

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **METALLURGIE**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

étude de l'influence des additions
de zinc sur les propriétés
mécaniques de l'A-SIOG

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

M.CHITROUB

M.MESSAOUD

M.CHITROUB

PROMOTION : **SEPT. 1988**

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

D E D I C A C E S

Je dédie ce travail à ma grande
mère, ma mère, mon père et tous mes frères.

Et sans oublier mon oncle MOUSSA
et sa femme qui m'ont soutenu durant mon
travail.

Ainsi que tous mes copains qui
ont contribué de près ou de loin et, surtout
le groupe " OTTAT ".



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur CHITROUB pour sa direction attentive qu'il a accordé à mon travail.

- Et Monsieur ABDLI chef de département métallurgie pour sa compréhension et son sincère dévouement.

- A tous les cadres et ouvriers de la fonderie (S.N.V.I - U.R.R) et à Messieurs : SAIDI, NAÏLI, OMAR et RANDANE.

-- A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

- S O M M A I R E -

INTRODUCTION

I. GENERALITES SUR L'ALUMINIUM

- I - 1 Historique
- I - 2 Minerai
- I - 3 Propriétés de l'aluminium
- I - 4 Avantages techniques et économique de l'aluminium

II. GENERALITES SUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

- II - 1 Introduction
- II - 2 Alliages corroyés
- II - 3 Alliages de fonderie
- II - 4 Alliages Al - Si
- II - 5 Alliages Al - Zn
- II - 6 Traitements thermiques
- II - 7 Fonderie et moulage

III. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

- III - 1 Préparation des éprouvettes de traction
- III - 2 Essais mécaniques
- III - 3 Micrographie

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

- IV - 1 Résultats
- IV - 2 Interprétations

CONCLUSION.

- I N T R O D U C T I O N -

Les alliages d'aluminium possèdent souvent des caractéristiques mécaniques supérieures à celles de l'aluminium pur, le durcissement par formation d'alliages 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 des additions de zinc sur les propriétés mécaniques de l'alliage A-S 10 G utilisé à la fonderie de la S.N.V.I - U.F.R

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

Dans le chapitre généralités sur les alliages d'aluminium nous avons cité les alliages les plus importants et leurs propriétés, en particulier les alliages Al - Si et Al - Zn; on a également parlé en détail de l'élaboration de l'A - S 10 G 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 - S 10 G, les résultats trouvés sont rassemblés et interprétés dans le chapitre; la conclusion tirée de cette étude est donnée au chapitre V.



CHAPITRE I.

I. GENERALITES SUR L'ALUMINIUM

I. 1 - Historique :

Deviné et baptisé par Dary des 1807, isolé probablement par Oersted 1824 et sûrement par Woehler en 1827.

L'aluminium fut préparé industriellement par Henri Sainte Claire Deville qui jeta, en 1854, les bases de la méthode de production électrolytique, aujourd'hui universellement utilisée.

Il élaborà à cette époque la méthode chimique - réduction par le sodium du chlorure double d'aluminium et de sodium - qui fut la seule employée jusqu'au moment où l'avènement de l'électro-technique permet à ses successeurs de répondre à ses conceptions initiales. Ce fut l'oeuvre du français Paul Héroult et de l'américain Charle - Martin Hall en 1886.

I. 2 - Minerai :

L'aluminium n'existe pas dans la nature à l'état métallique très abondant dans la croûte terrestre, il en occupe, avec 8%, la troisième place après l'oxygène (47%) et le silicium (28%); il vient avant le fer (5%) et le magnésium (2%).

L'aluminium est extrait de la bauxite, c'est l'alumine hydratée ($Al_2 O_3 \cdot H_2 O$) et dont les principales impuretés sont la silice, l'oxyde de fer et l'oxyde de titane.

I. 3 - Propriétés de l'aluminium :

I. 3 - 1 Caractéristiques physiques :

L'aluminium est un métal blanc légèrement bleuâtre, susceptible de recevoir un beau poli, son réseau cristallin est cubique à face entrée ($20^{\circ}C$).

Masse volumique	2,7 kg / dm ³
Point de fusion	658°C
Point d'ébullition	2000°C
Enthalpie de fusion	92°C/g
Dilatabilité linéique	23 x 10 ⁻⁶
Chaleur spécifique	0,22 Cal/g/K
Conductibilité thermique	0,52 Cal/cm S C
Résistivité électrique	2,7 10 ⁻⁶ ohm cm

Les propriétés expliquent l'emploi de l'aluminium et ses alliages.

La faible masse volumique de l'aluminium le fait employer pour la construction du matériel de transport et dans l'industrie mécanique (flèches de grues, tabliers de ponts...).

Son point de fusion relativement bas associé à un point d'ébullition élevé et à une parfaite stabilité à toute température, rend aisée la fusion et la coulée de l'aluminium.

Sa bonne conductivité thermique dépassée seulement par l'argent, le cuivre et l'or, trouve sa place dans tous les domaines où se pose le problème des échanges de chaleur.

Sa haute conductivité électrique et son absence de magnétisme trouvent leur emploi dans l'industrie électrique (transport d'énergie ou construction de matériel).

Le faible facteur d'émission de l'aluminium permet de l'utiliser comme isolant thermique.

I. 3 - 2 Caractéristiques mécaniques :

Influencées par le degré de pureté ainsi que par l'état coulé ou laminé puis recuit les valeurs moyennes sont :

Résistance à la rupture		$R_r = 8 \text{ daN} / \text{mm}^2$
Allongement	%	$A = 40 \%$
Striction	%	$Z = 80 \%$
Module de Young		$E = 7000 \text{ daN} / \text{mm}^2$
Module de Coulomb		$G = 2600 \text{ daN} / \text{mm}^2$
Limite d'élasticité		$R_e = 2,5 \text{ daN} / \text{mm}^2$

L'aluminium a donc une faible résistance, mais un grand allongement à l'état recuit, il est très ductile et malléable. On en fait des fils fins par étirage ainsi que des feuilles de quelques microns d'épaisseur par laminage à froid.

Il s'emboutit très facilement, résiste bien aux efforts de flexion, la relative fragilité qu'il acquiert par écronissage à la suite d'un traitement thermique de recuit.

La plupart des applications de l'aluminium pur sont justifiées par quelques propriétés physiques particulières comme la conductibilité thermique, la conductibilité électrique et la résistance à la corrosion.

I. 3 - 3 Propriétés chimiques :

L'aluminium est caractérisé par sa grande affinité pour l'oxygène, propriété qui reçoit les applications suivantes :

- Préparation de métaux et d'alliages par aluminothermie.
- Désoxydation des bains d'acier.
- Soudure aluminothermique.
- Réchauffage des têtes de longots.

Cependant, l'aluminium est inaltérable à l'air, ceci tient à la formation d'une couche imperméable protectrice.

La plupart des acides minéraux attaquent l'aluminium, surtout l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique, ainsi que les acides organiques, les bases et les carbonates alcalins.

La résistance à la corrosion par les solutions salines et l'eau de mer, est améliorée par la pureté du métal.

I. 5 Avantages techniques et économiques de l'Al :

Ce n'est pas sans raisons particulièrement valables que les emplois de l'Al et ses alliages se sont développés dans telles proportions. Ces raisons sont à la fois techniques et économiques.

I. 5 - 1 Raisons techniques .

Elles sont multiples et les principales sont les suivants :

- L'aluminium résiste bien aux agents atmosphériques, il est protégé par la couche naturelle d'alumine qui le recouvre normalement et il suffit de prendre, dans certains cas, quelques précautions élémentaires. Il est possible d'accroître sa résistance à la corrosion par anodisation, par conversion ou par peinture et de la transformer en un matériau très résistant.

- L'aluminium est un matériau robuste; si les caractéristiques mécaniques de l'aluminium pur sont faibles (ce qui est pratiquement le cas de tous les métaux purs), il est toujours possible de trouver dans la gamme très étendue de ses alliages celui qui doit satisfaire aux impératifs de l'application envisagée.

- Sa grande élasticité est, dans certains cas, une qualité appréciée pour les constructions exposées au choc.

- L'aluminium est un matériau esthétique; il se prête parfaitement à la décoration par les traitements de surface classiques ou spécifiques.

- L'aluminium peut être employé à des températures étalées sur un large intervalle, contrairement à d'autres métaux. On ne constate aucune fragilisation aux basses températures et les caractéristiques de résistance mécanique s'améliorent même dans le cas d'emploi aux très basses températures des gaz liquifiés (-250°C). Cette intéressante propriété est attribuable à la structure cristalline cubique à face centrée du métal.

- L'aluminium est un bon conducteur de la chaleur mais également un bon réflecteur de la lumière et de la chaleur. Ces qualités en font un matériau recherché pour différentes fabrications.

- L'aluminium est un bon conducteur de l'électricité.

- L'aluminium n'est pas magnétique. Cette qualité s'ajoute à celles mentionnées ci-dessus et milite en faveur de son emploi, dans le blindage des câbles souterrains, dans les circuits électriques...

- Enfin, l'aluminium n'est pas toxique, ce qui justifie son emploi dans le conditionnement des produits alimentaires et dans la fabrication des matériels culinaires.

I. 5 - 2 Raisons économiques :

En volume, l'aluminium est le métal industriel le moins coûteux après l'acier.

En raison de leur résistance à la corrosion, l'aluminium et ses alliages dans de nombreux cas n'ont besoin d'aucune protection supplémentaire.

Les bilans d'exploitation faits sur plusieurs années font ressortir que l'emploi de l'aluminium et de ses alliages conduit à une économie appréciable, **malgré** un prix d'achat un peu plus élevé.

Dans l'industrie des transports on estime que le remplacement de la fonte ou de l'acier par l'aluminium, fait de ce dernier un économiseur d'énergie: essence, fuel, kwh.

Les déchets d'aluminium conservent une valeur de récupération élevée. Cette donnée doit intervenir dans tout **établissement** de prix de revient.

I. 6 - Insuffisances de l'aluminium

Les insuffisances de l'aluminium en constructions mécaniques découlent dans leur ensemble de ses faibles propriétés mécaniques.

En effet, sa faible densité ne compense pas ses faibles résistances de contrainte (R_m et R_e) et il ne peut concurrencer les aciers lorsque les charges élevées doivent être appliquées.

La comparaison de résistances spécifiques donne :

Acier type A 40 :

$$\frac{R_m}{d} = \frac{40}{7,8} \approx 5$$

Aluminium :

$$\frac{R_m}{d} = \frac{8}{2,7} \approx 3$$

Mêmes remarques pour la limite élastique et les modules élastiques E et G .

II. GENERALITES SUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

II. 1 - INTRODUCTION

L'aluminium non allié ayant des propriétés mécaniques très réduites, par l'addition d'éléments d'alliages entrant en solution solide ou formant des précipités, on peut améliorer considérablement ces propriétés comme la limite élastique, la résistance à la traction et la dureté. _

Il est inévitable que ce soit aux dépens d'autres propriétés, comme la ductilité, la résistance à la corrosion et la conductibilité électrique; ainsi, chacun des nombreux types d'alliage d'aluminium résulte un compromis, permettant de mettre au premier plan les propriétés recherchées en vue d'une application bien déterminée.

Le système cristallin de l'aluminium donne de larges possibilités d'additions de métaux susceptibles d'entrer en solution solide avec lui.

On peut considérer que les alliages industriels comportent :

- une addition principale, dont la teneur fixe à la fois les propriétés de résistance, le niveau de difficultés de transformation et de mise en oeuvre.

- Des additions secondaires, à des pourcentages généralement faibles ayant une action spécifique sur l'élaboration, la transformation, les techniques d'utilisation et des propriétés d'usage.

- Certaines impuretés strictement contrôlées en fabrication.

Certaines solutions solides se comportent comme le métal de base et se transforment dans les mêmes conditions que lui. Et restent stables à toutes températures.

D'autres au contraire, dépassent la limite de solubilité à la température ordinaire et peuvent subir un durcissement structural après chauffage et mise en solution suivi de trempe; ce durcissement se produit plus ou moins rapidement à la température ordinaire et s'accroît quand la température s'élève.

Les alliages d'aluminium sont classés en deux grandes catégories :

- Les alliages de corroyages
- Les alliages de fonderie.

II. 2 - ALLIAGES CORROYES :

Le corroyage est une opération consistant à déformer un métal avec allongement, généralement, mais non obligatoirement dans un sens privilégié, il est effectué à chaud, à tiède, à température ordinaire et permet par déformation appropriée (forgeage, matriçage, laminage, filage...) d'obtenir des produits à la forme désirée.

L'opération de corroyage permet d'assurer sur les produits métallurgiques :

- Des dimensions géométriques.
- Une texture, et structure correspondant autant que possible à celles d'une solution solide.

Lors des mécanismes métallurgiques au cours du corroyage, on constate que :

- Pour un métal pur ou très faiblement allié, les différences sont faibles entre les propriétés à l'état de fonderie et à l'état corroyé.

- Les différences sont d'autant plus importantes que l'on a affaire à un alliage chargé en additions capables d'entrer en solution solide.

Les produits 1/2 ouvrés ou 1/2 finis sont sous les formes suivantes :

- Laminés (planches, bandes).
- Filés à la presse (barres, profiles, tubes).
- Filés et étirés.
- Pièces forgées.

Les principales classes d'alliages corroyés :

- Conducteurs électriques.
- Déformation aisée à froid.
- Sondage.
- Tenue à la corrosion.
- Tenue à chaud.
- Traitements anodiques.
- Haute résistance mécanique.
- Forgeage.
- Usinage facile.
- Perméabilités aux neutrons.
- Usages nucléaires spéciaux.

Les alliages de corroyage sont coulés en fonderie sous forme de plaques ou de billettes et ensuite transformés en demi-produits : tôles, profilés... par laminage ou par filage, les demi-produits ainsi obtenus sont ensuite utilisés dans la construction mécanique, ou ils sont assemblés par sondage, rivetage, vissage... dans le bâtiment, dans l'électricité, etc...

Suivant le processus par lequel les différents niveaux de caractéristiques mécaniques sont obtenus, on distingue pour les alliages de corroyage :

- Les alliages à durcissement structural ou "trempant" dans lesquels le durcissement est obtenu par une gamme de traitements thermiques comportant une mise en solution, une trempe suivie d'un revenu ou d'une maturation à l'ambiante.

Parmi ces alliages on peut citer :

Alliages Aluminium - cuivre
Alliages Aluminium - Silicium - Magnésium
Alliages Aluminium - Zinc - Magnésium.

- Les alliages sans durcissement structural dans lesquels le niveau des caractéristiques mécaniques est obtenu par l'effet d'écrasement dû aux déformations ou par des recuits.

A titre d'exemples de ces alliages :

Aluminium - Manganèse.
Aluminium - Magnésium.

II. 3 - ALLIAGES DE FONDERIE :

Les alliages de fonderie sont utilisés pour la fabrication des pièces obtenues par la coulée du métal liquide dans des moules en sable, c'est la coulée en sable, ou des moules en acier ou en fonte, c'est la coulée en coquille.

Ces alliages marquent des étapes importantes dans le développement de l'industrie de l'aluminium par la naissance d'alliages et de traitements particuliers à la fonderie.

Parmi les plus anciens, on peut citer les alliages aluminium - silicium préparés en 1856 par Sainte - Claire Deville.

L'alliage eutectique Al - Si prend un développement très important grâce à la découverte en 1920 par Aladar Pacz des procédés d'affinage par le sodium et les sels alcalins. Cette technique d'affinage est appliquée aux alliages plus complexes de la famille Al-Si traitables thermiquement.

Des additions de cuivre, du cobalte, de manganèse donnent lieu à plusieurs types d'alliages de propriétés peu différentes, ces additions ont pour but d'augmenter les caractéristiques mécaniques et l'usinabilité. D'autres variantes des mêmes alliages sont obtenues, soit en diminuant la teneur en silicium au dessous de celle correspondant à l'entectique ce qui améliore l'usinabilité et contribue à rendre les alliages plus plastiques, soit en augmentant cette teneur pour donner des alliages hypereutectiques, plus spécialement utilisés pour la fabrication de pistons, en raison du faible coefficient de dilatation que leur confère une teneur élevée en silicium.

Des alliages contenant Cu et Si sont définis pour les besoins de la coulée sous pression.

Les alliages au magnésium de fonderie sont pratiquement utilisés jusqu'à des teneurs plus élevées en Mg (10%) que les produits transformés.

C'est ainsi le domaine des alliages au cuivre traités thermiquement qui a donné naissance en fonderie aux premiers alliages à caractéristiques mécaniques élevées.

Ces alliages sont très notablement améliorés par l'addition de titane, qui affine le grain du métal coulé.

Le choix des alliages repose sur quelques règles générales.

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

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

La valeur des rapports de composition de certaines additions a une grande importance : quand $\frac{Fe}{Si} < 2$ l'aluminium a tendance à donner des fissures à la solidification.

c) Le magnésium augmente rapidement la sensibilité du métal fondu à la vapeur d'eau, et au changement par l'hydrogène qui en résulte.

d) Les métaux de haute pureté ont tendance à donner des cristallisations grossières.

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

2°) Bonne aptitude au molage :

a) Al - Cu (12% Cu) il se coule bien, mais il a une mauvaise tenue à la corrosion.

Al - Cu (A - U 10 G ; Mg : 0,2 à 0,3 %) se coule bien mais sa tenue à la corrosion est aussi mauvaise.

b) Al - Si (Alliage eutectique) sa tenue à la corrosion est relativement bonne.

A - S 4 G se prête bien au moulage, sa tenue à la corrosion est satisfaisante.

A - S2 U (Cu = 1,25 %) a une mauvaise tenue à la corrosion il est utilisé en coulée sous pression.

2) Bonne tenue à la corrosion :

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

a) Al - Mg ; A - G6 et A - G1 avec addition de Ti et Be pour coulée en sable, avec traitement de mise en solution suivi d'une trempe.

A - G3 et A - G4 avec des additions de Ti et 1 à 2% Zn pour moulages en coquille ou sous pression.

Tous ces alliages ont une excellente tenue à la corrosion marine.

b) Al - Zn - Mg (Zn : 4 à 6 %
(Mg : 3 à 2 %

La tenue à la corrosion est bonne.

On peut mettre dans cette série les Al - Si à condition qu'ils ne contiennent pas de Cu.

3) Haute résistance mécanique :

Il consiste exclusivement des nuances à traitement thermique, qui nécessitent donc après la solidification : chauffe d'homogénéisation, trempe et revenu durcissant.

a) Al - Cu - Mg

Al - U 5 G T (4,5% Cu ; Mg : 0,25% ; 0,25% Ti)

b) Les alliages Al - Zn - Mg

à titre d'exemple A - G 12 Z (12% Mg ; 2% Zn)

A - Z 6 G T.

4) Décoration anodique :

Parmi ces alliages on peut citer : Al - Mg ; A - G 3 et A - G 4 avec titane (pour obtenir un grain fin).

A - Z 4 G et A - Z 5 G.

Parfois on utilise des nuances Al - Si - Mg à titre d'exemple A - S 2 G (2% teneur limite en Si).

5) 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 - 0,10 favorise la finesse du grain à la solidification.

- Bore : ajouté à la teneur de 0,005 à 0,010% il favorise aussi la finesse du grain.

- Zirconium : 0,05 à 0,1% agent de dégazage il diminue la tendance à la microsoufflure et à la micro-retassure. Il affine aussi le grain.

- Beryllium : 0,005 à 0,01 diminue la sensibilité à l'oxydation à chaud et indirectement tendance à la microsoufflure.

- Silicium (0,5 à 0,8 %) diminue la tendance à la fissuration à chaud.

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

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

II. 4 - ALLIAGES AL - SI :

Le silicium est le principal élément d'addition des alliages de fonderie, sa teneur varie dans un large intervalle.

Les alliages Al-Si forment la famille la plus importante des alliages industriels de fonderie.

L'addition de silicium améliore graduellement la coulabilité de l'aluminium et augmente en même temps la résistance mécanique, sans que la plasticité diminue trop. Comme 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.

Le diagramme d'équilibre (fig.II.1) comporte un eutectique Al - Si fondant à 577°C et contenant 11,7% de silicium.

La solidification d'un alliage Al - Si non traité donne à cause du fort pouvoir de cristallisation de la phase B (cristaux de silicium saturés d'Al), une structure eutectique grossière anormale; l'alliage est fragile et poreux ou du moins il manque d'étanchéité aux huiles.

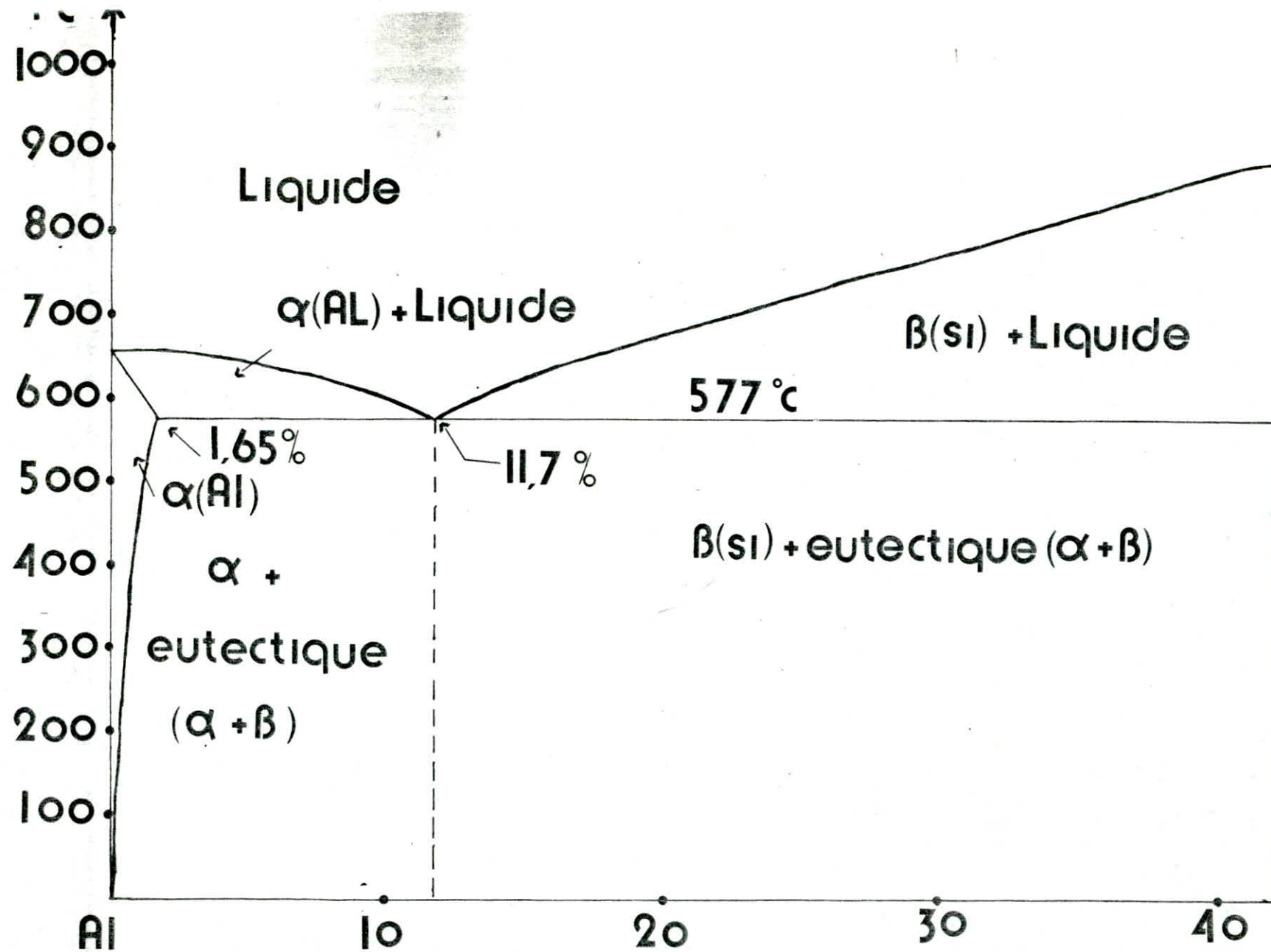


fig: II.1

Diagramme d'équilibre

AL-si

C'est Aladar Pacz (d'où le nom Alpax) qui a inventé le procédé d'affinage par le sodium et les sels de sodium, en ajoutant 0,1% de sodium à l'alliage fondu juste avant la coulée, on obtient une structure eutectique très fine qui confère à l'alliage de bonnes propriétés mécaniques, et surtout une plus grande tenacité et une meilleure étanchéité.

Sous l'effet de ce traitement la teneur eutectique passe de 11,7 à 13 % de silicium par suite d'une surfusion qui abaisse la température de solidification de l'eutectique, à environ 564°C au lieu de 577°C.

Cette surfusion est probablement due à l'anéantissement ou l'empoisonnement des germes de la phase B; cette hypothèse expliquerait pourquoi des alliages de teneur en silicium pourrait atteindre 13% se comportant d'une manière hypoeutectique, tandis que le développement des germes endogènes formés en grand nombre au cours de surfusion expliquerait la finesse de structure de la phase B.

En plus de l'alpax normal à 13% de silicium, on utilise en fonderie des alliages à teneur plus faible en silicium (environ 7%) avec 0,3% de magnésium. Ces alliages ont une coulabilité moins bonne mais sont durcissables par trempe et revenu.

Pour affiner la structure et éliminer les cristaux de silicium en excès, les silumines sont inoculés au sodium par addition au bain de sels de NaF et NaCl.

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

Comme application de ces alliages on peut mentionner en premier lieu les moulages minces comme par exemple les caractères de moteurs, les appareils électriques, etc... Pour ces applications les propriétés mécaniques et l'usinabilité ne doivent pas être exceptionnellement bonnes.

II. 5 - ALLIAGES Al - Zn :

La forme générale du diagramme est bien connue et le liquidus a été déterminé avec précision, ils ont cru longtemps que le solidus de la phase α présentait un point d'inflexion, mais ils ont bien confirmé récemment la présence de la phase B très voisine de la phase α et non discernable au microscope même avec des échantillons recuits plusieurs semaines puis trempés. Cette phase B posséderait un ordre à courte distance.

La solubilité du zinc dans l'aluminium est connue avec moins de précision que celle de l'aluminium dans le zinc. Une augmentation de pression diminue la solubilité du zinc dans l'aluminium.

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

- Un vaste domaine de solution solide α .
- Un domaine d'immiscibilité entre deux phases α contenant des pourcentages différents en zinc.

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

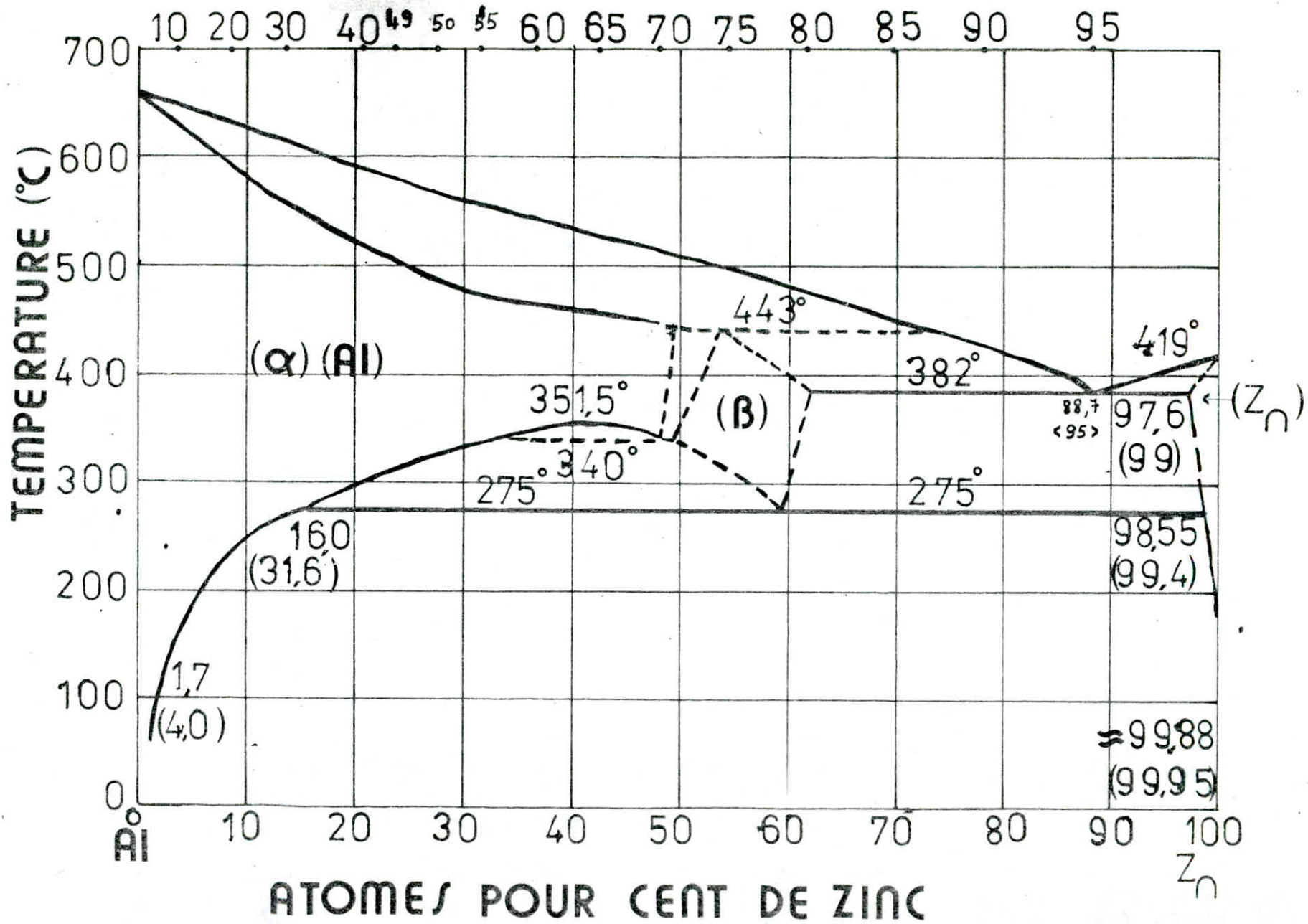
Le durcissement structural des alliages Al - Zn se produit seulement si les métaux sont très pur.

Le durcissement 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 vitesse et cette dureté passent par un maximum pour une température de trempe voisine de 450°C.

Le durcissement structural est très influencé par la présence d'impuretés, le fer et le silicium le font pratiquement disparaître, alors que le magnésium 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.

MASSE POUR CENT DE ZINC

fig: Π.2



Parmi les alliages Al - Zn utilisés en fonderie est l'A - Z 5 G, c'est alliage sans traitement thermique qui donne des caractéristiques maximales après maturation de 30 jours à 20°C.

C'est donc un alliage autotrempant ses caractéristiques augmentent après coule sans aucun traitement thermique suivi de trempe soit nécessaire.

II. 6 - TRAITEMENTS THERMIQUES :

Les traitements thermiques ont pour objet de satisfaire un ou plusieurs des buts suivants :

- Homogénéiser la structure après coulée.
- Atténuer le plus possible les tensions dues à la mise en oeuvre.
- Stabiliser les dimensions.
- Supprimer les effets de l'écronissage.
- Donner aux alliages des caractéristiques mécaniques spéciales.

II. 6 - 1 Traitements d'homogénéisation :

Ce sont des traitements comportant un chauffage à température relativement élevée appliqués à certains produits bruts de fonderie et corroyés et destinés le plus souvent à en faciliter la transformation à chaud ou à froid (filage, étirage, laminage, forgeage).

Ils consistent en général en des maintiens de 6 à 48 heures à des températures allant de 450° à 610°C qui ont pour but général de dissoudre les phases métalliques en excès et de réaliser une homogénéisation de la composition de la solution solide.

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, elles coïncident donc sensiblement avec les températures indiquées pour la mise en solution avant trempe dans le cas des alliages trempants.

Deux types d'évolution peuvent se produire durant l'homogénéisation :

- 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.

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

Parmi les conséquences de l'homogénéisation on peut citer :

- Les alliages répondant plus rapidement aux traitements ultérieurs (trempe, recuit, revenu).

- Les caractéristiques mécaniques sont généralement améliorées.

- Amélioration de la plasticité à chaud.

- Augmentation de la résistance à la fatigue.

- La malléabilité à l'état de recuit est améliorée.

II. 6 - 2 Trempe et durcissement structural :

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'additions 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 appelée :

- 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 (t_2).

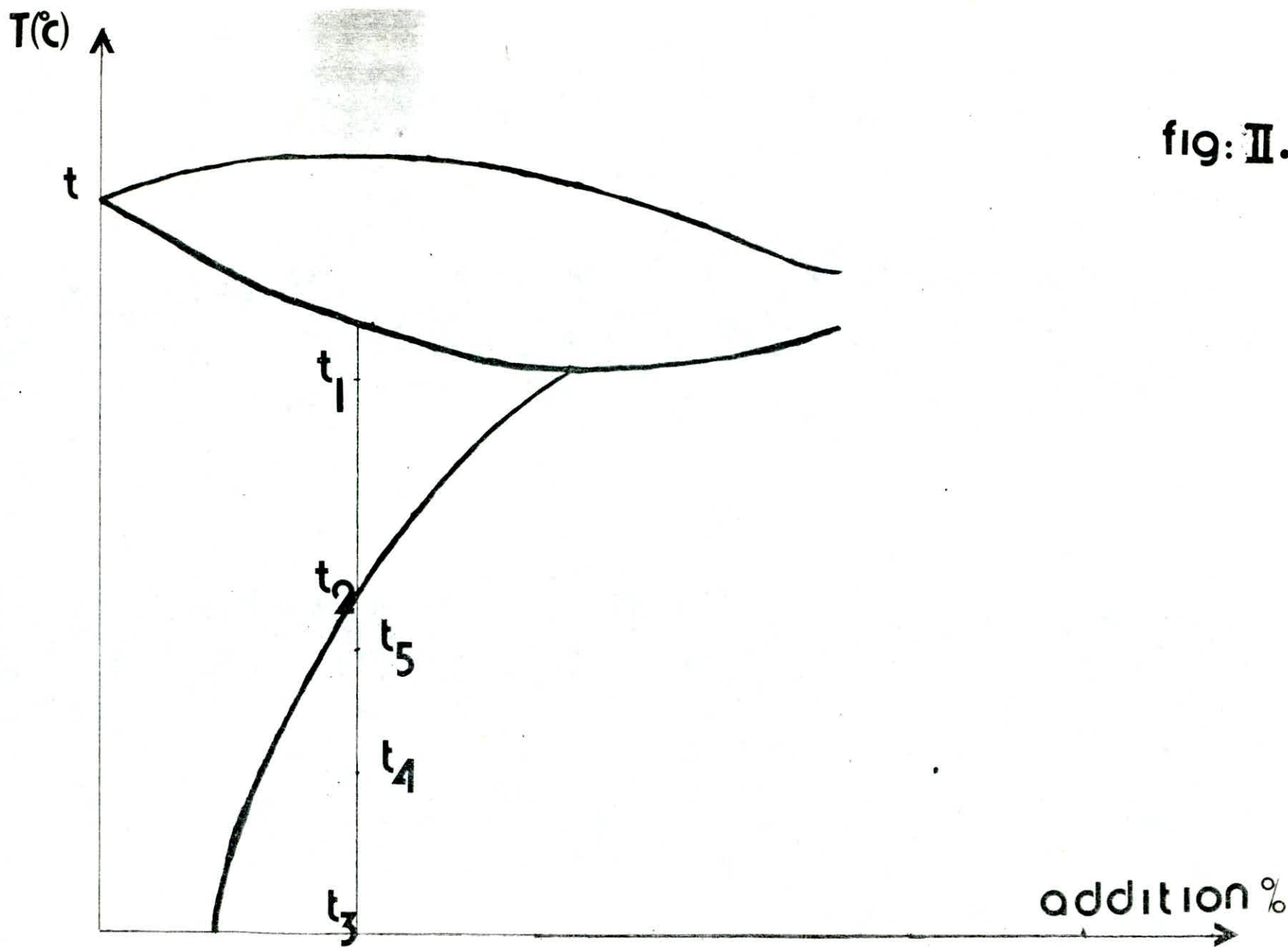
Si on augmente la température au niveau (t_5), peu inférieure (t_2), il y a recuit et le durcissement structural ne peut plus avoir lieu.

II. 6 - 2 - 1 Trempe :

La trempe est un traitement qui consiste à porter l'alliage à une température suffisante pour qu'il se trouve à l'état de solution solide et à le refroidir rapidement à l'eau froide.

Pour la majorité des alliages d'aluminium 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 et s'abaissent ensuite pour des températures de mise en solution supérieures ou inférieures.

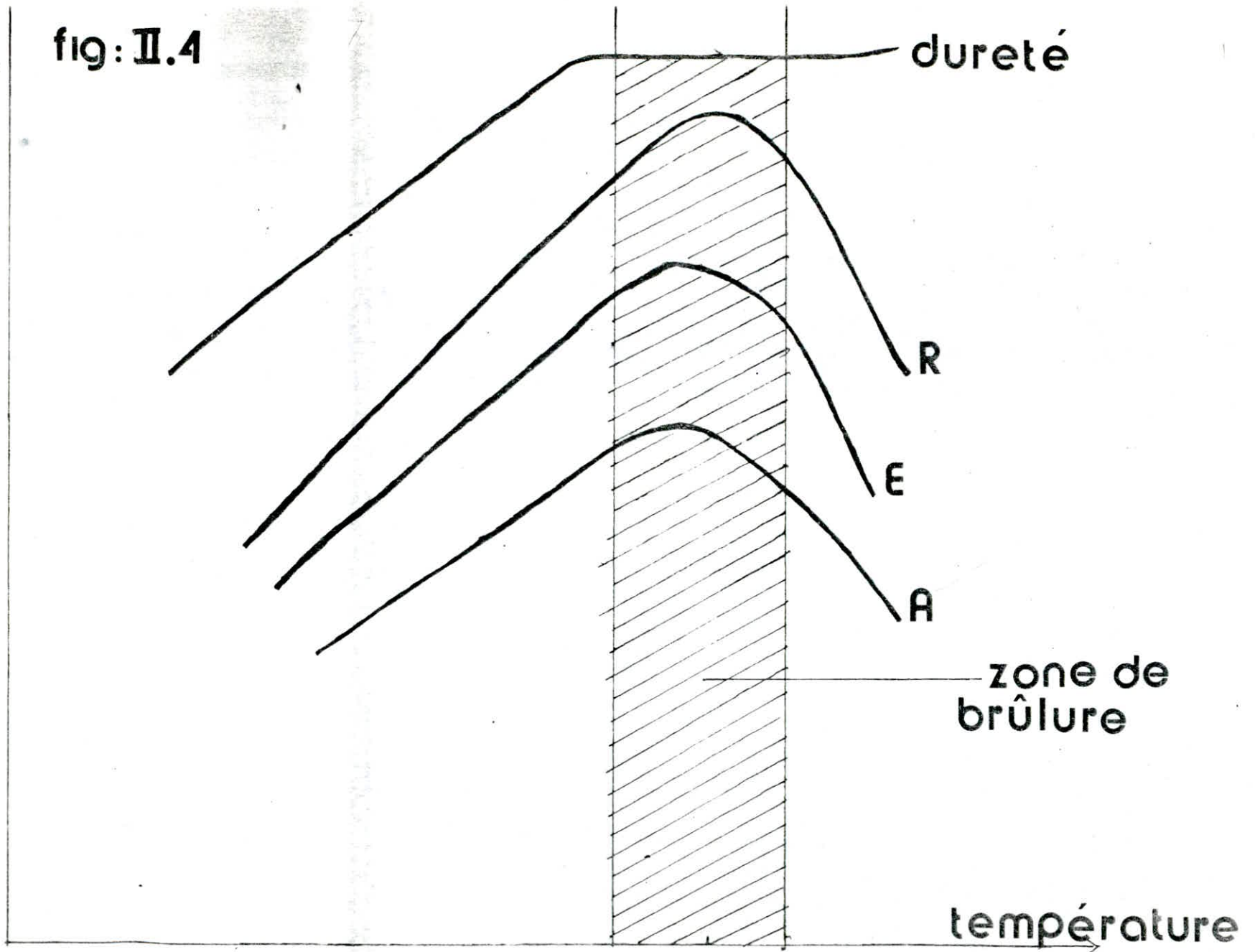
fig: II.3



mécanisme du durcissement structural

ϵ
A%

fig: II.4



variation des propriétés mécaniques avec la température de trempe

La vitesse de refroidissement doit être supérieure à la vitesse critique, sinon une précipitation peut avoir lieu ce qui correspond à une mise en solution incomplète défavorable au durcissement structural.

Le milieu de refroidissement le plus utilisé pour les alliages d'aluminium est l'eau froide (à la température ordinaire).

II. 6 - 2 - 2 Durcissement structural :

Le traitement qui fait suite à la trempe est essentiellement un retour progressif vers l'état d'équilibre physico-chimique par précipitation de la phase en sursaturation, ce qui provoque le durcissement structural.

A température ambiante se produit une évolution naturelle dite maturation, et aux températures supérieures, se produit toute une série d'évolutions, qui constituent les revenus.

a) Maturation :

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

Pendant la maturation, les caractéristiques mécaniques augmentent d'abord rapidement, puis lentement jusqu'à atteindre des valeurs voisines de l'équilibre.

La vitesse de maturation dépend des facteurs suivants :

- La vitesse de vieillissement augmente quand la température de maturation augmente.
- La maturation est fortement accélérée par l'écronissage, surtout lorsqu'il est appliqué au début du durcissement.

Aux basses températures toute précipitation est stoppée, le métal conservant la grande malléabilité que lui a conférée la trempe.

b) Traitement de revenu :

Pour des températures plus élevées, apparaissent plusieurs types de précipitation, ces évolutions constituent les revenus.

La vitesse de refroidissement après revenu n'a pas d'influence sur les caractéristiques mécaniques finales.

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.

II. 7 - FONDERIE ET MOULAGE :

II. 7 - 1 Constitution de la charge :

La charge comporte des lingots d'A - S 10 G et des chutes de sa propre production (retours). Les proportions de chute à réemployer doivent être respectées.

On doit toujours éviter l'emploi massif des chutes qui accroît les risques d'écart de composition chimique, car dans certains cas les chutes sont polluées par les opérations de transformation, d'où l'enrichissement en Si du sable pour la fonderie de pièces, en fer de copeaux d'usinage, pollution par de l'huile pour les laminés minces.

L'emploi massif de chute entraîne aussi une augmentation de la quantité d'oxydes présents dans le bain métallique ce qui provoque une diminution des caractéristiques mécaniques et de la coulabilité de l'alliage.

Il en résulte que dans le cadre de la fonderie doit exister un lotissement soigneux des chutes, on est fréquemment conduit à un lingotage préalable pour affinage et analyse, ce qui permet l'emploi le plus économique, sans qu'aucun risque en résulte pour la qualité des fabrications.

Il est bien évident que chutes et lingots doivent être stockés à l'abri des poussières, des salisseurs et de l'humidité, toute corrosion causera des difficultés par changement en gaz, donc des traitements correctifs accrus.

On doit attacher une grande importance à ce qu'aucun jet d'alliage chargé en cuivre ou en magnésium ne soit mélangé par inadvertance aux jets d'A - S10 G.

L'A - S10 G est vendu en lingots titrés mais on peut en cas de besoin l'élaborer soi-même à partir d'aluminium pur (qualité A 5) et d'alliages-mères de silicium, de magnésium et de manganèse.

Voici une charge type pour 100 kg d'A - S10 G.

Aluminium A 5	46 kg.
Alliage-mère de Si A - S20	47 kg.
Alliage-mère de Mn A - M10	4 kg.
Alliage-mère de Mg A - G10	3 kg.

II. 7 - 2 Fusion :

Le point de fusion relativement bas des alliages d'aluminium rend possible l'emploi de tous les types de fours existants.

a) Creusets :

Les creusets doivent être inertes vis-à-vis du métal et des éléments d'alliage.

Les creusets en fer ou en acier, d'un emploi très commode, sont toujours fortement attaqués par l'aluminium fondu, ce métal dissout rapidement le fer dès 650°C. Il en résulte deux inconvénients :

- destruction du creuset.
- enrichissement de l'alliage en fer.

Pour ces raisons, les creusets métalliques sont abandonnés à peu près complètement, sauf pour la coulée sous pression, qui fait intervenir des machines complexes s'accommodant mal de creusets non métalliques.

Tous les outillages en fer ou en acier en contact avec le métal fondu, même temporairement, sont poteyés avec des enduits du type "talc-silicate" ou "graphite-silicate" pour éviter l'attaque et la diffusion intermétallique.

Le graphite et le carborum (Sic) sont inertes vis-à-vis du métal; bon conducteur de la chaleur, ils sont largement employés sous forme de creuset, le graphite et le carborundum sont moulés avec un liant constitué par une cuisson préalable à leur mise en service.

Les creusets en carborundum sont d'un prix élevé, ils assurent un service plus long que ceux en graphite. Tous deux ont l'inconvénient d'être fragiles.

b) Types de fours :

Les fours à creuset à chauffage au coke sont encore largement utilisés en fonderie de pièces, ils sont économiques, mais se prêtent mal à un contrôle précis des températures, sauf par addition permanente de métal froid, le coke humide chargé le métal liquide en hydrogène.

Les fours à creuset à chauffage au mazout ou au gaz sont plus maniables et mieux sous contrôle de température.

Le chauffage électrique par résistance est ainsi largement employé avec les fours à creuset, 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 du métal déjà liquide.

Ils sont les meilleurs en ce qui concerne les risques de contamination par l'hydrogène.

Les fours à sole ou à bassins sont plus ou moins dérivés des fours reverbères. Ils sont de deux types :

b - 1 Chauffage électrique par résistance :

La fusion se fait en principe sur le sole, et le métal fondu s'emmagasine dans le bassin, il est soutiré à l'autre extrémité. Les résistances rayonnantes sont à la voûte (elles sont en alliage Ni - Cr de forte section).

De tels fours ont une capacité allant de 0,5 à 3 ou 5 tonnes. Ces fours sont oscillants, de manière à permettre une mécanisation complète de la coulée.

Ils ont les avantages et inconvénients suivants :

AVANTAGES :

- Risques très faibles de contamination par des gaz.
- Temps de séjour important dans le four.
- Excellent contrôle de la température.

INCONVENIENTS :

- Chauffage lent, production horaire assez faible.
- Consommation d'énergie élevée.
- Difficultés pour l'introduction des éléments d'alliages.
- Ils se prêtent mal aux traitements par barbotage de gaz ou aux sels dissociables.
- Ils manquent de souplesse.
- Les projections de métal fondu altèrent gravement les résistances.
- Un prix élevé du kWh les désavantage, comme tous les fours électriques.

b - 2 Chauffage au mazout ou au gaz :

Avec ces fours, on remédie en partie aux inconvénients de la catégorie précédente, mais en supprimant aussi le principal avantage, les fumées de combustion entraînent une contamination du métal.

- Les fours oscillants à chauffage par brûleurs latéraux sont les plus mauvais, bien qu'ils soient apparemment économiques, ils conduisent notamment à un pourcentage de soufflures, sur produits laminés recuits, 4 à 10 fois plus élevé que les fours électriques, toutes choses égales par ailleurs.

- Les fours avec brûleurs à la voûte sont un peu meilleurs, car ils fonctionnent plus par rayonnement de la voûte que par convection directe des fumées.

Ils ont la même forme que les fours à résistance électrique, et les mêmes inconvénients de service.

- Les fours à plusieurs chambres, plus ou moins dérivés des fours Martin, ont de nombreux inconvénients métallurgiques, ils se situent à mi-chemin entre les fours à résistance rayonnante et à voûte rayonnante par brûleurs à gaz.

- Les fours rotatifs sont chauffés généralement au gaz ou au mazout; son fonctionnement est discontinu. Des fours rotatifs de grande capacité sont d'un emploi courant dans les raffineries produisant du métal de deuxième fusion.

c) Conduite de la fusion :

Elle comporte les étapes suivantes :

- Chauffage du creuset au rouge 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.

II - 7-3 Coulée et moulage :

La coulée doit avoir lieu à la température la plus basse compatible avec la bonne venue des pièces.

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.

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).

III. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

III - 1 PREPARATION DES EPROUVETTES DE TRACTION :

Les éprouvettes de traction sont préparées par le procédé de moulage au sable - silicate de soude - gaz carbonique.

Les matériaux de moulage utilisés dans ce procédé sont :

- Sable siliceux pur (argile < 1%)
- Silicate de soude
- Gaz carbonique.

Du sable siliceux est mélangé à un liant à base de silicate de soude, le chassis est rempli avec le sable ainsi préparé puis du gaz carbonique est injecté à travers le sable.

Le serrage du sable se fait à la main avec usage complémentaire de pilettes simples ou pneumatiques.

La réaction chimique de silicate de soude et du gaz carbonique forme un gel de silice qui agglomère les grains du sable. L'injection du gaz carbonique à travers le mélange de sable modifie le module de silicate, en augmente la viscosité et procure au sable une cohésion suffisante pour le démoulage.

La coulée se fait sans étuvage préalable du moule.

Les pièces coulées en A - S10 G doivent avoir la composition chimique comprise entre les limites suivantes (d'après la norme A 57 - 702).

Fer	0,65 %
Silicium	9,0 à 11,5 %
Cuivre	0,10 %
Zinc	0,10 %
Magnésium	0,17 à 0,35 %
Manganèse	0,25 à 0,50 %
Nickel	0,05 %
Plomb	0,05 %
Etain	0,05 %
Titane	0,10 %
Cobalt	0,20 %

Caractéristiques mécaniques avant et après traitement :

Mode de Moulage	Etat	R(Kgf/mm ²)	Re(Kgf/mm ²)	A(%)	HB
Moulage en sable	Non traité	16	9,5	3,5	55
	traité	23	18	1,5	75
Moulage en coquille	Non traité	17	11	2,0	65
	traité	26	18	1,5	80

Les limites de composition chimique indiquées précédemment sont impératives. Tout écart peut amener des déboires lors des traitements thermiques, d'où la nécessité de contrôler la teneur des éléments suivants dans l'alliage pour chaque lit de fusion.

Fer :

Le fer existe toujours à titre d'impureté, dont la teneur ne dépasse pas 0,65 %, tout excès provoque la formation des constituants lamellaires très fragiles qui diminuent les caractéristiques mécaniques.

Cuivre :

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

Magnésium :

La teneur en magnésium est limitée, tout excès de cet élément accentue le durcissement structural après traitement thermique, réduit l'allongement et provoque la fragilité de l'alliage.

Une teneur en magnésium trop faible conduit à un durcissement insuffisant après traitement thermique.

Les principales causes susceptibles d'abaisser la teneur en magnésium sont :

- Le traitement de modification par les flux sodés.
- Le traitement de dégazage.
- L'emploi de jets à basse teneur en magnésium l'A - G 10.

Manganèse et cobalt :

La présence de ces éléments est nécessaire pour s'opposer à l'action néfaste du fer. Des teneurs plus élevées que 0,55 nuisent aux caractéristiques mécaniques.

III. 1 - 1 Addition de zinc :

L'addition du zinc sur l'A - S10 G se fait de la manière suivante :

- L'A - S10 G liquide préalablement dégazé est coulé à une température supérieure à 800°C dans une grande poche préchauffée pour ralentir le refroidissement de l'alliage.

- L'alliage étant à 800 - 820°C dans la poche, il est décrassé puis la surface du bain est recouverte avec 0,5 % de flux modificateur, ensuite à l'aide d'une cloche perforée préalablement poteyée on l'enfonce légèrement dans le bain 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.

- 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 des éprouvettes de traction.

La coulée doit s'effectuer 5 à 10 mn après le traitement d'affinage par le sodium ou par d'autres poudres utilisées comme OK - BTK.

III. 2 TRAITEMENTS THERMIQUES :

Pour chaque alliage élaboré on prend une partie des éprouvettes pour les traitements thermiques (fig.III - 1) qui comportent :

- Une mise en solution solide 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 d'un point de fusion de l'alliage. Ce traitement est fait 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 bec doit être le plus court possible.

III. 3 ESSAIS MECANTIQUES :

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

L'ingénieur doit dimensionner ses constructions de telle manière 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 peut obtenir 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. 3 - 1 ESSAI DE TRACTION :

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction et généralement jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques.

On impose généralement une déformation croissante à une éprouvette sur laquelle on a tracé deux repères initialement distants de L_0 et on mesure simultanément l'effort F et l'allongement

On utilise généralement des éprouvettes de traction coulées en sable, le moulage doit être effectué avec un grand soin, de façon que le barreau soit exempt de défauts (vide, 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 $L-L_0$ appelée "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 s'appelle aussi courbe conventionnelle de traction.

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

De 0 à 3 c'est un domaine élastique à déformation réversible ($R = Ee$ avec $e = (L-L_0) / L_0$)

En appliquant une charge supérieure à la charge appliquée en 3 (charge 4 par exemple), l'éprouvette 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 s'annule 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 ses alliages le passage du domaine élastique au domaine plastique s'effectue presque toujours d'une façon continue et la limite élastique n'apparaît souvent pas sur les diagrammes charge - déformation.

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 pas, la courbe conventionnelle ne présente pas une chute de la charge.

III. 3 - 2 ESSAI DE DURETE :

Les essais de dureté sont d'une grande utilité pour le métallurgiste à cause de leur simplicité et de leur caractère peu destructif. Mais il faut bien noter que la dureté n'est pas une propriété simple des matériaux métalliques.

La dureté caractérise la résistance à la déformation et les valeurs obtenues permettent certains classements.

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

La dureté "Brinell" s'exprime en kgf/mm^2 , elle est proportionnelle au rapport F/S .

F = charge d'essai

S = surface de l'empreinte

$$HB = \frac{0,102 \times 2 F}{D^2}$$

avec $F = K \times 9,81 \times D^2$

- $K = 2,5$, 5 ou 10 pour l'aluminium et ses alliages.

Pour mesurer la dureté on applique sur l'échantillon une bille d'acier de diamètre donné avec une charge donnée pendant 30 secondes. On décharge ensuite la bille (certaines machines de dureté se déchargent automatiquement : machine S.N.V.I - UFR) et l'on mesure le diamètre de l'empreinte laissé à la surface de l'échantillon.

On constate que plus le matériau est tendre, plus le diamètre de l'empreinte circulaire laissée par la bille est grand.

Condition d'essai :

- L'essai est normalement conduit à température ambiante.
- La charge est appliquée progressivement, sans choc ni vibrations.
- On prépare la surface pour éviter toute altération.
- Epaisseur de la pièce $> 10 \times$ hauteur de l'empreinte.
- La pièce doit reposer sur un support rigide.

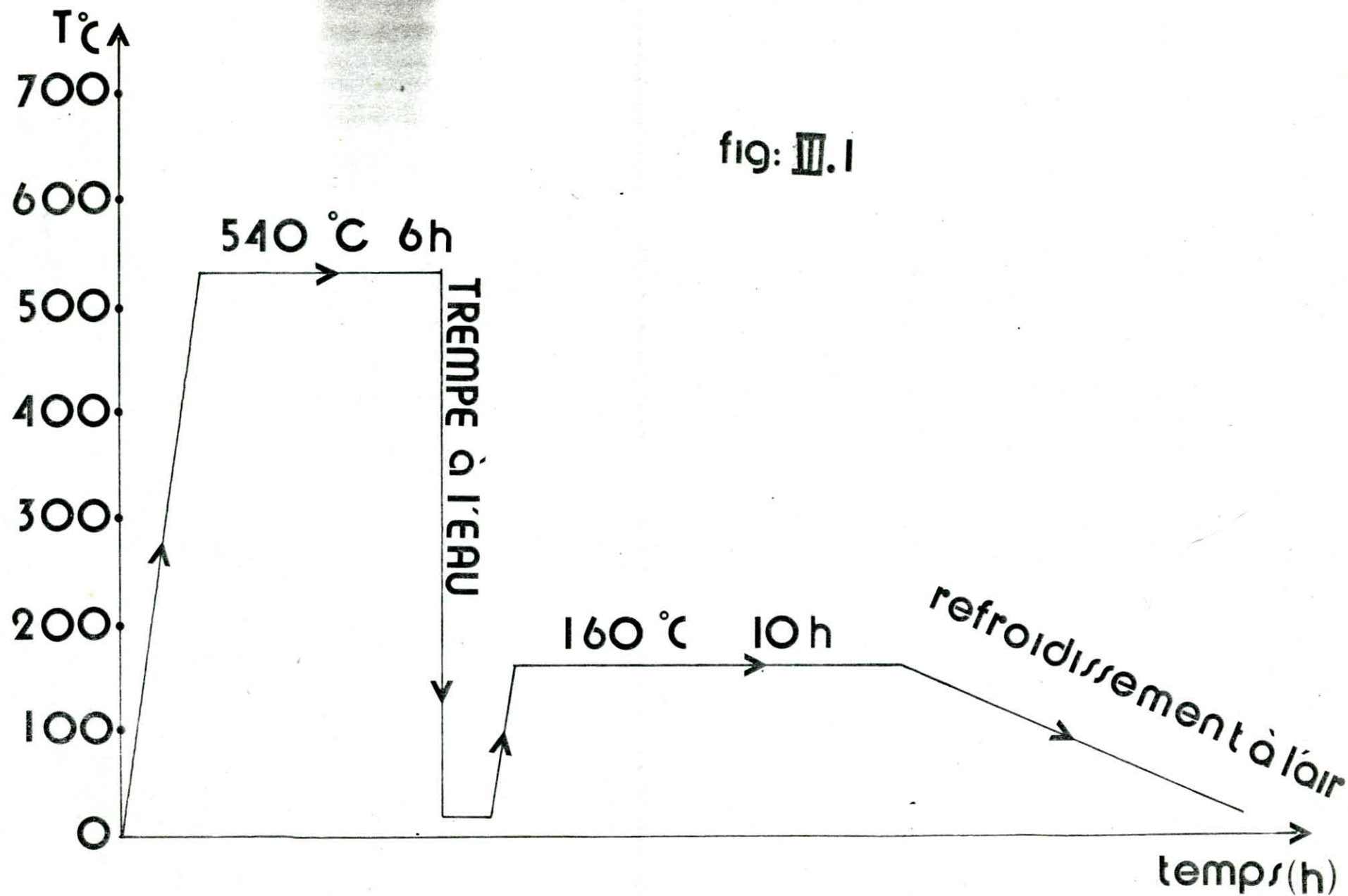


fig: III.1

cycle de traitement thermique

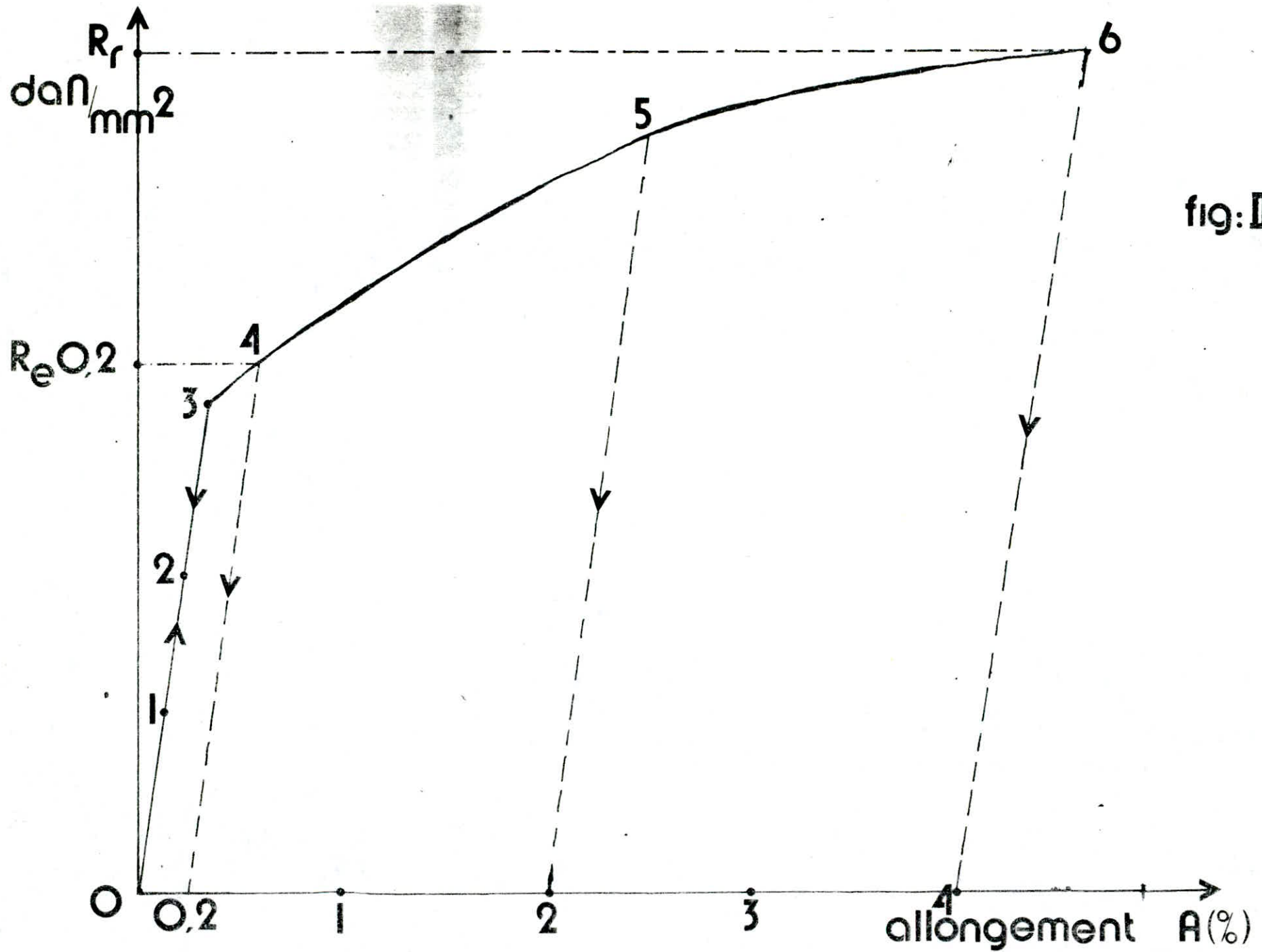


fig: III.2

III. 4 - MICROGRAPHIE

La préparation des échantillons pour l'examen micrographique se déroule comme suit :

Pollissage mécanique :

Le pollissage consiste à rendre la surface plane à ce qu'elle ne présente aucune rayure, susceptible de gêner l'examen ultérieur. Pour cela, on frotte le métal sur des abrasifs de plus en plus fin.

Il faut bien prendre soin d'éviter l'échauffement de l'échantillon.

Le pollissage s'opère à l'aide d'une série de papiers "éméris de plus en plus fins (120 - 320 - 600 - 1000).

Cette phase permet d'arriver à une surface comparable à un miroir, et à ne laisser que des rayures très fines, invisibles à l'oeil nu, qui disparaîtront dans la dernière phase.

Le finassage se fait à l'aide du papier feutre, en utilisant de la patte diamantée.

Attaque :

L'attaque a pour but de révéler les joints des cristaux, et de différencier les constituants de l'alliage. La méthode la plus répandue consiste à tremper l'échantillon dans le réactif choisi pendant un temps convenable, l'attaque a lieu généralement à température ambiante.

Le réactif utilisé pour les alliages d'aluminium est une solution alcoolique d'acide fluorhydrique.

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, l'analyse est d'abord effectuée sur un échantillon commun pour la détermination de la teneur des éléments autre que le zinc.

Pour déterminer la teneur en zinc, des échantillons d'analyse sont prélevés à partir des éprouvettes de traction après l'essai.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tenant en élément	% Si	% Mg	% Fe	% Mn	% Cu	Autres
Alliage						
Alliage 1 A-S10 G	10,60	0,18	0,15	0,36	traces	/
Alliage 2	10,15	0,25	0,18	0,29	traces	/
Alliage 3	10,03	0,20	0,22	0,25	traces	/
Alliage 4	9,92	0,19	0,20	0,30	traces	/

IV. 1 - 2 Essai mécanique :

Les essais de traction ont été effectués à la G.T.P (REGHAIA).

La charge appliquée est de 40 000 N.

Pour la dureté, les essais ont été réalisés à la S.N.V.I - U.F.R (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 est écoulée.

Les résultats trouvés pour les alliages à l'état non traité et à l'état traité sont regroupés respectivement dans les tableaux IV.1 et IV.2

HB : Dureté Brinell.

A : Allongement à la rupture en %.

Re.0,2 : Limite élastique à 0,2 % d'allongement en DaN / mm².

Rr : Charge à la rupture en daN / mm².

Tableau IV. 1 :

Alliage N T	% Zn	Rr	Re.O,2	HB	Δ %
Alliage 1	5,70	18,75	14,17	83,40	2,70
	5,88	18,85	10,10	85,50	2,35
	5,90	19,40	14,20	86,50	2,20
Alliage 2	6,40	18,78	14,40	86,08	2,28
	6,60	19,30	14,15	87,07	2,25
	6,85	18,86	14,30	87,08	2,15
Alliage 3	7,65	19,20	14,35	90,80	2,40
	7,75	19,80	14,10	91,90	2,18
	7,90	19,75	14,20	92,30	2,10
Alliage 4	8,75	20,10	14,60	92,80	2,08
	8,82	20,22	14,16	95,20	2,17
	8,87	19,95	14,90	96,10	2,04

Tableau IV. 2 :

Alliage	% Zn	Rr	Re 0,2	HB	A %
Alliage 1	5,65	23,27	22,10	87,70	2,60
	5,86	24,17	23,70	88,20	2,10
	5,92	22,87	21,40	88,20	1,90
Alliage 2	6,45	24,11	23,86	96,50	1,50
	6,70	22,87	21,90	95,20	1,86
	6,80	23,20	22,80	97,70	2,06
Alliage 3	7,70	23,07	22,10	90,70	1,90
	7,60	22,26	21,92	91,80	2,15
	7,85	23,10	22,75	89,00	2,15
Alliage 4	8,65	24,34	23,60	84,50	1,70
	8,80	22,84	21,98	87,60	1,70
	8,90	22,78	21,77	83,90	1,80

IV. 2 - INTERPRETATION :

On a suivi les traitements thermiques pratiqués pour l'A - S10 G à la S.N.V.I - U F R.

Ces traitements thermiques comportent :

- Une mise en solution à 540°C pendant 6 heures suivie d'une trempe à l'eau (à température ordinaire).
- 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 des additions du zinc, du point de vue propriétés mécaniques.
- Le traitement thermique doit être obligatoirement le même pour toutes les nuances d'alliages.

La température de trempe (540) conserve toujours les éléments d'additions en solution solide, la fusion de l'alliage ne risque pas de produire même pour les teneurs les plus élevées en zinc.

Le traitement thermique n'a donné aucune amélioration pour les nuances d'alliages de 6% à 9% de point de vue propriétés mécaniques.

La dispersion de l'eutectique enrichi en silicium a permis d'obtenir une structure homogène et très fine après traitement de modification.

IV. 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 dû à l'apparition d'amas sphéroïdaux du zinc dans la solution solide... , la présence des éléments Fe et Si même à l'état d'impureté rend cette sphéroïdisation impossible, c'est d'ailleurs le cas de l'A - S10 G pour lequel la teneur en Si est de 10% en moyenne.

D'autre part le diagramme d'équilibre Al - Si - Zn (fig. IV.) 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 binaire Al - Zn, Zn - Si pour les additions 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 modifiée.

IV. 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 écart qui existent dans la composition chimique en passant d'une nuance à autre, car les différents 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 pourcentage de zinc.

Pour les alliages non traités le zinc a tendance à augmenter légèrement la dureté car les atomes de zinc se trouvent en insertion dans la solution solide (le rayon atomique de zinc étant inférieur à celui de l'aluminium, le glissement qui se produit suivant certains plans cristallographiques 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, mais uniquement pour les faibles additions de zinc (5%) (voir le projet de Ziani), mais pour des teneurs plus élevées, on constate d'après les résultats obtenus des essais mécaniques que la dureté, la charge de rupture et la limite élastique sont légèrement améliorées pour les nuances d'alliages non traitées.

Sur ces alliages traités, il n'a été constaté aucune amélioration des propriétés mécaniques.

Dans les deux cas précédents on constate la diminution de l'allongement.

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 $MgZn_2$ et $Al_2Mg_3Zn_3$.

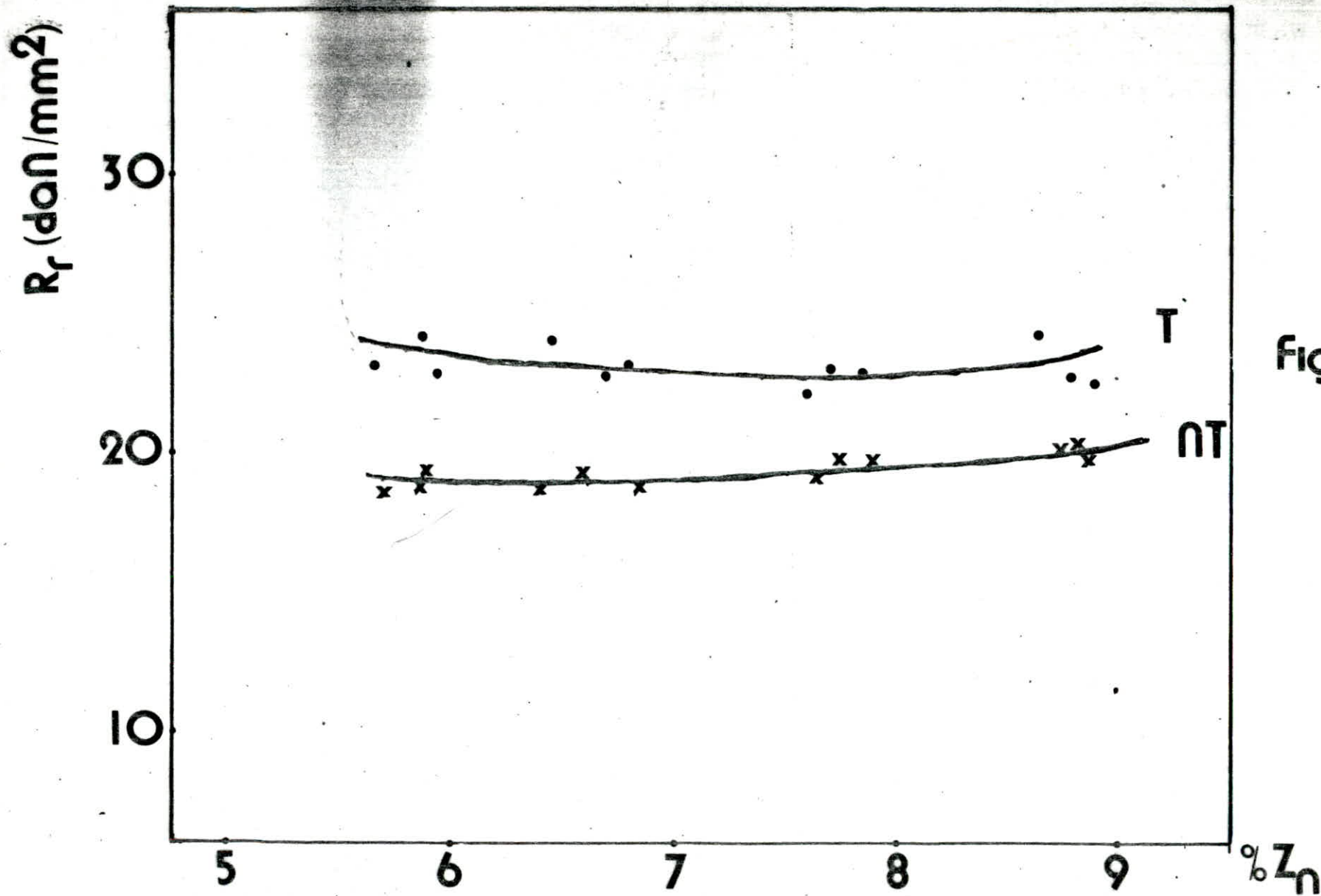


Fig: V.1

VARIATION DE LA CHARGE DE RUPTURE EN FONCTION DU $\%Zn$

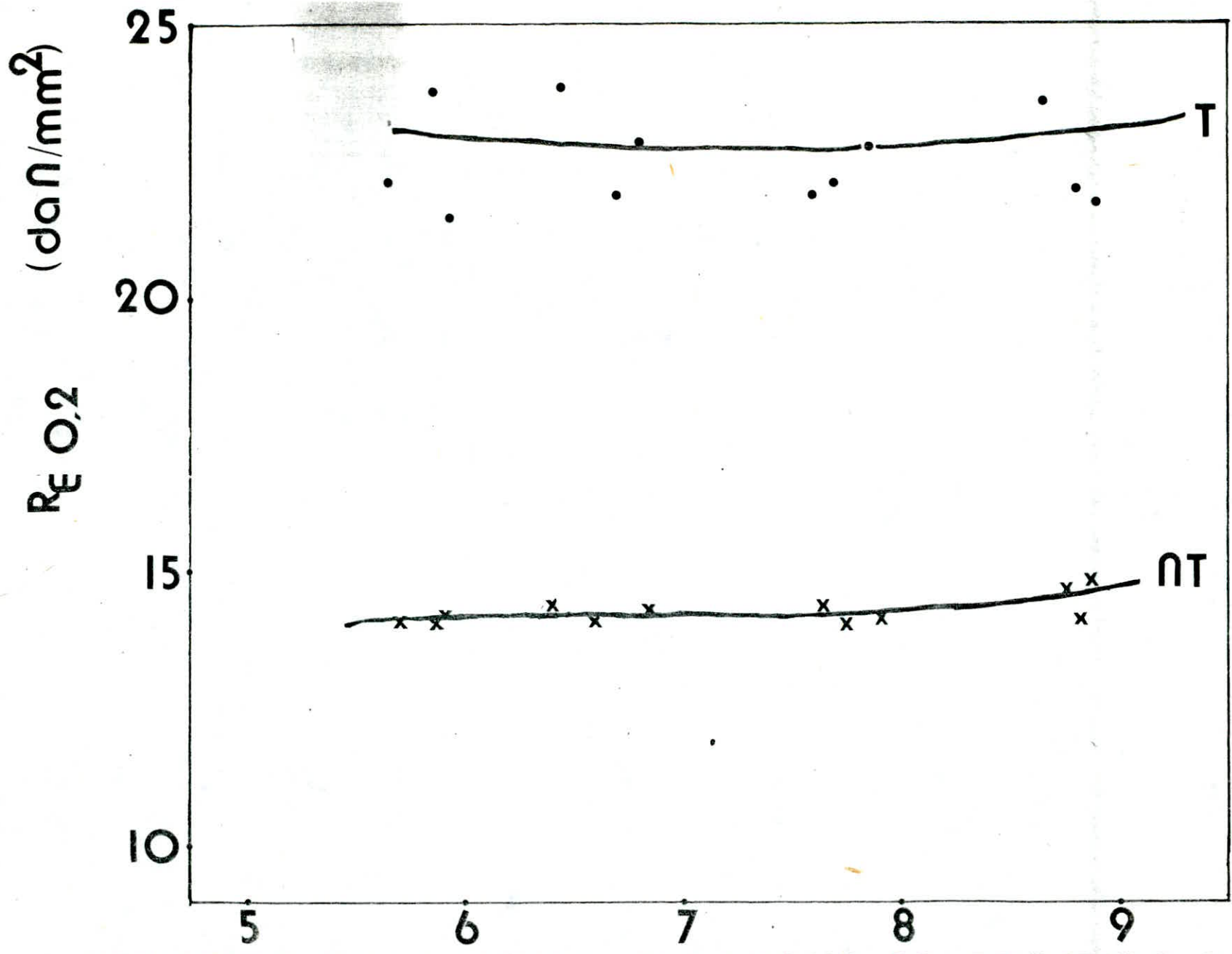
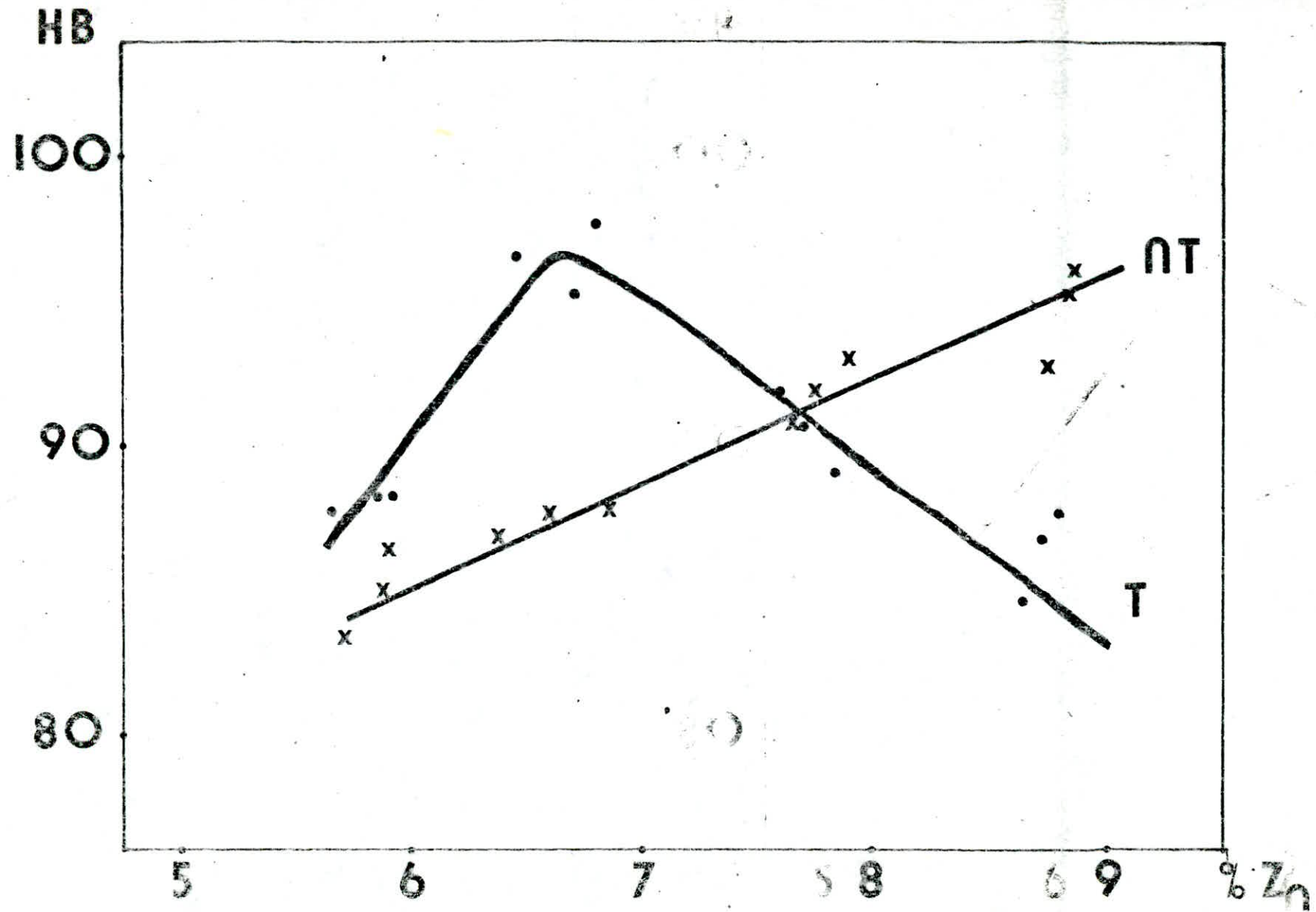
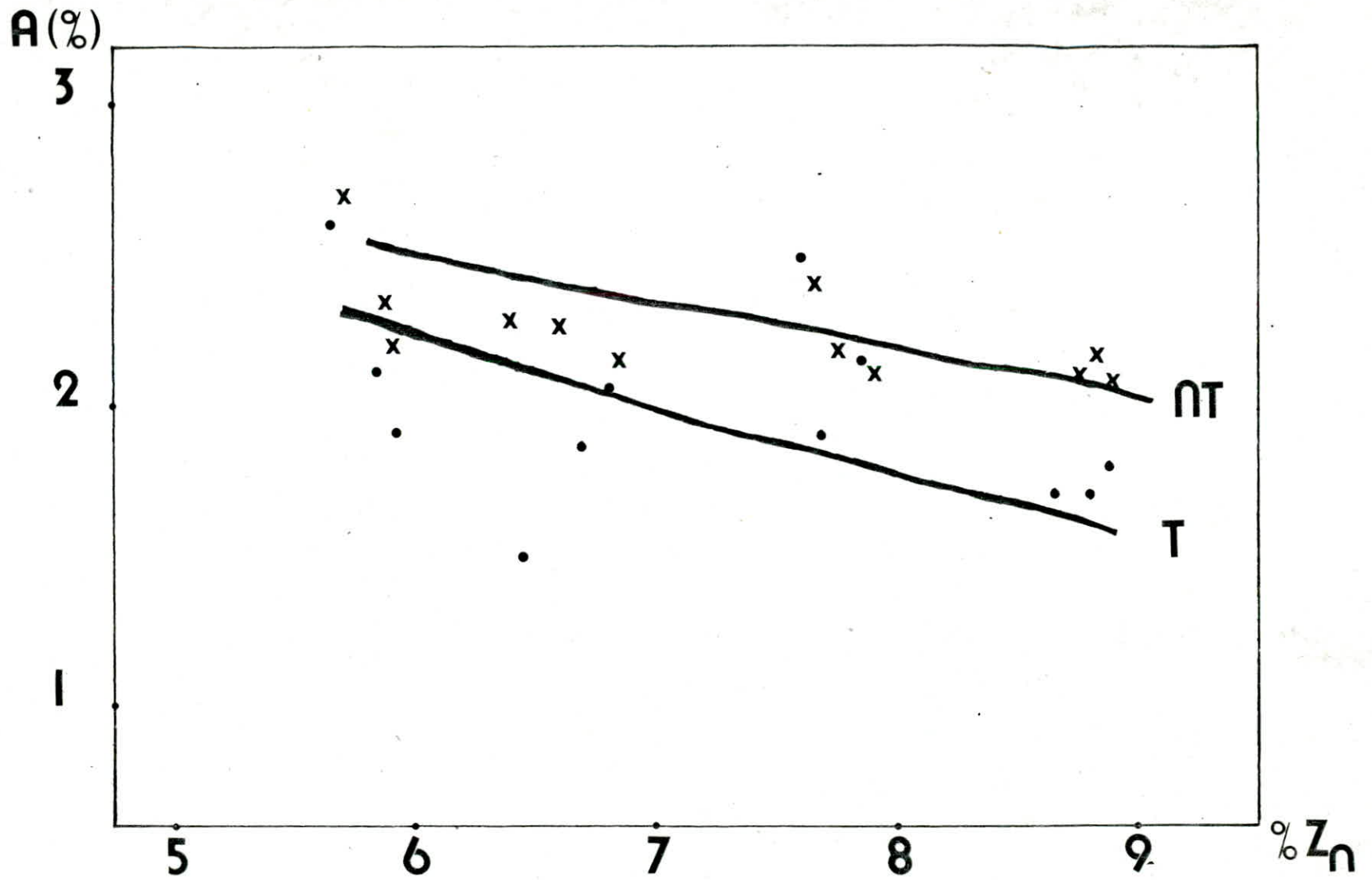


Fig:IV.2

VARIATION DE LA LIMITE ELASTIQUE EN FONCTION DU $\%Zn$



VARIATION DE LA DURETE EN FONCTION DU % Zn
 fig: IV.3



VARIATION DE L'ALLONGEMENT EN FONCTION DU % Zn

fig. 4

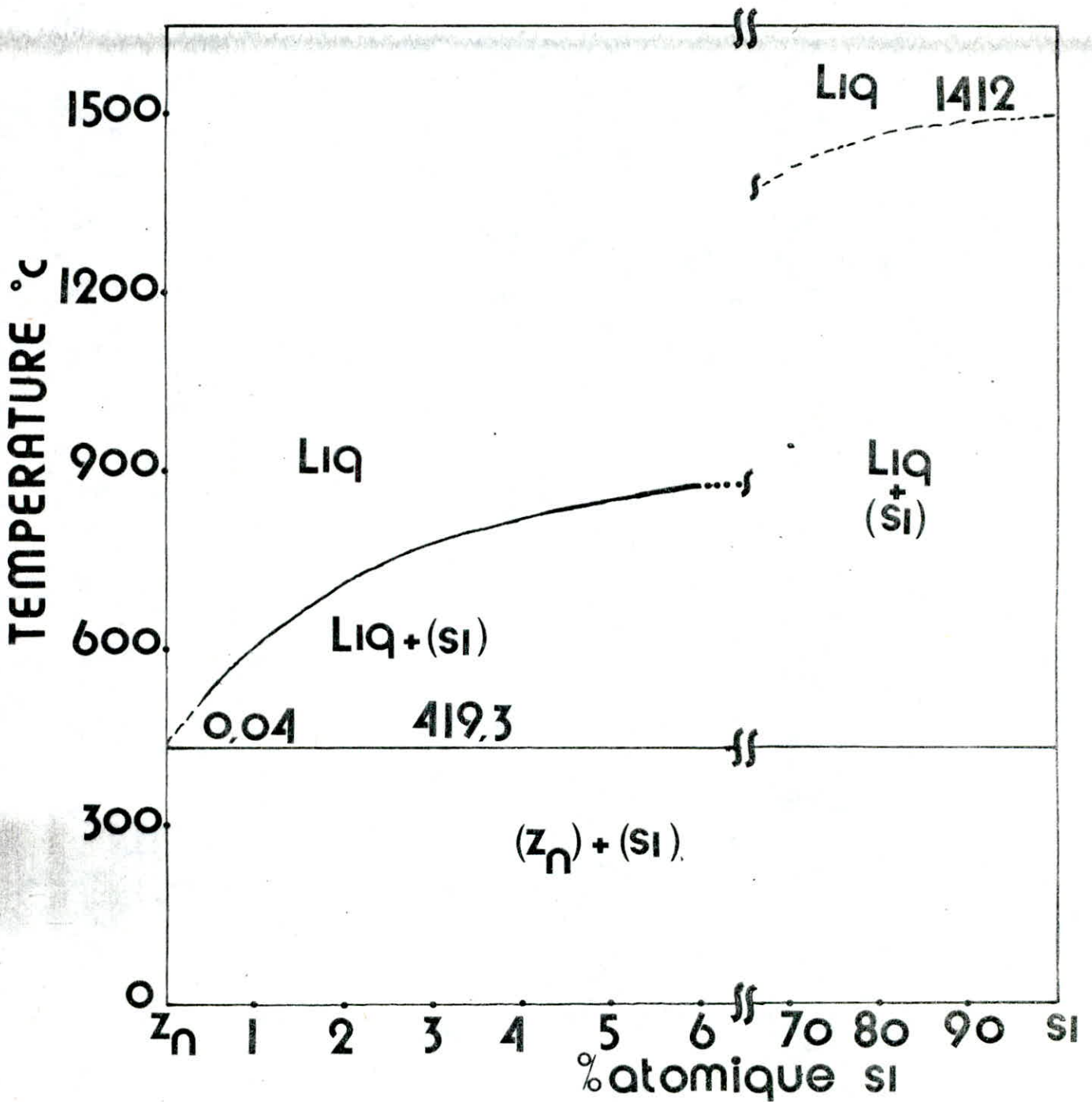
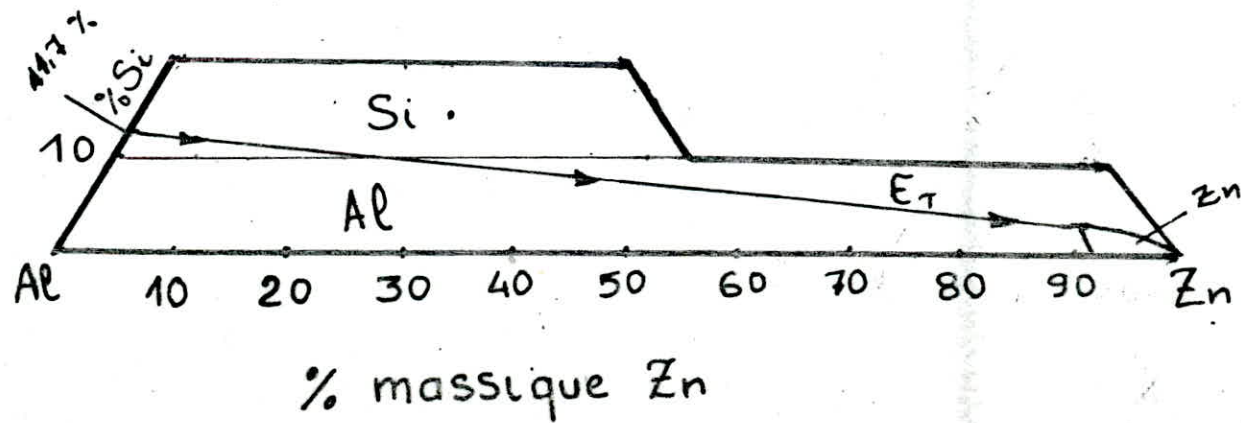


Diagramme d'équilibre $Zn-Si$

Fig: IV.6

Diagramme d'équilibre AL - Si - Zn



- C O N C L U S I O N -

L'A - S10 G est un alliage légèrement hypoeutectique, possède une très bonne coulabilité en raison de la teneur relativement élevée du silicium, 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 G, il est bien adapté à la réalisation de pièces minces de forme plus en moins complexe, sa tenue à la corrosion est appréciable dans divers conditions de service.

La présence de magnésium dans l'A - S10 G lui permet de subir un durcissement structural par traitement thermique.

L'A - S10 G a l'avantage d'être léger, une propriété très demandée au niveau industriel en construction mécanique où on cherche toujours à réduire le poids d'où économiser le maximum le carburant.

D'après l'étude faite, les additions de zinc n'ont aucune influence sur l'alliage A - S10 G, et n'entraînent pas une amélioration des caractéristiques mécaniques.

On peut conclure que les additions de zinc sont sans intérêt pratique en plus elles rendent l'alliage lourd ($Zn\ 7,14g/cm^3$) et gardent à un niveau constant les caractéristiques mécaniques.

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

Techniques de l'ingénieur	
Métallographie et traitements thermiques	LAKHTINE
Métallurgie générale	BENARD
Métallurgie spéciale	HERENGUEL
Un regard à l'intérieur de l'aluminium	ALTENPOHL
Comportement de l'aluminium et ses alliages ..	VARGEL

