

ME

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Mines & Métallurgie

**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

**S U J E T**

ÉTUDE MÉTALLOGRAPHIQUE DES  
ALLIAGES DE ZINC

Zamak 3 & Zamak 5

Proposé par :

**SIDER Ghazaouet**

Étudié par :

**SEBIHI HAMOUD**

Dirigé par :

**Mr. K. ABADLI**

PROMOTION :

**JUIN 1985**

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT Mines & Métallurgie

**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

**S U J E T**

ÉTUDE MÉTALLOGRAPHIQUE DES  
ALLIAGES DE ZINC

Zamak 3 & Zamak 5

Proposé par :  
*SIDER Ghazaouet*

Étudié par :  
*SEBIHI HAMOUD*

Dirigé par :  
*Mr. K. ABADLI*

PROMOTION :  
*JUIN 1985*

Il ne faut point juger des hommes  
par ce qu'ils ignorent, mais par ce qu'ils savent  
et par la manière dont ils le savent.

VAUVENARGUES.

A Mes Chers Parents.

A MEs Frères Et Soeurs.

A Tous Mes Amis.

Je Dédie Ce Modeste Travail.

H. SEBIHI



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

J'exprime ma respectueuse et profonde gratitude à Monsieur ABADLI, enseignant de métallurgie physique au Département Métallurgie, pour sa précieuse aide et la bonne ambiance dans laquelle a été accompli ce travail et dans l'appui qui ne m'a jamais manqué.

Je voudrais témoigner ma sincère reconnaissance à Monsieur SAADA, Chef de Département Mines et Métallurgie.

Je remercie tous les Enseignants de Départements Mines et Métallurgie pour l'enseignement et pour les conseils précieux dont ils m'ont fait profité.

Je remercie particulièrement Monsieur Deschamps, pour ses précieux conseils.

Mes Remerciements à Monsieur Ghodbane Sanir, Chef de Département de Chimie Industrielle de l'I.A.P de BOUMERDES, Madame Bantler, Professeur à l'I.A.P de Boumerdes.

Et enfin, mes remerciements pour ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour la réalisation de ce modeste travail.

H. SEBIHI

SUJET : ETUDE METALLOGRAPHIQUE DES ALLIAGES DE ZINC.

RESUME : Les alliages de zinc Zamak 3 et Zamak 5 trouvent de nombreuses applications grâce à leur remarquable tenue à la corrosion et à leur bonne aptitude à la mise en forme associée à des propriétés mécaniques suffisantes.

Dans le but de rentabiliser l'utilisation de ces produits élaborés en Algérie, nous avons étudié l'influence des traitements thermiques et du vieillissement sur la structure et les propriétés mécaniques.

SUMMARY : Zinc alloys Zamak 3 and Zamak 5 have several applications due to their high resistance to corrosion, their good molding quality and their mechanical proprieties, and in order to optimize the use of these product made in Algeria, we have studied the effect of thermal treatment and the influence of the fatigue limit on the structure and the mecanical proprieties.

ملخص : سبائك الزنك خاصة زمك 3 و زمك 5 لها تطبيقات متعددة  
الاجل مقبولة ومتعددة الجيدة للتأكل والاجل سعة تشكيلة زيادة على  
خواصها الميكانيكية المعتبرة لهذا فتحسين استعمالها لخصائص  
المنتوجين المستعملين في العزائم راسمات تيسر المعالجة  
والعمر على البنية والخواص الميكانيكية

# T A B L E D E S M A T I E R E S

## Introduction.

I. Généralités sur les alliages de Zinc.	P. 1
Zamak 3 et Zamak 5.	P. 5
II. Objectif de l'étude et techniques expérimentales.	P. 9
III. Vieillissement des alliages.	

## CHAPITRE I.

I. Elaboration des alliages de Zinc.	P. 17
Zamak 3 et Zamak 5	P. 17
I(I). Elaboration du Zinc électrolytique.	P. 17
I.I(I). Le grillage.	P. 18
I.I(2). Mise en solution de l'oxyde grillé.	P. 19
I.I(3). Purification de la solution obtenue.	P. 20
I.I(4). Électrolyse.	P. 24
I.I(5). Refonte des cathodes de Zinc.	P. 25
I.I(6). Composition du Zinc obtenu.	P. 27
I.II. Elaboration des alliages.	P. 27
Zamak 3 et Zamak 5.	P. 27
I.II(I). Choix des teneurs d'aluminium, Cuivre, et Magnésium.	P. 28
I.II(2). Influence du Fer sur les Zamaks	P. 30
I.II(3). Elaboration.	P. 32
I.II(4). Les Fours.	

I.II(5). Composition Chimique des produits Zamak 3 et Zamak 5.	P. 36
I.II(6). Production et utilisation des Zamaks	P. 37
CHAPITRE II.	
II. Etude metallographique des alliages de Zinc. Zamak 3 et Zamak 5.	P. 38
II.(1). Etude de l'état brut de coulée.	P. 38
II.(2). Traitement thermique des Zamaks.	P. 47
CHAPITRE III.	
III. Etude des vieillissement des alliages.	P. 55
III.(1). Introduction.	P. 55
III.(2). Présentation des résultats.	P. 55
III.(3). Evolution de la structure micrographique.	P. 59
III.(4). Etude Radiocristallographique.	P. 63
Conclusion et Interprétation.	P. 82



## INTRODUCTION.

## I. GENERALITES SUR LES ALLIAGES DE ZINC.

## ZAMAK 3 et ZAMAK 5

L'unité Sider de Ghazaouet produit du Zinc métallique de très haute pureté ( 99,995 % ) connu sous la nomenclature AFNOR par Z9.

L'élaboration du Zinc se fait par voie humide à partir des concentrés de blende ( ZnS ) provenant des mines d'El-Abed, de Kherzet Youcef et de Ain Barbar et surtout de l'étranger.

Cette unité produit également :

- a) Du Cadmium métallique lors de la purification de la solution de sulfate de cuivre.
- b) Deux alliages de Zinc : Zamak3 et Zamak5.
- c) De l'acide sulfurique.

Les alliages Zamaks sont de trois types ( tableau I ) différemment définis par la norme Française NF A55-I02.

Zamaks	Al %	Cu%	Mg %
Zamak 3 ou ZA4G	3,9-4,3	-	0,03-0,06
Zamak 5 ou ZA4UIG	3,9-4,3	0,75-1,25	0,03-0,06
Zamak 2 ou ZA4U3	3,9-4,3	2,50-3,50	0,03-0,06

\* TABLEAU I: Composition des Zamaks.

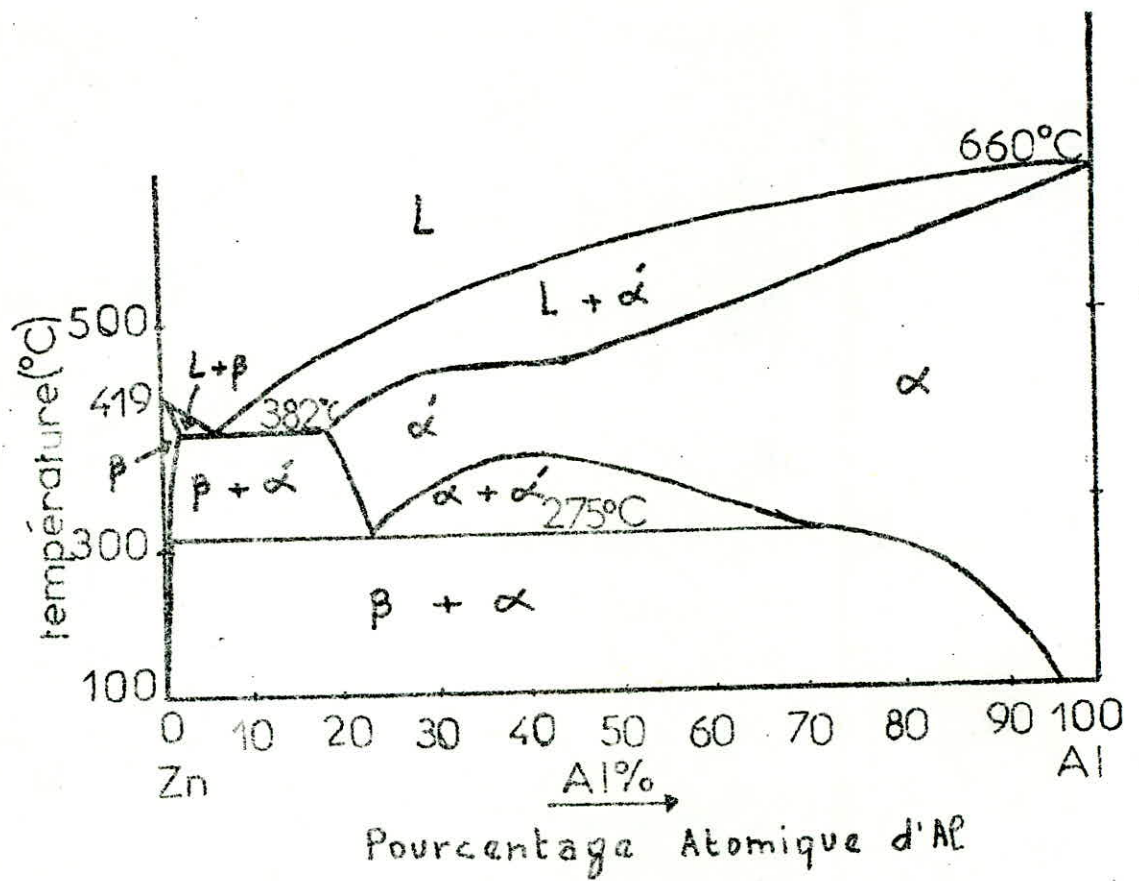


Fig: 1- Diagramme d'équilibre Zn-Al

L'alliage ZA4U3G est très peu employé. L'addition de 0,03 à 0,06% Mg et de 1% Cu ayant peu d'influence sur la nature des phases du diagramme d'équilibre Zn-Al, la constitution physico-chimique des alliages Zanak3 et Zanak5 est principalement déterminé Zinc-aluminium ( fig I ).

Pour les deux alliages ( 4% Al environ ) au cours du refroidissement, il se produit les phénomènes suivants :

Un dépôt de germes  $\beta$  et leurs transformations en cristaux  $\beta$  proeutectiques. Ces cristaux s'enrichissent en aluminium de même que le liquide ( voir fig I ).

A 382° C, les dernières gouttes du liquide atteignent la composition ( 5,1% Al ). C'est le déclenchement de la transformation eutectique liquide  $\xrightarrow{382^\circ\text{C}}$  ? entre les deux paliers 275° C  $\leftarrow$   $\beta$  s'appauvrit en aluminium, ce qui provoque la précipitation de  $\alpha'$ .

A 275° C, la phase  $\alpha'$  atteint la composition 22% aluminium et elle se transforme aussitôt selon la réaction eutectique en



Au dessous du palier eutectoïde et jusqu'à la température ambiante,  $\beta$  s'appauvrit en aluminium en déposant des cristaux  $\alpha$  ( précipitation de  $\alpha$  ).

A la température ambiante les alliages sont constitués de deux (2) phases :

- Phase  $\beta$  ( solution riche en Zinc ) se présentant sous trois aspects :

- $\beta$  Proeutectique.
- $\beta$  eutectique.
- $\beta$  Eutectoïde.

- Phase  $\alpha$  ( solution solide riche en aluminium ) provenant de la transformation eutectoïde de  $\alpha'$ . Les alliages Zanak3 et Zanak5 se caractérisent par un faible intervalle de solidification ( 386 - 380° C ) et par une grande fluidité qui permettent d'obtenir des pièces moulées de toléances minimales sur les dimensions. De même, ils présentent les avantages d'une excellente coulabilité à basse température ( 400 à 450° C ) permettant une économie de 20% De métal en raison de leur densité de l'ordre de 6,7 en moyenne et d'une bonne conductibilité thermique et d'une prise de revient peu élevée.

Ces alliages peuvent être moulés par gravité dans une coquille chauffée entre 220 et 250° C et par centrifugation, méthode qui réalise une bonne homogénéité chimique avec absence de soufflures.

Par ailleurs, les alliages de zinc se prêtent tout particulièrement au moulage en coquille sous-préssion. Avec des Zamak 3W et Zamak 5, un moule métallique bien entretenu permet de produire environ 200.000 pièces.



## II. OBJECTIF DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES.

### I/ OBJECTIF DE L'ETUDE.

Notre étude avait pour but de déterminer les caractéristiques mécaniques et les structures de deux alliages de zinc Zamak 3 et Zamak 5 ainsi que leur évolution sous l'effet des traitements thermiques ( trempe et revenus ) ainsi que du vieillissement à différentes températures.

La connaissance de ces alliages du point de vue métallographique et l'effet du traitement thermique sur les caractéristiques mécaniques permettent une bonne maîtrise de ces produits, par conséquent une meilleure orientation quant à leur utilisation.

### 2/ MATERIAUX ETUDIES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES.

Les matériaux bruts ont été élaborés à l'unité SIDER de Ghazaouet sous forme de lingots. Leurs compositions chimiques sont données dans le tableau 2.

	Al%	Mg%	Cu%	Pb <sub>g</sub> /t	Cd <sub>g</sub> /t	Zn <sub>g</sub> /t	Fe <sub>g</sub> /t
ZAMAK 3	3.87	0.036	0.0002	35	4	1	25
ZAMAK 5	4.09	0.033	1.04	17	7	8	29

\* Tableau 2. Composition chimique des Zamaks.

## MICROGRAPHIE :

L'étude des structures a été réalisé par micrographie optique en utilisant un microscope OLYMPUS et par micrographie électro-nique à balayage. L'appareil utilisé est de marque Zeiss, et ce à l'Institut Algérien Du Pétrole ( I.A.P ).

Les échantillons micrographiques ont été préparés de la manière suivante :

## - Prélèvement :

Les échantillons sont tronconnés à la meule sous arrosage de lubrifiant, afin d'éviter tout échauffement.

## - Enrobage :

Les échantillons ont été enrobés à chaud à l'aide d'une presse hydraulique utilisant de la résine.

## - Polissage :

Le polissage a été réalisé sous un courant d'eau avec des papiers abrasifs comme suit :

+ Polissage grossier avec du papier émeri 120, 320, et 600.

+ Polissage avec papier émeri 1000.

- Finition en utilisant un feutre, de la pâte diamantée et un lubrifiant approprié.

Pour l'attaque des Zamaks, le réactif utilisé est celui de FINKELDING, sa composition est la suivante:

- Acide chromique 200 g.

- Sulfate de soude 15 g.

- Eau distillée q.s = 1000 cm<sup>3</sup>, auquel on ajoute 5% en volume d'acide nitrique.

L'attaque chimique pour le Zinc, le réactif utilisé est le suivant :

- Acide chromique 200 g.
- Sulfate de soude 15 g.
- Eau distillée q.s = 1000 cm<sup>3</sup>.

q.s : Compléter à 200 g d'acide chromique et 15 g de sulfate de soude jusqu'à 1000 cm<sup>3</sup> d'eau distillée.

L'examen micrographique est effectué dans les 24 heures qui suivent la trempe préparation de l'échantillon et dans les deux heures suivante la trempe quand celle ci a lieu.

-- Traitements Thermiques :

Les échantillons de 1 cm<sup>3</sup> de volume environ ont subi une trempe avec maintien de 30 mn à 325° C, refroidissement à l'eau et à l'air et des revenus à 60° C et à 100° C pendant 2 heures à 60° C et 4 heures à 100° C.

- Le vieillissement a été étudié à 20° et 100° C jusqu'à 125 heures, dans une étuve de marque HERAEUS.

-- La diffraction X :

Afin d'identifier les structures, l'appareil utilisé est de marque SIEMENS . L'anticathode est en cobalt dont les caractéristiques sont :

K<sub>α</sub>    K<sub>β</sub>    K<sub>γ</sub>    W<sub>K</sub> (Seuil d'excitation).  
 I,789Å I,793Å I,621Å 7709 eV

L'échantillon est plan et tourne à une vitesse de  $1/2$  Degré par minute, le compteur se déplace à une vitesse de  $1/10$  Degré par minute. Le compteur est placé de façon à recevoir les rayons diffractés par l'échantillon sous l'angle  $2\theta$ . La réponse du capteur est enregistrée et on obtient ainsi un diagramme  $I(2\theta)$  formé de pics correspondant aux réflexions ( h k l ).

- Les essais de dureté :

Nous avons utilisé un microduremètre afin de déterminer les duretés des différentes phases présentes. Les essais ont été effectués par la méthode **Vickers** en microdureté.

La charge utilisée est de 200 grammes.

Les résultats sont obtenus en utilisant des duretés Vickers en fonction de la longueur de la diagonale moyenne pour une charge donnée.

-- Couple Platine RHODIE Platine.

\* Four utilisé était muni d'un thermocouple Platine Rhodie 10% Platine.

Malheureusement nous n'avons pas pu effectué des essais de traction qui exigent un alliage coulé sous-préssion.

Dans le chapitre I, nous avons exposé la technique d'élaboration du Zinc et des alliages étudiés.

Nous avons réservés le chapitre II à l'étude métallographique de ces alliages et le chapitre III au phénomène du Vieillissement.

Enfin nous avons réservé un chapitre pour les interprétations et la Conclusion.



## LE VIEILLISSEMENT DES ALLIAGES

Le retour à l'état d'équilibre normal se fait par précipitation très fine des constituants sursaturés, ce qui augmente la résistance à la déformation de la solution solide et la dureté augmente.

La vitesse de précipitation est naturellement très faible avec la température ambiante, mais elle augmente avec la température, dans ce cas le temps de diffusion augmente. On distingue les alliages qui durcissent à froid, c'est à dire à la température ambiante pendant plusieurs jours et ceux qui durcissent à chaud, c'est à dire à des températures de 120 à 200°C pendant quelques heures.

On a pas avantage à augmenter les températures de revenu car les phases précipitées se rassemblent, coalescent en grains et l'on n'a plus ces fines inclusions qui bloquaient les dislocations, et la dureté diminue. Le vieillissement est donc très probablement lié à la ségrégation combinée des impuretés vers la zone des dislocations.

## III(2) CONDITIONS DU DURCISSEMENT :

- a) L'alliage doit être solubilisé complètement à haute tension. Température point A. ( fig. A ).
- b) La solubilité doit diminuer avec la température.
- c) L'alliage doit être trempé de façon que le refroidissement soit assez rapide pour conserver à froid ( point B ) l'état homogène qu'il avait en A ( fig. A ).

La solution est donc hors d'équilibre, sa

concentration partielle est anormalement élevée, elle est sursaturée.

d) Le revenu doit s'opérer à une température et pendant une durée qui sont strictement déterminés.

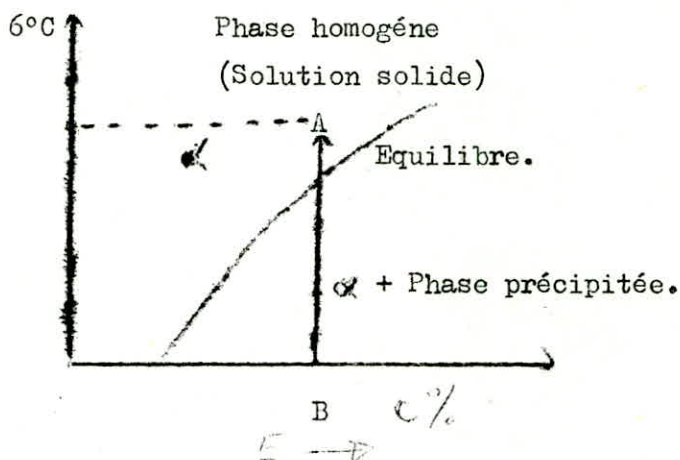


Fig. A. Diagramme température Concentration.

### III(3) MECANISME DE DURCISSEMENT.

Après la trempe, les atomes de l'élément E sont répartis en solution solide sursaturée.

Si la température de vieillissement est suffisante ( $\theta_2 > \theta_1$ ) Fig. B. les atomes de E vont se rassembler, par diffusion, en zones bloquant les dislocations, la dureté augmentera en fonction du temps.

Pour une température plus élevée ( $\theta_c > \theta_2$ ) Fig. C. les atomes de E et du réseau de base se combinent de façon à créer des précipités dont le nombre et les dimensions vont augmenter par le mécanisme de germination croissance.

## II

Ces nouveaux précipités, dispersés dans la matrice  $\alpha$  vont former obstacle aux mouvements des dislocations qui s'arrêtent sur les précipités. La dureté augmentera encore puis elle sera stabilisée à partir d'un temps critique point P.

Le blocage des dislocations interviendra tant que la grandeur des précipités sera inférieure à une dimension critique, à partir de laquelle les dislocations contournent les précipités. Comme la grandeur des précipités est déterminée par la température, on devra déterminer la température critique donnant le maximum de dureté. Le point P est le point de fixage dont les coordonnées sont la température critique  $\theta_c$  et le temps minimum du revenu  $t_m$ .

Si la température  $\theta_3 > \theta_c$  est utilisée, les précipités auront une taille trop grande pour bloquer les dislocations. La dureté obtenue sera inférieure à la valeur du point P.

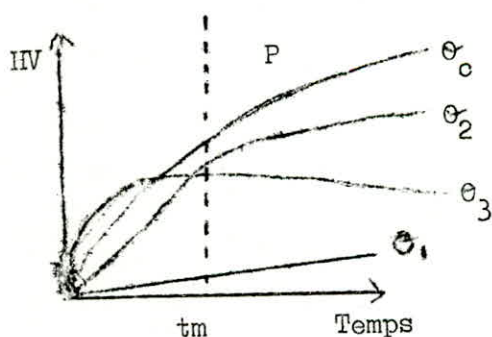


Fig. 3. Point critique de durcissement

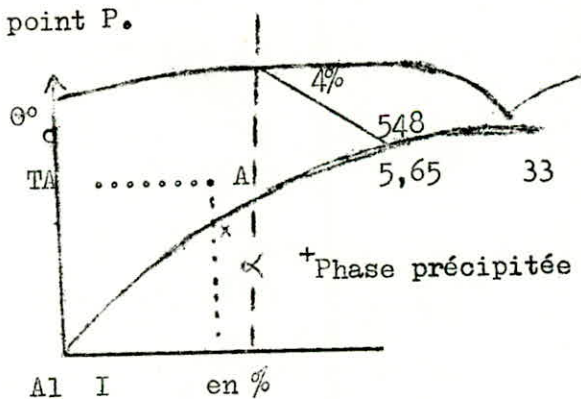


Fig. 4. Diagramme partiel Al-Cu.

Lors d'un alliage aluminium-cuivre à 4% de Cu Fig 4. le passage à la température TA, de dissolution complète du cuivre,



les atomes de cuivre et d'aluminium sont répartis au hasard, mais à l'état trempé, on constate des différences. De l'état métastable, on ne passe pas, directement à l'état stable mais il y'a des états intermédiaires qui disparaissent pour être remplacés par d'autres structures au fur et à mesure de l'augmentation du revenu.

A basse température, les atomes de cuivre tendent à se rassembler en G.P ( zones de Guinier Preston, ) étudiés par Guinier à l'aide de la diffraction des rayons X. La formation de ces zones provient de la rencontre des atomes de cuivre soumis à l'agitation thermique. Ce mouvement est dû également au diamètre atomique du cuivre inférieur à celui de l'aluminium. Ces zones augmentent d'épaisseur, d'ou alternance régulière dans les zones des plans d'atomes cuivre et des plans d'atomes d'aluminium. A la longue, il se produit une structure ordonnée dénommée ( surstructure ) qui correspond à une phase nouvelle qui peut-être mise en évidence à l'aide de certains réactifs sur les micrographies ( phase  $\theta''$  ), à la température moyenne ( entre 200 et 250°C ) apparaît une autre structure  $\theta'$  ( structure de Widmanstaetten ).

Du point de vue structure cristalline, le précipité se caractérise par une parfaite orientation par rapport à la matrice.

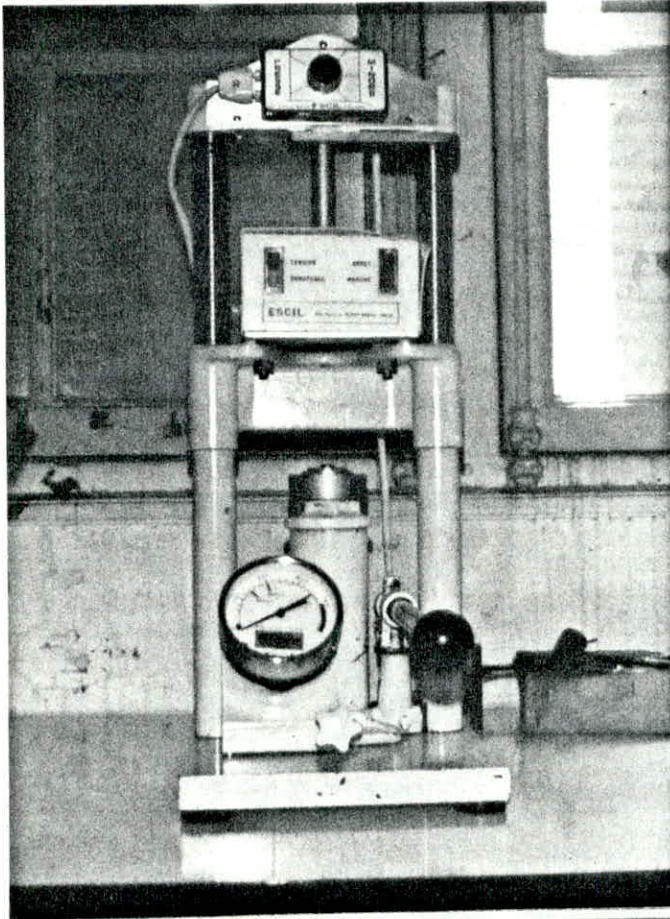
Donc en résumé, il y'a formation de zones à basse température GP<sub>I</sub>, puis d'une structure  $\theta''$ . Au dessus de 200°C, il y'a précipitation de la phase  $\theta'$  ( Al<sub>2</sub>Cu ). Aux températures intermédiaires de 140 à 200°C, il y'a d'abord formation de zones qui grossissent pour évoluer vers la structure  $\theta''$ .



Mais on voit apparaître au bout d'un certain temps des taches qui correspondent à la phase  $\theta$  et elles deviennent de plus en plus intenses à mesure que se produit le traitement de revenu et en même temps, disparaissent les zones. On peut admettre que la phase  $\theta''$  est moins stable que la phase  $\theta'$  qui se développe par germination et croissance.

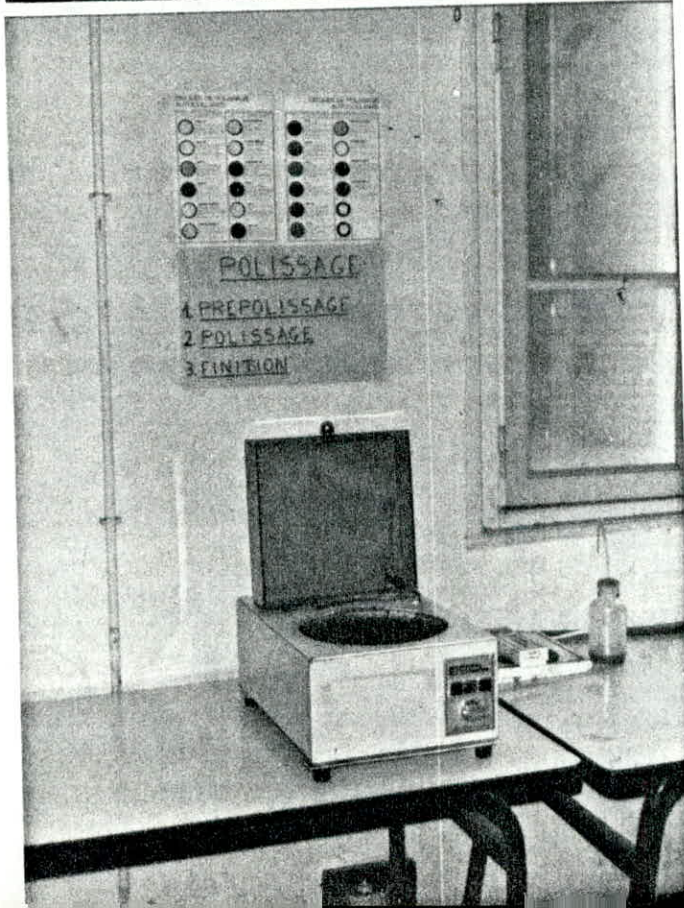
A haute température ( au dessus de  $300^{\circ}\text{C}$  ), il se produit une autre transformation, le précipité  $\theta'$  se transforme en une autre forme désignée sous le nom de phase  $\theta$  qui n'a plus la même structure cristalline par rapport à celle de la matrice. Il n'y'a pas cohérence entre le précipité et la matrice et l'énergie superficielle entre le grain et la matrice est beaucoup plus importante, ce qui explique sa formation à haute tension. *Température*.

Matériels Utilisés ( Voir Fig 2 ).



Enrobausa

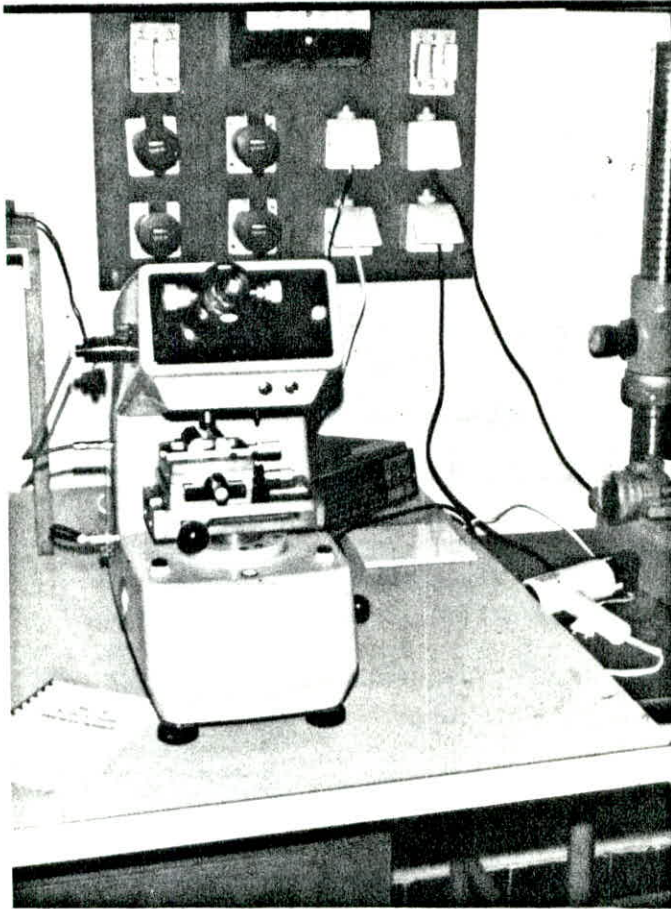
Fig 2.1



Polissausa

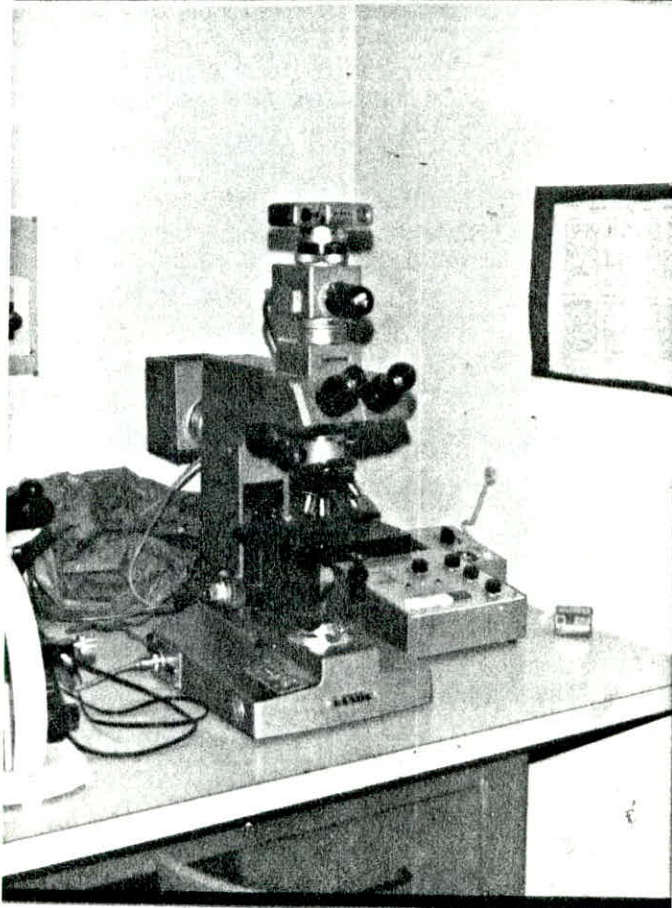
Fig 2.2





Microduramètre  
Mesure des  
duretés

fig 2.3



Microscope optique  
muni d'un appareil  
photographique

fig 2.4

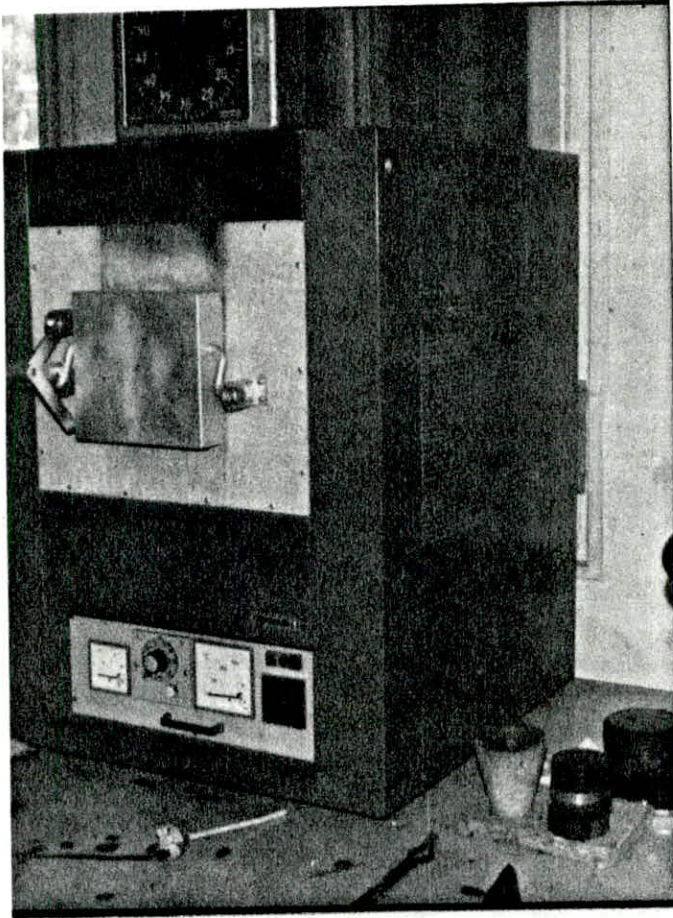


Fig 2-5

Four de revenu avec le  
thermocouple Pt-Rh-Pt

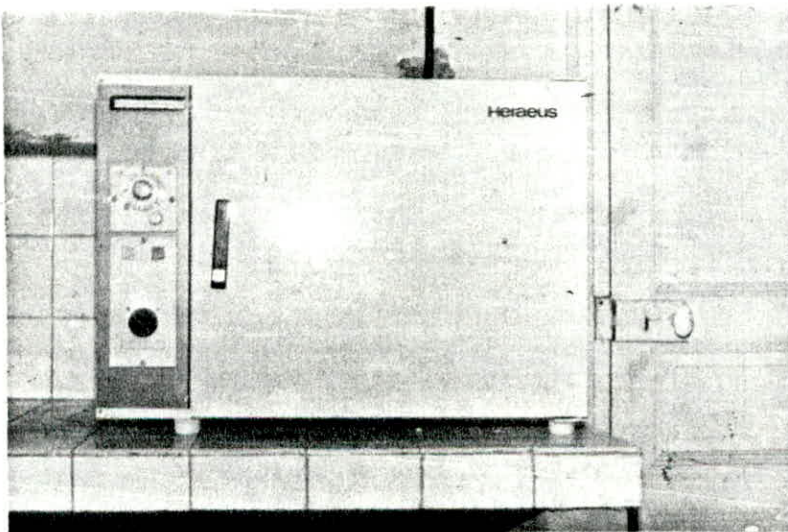


Fig 2-6

ETUVE utilisée pour Vieillissement



## CHAPITRE I. ELABORATION DES ALLIAGES DE ZINC ZAMAK 3 ET 5.

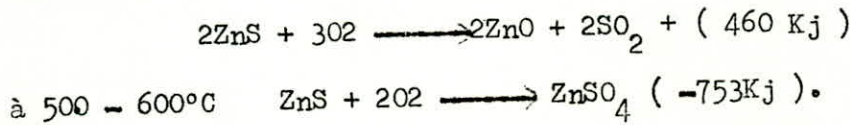
## I(I). ELABORATION DU ZINC ELECTROLYTIQUE.

Le procédé d'extraction du zinc électrolytique dans l'usine de Ghazaouet comporte les opérations suivantes :

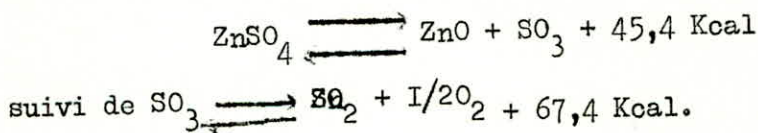
- a) Grillage
- b) mise en solution de l'oxyde obtenu grillé;
- c) Purification de la solution obtenue.
- d) Opération d'électrolyse.
- e) Refonte de cathodes de zinc décollées.

## I.I(I). LE GRILLAGE.

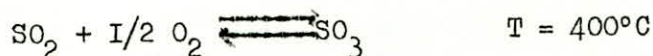
Griller une blende pour l'électrolyse, c'est en abaisser sa teneur en soufre. La méthode est dite par fluidisation. On injecte de la blende dans le four du grillage de 300 tonnes par jour, qui est maintenu à une température de 920° à 950°C grâce à la réaction exothermique.



Cette dernière à température élevée se décompose et grève le budget des opérations d'élaboration.



L'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) produit alimente un atelier de fabrication d'acide sulfurique. De  $\text{SO}_2$  est converti en  $\text{SO}_3$  au niveau des catalyseurs constitués de pentoxydes de vanadium selon la réaction exothermique.

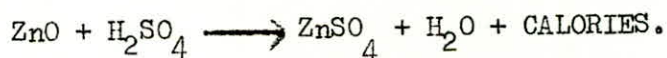


Puis  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  exothermique.

L'acide produit titre de 98 à 99%.

#### I.1(2). MISE EN SOLUTION DE L'OXYDE GRILLE :

L'oxyde de zinc est attaqué par une solution d'acide sulfurique. La solution d'attaque est constituée par l'électrolyse. La dissolution de l'oxyde de zinc se fait selon la réaction :



La mise en solution a pour but de mettre le maximum de zinc en solution afin de permettre la récupération par voie électrolytique. Cette mise en solution touche inévitablement les impuretés; une grande partie de ces impuretés est éliminée par décantation grâce à l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique qui les entraîne.

Les impuretés sont les ferrites de zinc ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{ZnO}$ ), insolubles dans l'acide dilué et le  $\text{ZnS}$  dû à un grillage imparfait et qui gêne l'oxydation du  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ . Pour ce dernier, on ajoute du  $\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{FeSO}_4 \xrightarrow{\text{MnO}_2} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .

La mise en solution se fait dans 4 cuves de  $25 \text{ m}^3$

chacune, on injecte de l'air comprimé qui permet l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  en entraînant avec lui As, Ge et Sb. Cette première opération est appelée lixiviation neutre Ph = 7, puis une <sup>fois</sup> décanté, l'overflow est renvoyé à la purification et là donc des décantations neutres passent à la lixiviation acide (boue riche en zinc). Cette opération se fait dans un milieu acide (Ph de 2,5). Elle est basée sur le même principe, que la lixiviation neutre. Cette opération est appelée lixiviation acide,

18% de zinc sont récupérés à la décantation acide, l'overflow rejoint la tête de cuve de mise en solution et la boue est filtrée dans des filtres rotatifs pour récupérer le maximum de zinc sous forme de  $\text{ZnSO}_4$  DANS LE FILTRAT QUI REJOINT LA TÊTE de lixiviation neutre et les résidus filtrés sont stockés.

Dans le filtrat, il y'a le fer, le cuivre et le plomb. Le fer sous forme de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  qui se transforme partiellement en  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  puis repasse en tête de la lixiviation neutre ou il est le plus utile. Le cuivre sous forme de  $\text{CuSO}_4$ , le plomb est insoluble.

### I.I(3). PURIFICATION DE LA SOLUTION OBTENUE.

La solution neutre obtenue est impropre à l'alimentation de l'électrolyse et doit être purifiée. En effet, d'une part les critères de pureté de zinc à produire conduisent à éliminer les métaux plus électropositifs comme le cuivre et le cadmium qui se déposeraient en même temps que le zinc, d'autre part, les impuretés



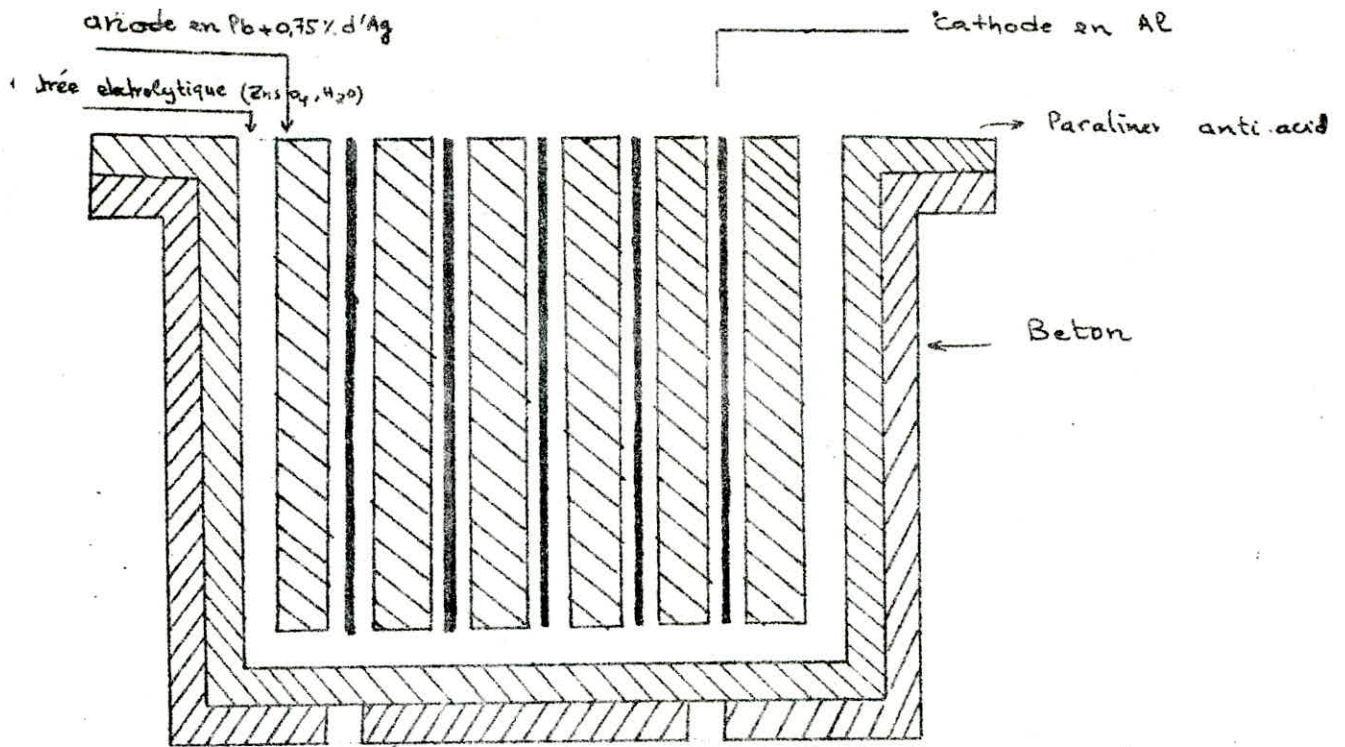
telles que le nickel et le cobalt doivent être éliminées. Elles gênent considérablement le phénomène d'électrodéposition du zinc. Compte tenu de la faible valeur du potentiel normal d'oxydo-réduction du couple  $Zn^{++}/Zn$ , l'addition de zinc métallique au sein d'une solution contenant des ions  $Cu^{++}$ ,  $Cd^{++}$ ,  $Ni^{++}$  ?  $Co^{++}$  doit provoquer leur réduction à l'état métallique pendant que des ions  $Zn^{++}$  apparaissent. Ce type de réaction s'appelle cémentation. La réduction du cuivre et du cadmium à l'état élémentaire s'opère sans difficulté. Par contre, pour le nickel et surtout le cobalt la précipitation de ces éléments n'atteint les teneurs recherchées qu'en opérant à chaud avec ajout de composés d'antimoine ou d'arsenic? L'antimoine a pour rôle d'abaisser l'importante surtension de dépôt cathodique du cobalt et du nickel.

La solution purifiée contient environ 160 g/l de zinc.

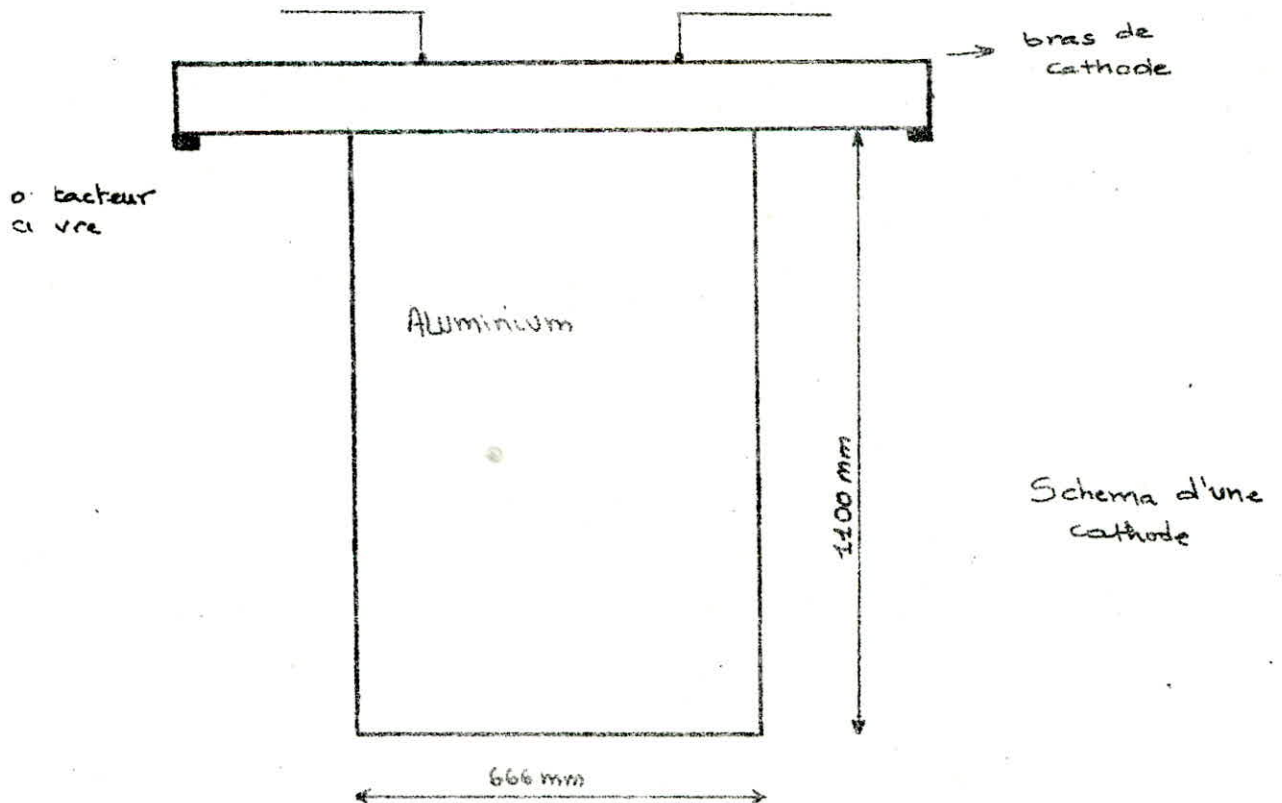
#### I.I(4). ELECTROLYSE.

La solution purifiée acidulée est refroidie de  $35^{\circ}C$  à  $28^{\circ}C$  car une température élevée de cette solution favorise une adhérence insuffisante d'où redissolution du zinc plus importante. Cette solution alimente 288 cellules disposées en 12 rangées de 24 cellules chacune. Dans chaque cellule, il y'a 40 cathodes (fig 3) en aluminium et 41 anodes en plomb avec 0,75% d'Ag. L'addition de l'argent au plomb assure une meilleure tenue à la corrosion du bain d'électrolyse. Les cellules sont alimentées par un courant alternatif, transformé et



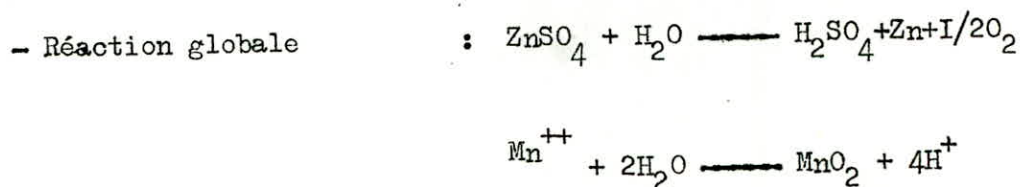
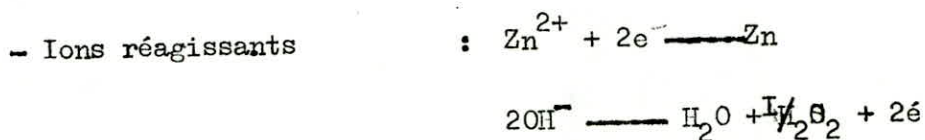
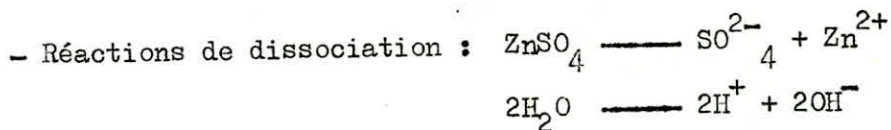


2 temoins d'eventuelle fuite d'electrolyse  
 Fig: 3 - Schema d'une cellule d'electrolyse



et redressé de 24000 Ampères. Cette alimentation se fait par série de 6 rangées. L'électrolyse du zinc s'effectue en milieu acide. Elle consiste à déposer les ions  $Zn^{++}$  à la cathode tandis que les ions  $OH^-$  réagissent à l'anode.

REACTIONS DE BASE :

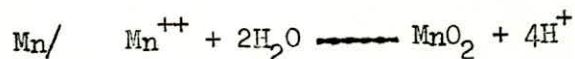


Il y'a formation de zinc à la cathode et de  $MnO_2$  à l'anode. La présence du chlore dans l'électrolyse est très nuisible car les chlorures et leurs produits d'oxydation donnent des sels de plomb solubles, ce qui altère les anodes. Cependant la présence du manganèse en concentration suffisante neutralise les actions nocives du chlore.

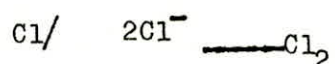


La concentration en Mn devra donc être fonction de la teneur en chlore.

## - Réactions anodiques :



\* Provoquant un dépôt de  $\text{MnO}_2$  à l'anode.



\* Dégagement de  $\text{Cl}_2$  à l'anode.

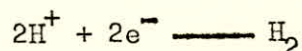
A l'anode, la réaction principale est celle de la régénération par décomposition de l'eau  $\text{H}_2\text{O} \text{ ————— } 2\text{H}^{+} + \text{I}/2\text{O}_2 + 2\text{e}^{-}$ .

## - Réactions à la cathode :

Le potentiel normal de dépôt du zinc est fortement négatif  $-0,785\text{V}$ , il semble donc impossible de se déposer électrochimiquement en milieu acide, les dégagements de l'hydrogène devant être prépondérants car l'hydrogène peut apparaître sur la cathode pour une tension de  $-0,4\text{I Volts}$ , mais il existe une résistance passive due à la réaction :  $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \text{ ————— } \text{H}_2$ .

Pour que le départ de  $\text{H}_2$  soit actif, un certain surpotentiel sur la cathode par rapport au potentiel de décharge de l'hydrogène doit être présent.

Cette surtension dépend de la cathode aluminium et permet le dépôt du Zn sur l'anode, une surtension importante d'oxygène due à la difficulté de la réaction :



entraîne que le potentiel anodique devient grand.

#### I.1(5). REFONTE DES CATHODES DE ZINC.

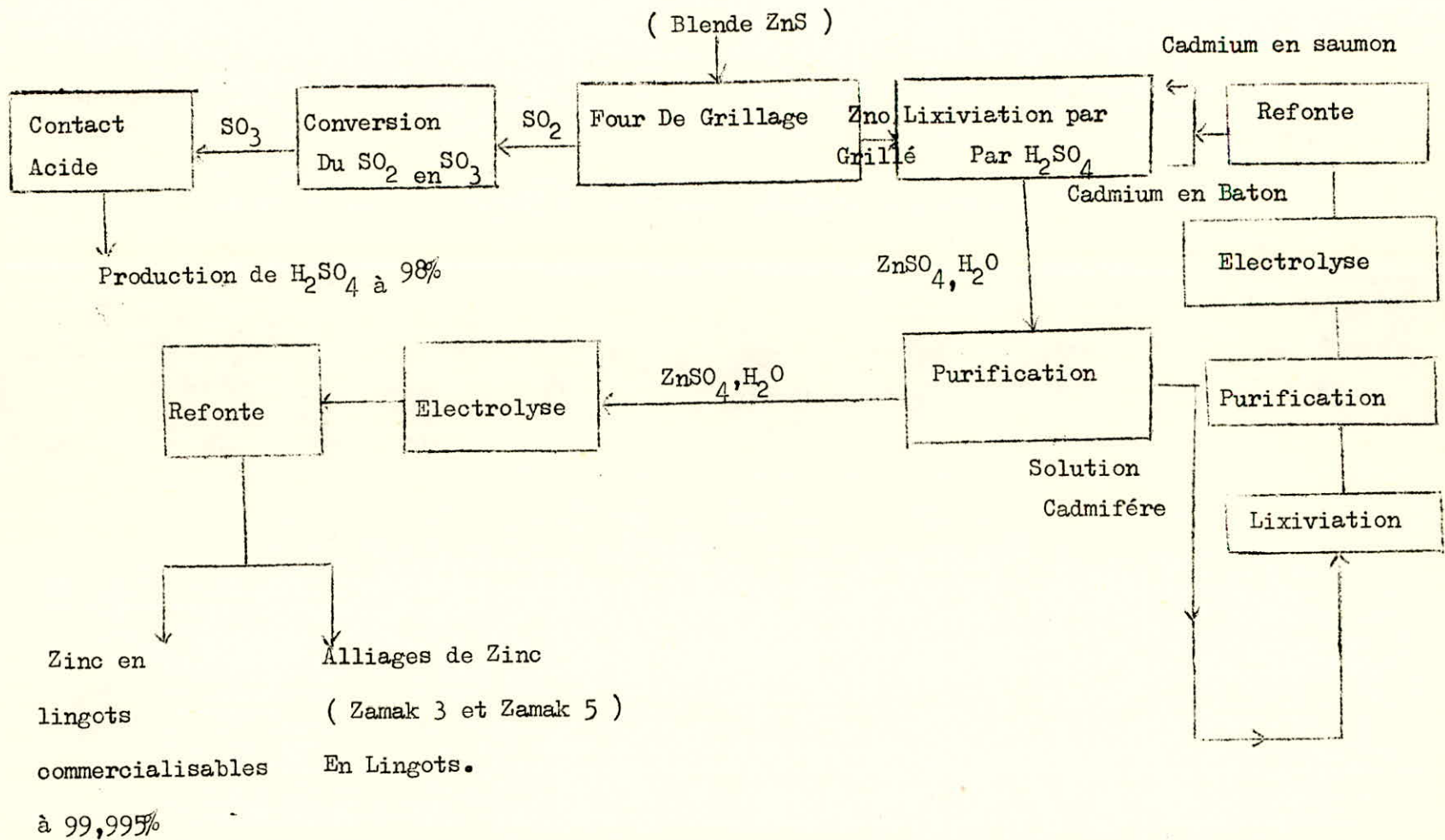
Le Zinc cathodique récupéré dans l'atelier d'électrolyse est séché pendant 24 heures, pour éviter les éventuelles explosions dans le four à cause de l'humidité. Le Zinc cathodique est injecté dans deux fours de capacité de 40 tonnes chacun dont un est de réserve. L'échauffement des fours est provoqué par quatre inducteurs à une température de 480° à 500°C. Une fois le zinc cathodique en fusion, on ajoute du chlorure d'ammonium pour éviter que le zinc en fusion ne se colle aux parois du four et séparer les crasses du zinc où elles sont récupérées manuellement. Le zinc en fusion est pompé et conduit par une rigole vers une lingotière qui le transforme en lingots de Zinc pur à 99,995% connu selon la norme AFNOR par Z9. Dans le four, le pied de bain (2250 Kg de zinc en fusion) est toujours maintenu pour faciliter la fusion du zinc cathodique qu'on ajoute à chaque fois.



## I.I(I). COMPOSITION CHIMIQUE DU ZINC OBTENU.

Eléments	Pb	Cd	Cu	Fe	Sn	Ag	Ni	Tl
En								
g/t	32	3	3	15	I	I	I	I

Taleau 3. Composition chimique du Zinc Obtemu.



CIRCUIT SIMPLIFIE DE PRODUCTION DE ZINC, ACIDE ET ALLIAGES.

## I.2. ELABORATION DES ALLIAGES ( ZAMAK 3 ET ZAMAK 5 ).

Les Zamaks sont des alliages à base de zinc, d'aluminium, de magnésium et pour les Zamak 5 de cuivre en plus.

### I.2(I). CHOIX DES TENEURS D'ALUMINIUM, CUIVRE ET DE MAGNÉSIUM.

#### a) Aluminium :

Il améliore la coulabilité, les propriétés mécaniques et réduit la tendance du zinc à dissoudre le fer, cependant la résilience devient très faible lorsque la teneur est voisine de 5% d'où le choix de 3,90 à 4,30% d'aluminium.

#### b) CUIVRE :

Il améliore la dureté et charge de rupture, mais un phénomène de durcissement structural entraînant des variations dimensionnelles limites d'où le choix de 0,75 à 1,25% de cuivre.

#### c) Magnésium :

Les Zamaks sont très sensibles aux impuretés fer, étain, cadmium, plomb et surtout à l'étain, ces impuretés précipiteraient aux joints de grains, formant des couples galvaniques et provoque une forte corrosion surtout en atmosphère humide, comme l'a montré D. Vincent l'étain est une impureté très nuisible.

Il y'a formation de trous et microfractures dans ces alliages de Zinc.

Ces trous et microfractures provoquent la dégradation des propriétés mécaniques et augmentant la sensibilité à la corrosion de ces alliages, cet inconvénient peut être éliminé par addition de faibles teneur en magnésium, ce dernier est aussi durcissant mais diminue la coulabilité, d'ou le choix de 0,03 à 0,06% de magnésium.

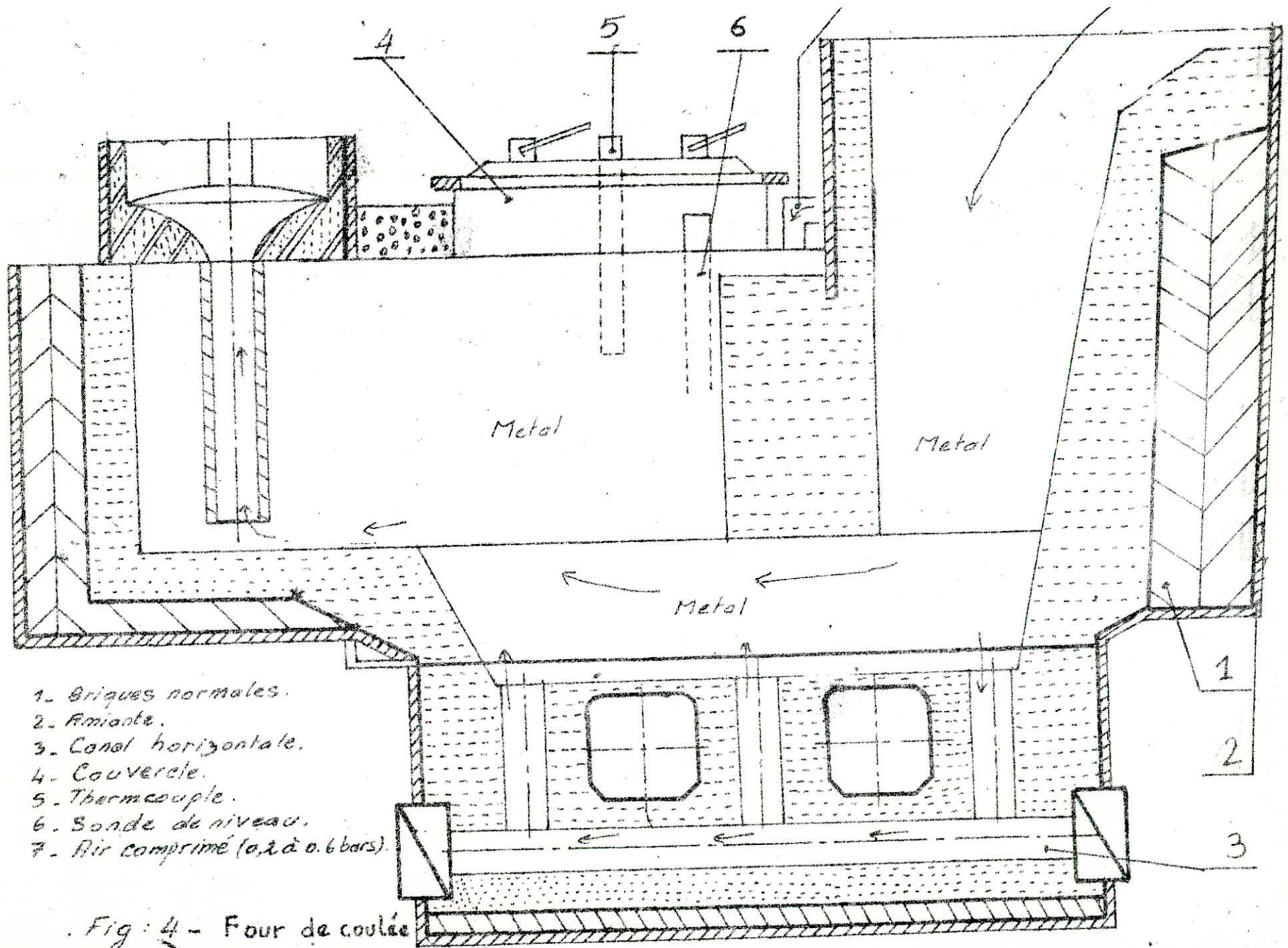
Ces alliages doivent répondre aux normes :

Fe < 0,1 %	} La somme des trois derniers ne devant en aucun cas excéder 0,008 %
Pb < 0,005 %	
Sn < 0,002 %	
Cd < 0,005 %	

### I.2(2). INFLUENCE DU FER SUR LES ZAMAKS.

La limite de solubilité du fer dans le Zamak est d'environ 0,02 %, au delà, le fer se combine avec l'aluminium pour former un composé intermétallique de masse volumique inférieure à celle du Zamak et qui par conséquent remonte en surface ou il sera éliminé avec les scories. Le fer n'a pas d'effet facheux sur les caractéristiques mécaniques, mais il altère l'usinage et le polissage.





## I.2(3). L'ELABORATION.

A partir de zinc en fusion de la fonte, pesé dans des poches, est acheminé vers un four de maintien à creuset à induction pour le maintenir toujours en fusion. D'autre part on fond dans un four à creuset des lingots d'aluminium ( importé de l'étranger ). Ce four est appelé four aluminium et on élabore le tout dans un four à induction de mélange en ajoutant du magnésium et du cuivre selon ce qu'on veut produire, Zamak 3 ou Zamak 5.

Ce four de mélange est basculant et peut déverser dans un autre four à induction de coulée (fig 4) et à partir de ce four, il y'a déversement sur une rigole puis sur une lingotière qui le transforme sous forme de lingot. La figure 5 montre le mécanisme de l'élaboration. Le principe des fours est le principe d'un transformateur fig 6, on assimile ces fours à induction, l'inducteur ensemble bobine comme le primaire et le métal fondu comme le secondaire avec le nombre de spire

$$N_2 = I.$$

$$D'ou I_2 \text{ dans le métal, } I_2 = n \frac{I_1}{I_1}.$$

$n_I$  : est le nombre de spire de la bobine.

$I_I$  : est l'intensité du courant extérieur traversant la bobine.

$I_2$  : est l'intensité du courant dans le métal.

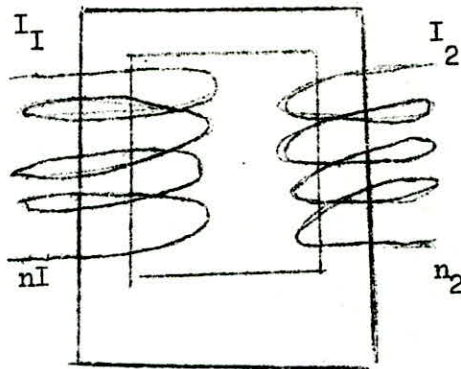


Fig 6. Schéma d'un Transformateur.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

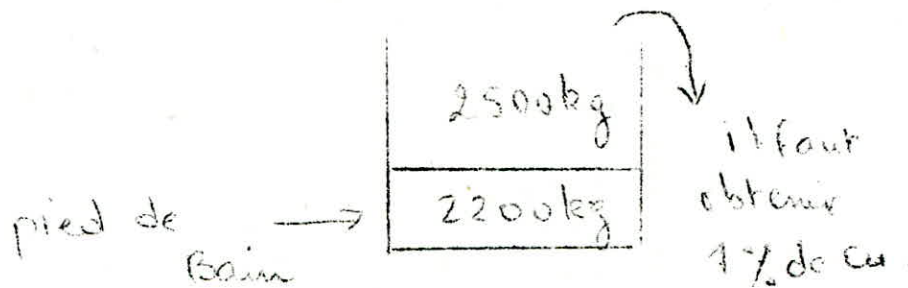
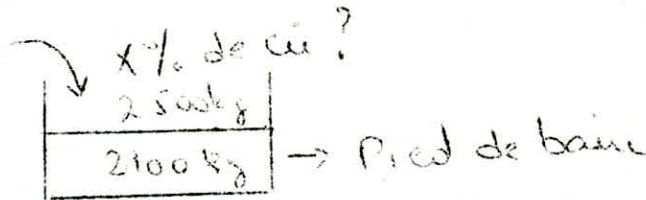


Fig 8 pied de bain dans les fours



## I;2(4). LES FOURS.

a) Four aluminium fig 7, la capacité de ce four est 1000 kilogrammes, il est entouré d'une résistance, laquelle est alimenté par un courant électrique qui joue le rôle d'inducteur engendrant un courant induit à travers le métal ( rôle d'une résistance ohmique ), une fois le métal fondu, il y'a le phénomène de centrifugation, il y'a attraction des particules solides à travers les parois du four, ça influe sur le courant extérieur  $I_2$ ; sur le creuset lui-même et l'état du réfractaire ou une durée d'exploitation aussi réduite 15 jours est nécessaire pour un entretien. Pour lutter contre la scorification de four, on met sur les parois du four, un produit résistect 180K spécial C'est un enduit à prise chimique, fabriqué à base de matières premières à haute teneur en alumine pauvre en fer, environ 85 %  $Al_2O_3$ .

## - CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DU FOUR ALUMINIUM JUNKER.

TYPE NFT Al 1000.

- Capacité 1000 Kg
- Puissance apparente 300 kVA
- Puissance active 250 KW
- Capacité de fusion jusqu'à 700°C, 450 Kg/h.
- Consommation d'énergie électrique jusqu'à 700°C, 550 kw/t.

Le système est muni de plots de tension variant de 6, La température dans le four varie selon le mode d'utilisation.



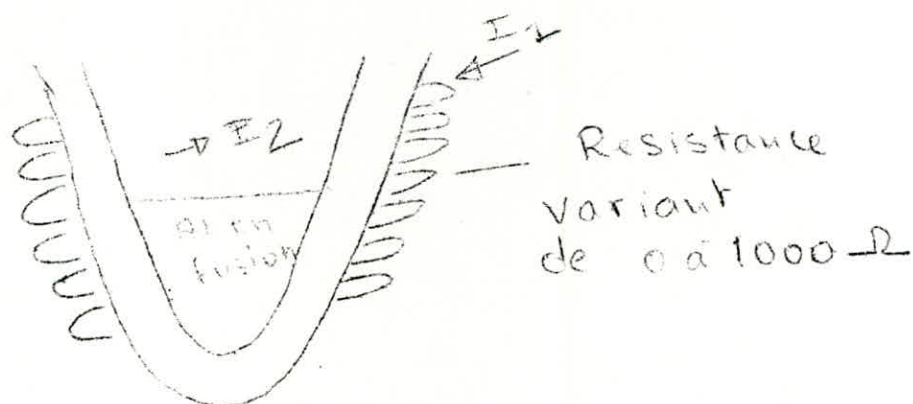


Fig 7. principe du four d'Aluminium

b) Four à induction du maintien de zinc en fusion.

Four d'élaboration.

Four de coulée.

Ces fours ont le même principe, les deux premiers peuvent pivoter, le dernier four est fixe.

L'échauffement de ces fours se fait par chacun d'eux par un inducteur monté au fond du four. Ces fours travaillent selon le principe de transformateur dont l'enroulement primaire est formé par les bobines du four et dont la bobine secondaire est formée par le canal rempli du métal liquide. La chaleur est engendrée par la résistance ohmique du métal formant l'enroulement secondaire. La chaleur se transmet sur le métal dans le vase du four par la portance naturelle de chaleur ainsi que par le courant électrodynamique. Lors de l'élaboration le four de maintien du zinc déverse dans le four d'élaboration, ce dernier à son tour déverse dans le four de coulée, et à partir de ce dernier, le prélèvement se fait par l'introduction d'air comprimé 40

	capacité totale EN KGS	charge de connexion KVA	puissance électrique à CHAUFFAGE par induction kw	poids utile de de coulée kgs	consomat de de maintien kwh/h	raccorde du réseau	raccorde du four	raccorde du circuit decomnal
Four d' élabora- -tion	4600	"	"	2500	"	"	"	"
Four de coulée	4750	80	60	2500	25	330V courant TRIPHASE 50 Hz	330V courant TRIPHASE 50 Hz	127V courant ALTERNATIF 50 Hz
Four de maintien zinc en fusion	24000	230	200	20000	40	380V courant TRIPHASE 50 Hz	600V courant TRIPHASE 50 Hz	127V courant ALTERNATIF 50 Hz

TABLEAU 4.

Caractéristiques Technique Des Fours.

mbars, dans la cuve étanche du four fig <sup>4</sup>7, si bien que le métal est poussé à travers le tuyau élévateur dans le tandish et rempli celui-ci jusqu'au niveau voulu. Lors des élaborations, les fours de maintien et d'élaboration ne sont jamais vides, en les basculant au moyen de deux verins hydrauliques qui mordent la carcasse du four et qui sont fixés dans le fondement. L'angle est toujours inférieur à 93°, est calculé de façon à laisser comme pied de bain 2100 kg dans le four de coulée, et ce pour mieux épargner, et conserver la chaleur des fours afin de mieux les protéger contre les refroidissements brusques.

Le mesurage de température du métal se trouvant dans le four se fait au moyen d'un thermo-couple Nicr-Ni. Pour chaque coulée on prépare 2500 kg réparti en %, selon qu'on élabore le Zamak 3 ou le Zamak 5.

#### REMARQUE :

Comme les 2 types de Zamak sont élaborés dans l'ordre, il faut tenir compte du pourcentage de cuivre restant à chaque fois dans le pied de bain fig 8.

#### EXEMPLE :

On a élaboré les Zamak 3 et on veut élaborer les Zamak 5, donc la quantité de cuivre à ajouter est de :

i) A la première préparation :

$$2100 \times 0\% \times 2500. x\% = 4700. 1\%$$

0% de cuivre existant dans le pied de bain.

1% qu'on doit avoir à la première préparation, il faut ajouter 1,88% de cuivre.

1) A la deuxième préparation :

$$2100 \times 1,88\% + 2500 \cdot x\% = 4700 \cdot 1\%$$

$$x = 0,30\%$$

1,88% étant le pourcentage de cuivre restant dans le premier pied de bain, et ainsi de suite de façon à obtenir le Zamak 5 à 1% de cuivre.

#### I.2(5). COMPOSITION CHIMIQUE DES PRODUITS ZAMAK 3 ET ZAMAK 5.

Les Zamaks sont obtenus sous forme de lingot.

	Al %	Mg%	Cu%	Pb g/t	Cd g/t	Sn g/t	Fe g/t
ZAMAK 3	3,87	0,0036	0,0012	35	4	1	25
ZAMAK 5	4,09	0,033	1,04	17	7	8	29

Tableau 2.

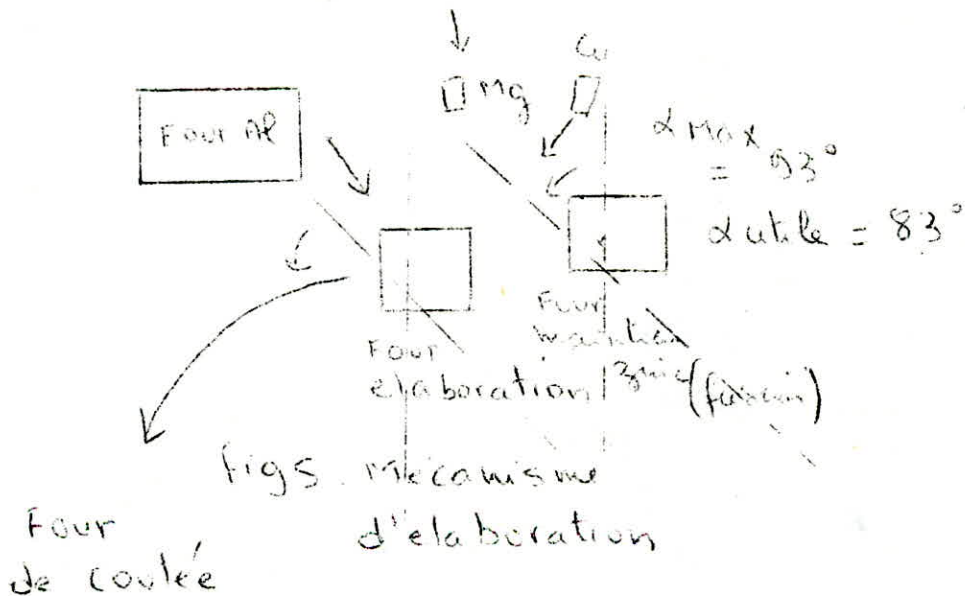


### III(6) PRODUCTION ET UTILISATION DES ZAMAK.

Lusine produit 5000 tonnes par an de ces Zamak, leur domaine d'application est très vaste :

- Les carburateurs de voitures.
- Les poignées de portières.
- Les pistons de frein-hydraulique.
- Les carters des moteurs électriques.
- Les appareils électro-ménagers, etc...

Mais ce domaine est mal connu en Algérie dans le développement escompté.



## CHAPITRE II.

## ETUDE METALLOGRAPHIQUE DES ALLIAGES DE ZINC ZAMAK 3 ET ZAMAK 5.

## II.1. ETUDE DE L'ETAT BRUT DE COULEE.

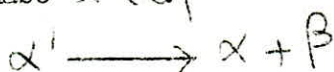
Dans le diagramme d'équilibre Zn-Al fig 9; on constate :

a) La présence d'un eutectique à 5,1% d'aluminium dont le point de fusion est 382°C.

b) Une solution  $\beta$  d'aluminium dans le zinc dont la teneur maximum en aluminium est de 1,14% à 382°C. En dessous de cette température la solubilité de l'aluminium diminue pour être à la température ambiante de 0,05% environ ( fig 10 ).

c) Une seconde phase  $\alpha'$  n'existant qu'à une température supérieure à 275°C.

d) La seconde phase  $\alpha'$  subit une réaction eutectoïde et se décompose en phase  $\alpha$  et  $\beta$



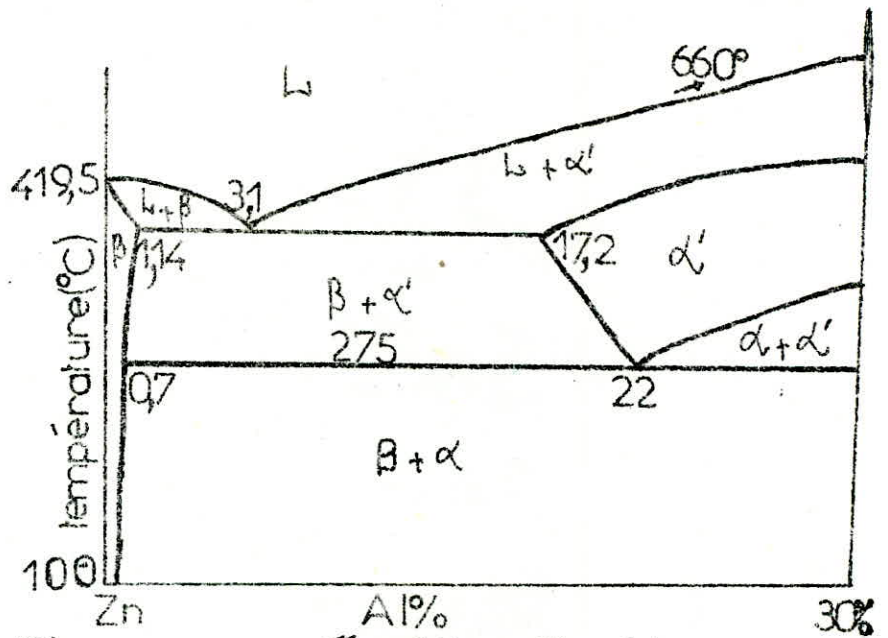


Fig:9- Diagramme d'équilibre Zn-Al

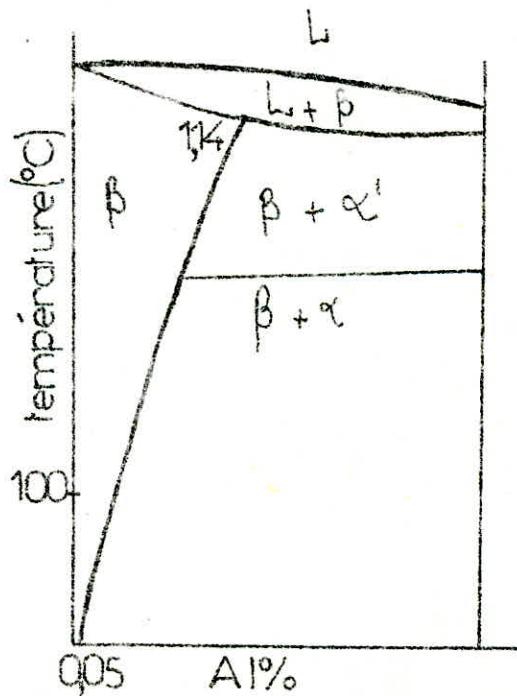


Fig:10- Courbe de solubilité de Al dans Zn

Au cours de la solidification, les cristaux de première solidification sont des cristaux de solution  $\beta$  jusqu'à ce que la température atteigne 382°C. Ces cristaux blancs apparaissent en blanc sur la micrographie ( fig 11 ).

Leur proportion est de : 27,78%, puis se dépose l'agrégat eutéctique ( $\alpha' + \beta$ ) qui se forme et entoure les noyaux de solution  $\beta$  déjà solidifiés ( $\beta$  primaire ). La proportion de cet eutéctique est de 72,22%. Cet eutéctique se dépose selon la réaction :



Les proportions massiques des constituants à la température de 382°C sont déterminées à l'aide de la théorie des segments inversés ( voir fig 9 ).

$$\% = \frac{5,1 - 4}{5,1 - 1,14} \times 100 = 27,78.$$

$$\% \text{ Eutéctique} = \frac{4 - 1,14}{5,1 - 1,14} \times 100 = 72,22.$$

La composition de l'eutéctique formé des phases  $\alpha'$  et  $\beta$  est aussi déterminé par la théorie des segments inverses ( fig 9 ).

$$\% \text{ eutéctique} = \frac{5,1 - 1,14}{17,2 - 1,14} \times 100 = 24,65.$$

$$\% \text{ eutéctique} = \frac{17,2 - 5,1}{17,2 - 1,14} \times 100 = 75,35.$$



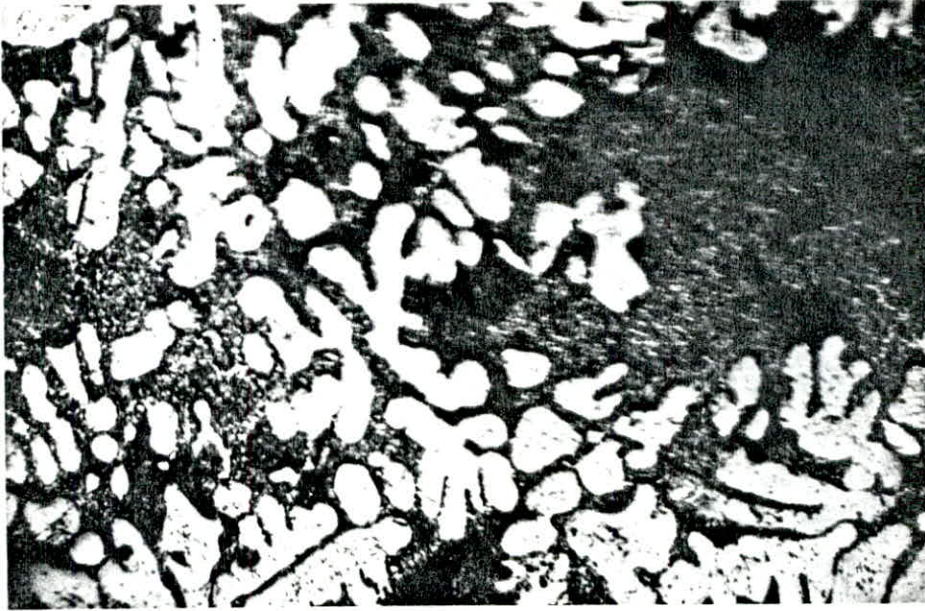


fig 11-1 - Zamak: 3 - Brut de coulée (G = 200)  
fig 11-1



fig 11-2 Zamak: 5 - Brut de coulée (G = 500)

Dans l'eutectique déposé on a :

- 24,65% des 72,22% de  $\alpha$ .
- 75,35% des 72,22% de  $\beta$ .

Ce qui correspond à :

- 17,80% de la phase dans l'eutectique déposé.
- 54,42% de la Phase  $\beta$  dans l'eutectique déposé.

Donc pour l'alliage à 4% d'aluminium, les proportions des phases  $\alpha$  et  $\beta$  à 382°C sont :

% primaire : 27,78.

% eutectique 54,42.

% eutectique 17,80.

Donc à 382°C, on a %  $\alpha$  total = 82,19.

%  $\beta$  total = 17,80.

Au cours du refroidissement dans l'état solide entre les températures 382°C et 275°C, respectivement températures du palier eutectique et du palier eutectoïde, la solution solide  $\alpha$  s'appauvrit en aluminium de 1,14% ( 382°C ) à 0,7% ( 275°C ) : Ce qui provoque la solution  $\alpha$  existante dans l'eutectique s'enrichit en aluminium de 17,2% ( 382°C ) à 22% ( 275°C ). Elle s'appauvrit ainsi en zinc et provoque la précipitation de la solution solide  $\beta$ .

À la température 275°C, l'alliage à 4% d'aluminium a pour composition :

$$\% = \frac{22 - 4}{22 - 07} \times 100 = 84,55.$$

$$\% = \frac{4 - 0,7}{22 - 0,7} \times 100 = 15,45.$$

Les proportions de  $\alpha'$  et  $\beta$  précipités entre les deux paliers sont :

$$\% \text{ précipités} : \frac{22 - 17,2}{22 - 0,7} \times 100 = 22,53.$$

$$\% \text{ précipités} : \frac{1,14 - 0,7}{22 - 0,7} \times 100 = 2,06$$

La quantité de la phase  $\beta^{\alpha'}$  précipité est de :

$$2,06 \times \% \beta = 1,73\%$$

La quantité de la phase  $\beta$  précipitée est de :

$$22,53 \times \% \alpha' = 4,01\%.$$

Les proportions globales des deux phases : Dans l'alliage à 275°C sont :

$$\% \alpha' = 17,80 + 1,73 - 4,01 = 15,53.$$

$$\% \beta = 82,19 + 4,01 - 1,73 = 85,47.$$

En conclusion :

La solution  $\beta$  provient donc :

- 1) Des cristaux de première solidification.
- 2) Du constituant de l'eutectique.
- 3) De la décomposition de la phase  $\alpha$  au cours de la réaction eutectoïde.
- 4) Du précipité provenant de la variation de compos-



-sition de la phase  $\alpha$  au cours du refroidissement en dessous de  $275^{\circ}\text{C}$ , ceci est remarquable sur le diagramme d'équilibre Zn - Al ( Fig 10 ).

L'origine de la solution solide  $\alpha$  provient :

- 1) De la décomposition eutéctique de la phase  $\alpha'$  contenue dans l'eutectique.
- 2) De la précipitation de la phase  $\alpha$  à partir de la phase  $\beta$  sursaturée en aluminium.

A l'état solide, nous avons trois phénomènes :

- Une réaction eutéctique.
- Une précipitation de phase riche en Al à partir de la solution solide riche en zinc (  $\alpha$  précipite dans  $\beta$  ).
- Une précipitation de phase riche en zinc à partir de la solution solide riche en aluminium.

#### ASPECT MICROGRAPHIQUE DES ZAMAKS ( ETAT BRUT DE COULEE ).

Dans les figures 11, nous remarquons que l'alliage hypoeutéctique à 4% d'aluminium, refroidi rapidement et examiné une vingtaine de minutes, se présente sous la forme de dendrites blanches de constituant  $\beta$  entourées par un eutectique qui apparaît en gris sur lamicrographie optique ( fig 11 ). Ces dendrites apparaissent en noir sur la micrographie électronique à balayage ( fig 12 ).

Dans le microscope électronique à balayage, le mécanisme de formation de l'image est différent de celle du microscope





Fig 12.1 Zamak: 3 - Brut da couláa (G=191)

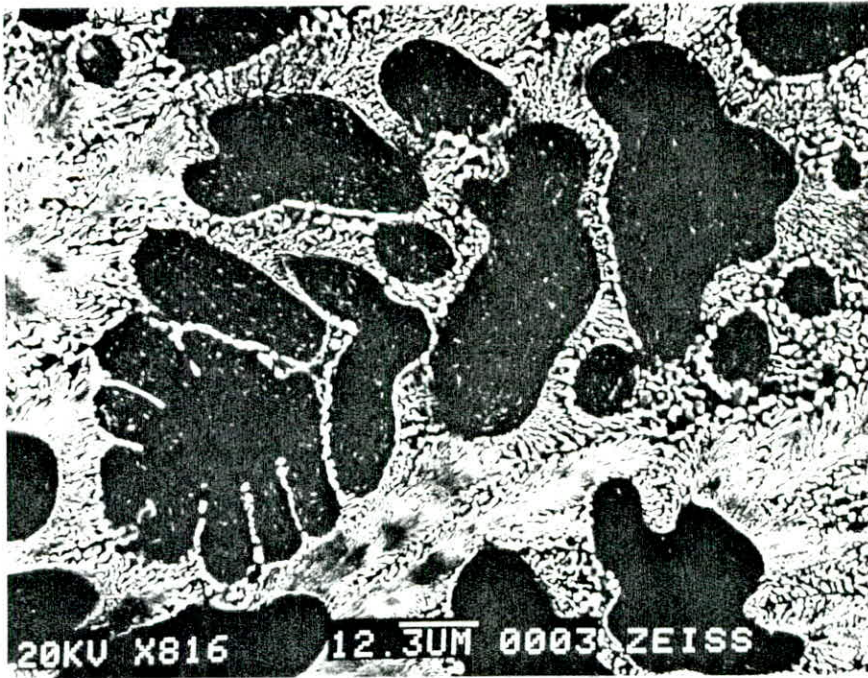


Fig 12.2 Zamak: 3 - Brut da couláa (G=816)

optique, c'est pour cette raison que les dendrites apparaissent en noir dans le microscope électronique à balayage. Les différents rayonnements émis par un échantillon bombardé par des électrons ( fig 13 ) permettent la formation de l'image.

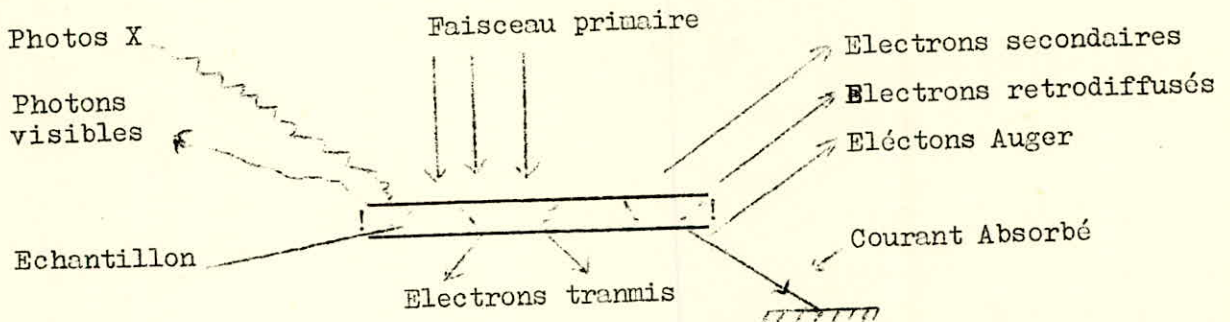


Fig 13. Différents signaux émis par un solide soumis à un bombardement d'électrons.

La réaction eutectoïde étant très rapide et ne pouvant être distinguée au moment de l'examen, nous remarquons que les figures 11 montrent l'eutectique composé de la phase  $\beta$  en blanc et avec en relief la phase  $\alpha$  qui apparaît grisâtre. Sur les figures 12, les phases  $\beta$  et  $\alpha$  de l'eutectique apparaissent respectivement en noir et blanc.

Au plus fort grossissement nous pouvons voir sur la figure 11, la structure de l'eutectique qui présente la phase  $\beta$  en blanc et la phase  $\alpha$  en gris sous forme de lamelles alternées dans certaines régions et sous forme globulaires dans l'autre.

Cette différence de structure de l'eutectique peut être liée au mécanisme de refroidissement, c'est à dire probablement à



un refroidissement hétérogène. La comparaison entre les structures des deux zamaks ne révèle pas de différence notable. L'addition de 1% de cuivre n'a pas d'effet sur la structure. Par contre, cette addition agit sur les propriétés mécaniques si l'on considère les duretés des deux alliages, tableau 5. Le cuivre durcit l'alliage de zinc.

Les alliages à 4% d'aluminium présentent des structures micrographiques différentes de la structure micrographique du zinc pur, ( fig 14 ).

	Dureté Brinell	Dureté Vickers
ZAMAK 3	65,7	65,7
ZAMAK 5	75,2	75,2

Tableau 5.  
Dureté des Zamaks à l'état brut de coulée.

## II.2. TRAITEMENTS THERMIQUES DES ZAMAKS.

A l'état solide au cours du refroidissement, deux transformations structurales se produisent, figure 15.

- La transformation eutéctode très rapide : la durée est de 10 à 20 minutes environ. ( d'après N. Dreulle et P. Dreulle ).

- La précipitation à partir des solutions solides sursaturées.

Nous pouvons conclure que c'est la deuxième transformation qui produit les variations des propriétés mécaniques.

Pour étudier l'effet de la précipitation sur la structure et les propriétés mécaniques, nous avons procédé aux traitements thermiques suivants :

- Trempe : La température de maintien est de 30 minutes.
- Mode de refroidissement : à l'air et à l'eau.
- Revenus : à 60 et 100°C pendant 2 heures Et 4 heures.

Les échantillons de forme cylindrique ont une hauteur de 10 mm et une section de 15 mm de diamètre.

Les choix des conditions de traitements ont été basés sur l'étude effectuée par N. Dreulle et P. Dreulle.

#### CHOIX DE LA TEMPERATURE DE LA TREMPE.

Plus nous nous éloignons du palier 275°C vers le palier 382°C ( fig 10 ), plus nous obtenons la phase  $\alpha'$  sursaturée. Nous avons choisi la température de trempe égale à 325°C, par crainte de la variation trop importante dans le four.

Lors de la trempe à l'eau et à l'air, nous avons observé sur la micrographie ( fig 15 ) une phase  $\beta$  blanche, un eutectique et une phase  $\alpha$  de grains très fins. Les résultats obtenus sont dans le tableau 6.



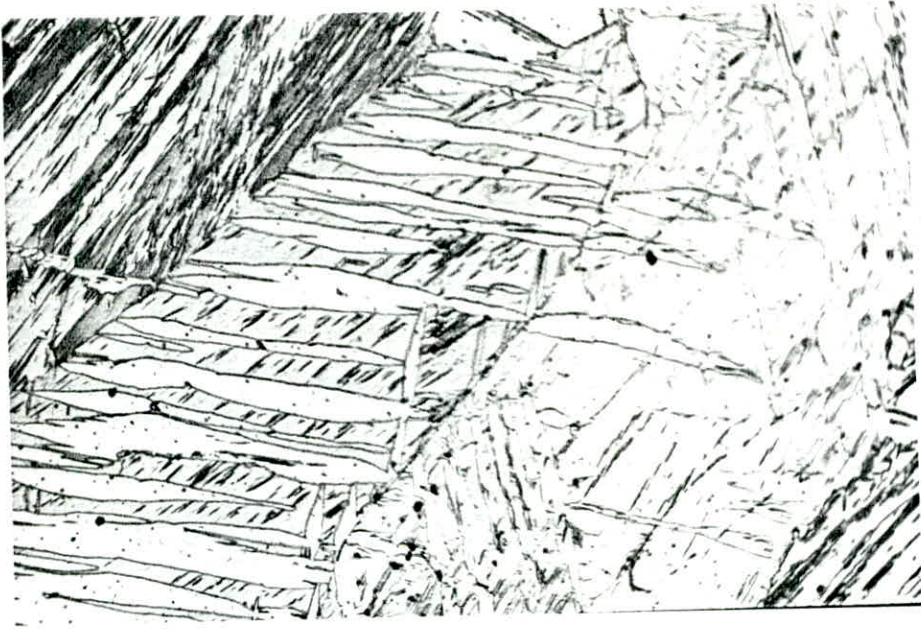


fig 14: Micrographie du zinc pur de coulée



fig 15 Zamak : 3 - Trempé à eau (G=200)



fig 15-a. Zamak : 3 - Trempé à eau (G=100)

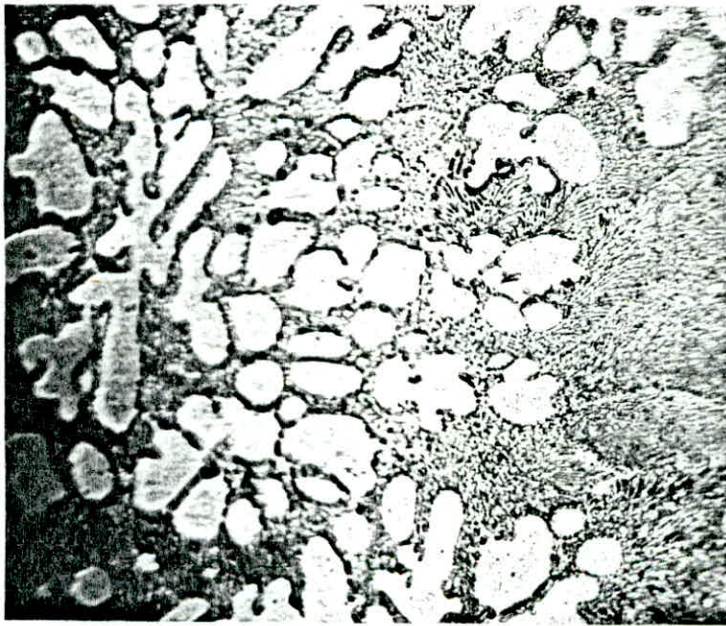


fig 15-b Zamak : 5 - Trempé; revenu  
pendant : 2<sup>h</sup> à  $\theta = 60^{\circ}\text{C}$  (G=200)



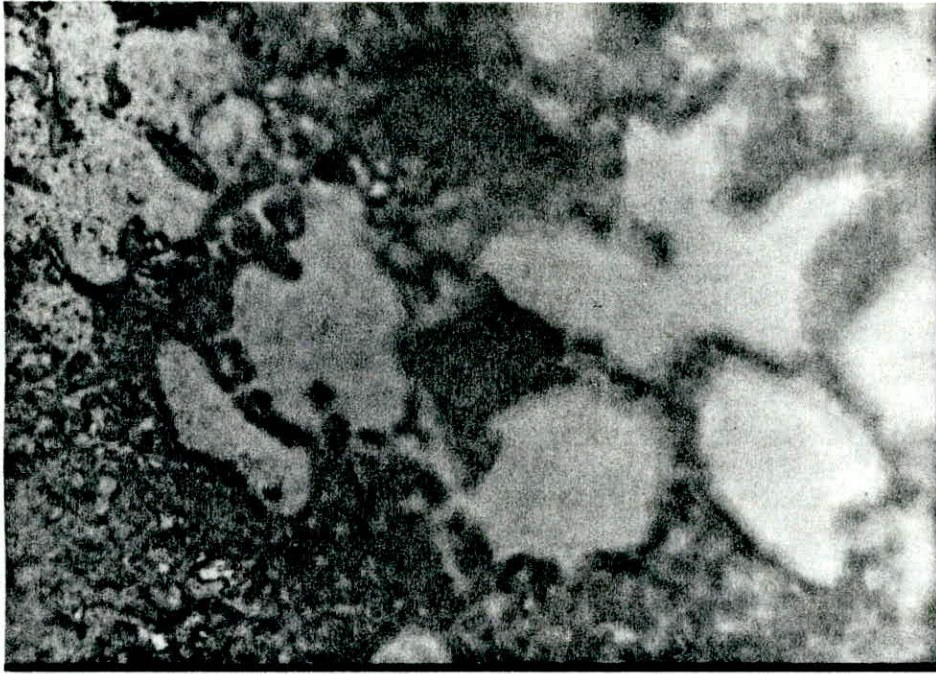


fig 15 - C Zamak: 3 - Trempé à eau pendant  
 $t = 2^h$  à  $\theta = 60^\circ\text{C}$  ( $G = 500$ )

Dureté Vickers.

Alliage	Etat		Revenu	
	Trempé à l'eau	Trempé - revenu 60°-2 Heures.....	Trempé 100° C 2 Heures	Revenu 4 heures
ZAMAK 3	91	94	97	87
Zamak 5	102	96	89	89

Tableau 6 : Dureté, des alliages Zamaks 3 et Zamak 5 après traitement Thermique.

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE TREMPÉ;

Une série de mesure a été faite avec les différentes températures et nous avons les résultats dans le tableau 7.

Dureté Vickers.

Alliage	Trempé à T=350°C	Trempé à T=325°C	T = 250° C
Zamak 3	93	91	80
Zamak 5	111	102	90

Tableau 7.

Durete apres trempe



A la base des résultats obtenus représentés par la micrographie et les essais de duretés, nous pouvons énoncer ce qui suit :

1) Dans l'état trempé, nous ne constatons pas de précipitation pour les deux alliages étudiés. La phase  $\beta$  apparaît en blanc et l'eutectique en gris, structure cellulaire et lamellaire.

D'après le diagramme Zn - Al, à l'état tempé à 325°C la phase  $\beta$  sursaturée contient 1,14% Al environ à l'ambiante.

2) Dans l'état revenu, nous constatons une précipitation dans la phase  $\beta$  : C'est une phase riche en Al.

Cette précipitation est accélérée par la température.

L'influence de la précipitation sur les propriétés mécaniques est illustrée par les résultats du tableau 6.

La précipitation par un traitement de revenu altère de façon notable la dureté des deux alliages. La dureté du Zamak 5 reste supérieure à celle du Zamak 3 par la présence du cuivre.

3) Plus la température de trempe est élevée, plus nous atteindrons une dureté élevée ( Tableau 7 ).

Les résultats obtenus par la diffraction des Rayons X sont donnés dans le dernier chapitre.

## CHAPITRE III.

## ETUDE DU VIEILLISSEMENT DES ALLIAGES.

## III(1) INTRODUCTION :

Nous nous sommes intéressés au phénomène de précipitation des phases  $\alpha$  et  $\beta$  qui produit aux températures 25°C et 100°C, c'est à dire au vieillissement de maturation et au vieillissement artificiel des deux alliages Zamak 3 et Zamak 5 étudiés.

Nous avons étudiés l'évolution de la structure à des températures de 25°C et 100°C à l'aide de la microscopie optique et à l'aide la radicrostallographie.

De même l'évolution des caractéristiques mécaniques en fonction du temps, aux deux températures citées ci-dessus, elle a été déterminée par les mesures de dureté Vickers.

## III(2) PRESENTATION DES RESULTATS :

Les résultats obtenus sont illustrés dans des tableaux 8 et 9, et les courbes du vieillissement obtenues sur les figures 16 et 17.

Le durcissement de l'alliage Zamak 5 atteint à 25°C son maximum ( HV = 110 ) pour une durée de 60 heures environ, puis diminue de façon à devenir constant. Pour le même alliage Zamak 5, le même phénomène mais de moindre intensité se produit à 100°C, la dureté maximale est de ( HV = 98 ) pour 10 heures environ ( fig 17 ).

Temps Heures	20'	2	4	15	40	50	65	80	90	120	125
	I/3										
HV (0=25°C)	90,75	X	X	85,95	84,13	84,33	84,57	X	84,1	81,63	78,9
HV (0=100°C)	X	90,1	86,9	83,55	78,16	X	X	75,2	70	73,6	79,9

TABLEAU 8 : Evolution de la dureté Vickers des alliages Zamak 3 en fonction du Temps.

Temps Heures	2	4	15	40	50	65	90	120	125	160
	HV(0=25°C)	88,6	X	96,2	100,1	111,3	108,6	105,4	106,3	X
HV(0=100°C)	89,2	89	99,4	90,1	94,25	X	89,6	87,2	85,6	X

TABLEAU 9 : Evolution de la dureté Vickers des alliages Zamak 5 en fonction du temps.

RESULTATS EXPERIMENTAUX.



Fig 16 : courbes de vieillissement  
des Zamak 3 à 25°C et 100°C

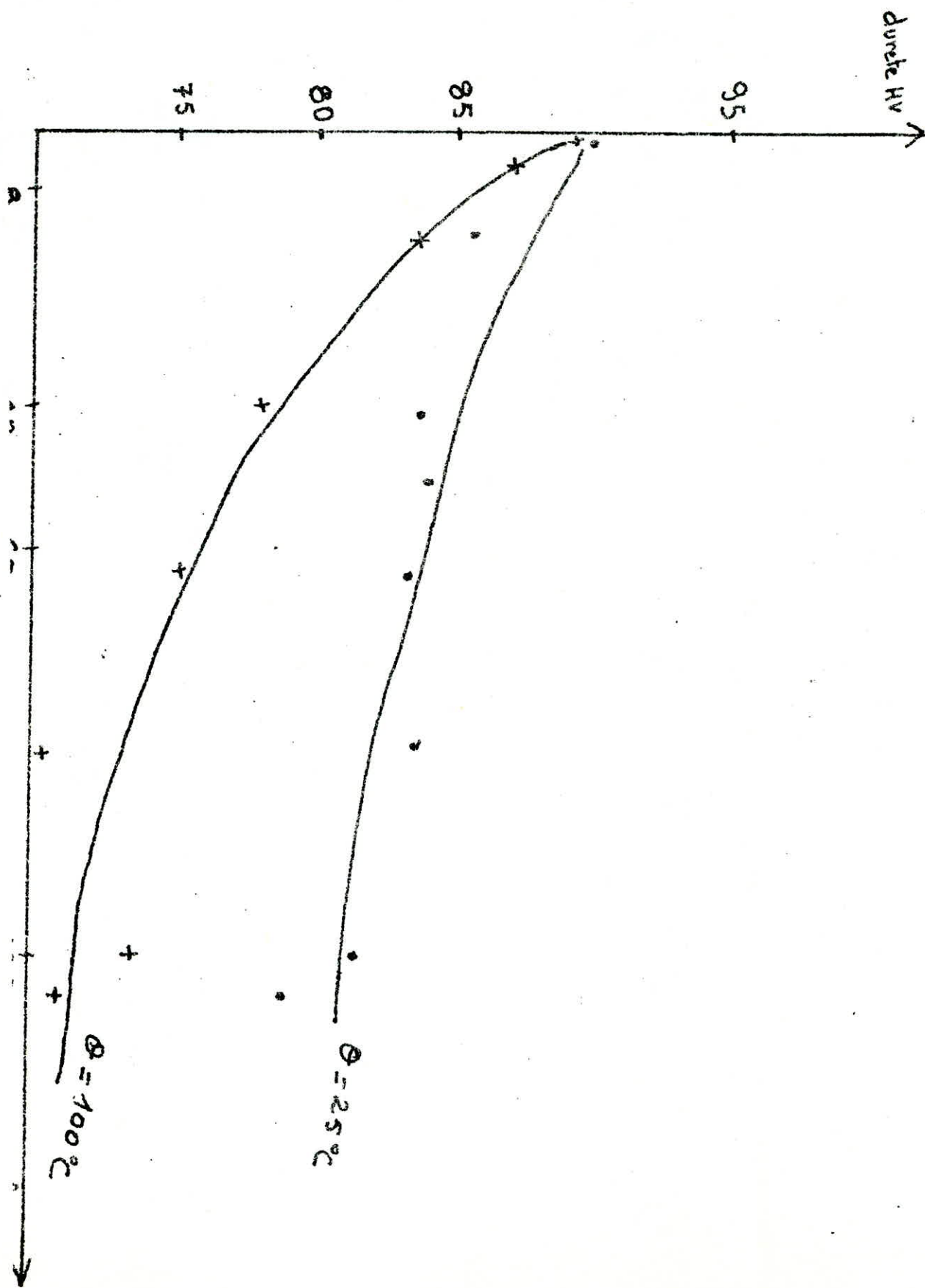
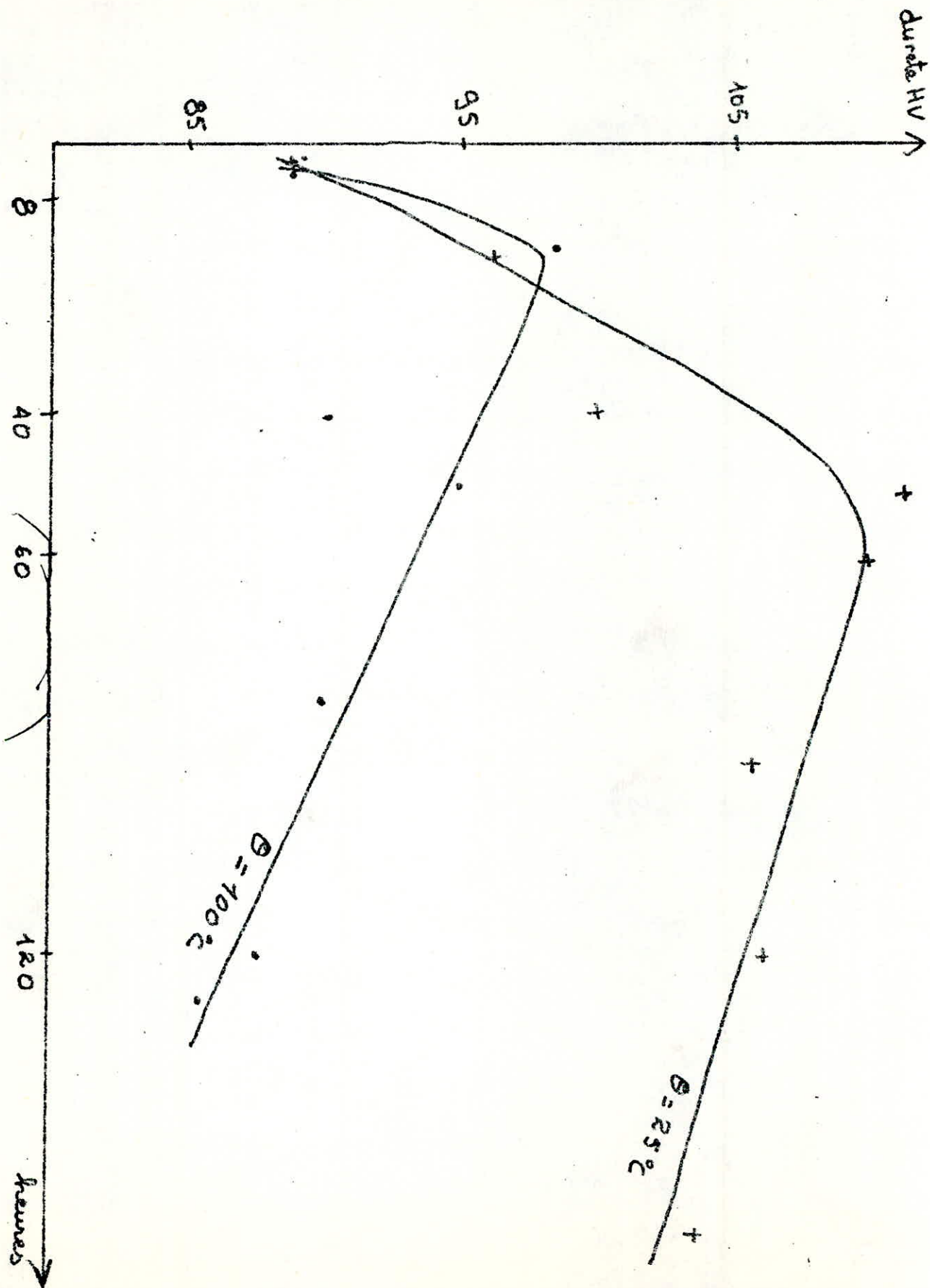


Fig 17 : courbes de vieillissement  
des Zamaks 5 à 25°C et 100°C .



Par contre, nous constatons une baisse de la dureté en fonction du temps pour l'alliage Zamak 3. La dureté dans cet alliage reste toujours supérieure à la basse température ( fig I6 ).

### III(3) EVOLUTION DE LA STRUCTURE MICROGRAPHIQUE :

Nous pouvons remarquer que la précipitation est abondante pour une durée très longue de vieillissement environ un mois ( fig I8 ). Pour des durées plus faibles, elle n'est pas remarquable. Cette précipitation est d'autant plus abondante que la température de revenu est élevée.

Nous avons effectués des études dans ce sens en mesurant la dureté de la phase  $\beta$  et celle de l'eutectique en fonction du temps, les résultats sont exposés dans le tableau IO.

Nous constatons que la dureté de la phase  $\beta$  dans l'alliage Zamak 3 diminue au cours du maintien à 100°C. Les fluctuations des résultats du Zamak 5 ne permettent pas de conclure.

Les alliages Zamak 3 et  $\beta$  <sup>très</sup> ~~ne~~ <sup>très</sup> ~~tropés~~ <sup>très</sup> ~~et~~, ayant subi un revenu à 60°C pendant 2 heures, donnent à leurs phases  $\beta$  une dureté remarquablement élevée.

Nous distinguons la phase  $\beta$  sur la micrographie par la couleur blanche, et aucune précipitation à l'intérieur, et nous avons une meilleure dureté globale aux conditions de revenu ( 60°C pendant 2 heures ).

Alliages	Traitement	Trempe	Trempe	Trempe	Trempe	Trempe	
		à eau	revenu = 60°C T = 2 Hr	revenu = 100°C T = 2Hr	revenu = 100°C T = 4 Hr	revenu = 100°C T = 15 Hr	
ZAMAK 3	Phase	92	105	97,1	86,9	79,5	
	Eutectique	89,6	94,5	106	90	87,6	
ZAMAK 5	Phase	100	108	89,2	-	103	
	Eutectique	103	83,9	74,2	107	95,8	

TABEAU IO. Mesure de la dureté de la phase  $\beta$  et l'eutectique.



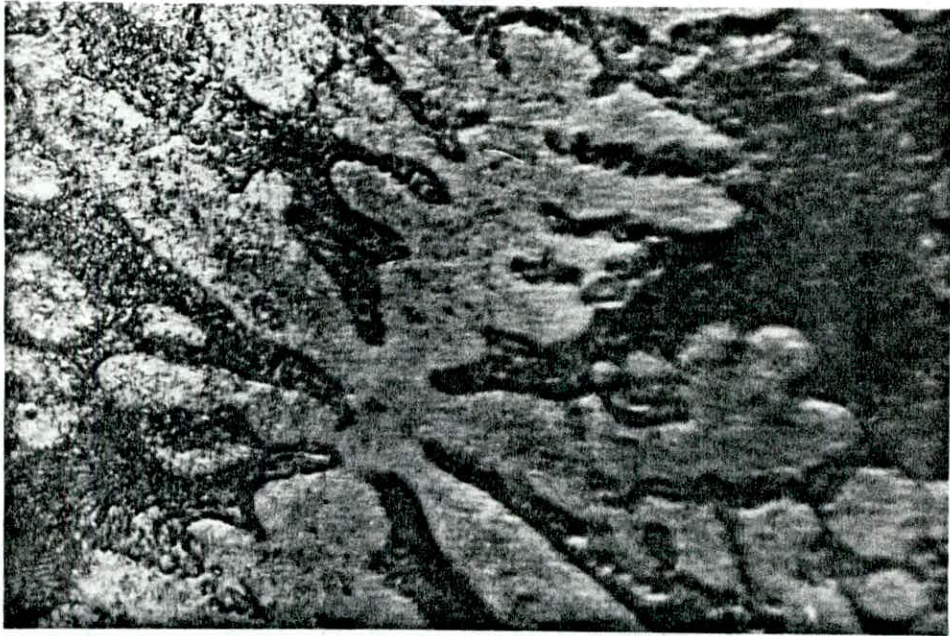


Fig 18 a

Zamak : 5

t : 21 heures

$\theta$  : 25 °C

G : 500

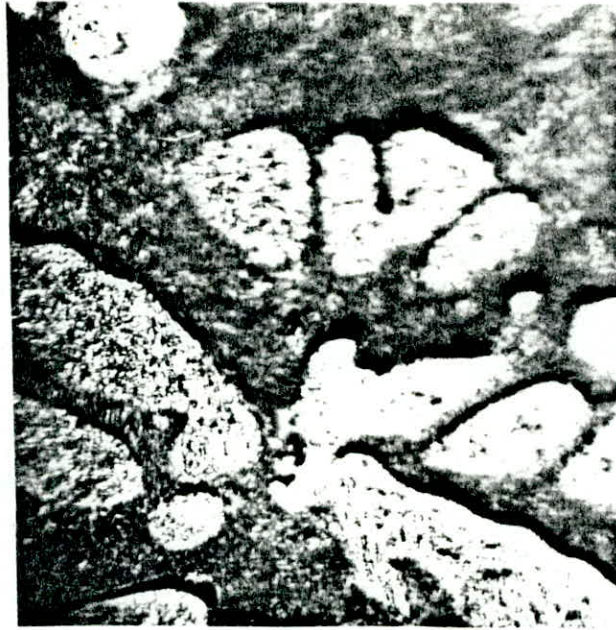


Fig 18-b

Zamak: 5-  $\theta = 100^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 40^{\text{h}}$

Précipitation dans la phase  $\beta$  ( $G = 500$ )

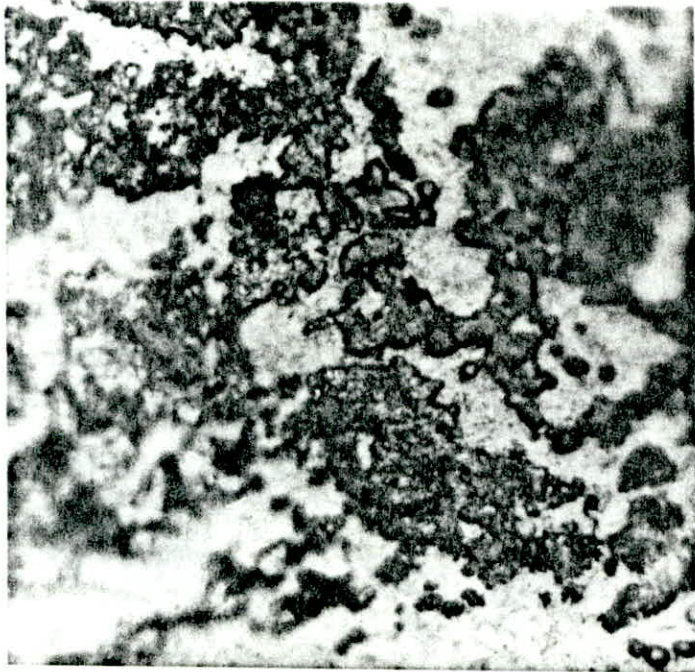


Fig 18-c

Zamak: 3-  $\theta = 100^{\circ}\text{C}$ ;  $t = 4^{\text{h}}$

( $G = 200$ )



62 bis

FS 400



fig18-d Zamak:5- Vieilli pendant 100<sup>h</sup> à 100°C  
(G = 500)

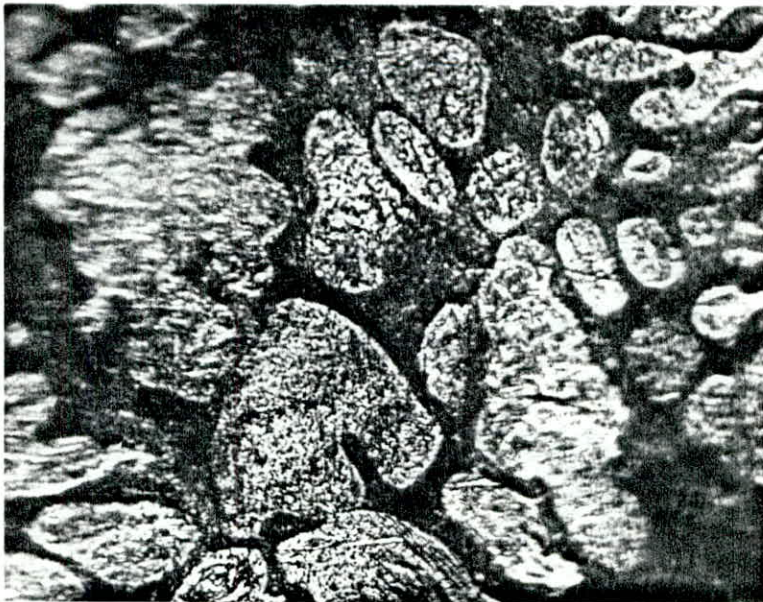


fig18-e Zamak:5- Vieilli à la température  
ambiante : précipitation dans la phase  $\beta$   
pendant : 1 moi (G = 500)

Malheureusement, avec les revenus respectivement de ( 100°C pendant 2 heures ) et ( 100°C pendant 4 heures ), nous remarquons la dureté de la phase  $\beta$  diminuer, ce qui altère la dureté moyenne des alliages Zamaks.

#### III(4) ETUDE RADIOCRISTALLOGRAPHIQUE :

Cette étude nous a permis d'identifier :  $\alpha$  et  $\beta$

- La phase  $\alpha$  : cubiques à face centrées de paramètre  $a = 4,05$  ( Angstrom ) sensiblement égale à celui de l'aluminium.

- La phase  $\beta$  : hexagonale compacte conservant les paramètres du zinc pur,  $c/a = 1,856$  et  $a = 2,6649 \text{ \AA}$  ,  $c = 4,9468 \text{ \AA}$ .

Nous remarquons que le traitement thermique et le vieillissement aux basses températures et même à 100°C n'ont pas d'effet sur la structure cristallographique, puis les résultats tirés des diagrammes radiocristallographiques ( fig I9 ) des différents états :

Etat brut.

Etat trempé.

Etat vieilli.

Nous montrent :

- La phase  $\beta$  est identique à chacune des états cités ci-dessus; donc il n'y'a pas de variation dans les paramètres, la maille reste identique. Par contre, nous remarquons une variation d'intensité de diffraction ( fig I9 ) pour chacun des états cités.



Rayt : $Co K_{\alpha}$ : 1,79 Å	N° éch. : Zinc
Rég. Kv, mA : 30 - 8	Étalon : néant
Fen. entr. : $1^{\circ}$	Vit. gonis. : $1/2^{\circ}$ mn
Sort. : $1/4^{\circ}$	pap. : $1/2$ cm. m $\mu$
H. T. compt. : 1135.	pas à pas $^{\circ}$ min : -
Imp. min : 4.104	Temps comptage : -
Er. Stat. : 2%	Nbre imoul. : -
Discrim : -	Atten : 2

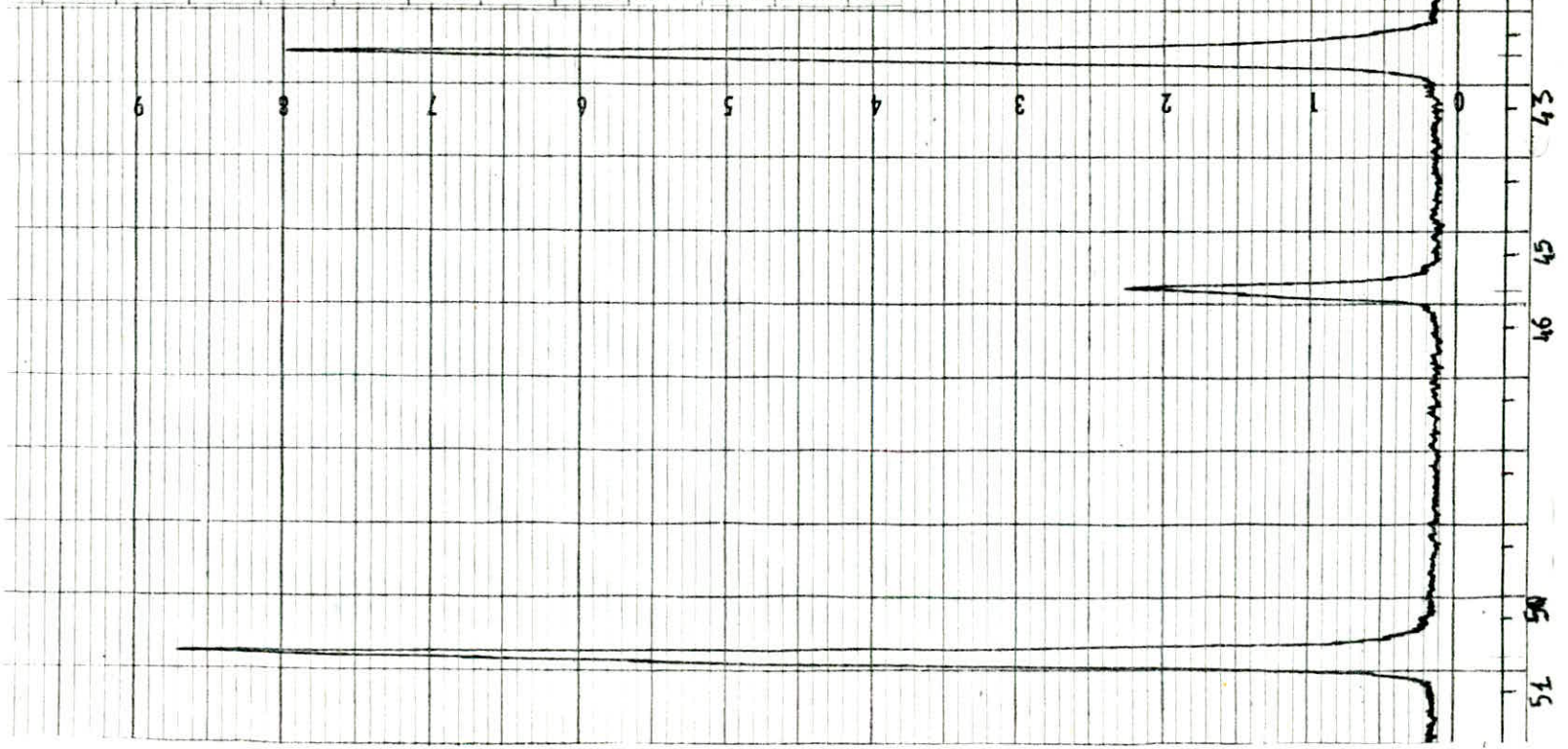


Fig: 19-1

64



Rayt. Co K $\alpha$ . 1.79 Å	N° éch.: 23 bruh
Rég. Kv, mA: 30 Kv. 8 mA	Etalon: nichk
Fen. entr.: 1 <sup>o</sup>	Vit. gonis.: 1/2 <sup>o</sup> 20. min
Sart.: 1/4 <sup>o</sup>	pap.: 1/2 cm. min.
H. T. compt.: 1135 v.	pas à pas <sup>o</sup> min: —
Imp. min: 2. 10 <sup>4</sup>	Temps comptage: —
Er. Stat.: 2 <sup>o</sup> / <sub>B</sub>	Nbre impul.: —
Discrim: —	Atten: 2

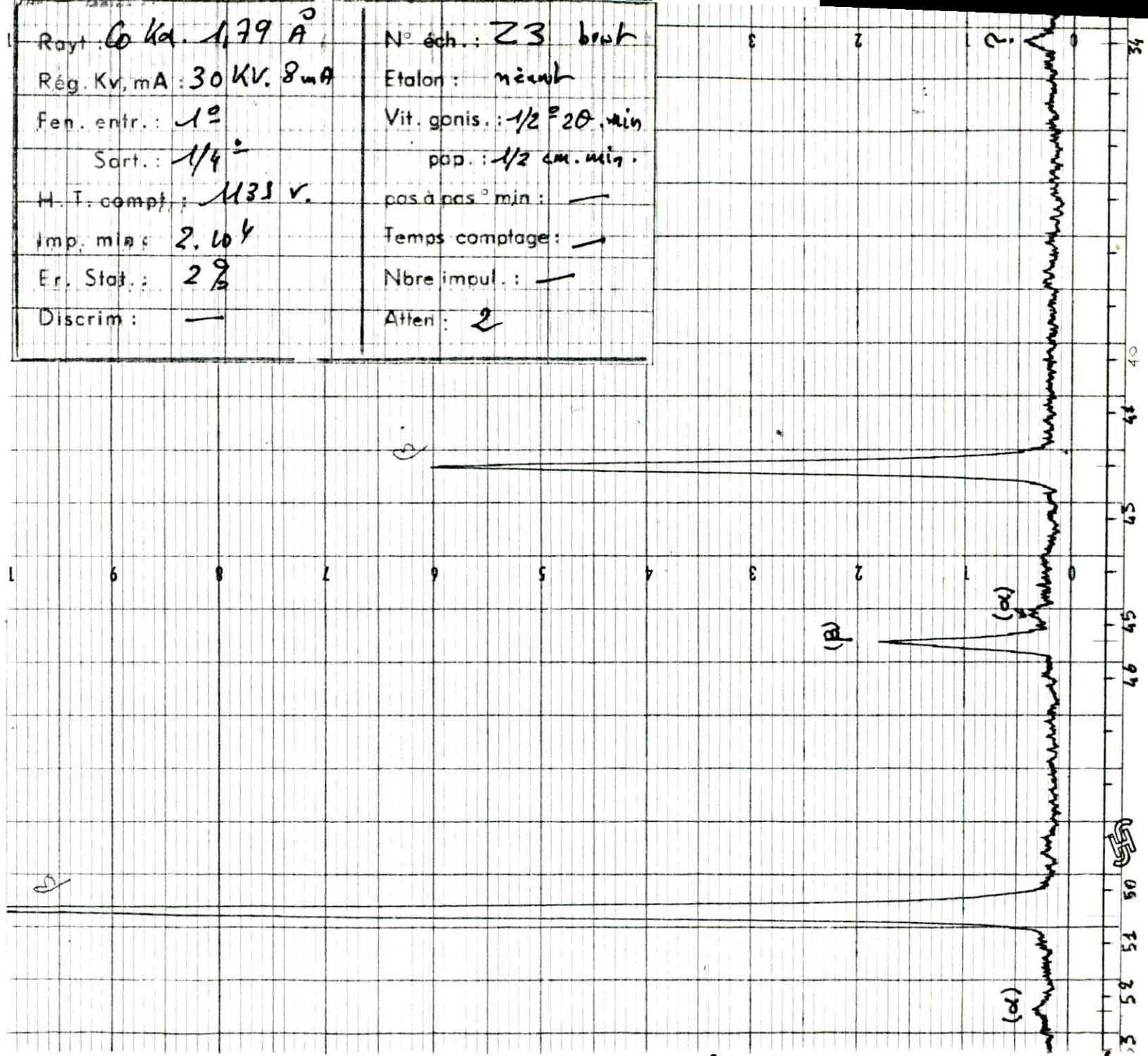
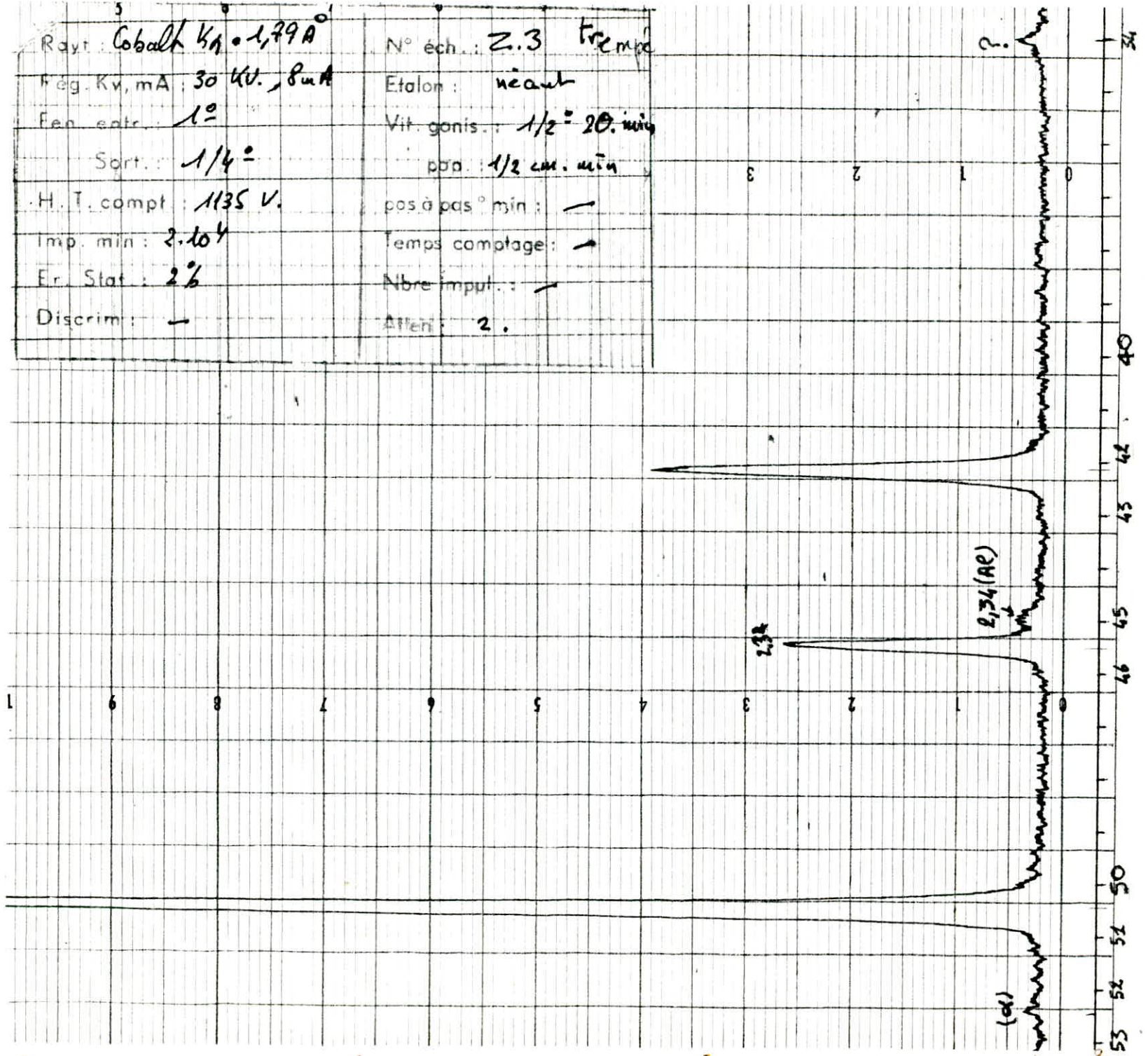


Fig: 19-2



Rayt. Cobalt $K_{\alpha}$ $\cdot 1,79 \text{ \AA}$	N° éch. : 2.3 trempe
Rég. Kv, mA : 30 kV., 8 mA	Etalon : néant
Fen. entr. : $1^{\circ}$	Vit. gonis. : $1/2^{\circ} = 20 \text{ min}$
Sort. : $1/4^{\circ}$	ppa. : $1/2 \text{ cm. min}$
H. T. compt : 1135 V.	pos. à pas $^{\circ}$ min : —
Imp. min : $2 \cdot 10^4$	Temps comptage : —
Er. Stat : 2%	Nbre imppt. : —
Discrim : —	Allen : 2.



66

Fig: 19-3

Rayt :	G $\lambda = 1,79 \text{ \AA}$	N° éch. :	Z3 100 h
Rég. Kv, mA :	30 Kv. 8 mA	Etalon :	n. 25
Fen. entr. :	18	Vit. gonis. :	$1/8^\circ = 20 \text{ min}$
Sort. :	$1/4^\circ$	pap. :	$1/2 \text{ cm. min}$
H. T. compt. :	1135 V	pas à pas $^\circ \text{ min}$ :	—
Imp. min :	$2 \cdot 10^4$	Temps comptage :	—
Er. Stat. :	$2 \frac{1}{3}$	Nbre impul. :	—
Discrim. :	—	Atten :	2

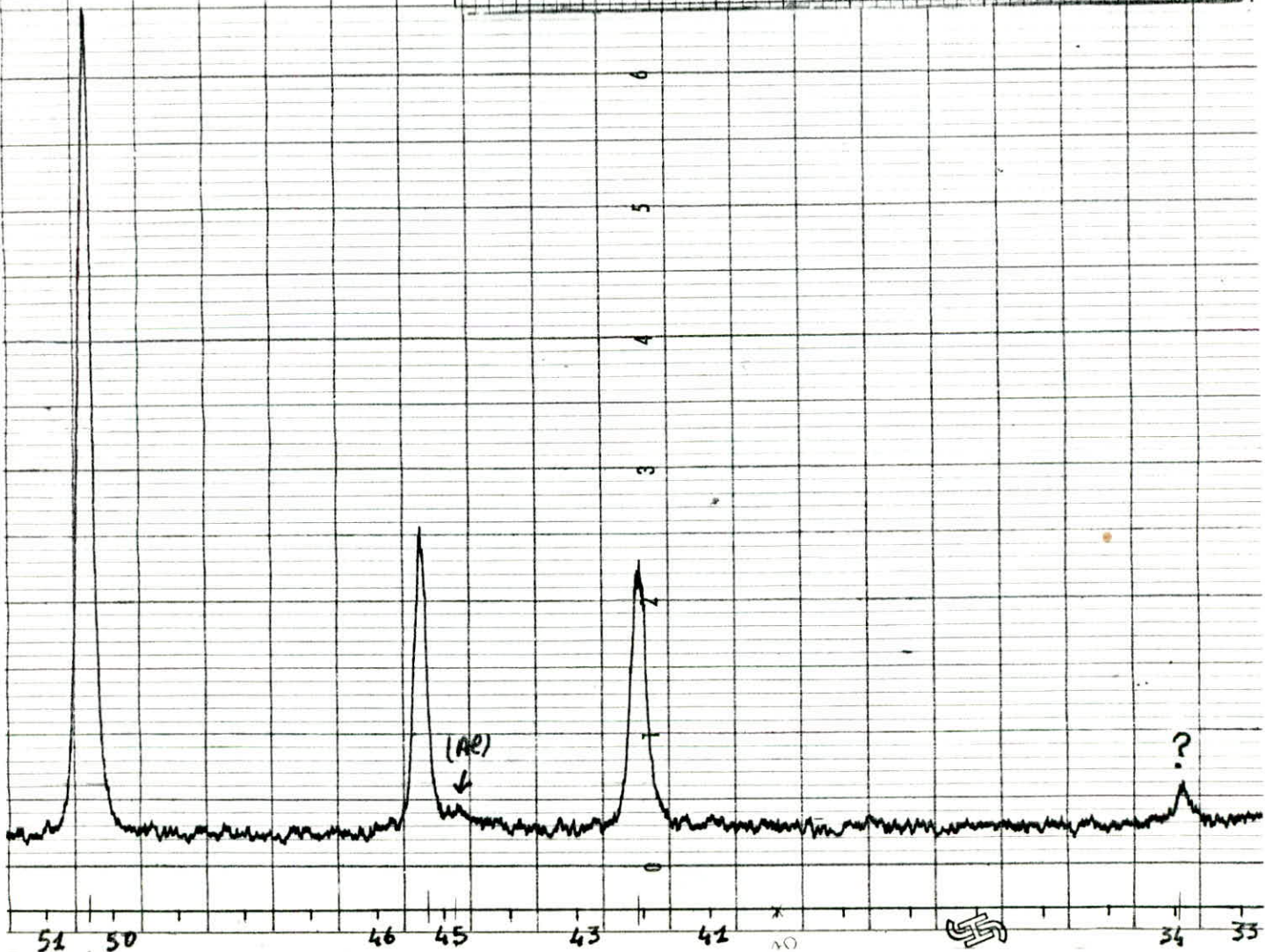


Fig: 19-4



Rayl : $^{59}\text{Co}$ $\lambda_d: 1,79 \text{ \AA}$	N° éch. : $23^9 100^4 10$
Rég. Kv. mA : 30 KV. 3 mA.	Etalon : n $100^\circ$
Fen. entr. : $1^\circ$	Vit. gonis. : $1/2^\circ = 20. \text{ min}$
Sort. : $1/4^\circ$	pap. : $1/2 \text{ cm. min}$
H. T. compt. : 1135 V	pas à pas $^\circ \text{ min}$ : —
Imp. min : $2.10^4$	Temps comotage : —
Er. Stat. : $2\%$	Nbre impul. : —
Discrim : —	Attent : 2

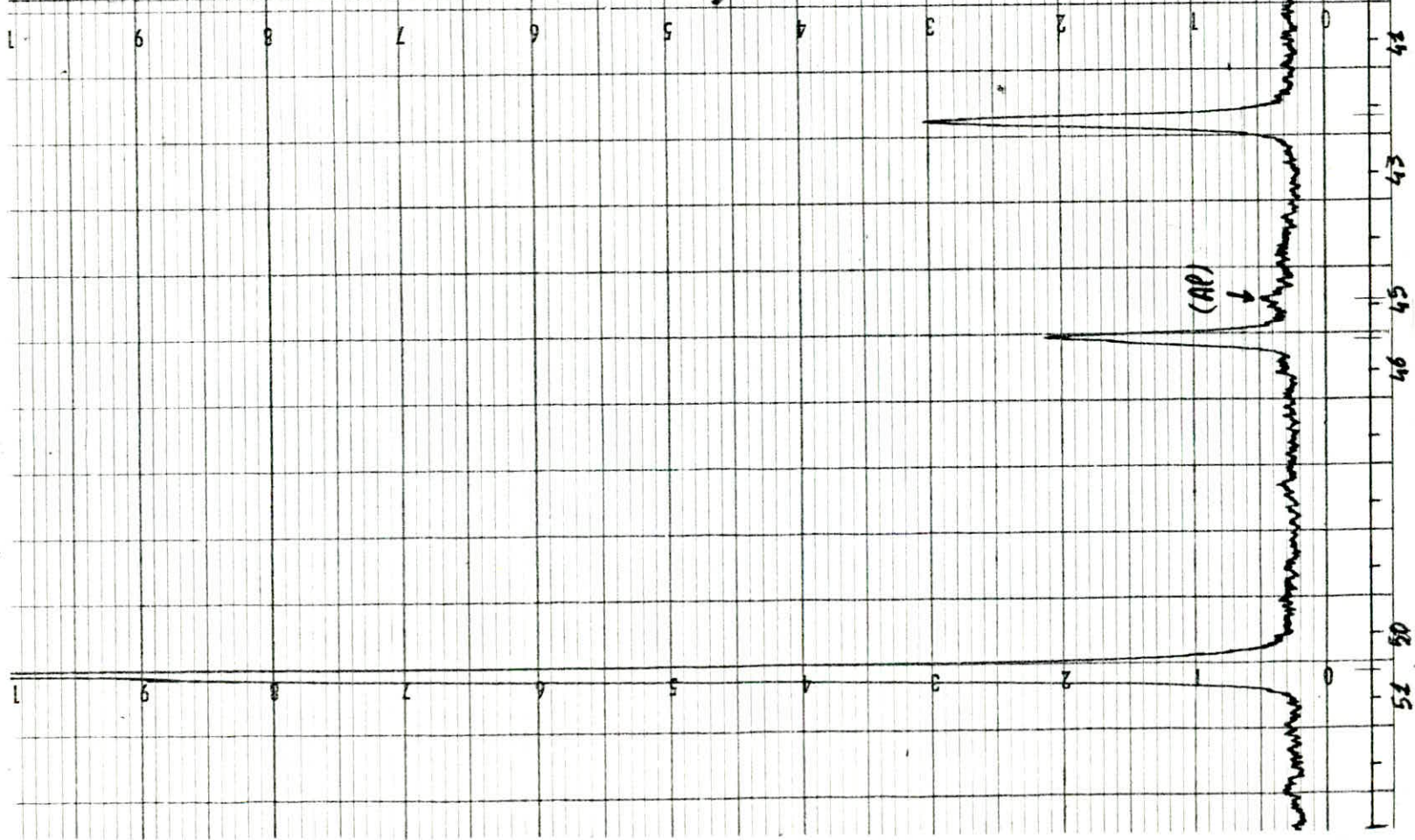


Fig: 19-5



Rayt : <b>Co</b> <b>1,79 Å</b>	N° éch. : <b>25 brut</b>
Tég. Kv, mA : <b>30 KV. 2 mA</b>	Etalon : <b>néant</b>
en. entr. : <b>1°</b>	Vit. ganis. : <b>1/2° min</b>
Sort. : <b>1/4°</b>	pap. : <b>1/2 cm min</b>
H. T. compt. : <b>1155 V</b>	pas à pas ° min : <b>—</b>
Imp. min : <b>2.10<sup>4</sup></b>	Temps comptage : <b>—</b>
Ex. Stat. : <b>2%</b>	Nbre impul. : <b>—</b>
Discrim : <b>—</b>	Atten : <b>2</b>

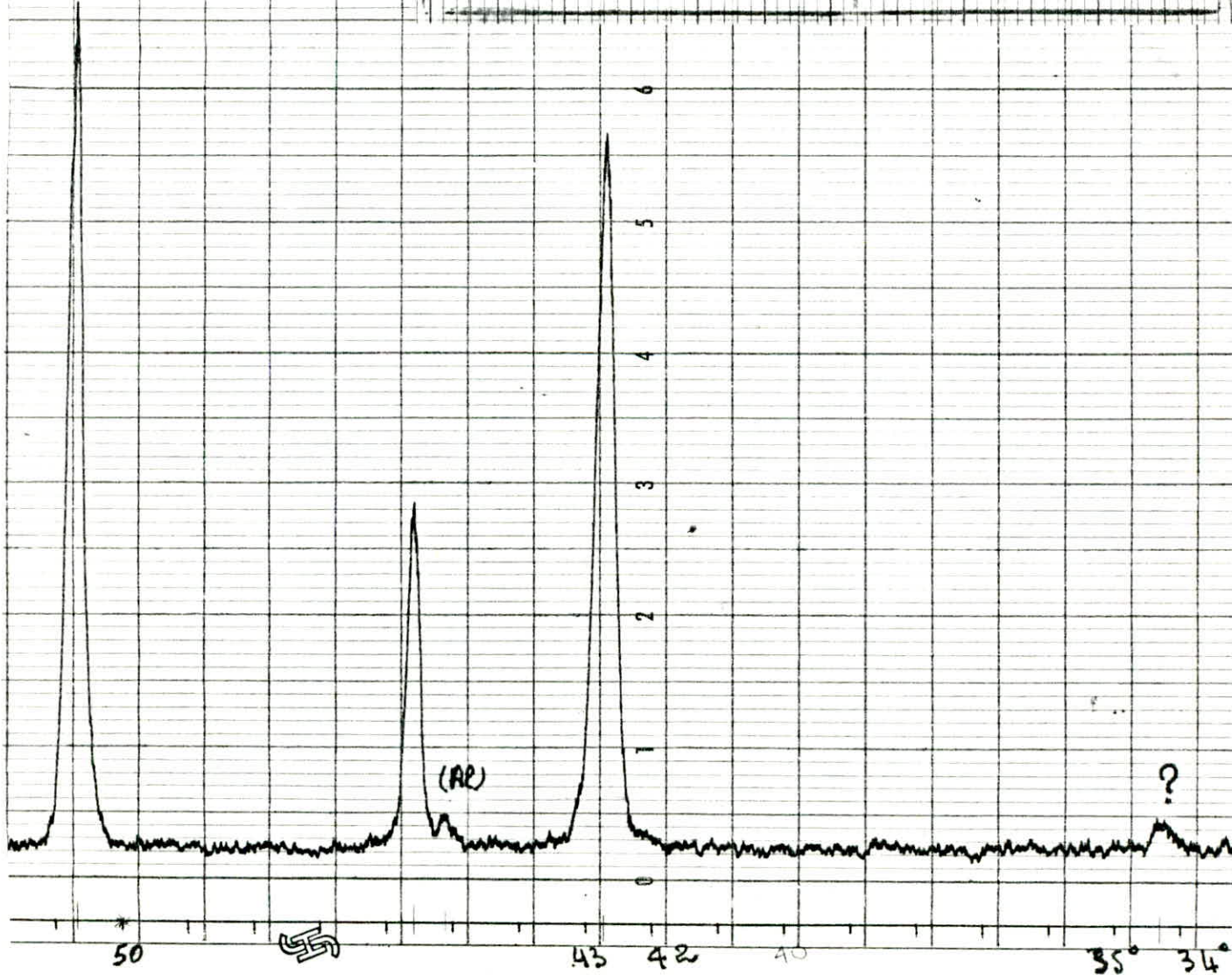


Fig: 19÷6



Rayt : Cobalt .  $K\alpha = 1,79$   
Rég. Kv, mA : 30 - 10.  
Fen. entr. :  $1^\circ$   
Sort. :  $1/4^\circ$   
H. T. compt. : 1435 ✓  
Imp. min :  $4 \cdot 10^4$   
Er. Stat. : 2 %  
Discrim : —

N° éch. : 25 trempé  
Etalon : néant  
Vit. gonis. :  $1/2^\circ = 20$  min  
pap. :  $1/2$  cm aich  
pas à pas ° min. : —  
Temps comptage : —  
Nbre impul. : —  
Atten : 2

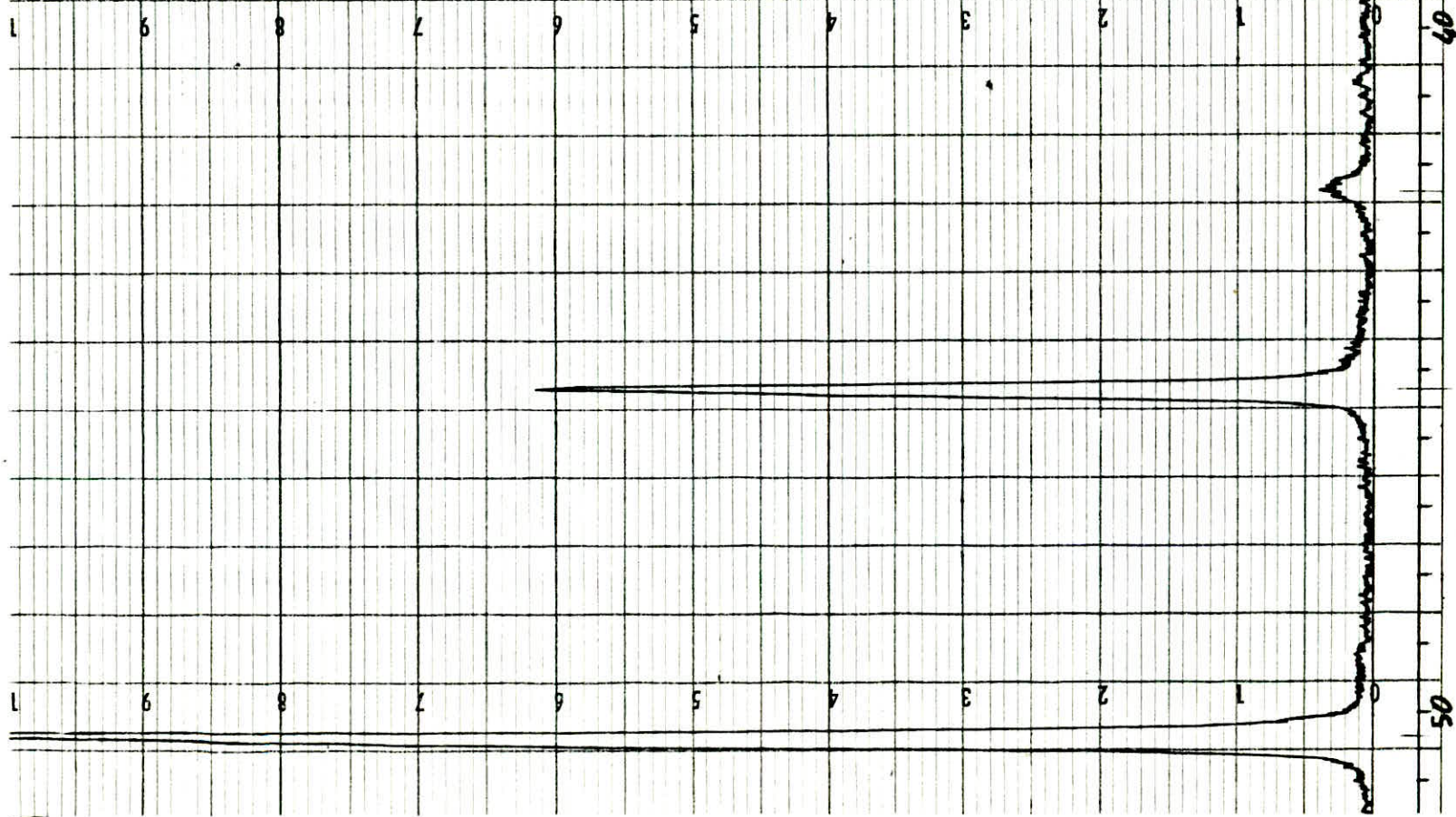


Fig : 19-7



Rayt: Cobalt. $V_{\alpha} = 1.27$	N° éch.: 25 <sup>100</sup>
Rég. Kv, mA: 30.8	Etalon: néant <sup>25</sup>
Fen. entr.: $1^{\circ}$	Vit. gonis.: $1/2^{\circ} - 20$
Sort.: $1/4^{\circ}$	pap.: $1/2$ cm
H. T. compt.: 1135 V.	pos à pos min: /
Imp. min: 4.104	Temps comptage: /
Er. Stat.: $2\%$	Nbre impul.: /
Discrim: —	Atten: 2

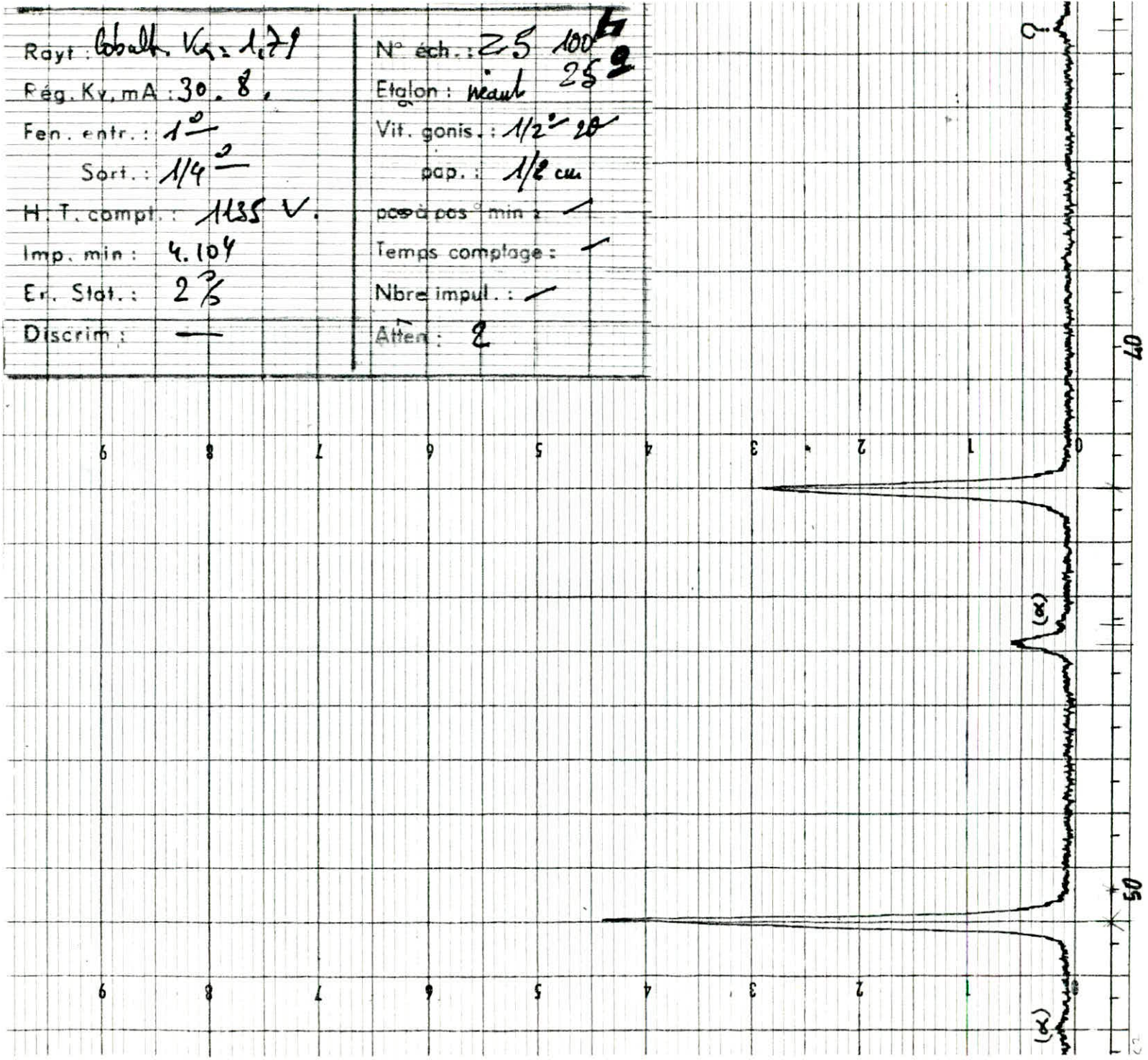


Fig: 19-8

7I



Rayt: Co. $K_{\alpha}$ 1.79	° éch: 25 $\frac{100}{h}$
Rég. Kv, mA: 30 8	Stalon: neut $\frac{100}{\theta}$
Fen. entr.: 1 <sup>2</sup>	Vit. ganis.: 1/2 °
Sort.: 1/4	pap.: 1/2 cm.
H. T. compt.: 1135.	pas à pas ° min: /
Imp. min: $9 \cdot 10^4$	Temps comptage: /
Er. Stat.: 2%	Nbre impul.: /
Discrim: /	Atten: 2.

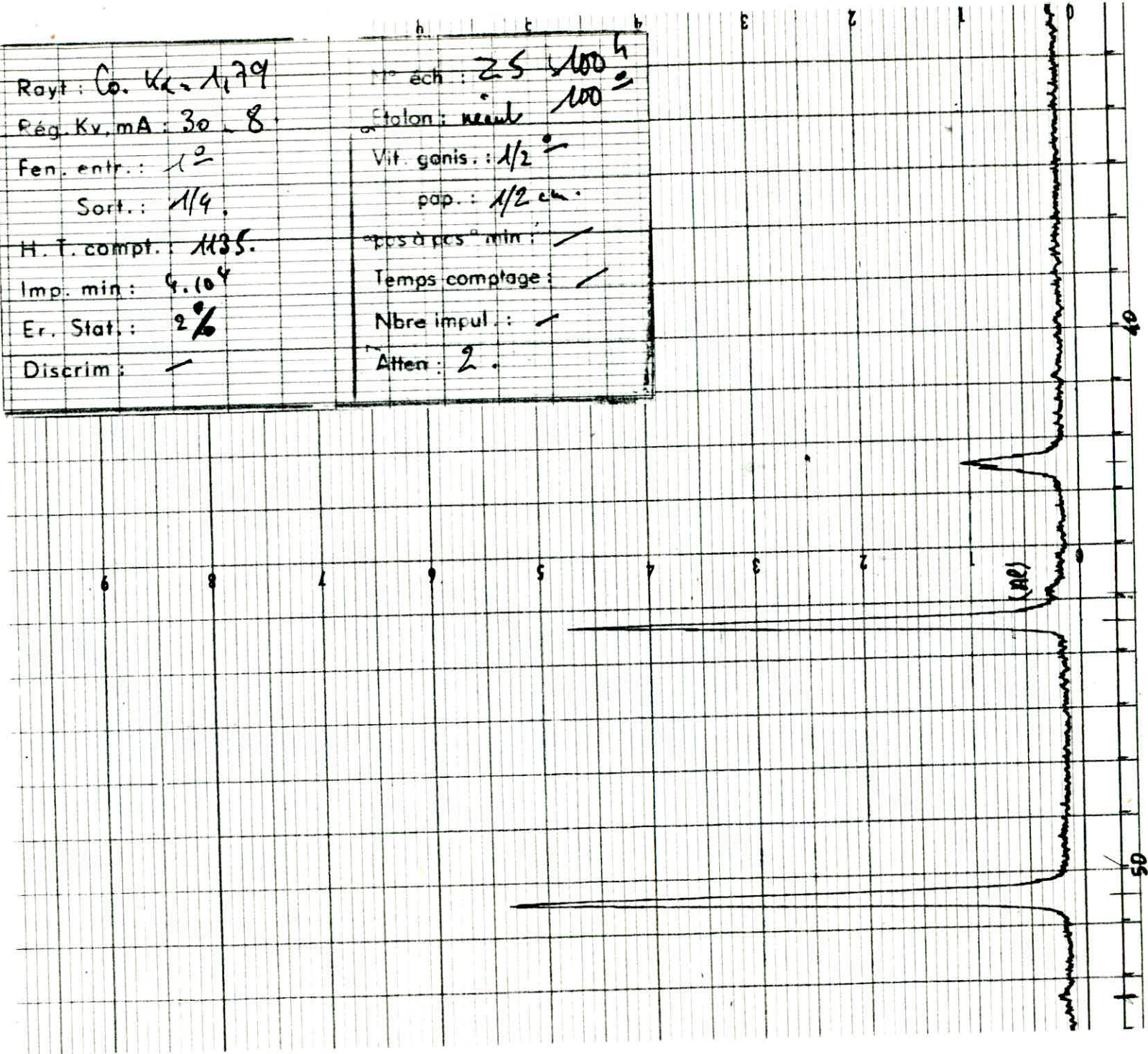


Fig: 19-9

Cette variation dépend des arrangements et de la nature des atomes.

- La phase  $\alpha$  n'apparaît pas à tous les états tablés -eaux II et I2, et les nombres de réflexions correspondants ne sont pas nombreux.

- Une nouvelle phase apparaît, correspondant à l'angle de diffraction de ( $2\theta = 34^\circ$ ) environ. Cette phase est nouvelle et ne correspond pas à l'étude théorique envisagée, nous ne pouvons donc pas nous engager à dire quoi que ce soit sur cette phase.

Cette nouvelle phase apparaît, et elle est différente des phases  $\alpha$  et  $\beta$ . Cette nouvelle phase apparaît pour les deux alliages étudiés et à tous les états, elle disparaît ( fig 22 ) pour l'alliage Zamak 5 vieilli 100 heures à 100°C.



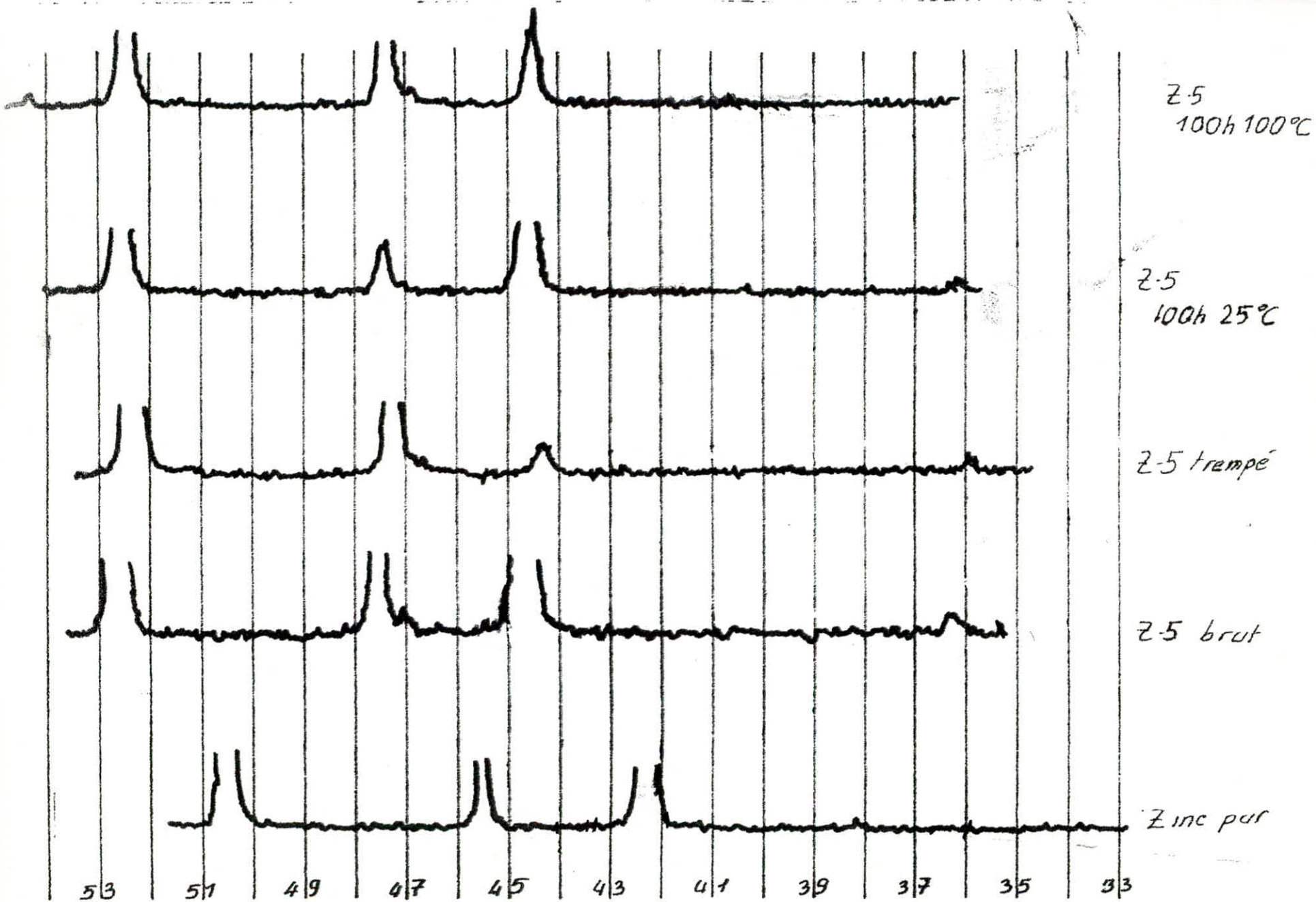


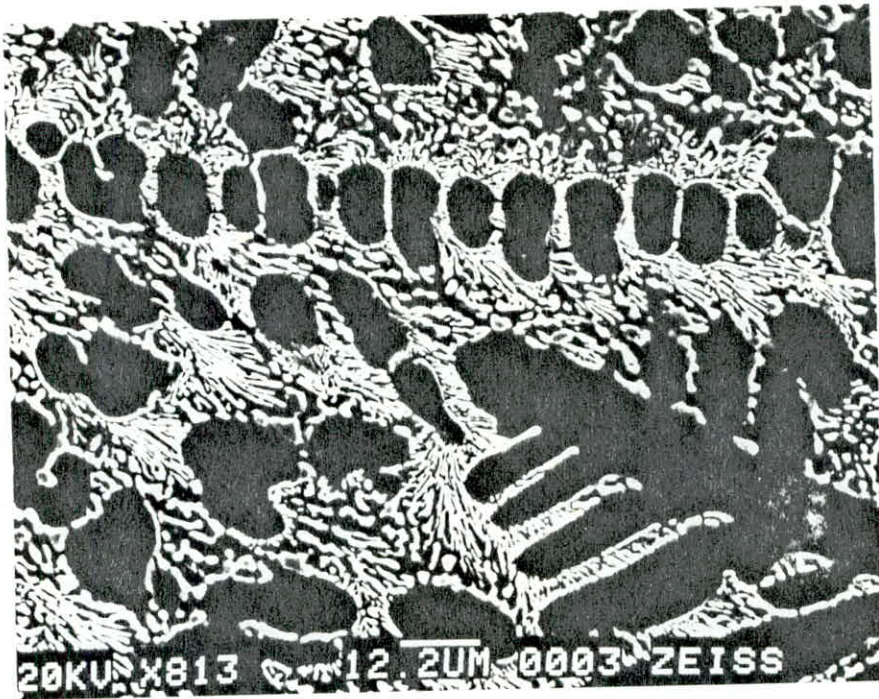
Fig: ~~20-2~~ Reflexion des Zamak:5 et du Zinc



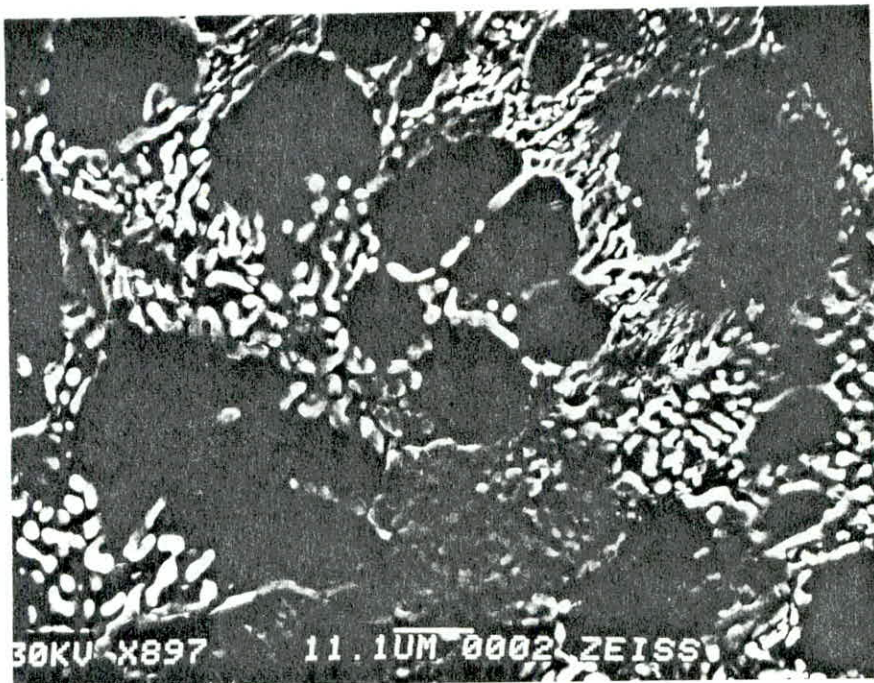
Fig: 20-~~2~~ Reflexion des Zamak: 3 et du Zinc

-75-





12-3 - Zamak:5 - Brut de coulée



Zamak:5 - Vieilli pendant 15<sup>h</sup> à 100°C



ZI	NC	Z A M A K 3 BRUT		Z A M A K 3 TREMPE		ZA VIEILLI	MAK3 à 25° 100 H	ZA VIEILLI	MAK3 à 100° 100 H	PHASE Identifiée.
(A)	I	(A)	I	(A)	I	(A)	I	(A)	I	
.	.	3,06	500	3,06	600	3,07	600	3,05	700	
2,74	600	.	.	.	.	.	.	.	.	
2,48	32000	2,50	11600	2,49	7400	2,49	400	2,49	5700	
.	.	2,32	800	2,34	900	2,35	200	2,34	400	
2,31	8600	2,32	3200	2,31	4800	2,33	4500	2,31	3900	
2,10	34400	2,10	19800	2,10	19800	2,10	12400	2,10	19800	
<del>2,69</del>	.	2,03	400	2,03	500	.	.	.	.	
1,69	5400	1,69	2700	1,69	1600	1,69	1800	1,69	2600	
1,34	3000	1,34	2300	1,34	1600	1,35	2800	1,34	2200	
1,33	4500	1,33	9200	1,33	1500	1,34	1200	1,33	1300	
.	.	1,24	300	.	.	.	.	1,23	600	
1,24	1200	1,24	300	.	.	.	.	1,23	600	
1,17	3600	arrêté à 93°		.	.	.	.	1,17	2400	
.	.	.	.	.	.	.	.	1,17	1400	
!1,12	!1800	!.	!. !.	!. !.	!. !.	!. !.	!. !.	!. !.	!. !.	! ! ! !

TABLÉAU 11. Résultats tirés des diagrammes radiocristallographique de l'alliage ZAMAK 3.

ZINC		ZAMAK 5 BRUT		ZAMAK5 TREMPE		ZAMAK 5 VIEILLI à 25°C 100 h		ZAMAK 5 VIEILLI à 100°C 100 h		PHASE
(A)	I	(A)	I	(A)	I	(A)	I	(A)	I	
.	.	3,03	500	3,06	800	3,04	800	.	.	
2,74	600	.	.	.	.	.	.	.	.	
2,48	32000	2,45	10900	2,47	1600	2,46	11800	2,47	3400	
.	.	2,33	600	disparait		2,33	800	2,34	800	
2,31	8600	2,31	5300	2,32	24600	2,31	2400	2,32	18200	
2,10	34400	2,09	12900	2,10	19800	.	.	2,10	20600	
.	.	.	.	.	.	2,02	400	.	.	
1,69	5400	1,68	1500	1,69	1800	1,68	1600	1,69	1600	
.	.	1,69	400	.	.	.	.	1,68	800	
1,34	3000	1,33	3300	1,34	1400	1,34	2800	1,34	1200	
1,33	4500	1,33	3300	1,34	1400	.	.	.	.	
1,24	1200	.	.	.	.	.	.	.	.	
1,17	3600	arrêté à 90°		1,17	1200	1,17	3800	1,17	2600	
.	.	.	.	1,16	400	1,17	2000	.	.	
!1,12	!1800	! .	! .	!1,12	! 1800	! .	! .	! .	! .	!

TABLEAU. 12 : Résultats tirés des diagrammes radiocristallographiques de l'alliage ZMAK 5.

## DEPOUILLEMENT DES DIAGRAMMES RADIOCRISTALLOGRAPHIQUES.

Nous avons calculé les distances réticulaires des plans (hkl).

L'identification des plans diffractés se fait par l'utilisation de la loi de Bragg :  $n \lambda = 2 d \sin \theta$ .

OU N EST UN ENTIER, il correspond à la diffraction d'ordre n.

$\lambda$  Est la longueur d'onde du rayonnement incident.

$d_{hkl}$  la distance réticulaire des plans (hkl)

$\theta$  Est l'angle de diffraction.

Les résultats expérimentaux : montre la présence de 2 phases  $\alpha$  et  $\beta$  et une phase inconnue.

Pour la phase :

Les résultats expérimentaux obtenus pour le zinc pur coïncident avec les résultats du zinc trouvés dans le fink Index du fichier diffractométrique année 1972. Les réflexions sont dans le tableau...

Zinc Pur.	d(A)	I
	2,47	50
	2,31	40
	2,09	100
	1,69	30
	1,34	30
	1,33	20
	1,17	20
	1,12	20

Tableau ...

Fiche 4.83I

Ref J.C P.D.S

FINK INDEX DU FICHIER

Diffractométrique.

Tableau 13. Réflexions

des fiches 4.831



Ainsi pour les deux alliages étudiés, Zamak 3 et Zamak 5, les réflexions, étaient semblables à celle du zinc, de là, on a déduit que la phase  $\beta$  est hexagonale compacte.

- La phase  $\alpha$  .

Cette phase existe dans les alliages Zamaks 3 et 5, les réflexions ne sont pas nombreuses, celles qui existent coïncident avec les distances réticulaires de l'aluminium, trouvés dans la fiche I.C.P.D.S N° 4.0787.

Tableau : 14

d(A)	I	hkl
2,34	100	(III)
2,024	47	(200)
1,431	22	(220)
1,220	24	(3II)
1,169	7	(222)

fiche N° 4 0787

Expérimentalement les seules réflexions identifiées sont celle des  $d_{III}$  et  $d_{200}$  et  $d_{222}$ .

Delà, on a déduit que la phase est la même que celle de l'aluminium donc la phase est cubique à faces centrées, de paramètres  $a = 4,05 \text{ \AA}$ .

$$d_{\text{hex}} = \frac{a}{\sqrt{\frac{4}{3}(h^2 + k^2 + hk) + l^2} / (c/a)^2}$$

$$a = 276649 \text{ \AA} \quad (2,6649 \text{ \AA})$$

$$a/c = 1,856$$

Nous avons les valeurs de  $d$  en  $\text{\AA}$ , nous pourrions en déduire les  $(hkl)$  associés à chaque réflexion.

Exemple pour  $d = 2,31 \text{ \AA}$

Nous associerons  $(100)$ ,  $(110)$ ,  $(100)$ ,  $(10)$ .

$d=1,33 \text{ \AA}$ , Nous associerons  $(110)$ ,  $(210)$ .

## CONCLUSION ET INTERPRETATION.

Les zamaks 3 et 5, étudiés à l'état brut de coulée ne présentent pas de différence sur les structures micrographiques.

La dureté de l'alliage zamak 5 est toujours supérieure à celle de l'alliage zamak 3, cette différence est due au cuivre ajouté uniquement à l'alliage zamak 5.

Le cuivre durcit l'alliage de zinc à 4% d'aluminium. La structure du zamak est constituée de dendrites d'une solution solide d' $\beta$  d'aluminium dans le zinc de structure hexagonale compacte, et d'un eutectique formé de la phase  $\beta$  et d'une phase  $\alpha$  solution de zinc dans l'aluminium de structure cubique à faces centrées.

L'eutectique se présente dans certains endroits sous forme de lamelles alternées et dans d'autres sous forme globulaire;

La phase  $\beta$  est plus dure que l'eutectique.

LA TREMPE DURCIT LES ZAMAKS. Lors de ce traitement, la phase  $\beta$  observée (blanche), est sursaturée en aluminium jusqu'à 1,1% environ. La phase  $\beta$  sursaturée est dure, pour cela, on obtient une dureté élevée des zamaks lors de la trempe.

Cette phase  $\beta$  subit au cours du revenu de plusieurs heures, une précipitation, c'est le retour à l'état d'équilibre. Elle altère la dureté des zamaks.

Les duretés sont élevées avec les températures de la trempe les plus hautes. A la température élevée, la solubilité de l'aluminium dans le zinc est plus élevée, d'où une meilleure dureté.

Malheureusement, l'amélioration apportée par la trempe tend par s'affaiblir par la précipitation dans la phase  $\beta$ .



Avec le zamak 5, lors du vieillissement, la dureté est toujours supérieure à la basse température fig. <sup>16</sup>... et fig. <sup>17</sup>...

Lors du vieillissement des zamaks, la micrographie électronique nous montre une différence de la structure de l'eutectique des zamaks 3 et 5. fig. 12-3

Lors de l'étude des diffractions X, ( les échantillons de demi sections ) les raies correspondantes aux phases  $\beta$  sont présentés pour chaque type d'alliage étudié, donc la phase  $\beta$  existe et sa structure cristallographique ne varie pas, nous avons le même réseau cristallin, la maille reste identique.

Par contre les phases  $\alpha$ , n'apparaissent pas à tous les états.

$d_{111}$  n'apparaît pas au zamak 5 trempé.

$d_{200}$  n'apparaît qu'au zamak 3 subissant un vieillissement.

Nous concluons que ces réflexions n'apparaissent pas ou ne sont pas visibles.

On sait que dans une structure C.F.C, on observe des raies (002) mais non (001) ( $\bar{2}$ ). Si la structure est ordonnée on observe (001), <sup>donc</sup> dans la phase  $\alpha$  n'est pas ordonnée. Ceci explique que la phase  $\alpha$  présente une certaine tendance à disparaître, du fait de la faible présence du % d'aluminium : Il se produit un changement de réseau cristallin qui passe du système cubique à faces centrées au système hexagonale compacte caractéristique du zinc ( $\bar{II}$ ).

Les variations des intensités diffractées sont proportionnelles au carré du facteur de structures  $F(hkl)$ .

$$F(hkl) = \sum f_j \exp ( 2 \pi i (hu_j + vj + lw_j) ) .$$

Le facteur de structure dépend des facteurs de diffusion atomique  $f_{zn}$ ,  $f_{Al}$  et des coordonnées  $u, v, w$  des atomes Al. et Zn

Nous concluons que les variations d'intensité sont dues au changement des positions des atomes Zn Et Al.

Cette <sup>étude</sup>, nous a été bénéfique, nous avons connu le processus d'élaboration des alliages de zinc, élaborés en Algérie, et qui connaissent une application importante dans la fonderie sous-préssion.

L'étude métallographique de ces alliages, nous a permis de connaître et d'identifier les différentes phases existantes;

Les phénomènes de précipitation dans la phase  $\beta$  altèrent la dureté.

En conclusion, les résultats apportés par le vieillissement aux zamaks, s'amenuisent avec le temps.

La vitesse de précipitation importante dans la phase  $\beta$ , doit exclure l'idée d'améliorer les alliages par un traitement thermique.

La phase  $\alpha$  passe du réseau c.f.c à l'héxagonale compacte. Ce phénomène est accompagné d'une contraction généralement négligeables pour laplupart des applications industrielles, mais ~~ils~~ en font tenir compte dans le cas de fabrication de pièces de précision.

Cette étude, nous a permis de conclure qu'il existe une autre phase autre que  $\alpha$  et  $\beta$  à  $(2\theta = 34^\circ)$ .

Le manque de données, ne nous autorise pas à avancer dans les interprétations de cette phase.

Nous souhaitons que cette étude soit approfondie avec des moyens appropriés afin de mieux maîtriser ces produits élaborés en Algérie.



L I S T E D E S F I G U R E S  
.....

N°	TITRES.	PAGE.
I	Diagramme d'équilibre Zinc-Aluminium.	3
A	Diagramme température concentration.	10
B	Point critique du durcissement.	11
C	Diagramme partiel Al-Cu.	11
2	Matériels utilisés	14/15/16
3	Schéma d'une cellule et d'une cathode.	21
4	Four de coulée.	29
5	Mécanisme d'élaboration.	37
6	Schéma d'un transformateur.	31
7	Four Aluminium.	33
8	Pied de bain.	31
9	Diagramme d'équilibre Zn-Al.	39
10	Courbe de la solubilité de Al dans le Zinc.	39
11	Structure métallographique.	41
12	Dendrites apparaissant en noir.	45
13	Différents signaux emis par un solide soumis à un bombardement.	46
14	Micrographie du Zinc.	49
15	Micrographie trempe et revenu.	57
16/17	Courbes de vieillissement des zamak 3 et 5.	57/58
18/19		62/64
20	Réflexions des zamaks 3 et du Zinc.	75
21	" " " 5 " " .	74



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

- |                                                                                               |                                               |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------|
| 1. Précis de métallurgie appliquée.                                                           | A. Ross<br>B. Milet                           | 1982. |
| 2. Métallurgie générale.                                                                      | J. Benard A. Michel<br>J. Philibert J; Talbot | 1984. |
| 3. Technique de l'ingénieur. M458. ZINC                                                       | P. DREVILLE                                   | 1983. |
| 4. Technique de l'ingénieur. M2270                                                            | R. Grunberg                                   | 1976. |
| 5. Rvue de métallurgie                                                                        | A. Van; Ceulen. Ceusebe<br>Juil-AOUT          | 1982. |
| 6. Technique de l'Ingénieur.                                                                  | R. Lébre.                                     | 1978. |
| 7. Elaboration des métaux.                                                                    | C. Chaussin G; Hilly                          | 1980  |
| 8. Métallurgie physique.                                                                      | B. Chalmers                                   | 1963  |
| 9. Monographie sur les métaux de haute pureté.                                                | C. Chaudron.                                  |       |
| 10. Métallurgie T.I<br>Métallurgie structurale                                                | C. Bouchy.<br>F. Gobin.                       |       |
| 11. Technique de L'Ingénieur MI325<br>Traitement thermique des alliages de zinc.              | R; Lebre.                                     |       |
| 12. C N R S.<br>Etudes sur les possibilites de traitements<br>thermique des alliages de zino. | N; Dreule<br>P; Dreulle.                      |       |
| 13. Structure des métaux.<br>Méthodes, principes, et résultats cristallographiques.           | C.S. Barrett                                  | 1957. |



I4. Structure et propriétés des métaux

G. richardet 1970

I5. Précis de métallurgie.

L. Guillet 1958.

I6. Transformations à l'état solides des  
métaux et alliages métalliques.

L. Guillet  
P. Poupeau. 1973.

I7. Métallographie et traitements thermiques  
des métaux.

I. Lakhtine 1978.

