorsqu'il est appliquée au début du durcissement et entraîne la création de tensions internes.

2°)- Les traitements de revenu

Pour des températures, nettement supérieures à la température ordinaire, apparaissent plusieurs types de précipitations successivement, ces évolutions constituent les revenus.

La vitesse et le mode de refroidissement après revenu n'ont pas d'influence sur les caractéristiques mécaniques finales.

Les caractéristiques obtenues par revenu sont fortement influencées par l'écrouissage qui peut être effectué entre la trempe et le revenu, on peut à égale résistance mécanique obtenir une meilleure capacité de déformation ou, à égale capacité de déformation une meilleure résistance mécaniques.

Les revenus conduisent plus spécialement pour les alliages transformés, à des valeurs plus élevées que la maturation pour les charges de rupture, les limites élastiques et les duretés, mais sensiblement moins élevées pour les allongements.

...../.....

III METHODES EXPERIMENTALES

III - 1 PREPARATION DES EPROUVETTES DE TRACTION :

D'après la norme A57 - 702, les pièces coulées en A-S10G doivent avoir une composition chimique comprise entre les limites suivantes :

- Fer..... $\leq 0,65$
- Silicium..... 9,0 à 10,5 %
- Cuivre $\leq 0,10$
- Zinc $\leq 0,10$
- Magnésium..... 0,17 à 0,35
- Manganèse..... 0,25 à 0,50
- Nickel $\leq 0,05$
- Plomb $\leq 0,05$
- Etain $\leq 0,05$
- Titane $\leq 0,10$
- Cobalt $\leq 0,20$

Les valeurs minima fixées par la norme A57-702 s'entendent pour des éprouvettes coulés à 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 thermique.....	23	18	1,5	75
Coquille	Brut.....	18	11	2,0	65
	Après traitement thermique.....	26	18	1,5	80

Les limites de composition chimique indiqués précédemment sont impératives.

Tout écart peut amener des déboirs lors du traitement thermique ou, diminuer la résistance à la corrosion, d'ou la nécessité de contrôler la teneur des éléments suivant dans l'alliage pour chaque lit de fusion.

-Fer-

Le fer toujours présent à titre d'impureté, doit être maintenu à des teneurs modérées car il forme des constituants la mellaires très fragiles qui diminuent notablement les caractéristiques mécaniques.

-Cuivre

Le cuivre est à proscrire le plus possible car il diminue la résistance à la corrosion.

-Magnésium

Tout excès de cet élément accentue le durcissement après traitement thermique, réduit l'allongement et rend l'alliage fragile.

Une teneur en magnésium trop faible conduit à un durcissement insuffisant après traitement thermique; les causes susceptibles d'abaisser la teneur en magnésium sont :

- le traitement de modification par les flux sodés,
- le maintien (en particulier dans le cas de la coulée en coquille)
- le traitement de dégazage;
- l'emploi de jets ou "retours" à basse teneur en magnésium.

Pour ajuster la teneur ou utilise un alliage A-G10 ou du magnésium pur.

Manganèse et Cobalt

La présence de l'un de ces éléments est nécessaire pour combattre l'action néfaste du fer.

Toute fois des teneurs supérieures à 0,55% nuisent aux caractéristiques mécaniques de l'A-S10G.

III - 1.1 Addition de zinc :

L'addition de zinc sur l'A-S10G se fait de la manière suivante :

- L' A-S10G liquide préalablement dégazé est coulé à une température supérieure à 800°C dans une grande poche suffisamment préchauffée pour ralentir le refroidissement de l'alliage.

-L'alliage étant à 800 -820°C, il est décrassé, puis la surface du bain est recouverte uniformément avec 0,5% de flux modificateur (30 à 50g de sodium pour 100kg d'alliage), ensuite à l'aide d'une cloche perforée préalablement poteyée on l'enfonce légèrement dans le métal liquide à plusieurs reprises, afin d'obtenir un bon contact entre l'alliage et la poudre.

-L'alliage décrassé et modifié est ensuite transvasé dans une petite poche préalablement préchauffée contenant la masse de zinc nécessaire pour l'obtention de la nuance d'alliage Al - Si - Zn désirée.

Des échantillons de micrographie sont coulés en même temps.

-Le bain est ensuite soigneusement brassé pour assurer une bonne homogénéisation de l'alliage, qui est immédiatement coulé dans des moules en sable pour l'obtention d'éprouvettes de traction.

La coulée doit s'effectuer 8 à 15 minutes après l'introduction du sodium.

En aucun il ne faut laisser s'écouler plus de 20 minutes, sous peine de voir disparaître l'action modificatrice du sodium.

III - 1.2 Traitement thermique :

Pour chaque alliage élaboré une partie des éprouvettes de traction est réservée pour le traitement thermique (fig III-1), celui comporte :

-Une mise en solution entre 535 et 545°C pendant 6 heures, suivie d'une trempe à l'eau froide.

-Un revenu entre 155 et 165°C pendant 10 heures, suivi d'un refroidissement à l'air.

La mise en solution est effectuée à une température proche du point de fusion commençante de l'alliage, ce traitement est conduit dans un four à régulation automatique et précise de la température, les éprouvettes sont disposées de telle façon qu'elles ne puissent se déformer, le temps qui s'écoule entre leur sortie du four et leur immersion dans le bac doit être le plus court possible.

III - 2 ESSAIS MECANIKES :

La déformation élastique des métaux a une importance particulière dans la construction, alors que la déformation plastique joue le premier rôle dans les procédés de formage.

L'ingénieur doit dimensionner ses constructions de telle façon que la déformation provoquée par la sollicitation la plus élevée reste dans le domaine élastique.

Pour cela, il a besoin de données sur les propriétés des matériaux pour divers modes de sollicitations (tension, compression, flexion, torsion), données que l'on obtient à l'aide d'essais mécaniques.

Lors de tels essais, on applique des charges plus ou moins importantes statiques ou variables dans le temps, à différentes températures comme il n'est pas possible de tirer d'essais de courte durée des conclusions sur le comportement d'un matériau très longtemps sollicité, on dispose également d'un certain nombre de méthodes normalisées pour des essais de longue durée, mais on utilise le plus souvent les essais de traction et de dureté de courte durée.

III-2.1 Essai de traction :

Pour l'essai de traction on utilise des éprouvettes de traction coulées en sable, le moulage doit être effectué avec un grand soin, de manière que le barreau soit exempt de défauts (vides etc.....).

Ces éprouvettes sont normalisées, la machine de traction permet d'appliquer à l'éprouvette une force de traction croissante et de mesurer simultanément l'accroissement en % de la longueur appelé " allongement".

La courbe tracée par l'enregistreur de la machine de traction présente l'allure indiquée sur la fig III-2.

Sur l'axe des abscisses on porte l'allongement en % de l'éprouvette et, sur l'axe des ordonnées la charge appliquée par unité de surface en daN/mm^2 ; cette courbe d'appelle aussi courbe conventionnelle de traction.

Jusqu'au point 3 l'allongement est purement élastique, c'est à dire que la charge et l'allongement élastique sont proportionnels, si on décharge l'éprouvette dans ce domaine, elle revient à sa longueur initiale (0 % d'allongement permanent).

En appliquant une charge supérieure à la charge appliquée en 3 (charge 4 par exemple) le barreau s'allonge élastiquement d'une quantité supplémentaire de 0,65% si on le décharge progressivement, il se raccourcit selon la ligne pointillée.

Lorsque la charge est nulle on constate que l'éprouvette s'est allongée de 0,2%.

0,2% est 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 s'effectue presque toujours de manière continue et la limite élastique n'apparaît souvent pas sur les diagrammes charge-déformation.

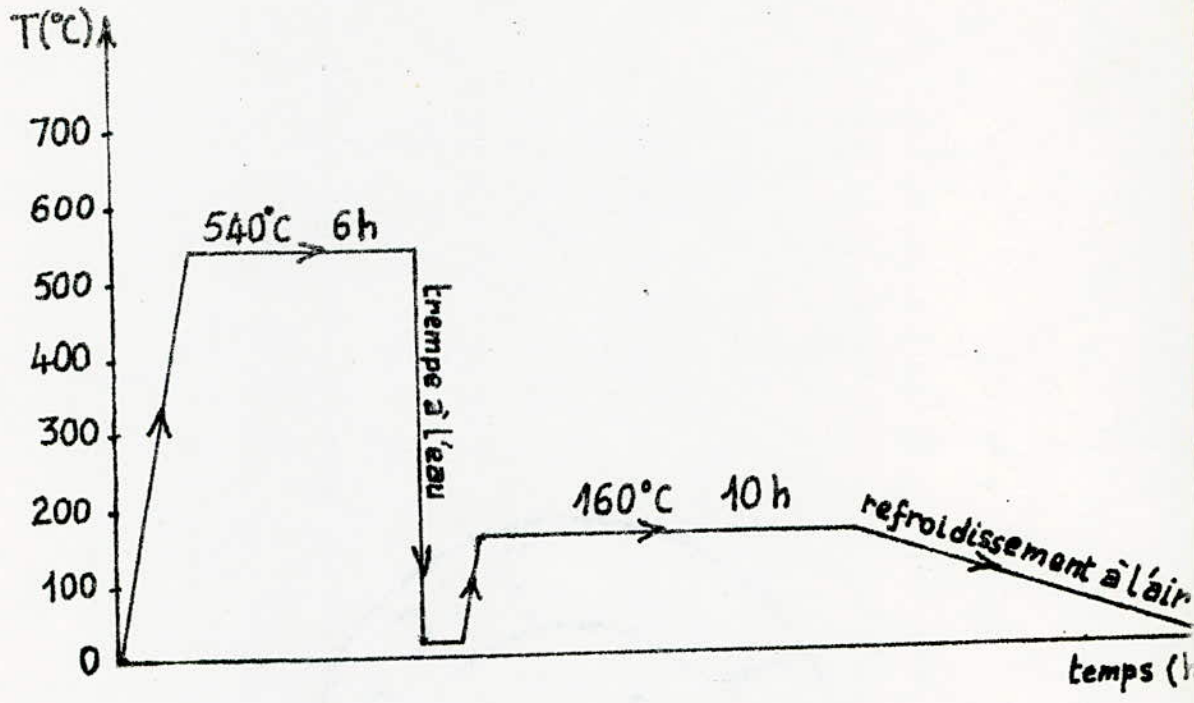


fig III.1 Cycle de traitement thermique

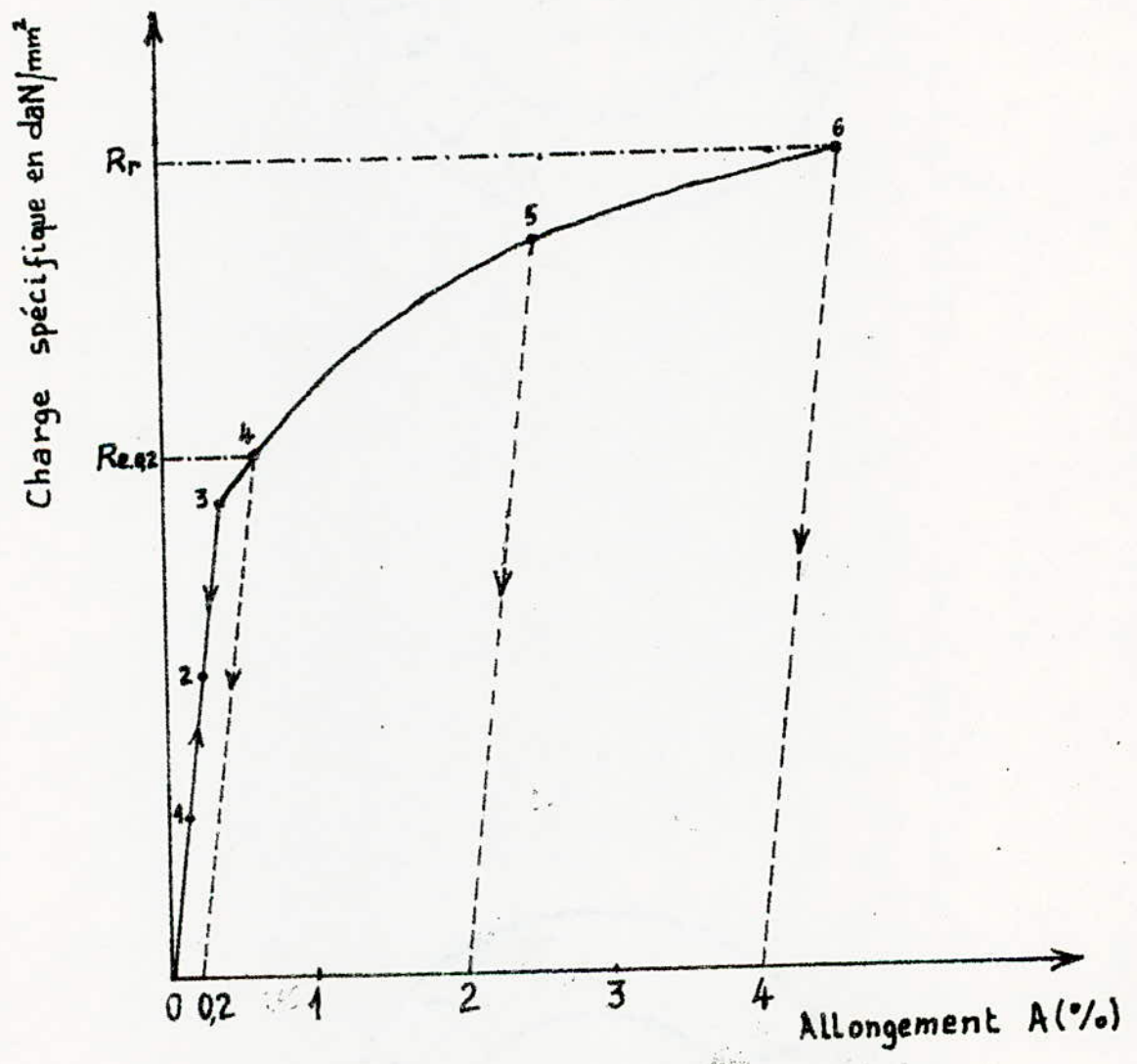


fig III.2 Diagramme de traction

Dans le cas des alliages 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, la courbe conventionnelle ne présente pas une chute de la charge.

III - 2.2 Essai de dureté.

Les mesures de duretés sont effectuées sur l'une ou l'autre des extrémités des éprouvettes de traction.

La dureté Brinell s'exprime en kgf/mm^2 .

On la détermine en appliquant sur l'échantillon une bille d'acier de diamètre donné avec une force donnée pendant 30 secondes.

On décharge ensuite la bille (certaines machines de dureté se déchargent automatiquement : machine SNVI - CVI) et l'on mesure le diamètre de l'empreinte laissée à la surface de l'échantillon.

Par définition, la dureté est le rapport de la force appliquée à l'aire de l'empreinte obtenue.

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

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

ESSAI DE CORROSION :

III - 3 Essai de corrosion :

L'aluminium pur est un métal qui a une bonne résistance à la corrosion dans l'atmosphère et dans certains milieux.

Les éléments d'alliages habituels de l'aluminium sont : Cu, Si, Mg, Zn, Mn,....; certains d'entre eux influencent fortement la tenue à la corrosion comme le cuivre par exemple; l'essai de corrosion est donc indispensable pour tout les alliages d'aluminium.

III- 3.1 Formes de corrosion de l'aluminium et de ses alliages :

La prédominance d'une forme de corrosion ou d'une autre dépendra d'un certain nombre de facteurs intrinsèques au métal, au milieu et aux conditions d'emploi.

Aucune forme de corrosion n'est spécifique de l'aluminium et des ses alliages.

Néan moins les formes de corrosion les plus courantes sont:

-Corrosion uniforme :

Ce type de corrosion se traduit par une diminution d'épaisseur uniforme et régulière de toute la surface du métal.

Pour l'aluminium et ses alliages, cette forme de corrosion se rencontre surtout dans les milieux très acides ou très alcalin dans lesquels la solubilité du film d'oxyde est grande.

-Corrosion par piqûres :

C'est une forme de corrosion très localisée qui se traduit par la formation de trous dans le métal, dont le diamètre et la profondeur varient suivant un certain nombre de facteurs propres au métal, au milieu et aux conditions d'emploi.

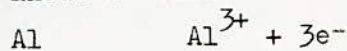
L'aluminium est sensible à la corrosion par piqûres dans les milieux dont le PH est voisin de la neutralité.

La corrosion de l'aluminium par piqûres est reconnaissable parce que les piqûres sont recouvertes de pustules blanches d'alumine $Al(OH)_3$ très volumineuses.

La corrosion par piqûres se développe sur des sites ou le film d'oxyde naturel présente des défauts : amincissement, rupture, lacune, concentration très localisée en impureté ou en éléments d'additions.....

Ces zones sont anodiques par rapport à la surface environnante dans un électrolyte conducteur, la pile formée fonctionnera comme suit :

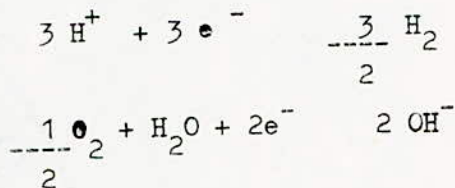
-Le fond de la piqûre est anode et acide c'est le siège de la réaction :



Les ions Al^{3+} insolubles dans l'eau se combinent aux ions OH^{-} selon :



-Le bord de la piqûre est cathode et alcalin, en l'absence d'autres oxydants seules les réactions suivantes ont lieu :



-Corrosion feuilletante :

Dans ce cas la corrosion se propage le long de plans parallèles à une direction privilégiée (par exemple celle du laminage s'il s'agit de tôles), elle aboutit à un "feuilletage" cette forme n'affecte que quelques alliages et se développe si les conditions de traitements thermiques de soudage sont mal adaptées.

-Corrosion sous contrainte :

Cette forme résulte de l'action combinée d'une certaine mécanique : flexion, traction,....et d'un milieu corrosif.

La propagation des fissures de corrosion se fait le long des joints de grains.

-Corrosion transcristalline et corrosion intercristalline :

La propagation de la corrosion à l'intérieur du métal se fait à l'échelle microscopique suivant deux possibilités :

-La corrosion progresse dans toutes les directions, affecte indifféremment tous les constituants du métal, il s'agit d'une corrosion intercrystalline ou transgranulaire.

- La corrosion progresse le long des joints des grains par l'attaque et la dissolution sélective de certains constituants présents dans cette zone.

Les précipités qui se forment au niveau des joints de grain après traitement thermique se comportent comme cathode vis à vis des zones voisines moins riches en élément d'addition précipité un mécanisme électrochimique de corrosion a lieu par conséquent au niveau des joints de grains.

-Corrosion galvanique :

La corrosion galvanique est essentiellement liée aux conditions d'emploi.

Quand un assemblage de deux métaux différents est mouillé par un électrolyte (humidité, eau de mer ou autre solution), il peut se produire dans certains cas une corrosion de l'un des deux métaux.

Cette corrosion galvanique résulte du fonctionnement de la pile constituée par l'assemblage de deux métaux ou alliages, dont les potentiels de dissolution dans le milieu considéré sont différents.

III- 3.2. Montage expérimental :

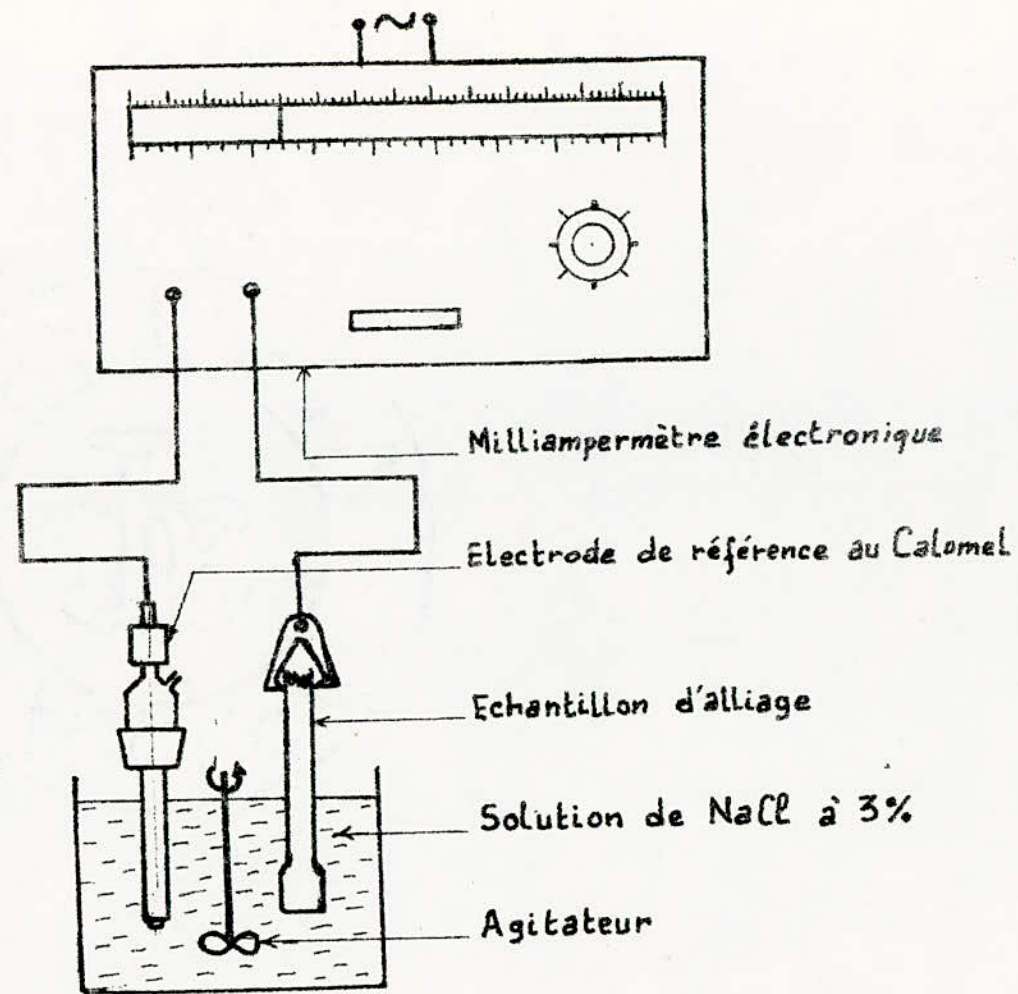
Le but de cet essai est la mesure du courant lié au potentiel que prend l'alliage dans un électrolyte qui est représenté dans notre cas par une solution de Na Cl à 3% , qui correspond aux conditions de corrosion dans l'atmosphère marine.

Le montage expérimental est assez simple fig (III.3) il comporte .
-un milliampermètre de grande sensibilité
-une électrode de référence au Calomel.

L'échantillon d'alliage à étudier et la solution d'une part constituent une demi-pile, l'autre demi-pile est constituée par l'électrode au Calomel, la pile ainsi formée permet de mesurer ce courant.

La connaissance de ce courant permet de calculer la perte de poids en aluminium de l'alliage après un temps déterminé t d'après la loi de Faraday :

$$m = \frac{A \cdot i \cdot t}{F \cdot n} \quad \text{ou}$$



Essai de corrosion: Montage expérimental

IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV. 1 RESULTATS :

IV.1.1 Analyse Chimique :

La composition chimique des différents alliages élaborés a été obtenue par spectrométrie d'absorption atomique (BCL : BENI - MERED), l'analyse est d'abord effectuée sur un échantillon commun pour la détermination des teneurs des éléments autres que le zinc; pour le zinc les échantillon d'analyse sont directement prélevés à partir des éprouvettes de traction après l'essai. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

	% Si	% Mg	% Fe	% Mn	% Cu	Autres
alliage 1: A-S10 G	10,25	0,23	0,20	0,35	traces	/
alliage 2	10,09	0,31	0,14	0,30	traces	/
alliage 3	10,50	0,20	0,41	0,32	0,057	/
alliage 4	9,88	0,16	0,16	0,29	traces	/
alliage 5	9,11	0,15	0,16	0,29	traces	/
alliage 6	10,40	0,18	0,15	0,28	traces	/

Les teneurs des autres éléments ne sont pas indiquées dans ce tableau, sur le spectre enregistré ceux-ci donnent des pics à peine discernables, ces éléments sont présents dans l'alliage à l'état de traces, les fourchettes de composition fixées par la norme sont respectées pour toutes les nuances d'alliages.

IV.1.2 Essais mécaniques, Essai de corrosion :

Les essais de tractions ont été effectués à la GTP (REGHATA), la charge appliquée est fixée à 40 kN (charge minimale que la machine peut atteindre).

Pour la dureté, les essais ont été réalisés à la SNVI-CVI (ROUIBA), la charge appliquée à la bille de diamètre 10 mm est de 1000 kgf, la décharge sur cette machine se fait automatiquement une fois la durée de l'essai écoulée.

Les résultats trouvés pour les alliages à l'état non traité et à l'état traité sont réunis respectivement sur les tableaux IV. 2.1 et IV.4.2.2.

R_r : Charge spécifique de rupture en daN/mm^2 .

$R_{e,0,2}$: Limite élastique à 0,2 % d'allongement en daN/mm^2 .

HB : Dureté Brinell

A : Allongement à la rupture en %.

Les résultats des essais de corrosion sur les alliages non traités et les alliages traités sont donnés respectivement par les tableaux IV.2.3 et IV.2.4.

Tableau IV.2.3.

alliages N T	Alliage 1	Alliage 2	Alliage 3	Alliage 4	Alliage 5
% Zn	0,07	0,92	1,87	2,40	3,63
i_c (μA)	13,8	11,4	10,4	8,1	5,7

Alliage 6

% Zn : 4,60

i_c (μA) 5,0

Tableau IV.2.4

alliage T	Alliage 1	Alliage 2	Alliage 3	Alliage 4	Alliage 5	Alliage 6
% Zn	0,08	0,88	1,89	2,72	3,78	4,50
i _c (→A)	8	5,5	5,4	3,4	3,5	3,2

Tableau IV.2.1.

Alliages NT	% Zn	Rr	Re, 60	HB	A (%)
Alliage 1	0,06	17,4	11,76	55,50	5,70
	0,07	17,7	12,75	55	5,40
	0,09	18	13,25	56,80	5,70
Alliage 2	0,80	18,4	12	55,50	4,30
	0,92	17,7	11,92	54,30	5,00
	0,95	16,4	11,90	55,50	4,30
Alliage 3	1,8	19,4	15,10	57,30	4,30
	1,87	19,1	15,24	56,80	5,00
	1,9	19,2	15,30	56,80	5,00
Alliage 4	2,40	17,7	15,18	58,40	5,00
	2,60	16,25	15,20	59,50	5,30
	2,60	16,40	14,70	59,50	4,33
Alliage 5	3,60	15,40	13,50	59,50	5,00
	3,63	15,70	12,00	58,40	4,79
	3,70	16,00	12,20	59,50	5,40
Alliage 6	4,30	18,65	14,16	60,10	3,84
	4,30	16,60	14,90	60,60	3,52
	4,60	19,60	14,90	62,40	4,00

Tableau IV.2.2.

Alliages T	% Zn	Rr	Re, 0, 2	HB	A (%)
Alliage 1	0,063	25,95	24,85	95,00	2,03
	0,080	26,00	22,60	98,30	2,57
	0,085	27,20	25,13	98,30	2,65
Alliage 2	0,76	24,50	21,35	97,20	2,18
	0,88	23,00	23,00	97,20	2,20
	0,93	24,30	22,10	96,10	2,63
Alliage 3	1,73	25,10	22,30	98,30	1,75
	1,89	24,50	23,40	99,50	1,50
	1,87	26,60	24,50	98,30	1,50
Alliage 4	2,65	24,10	21,40	98,30	2,25
	2,72	24,80	22,40	97,20	2,42
	2,84	24,30	21,63	98,30	2,75
Alliage 5	3,60	22,00	17,50	76,30	3,25
	3,71	21,80	19,10	77,90	2,63
	3,78	21,00	17,50	75,50	2,75
Alliage 6	4,35	23,50	19,70	97,20	2,55
	4,50	23,50	22,20	92,80	2,20
	4,56	24,70	21,70	98,30	4,66

IV.2. INTERPRÉTATIONS:

Le traitement thermique choisi pour les différents alliages est celui qui est pratiqué pour l'A-S10G à la SNVI - CVI, celui-ci comporte entre autres;

-une mise en solution à 540°C pendant 6 heures suivie d'une trempe à l'eau.

-revenu pendant 10 heures à 160°C et un refroidissement à l'air.

Le choix de ce traitement thermique repose sur les considérations suivantes :

*Pour pouvoir conclure sur l'influence du zinc, du point de vue propriétés mécaniques, structure et tenue à la corrosion sur l'A.S10G, le traitement thermique doit être strictement le même pour toutes les nuances d'alliages.

*La température de trempe (540°C) conserve toujours les éléments d'addition en solution solide, la fusion de l'alliage ne risque pas de se produire même pour les teneurs les plus élevées en zinc (5%), en effet une coupe du diagramme ternaire Al-Si-Zn (fig IV.7) met en évidence un eutectique contenant 5,1% d'Al et 0,05% de Si fondant à 381°C; 540°C n'est donc pas une température de brûlure des alliages pour laquelle on risque d'avoir une décohésion et une fusion des eutectiques.

Le traitement thermique a permis pour les différentes nuances d'accéder à un niveau de caractéristiques mécaniques plus élevées, le durcissement structural dans ce cas est attribué à la dispersion de l'eutectique $[\alpha + \beta (Si)]$ après trempe dans la solution solide (voir micrographies) et, à la précipitation de la phase durcissante $Mg_2 Si$ dont la présence ne peut être relevée que par la microsonde.

La dispersion de l'eutectique enrichi en silicium à la suite du traitement de modification (14% de Si), après traitement thermique a permis d'obtenir une structure plus homogène dont la tenue à la corrosion est sensiblement meilleure, l'apparition de micropiles locales dues à l'hétérogénéité chimique de la structure est beaucoup moins favorisée (voir fig IV.5).

VI.2.1 Influence des additions de zinc sur la structure :

Dans le cas des alliages Al-Zn le durcissement structural se produit seulement si les métaux sont purs, celui-ci est dû à l'apparition d'amas sphéroïdaux de zinc dans la solution solide (Al) (voir paragraphe II-5); la présence des éléments Fe et Si même à l'état d'impuretés rend cette sphéroïdisation impossible, c'est d'ailleurs le cas pour l'A-S10G pour lequel la teneur en Si est de 10% en moyenne.

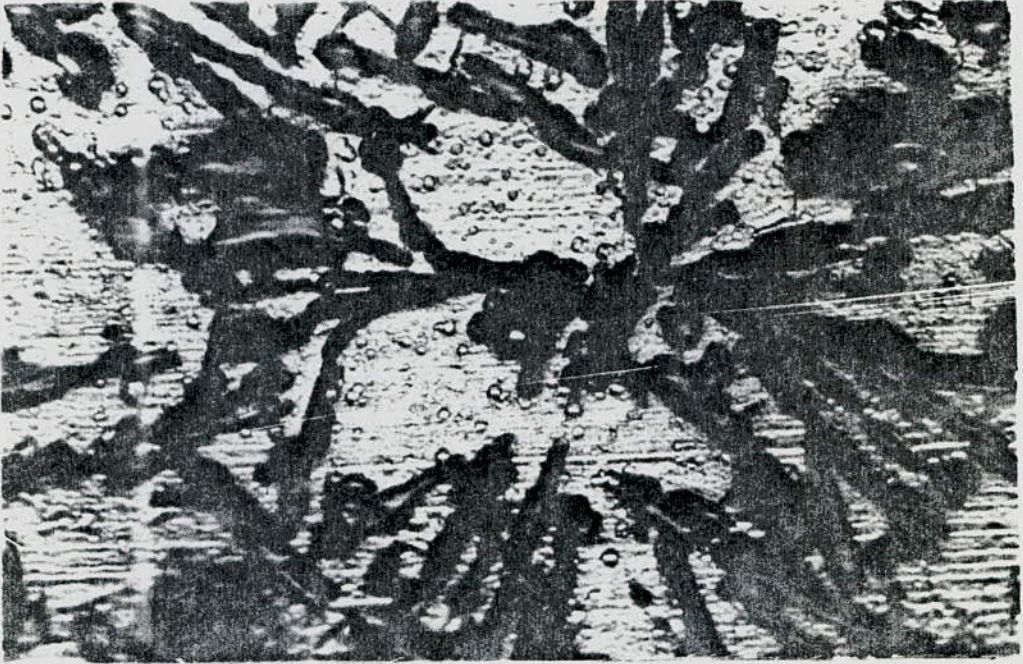
D'autre part le diagramme ternaire Al- Si- Zn (fig IV.6) ne révèle la présence d'aucun composé intermétallique susceptible de produire un durcissement structural par précipitation à partir de l'alliage ternaire Al - Si - Zn, ni à partir des alliages binaires Al-Zn, Zn Si pour les faibles pourcentages de zinc.

L'examen micrographique permet de vérifier qu'en effet aucun changement de structure n'a pu se produire ni avant traitement thermique ni après. (Tous les alliages présentent la même structure : structure modifiée).

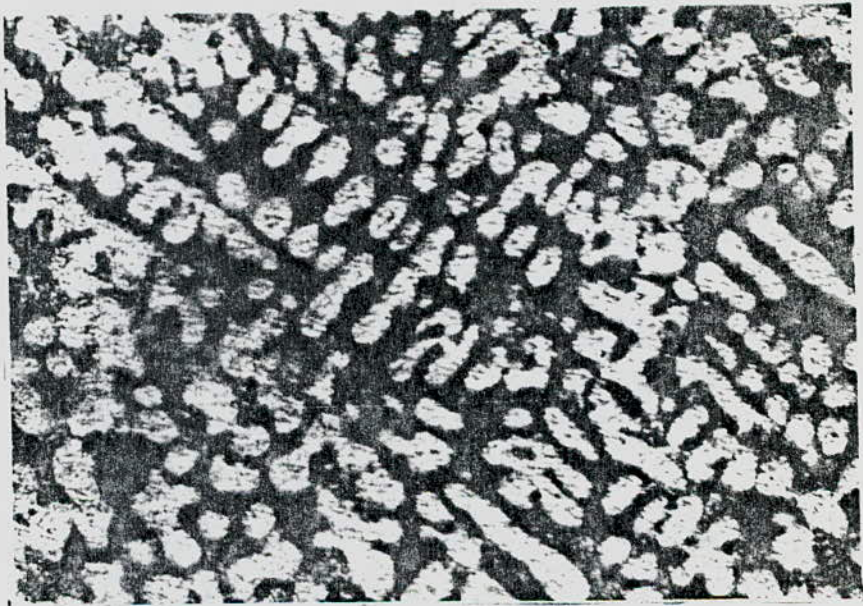
VI.2.2 Influence des additions de zinc sur les propriétés mécaniques :

La présentation graphique des caractéristiques mécaniques en fonction de la teneur en zinc tient compte des écarts qui existent dans la composition chimique en passant d'une nuance à une autre, car les alliages sont élaborés à partir de lits de fusion différents, cette représentation est donc plus commode dans un tel cas; elle permet en outre de donner l'allure générale de la variation des caractéristiques mécaniques en fonction du % de zinc.

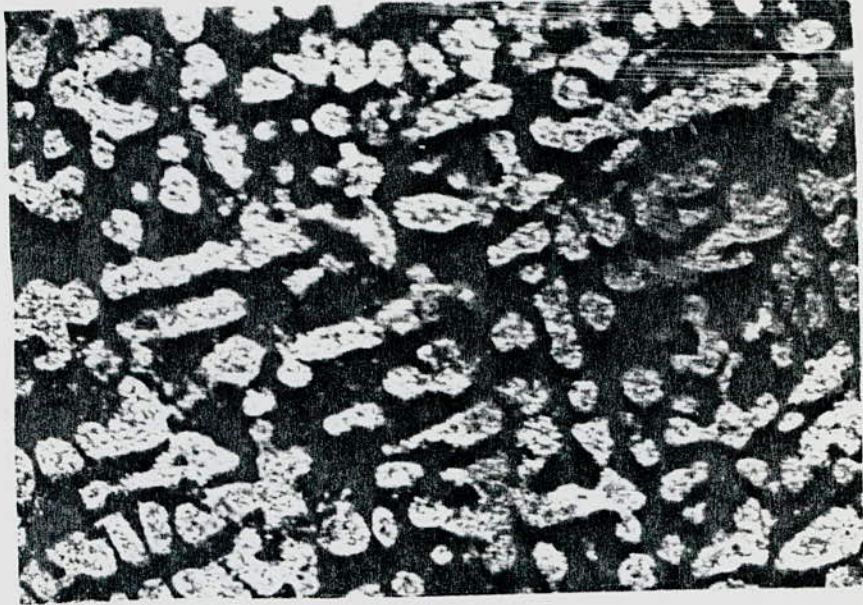
Pour les alliages non traités le zinc a tendance à augmenter légèrement la dureté (voir fig IV.4), car les atomes de zinc se trouvent en solution solide d'insertion dans la solution solide (le rayon atomique du zinc étant inférieur à celui de l'aluminium à celui et du silicium), le glissement qui se produit suivant certains plans cristallins par application d'une contrainte est gêné ce qui se traduit par une augmentation de la contrainte appliquée, pour les mêmes raisons la charge de rupture et la limite élastique varient dans le même sens (fig IV.1, fig IV.2), l'allongement diminue (fig IV.3).



A-S10G : Etat non traité et non modifié G: 500



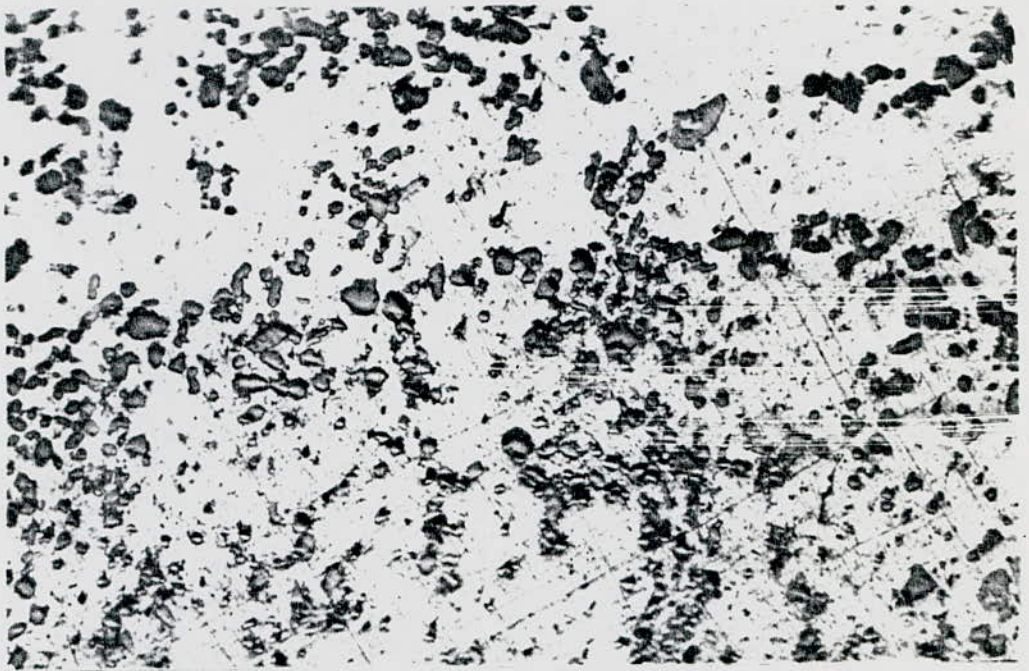
A-S10G : Etat non traité et modifié G: 200



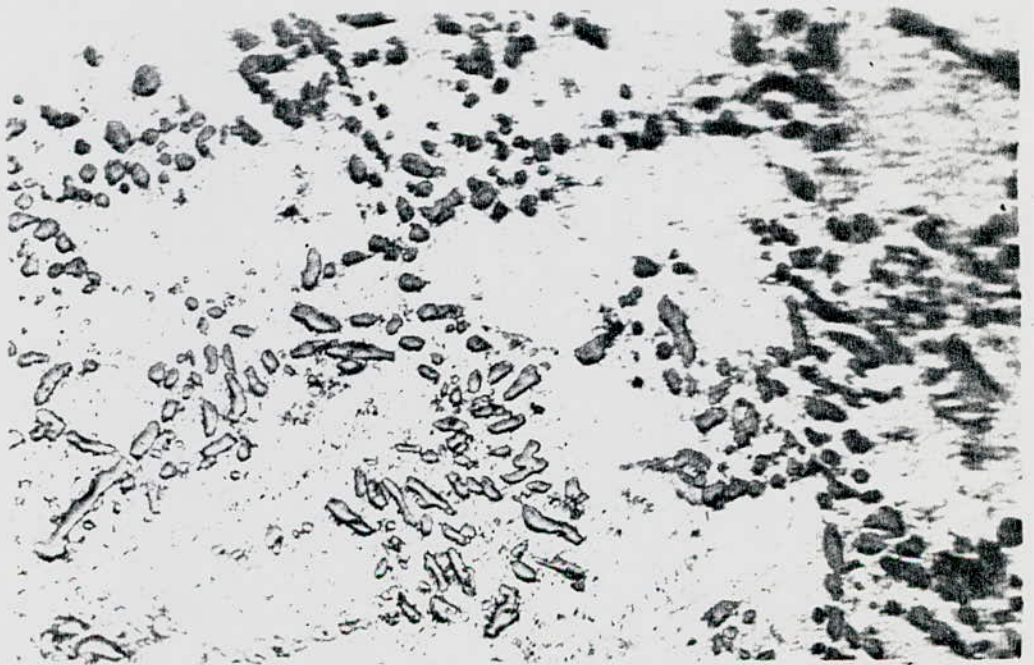
Alliage à 2% de Zn non traité G: 200



Alliage à 4% de Zn non traité G: 200



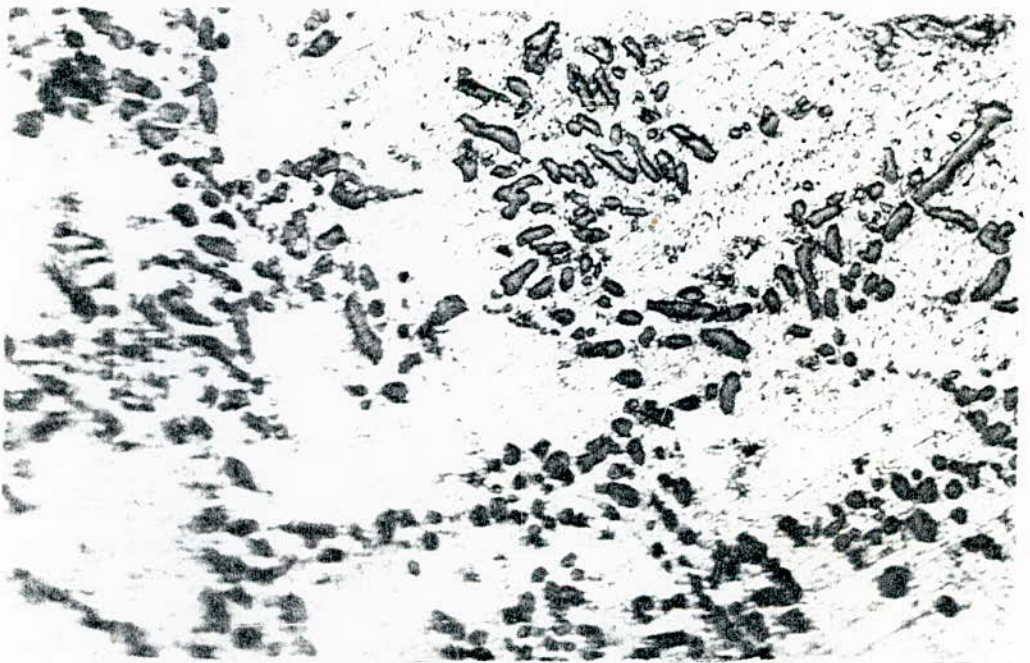
A-S10G : Etat traité et modifié G: 200



Alliage à 1% de Zn traité G: 200



Alliage à 3% de Zn traité G: 200



Alliage à 5% de Zn traité G: 200

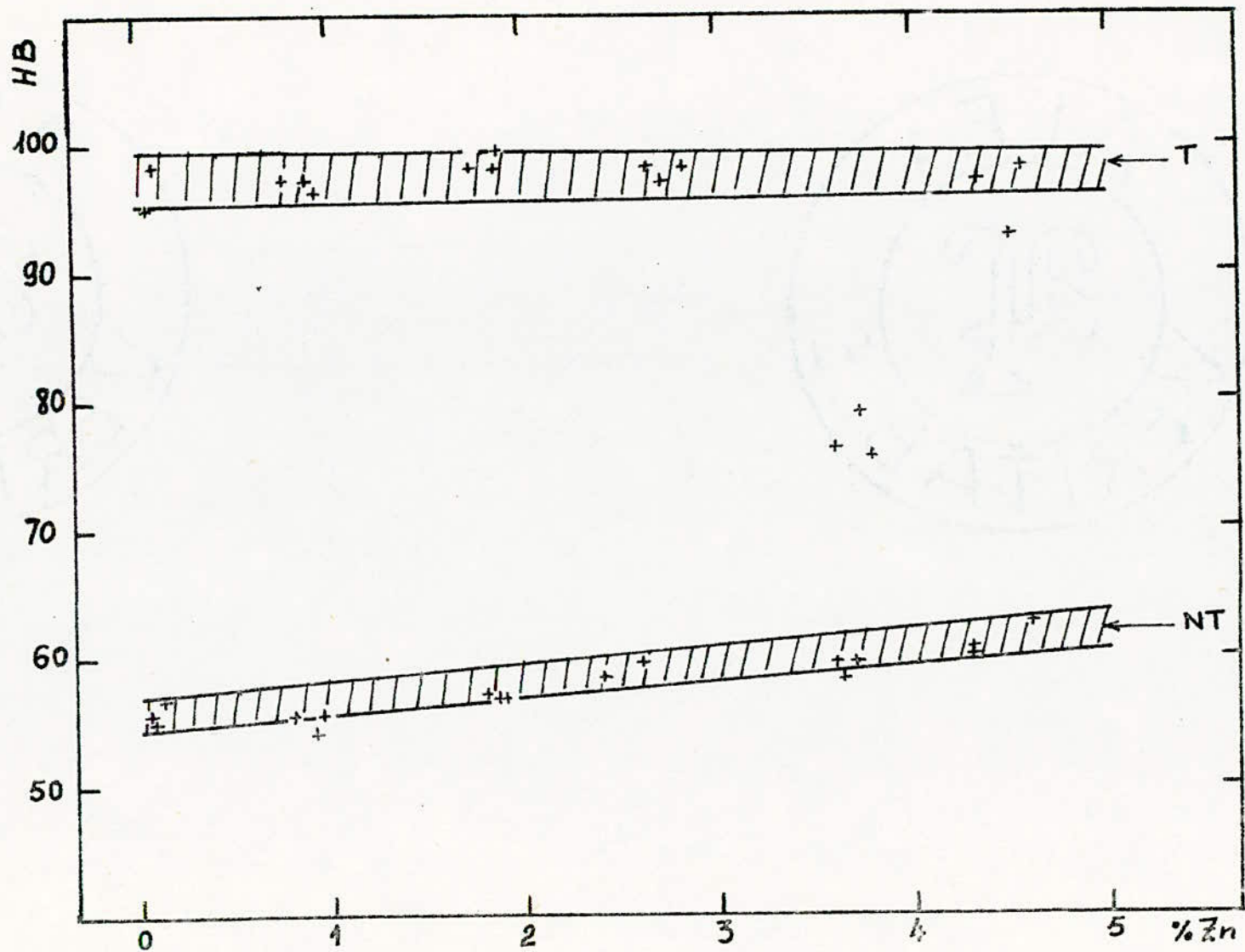


fig IV.4 Variation de la dureté en fonction du % de Zn

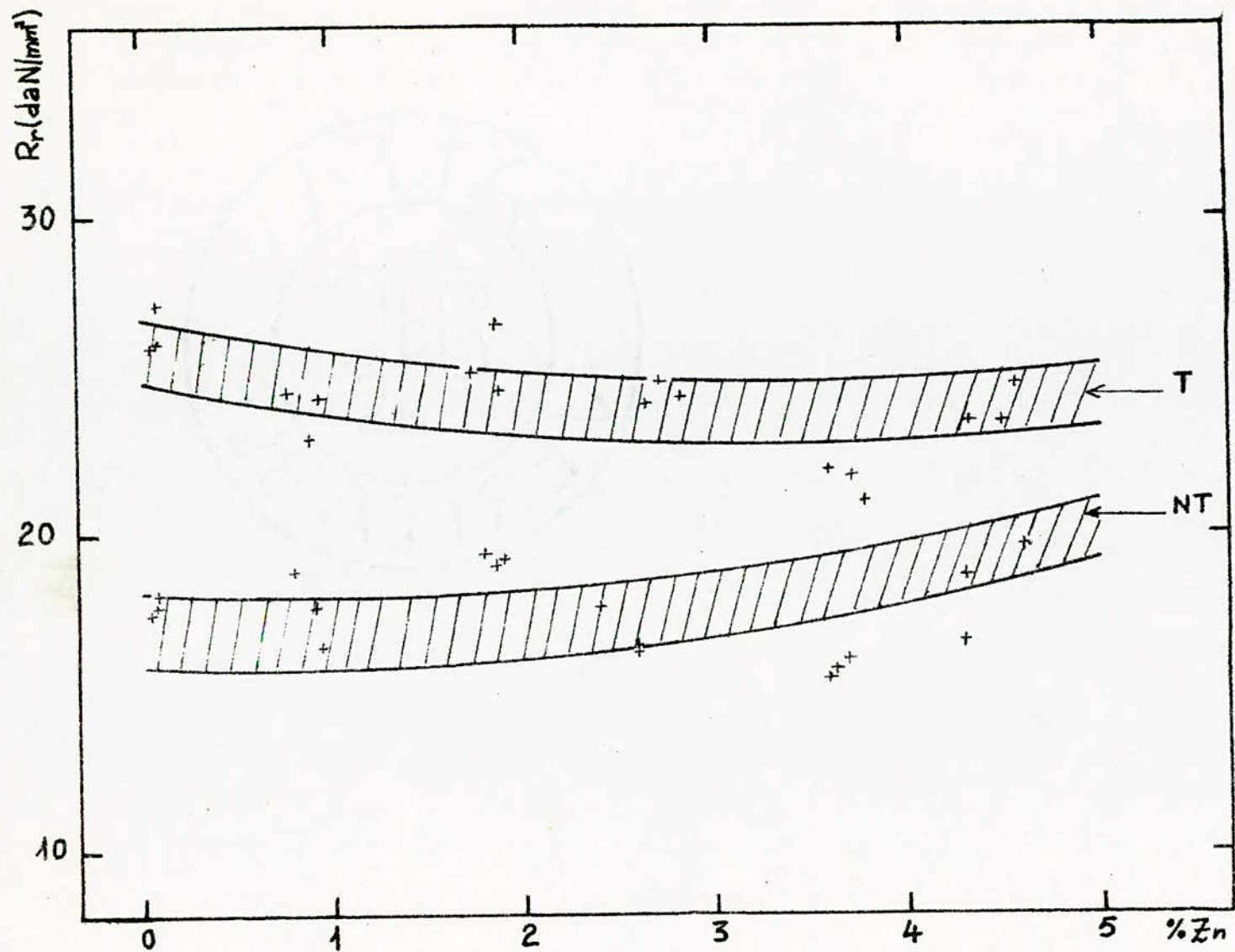


fig IV.1 Variation de la charge de rupture en fonction du % de Zn

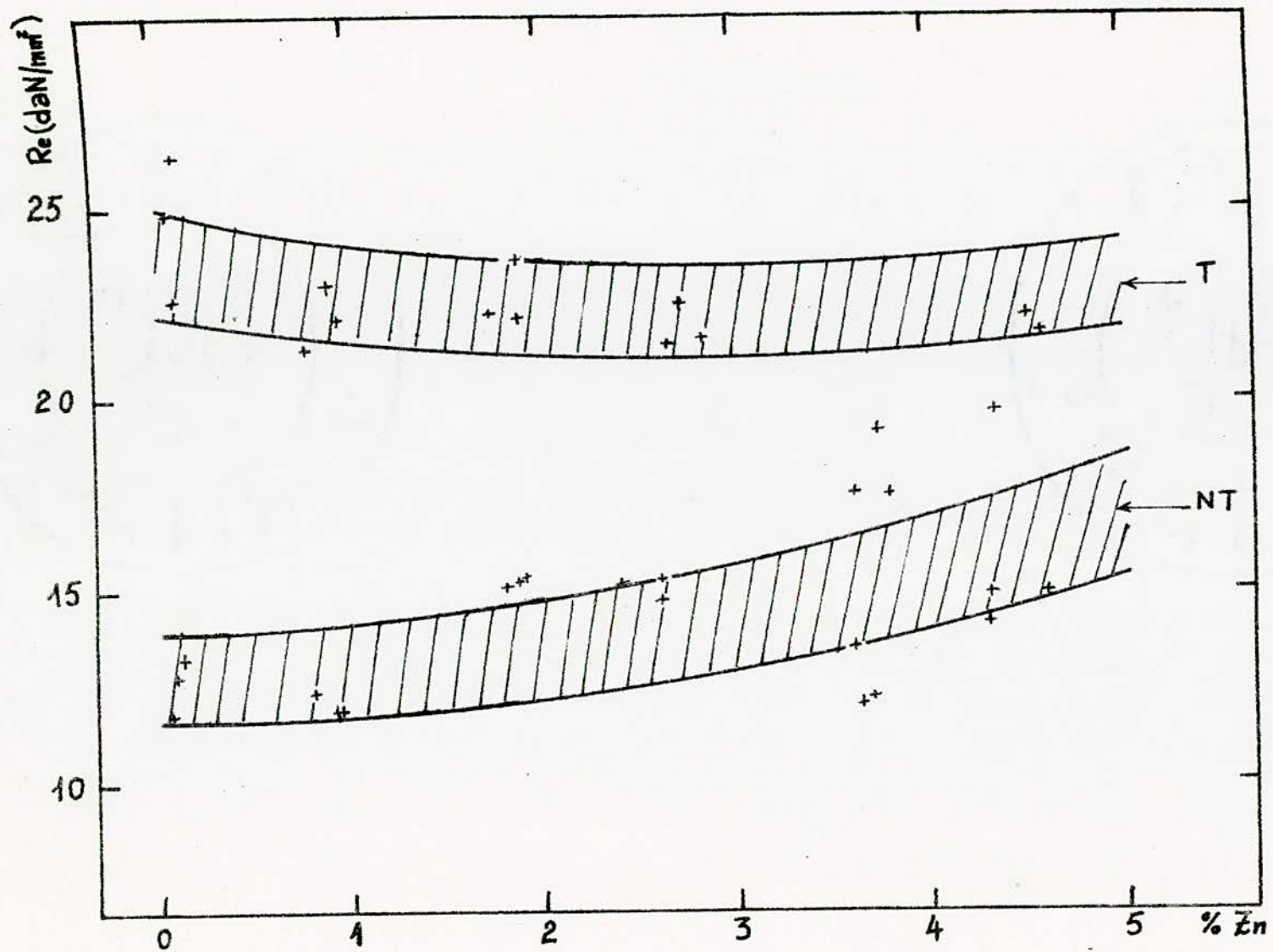


fig IV.2 Variation de la limite élastique en fonction du % de Zn

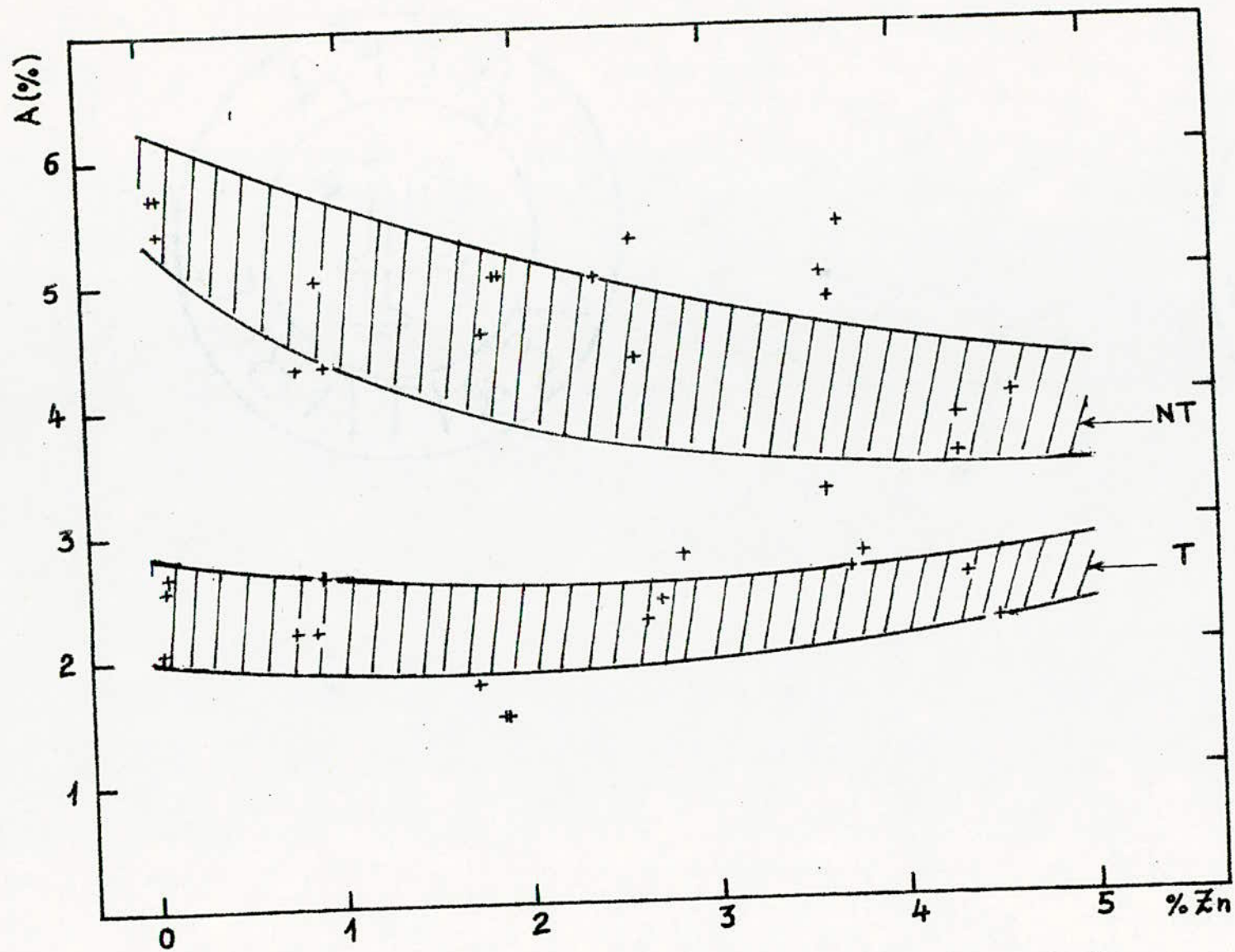


fig IV.3 Variation de l'allongement à la rupture en fonction du % de Zn

La restauration du niveau des caractéristiques mécaniques noté après traitement thermique peut s'expliquer par une précipitation probable de certaines phases intermétalliques rencontrées fréquemment dans les alliages d'aluminium comme $Al_2 Mg_3 Zn_3$ et $Mg Zn_2$, ces constituants dont les proportions seront très faibles compte tenu de la faible teneur de l'A-S10G en Mg ce qui rend leur mise en évidence impossible par la micrographie optique ordinaire.

IV.2.3 Influence des additions de zinc sur la tenue à la corrosion.

Le zinc améliore la tenue à la corrosion de l'A-S10G à l'état non traité et à l'état traité (fig IV.5) les intensités mesurées i_c diminuent avec l'augmentation de la teneur en zinc.

Le zinc est par définition plus anodique que l'aluminium par conséquent les alliages à base de zinc sont protégés cathodiquement.

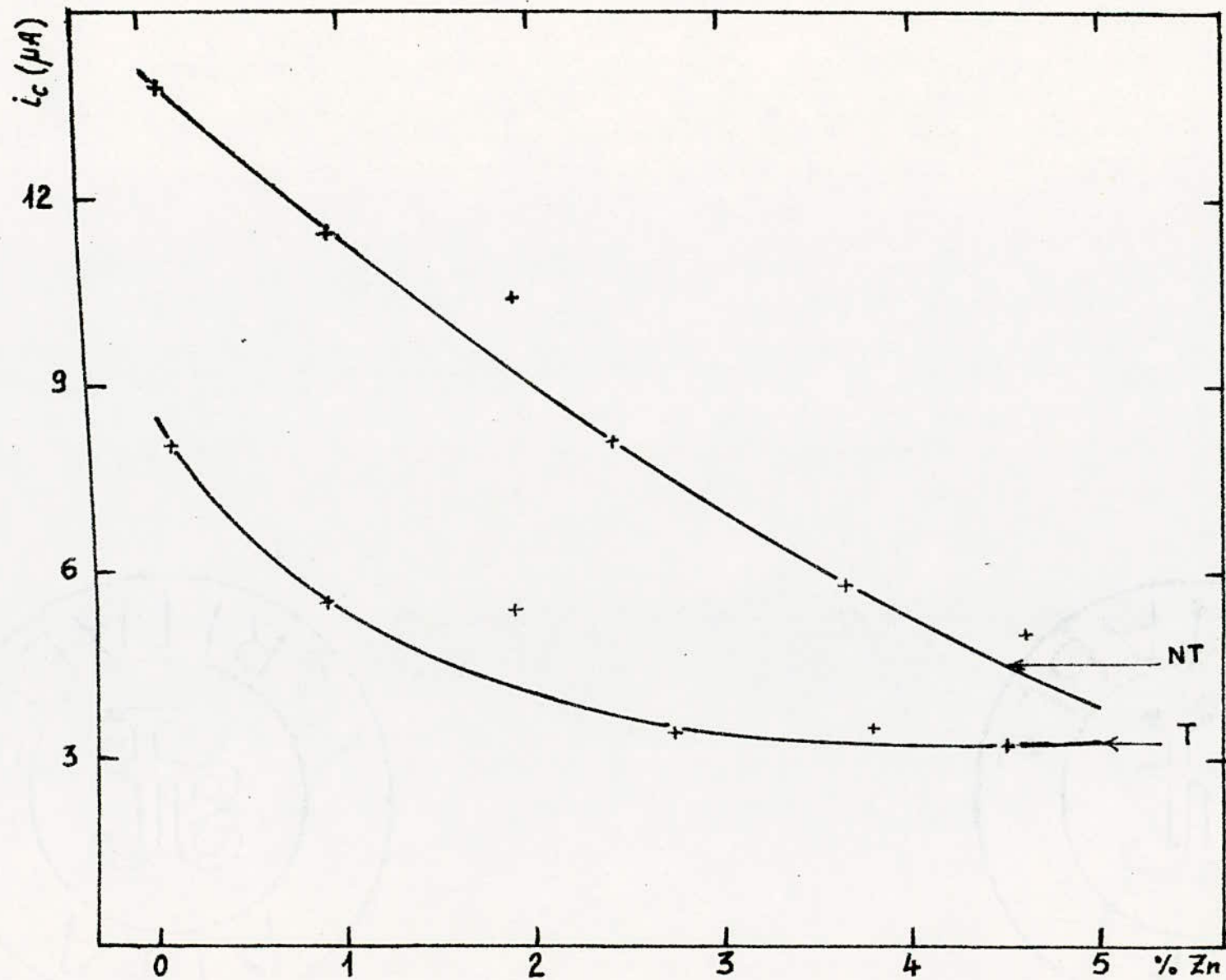


fig IV.5 Variation du courant i_c en fonction du % de Zn

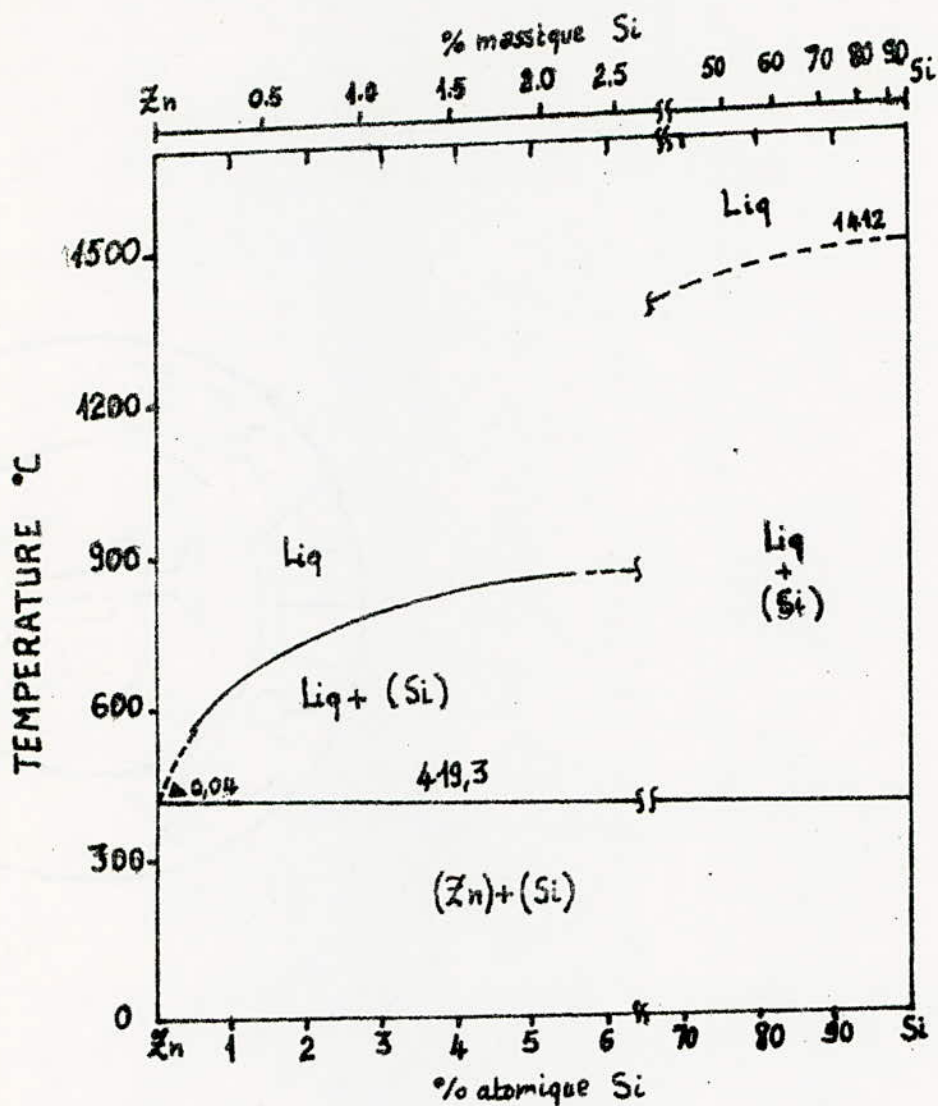


fig IV.6 Diagramme d'équilibre Zn-Si

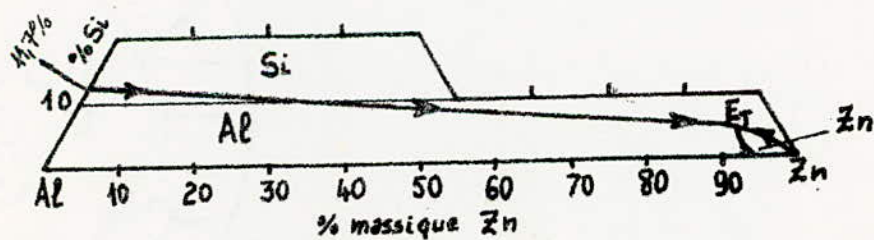


fig IV.7 Diagramme d'équilibre Al-Zn-Si

V CONCLUSION

L'A-S10G est un alliage légèrement hypoeutectique et possède de ce fait une bonne coulabilité et une faible tendance à la crique; par contre il est enclin à donner des retassures internes mais dans une moindre mesure que l'A-S13 il est bien adapté à la réalisation de pièces minces, quelles que soit leur complexité, sa tenue à la corrosion est appréciable dans un grand nombre de conditions de service.

La présence de Mg (2,5%) dans l'A-S10G le rend susceptible à subir un durcissement structural par traitement thermique, il présente en outre, l'avantage capital d'être léger ($\rho_{Mg} = 2,7g/cm^3$, $\rho_{Al} = 2,33g/cm^3$), une propriété qui est actuellement très recherchée en construction mécanique ou l'on cherche toujours à réduire le poids des véhicules dans le but de réaliser des économies sur le carburant.

D'après l'étude faite, les faibles additions de zinc n'entraînent aucune amélioration des caractéristiques mécaniques, sauf peut être une augmentation peu appréciable de la tenue à la corrosion qui était déjà suffisamment bonne sans addition de zinc, on peut donc conclure que :

- les faibles additions de zinc (métal relativement cher par rapport à l'aluminium sont sans intérêt pratique car elles rendent l'alliage lourd ($\rho_{Zn} = 7,13g/cm^3$) et gardent à un niveau constant les caractéristiques mécaniques.

-L'absence de composés intermétalliques dans le cas des alliages Al - Si - Zn pour les faibles teneurs en zinc ne permet pas d'accéder à un niveau supérieur des caractéristiques mécaniques après traitement thermique.

BIBLIOGRAPHIE

-Standard d'élaboration des alliages d'aluminium.

Centre technique des industries de fonderie.

-Un regard à l'intérieur de l'aluminium.....D. ALTENPOHL.

-Le comportement de l'aluminium et de ses alliages.....C.VARGEL.

-Métallurgie spéciale.....J. HERENGUEL

-L'Aluminium..... PECHINEY

-Métallurgie générale.....BENARD

-Métallographie et traitements thermiques.....LAKHTINE

-Techniques de l'ingénieur.

