

10/88

26X

**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

DEPARTEMENT: **Mines & Metallurgie**

المكتبة  
BIBLIOTHEQUE —  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**S U J E T**

**etude**

**de l'influence des conditions de  
refroidissement sur les propriétés  
mécaniques des pièces en FGL 20**

Proposé par :

**C.P.V**

Etudié par :

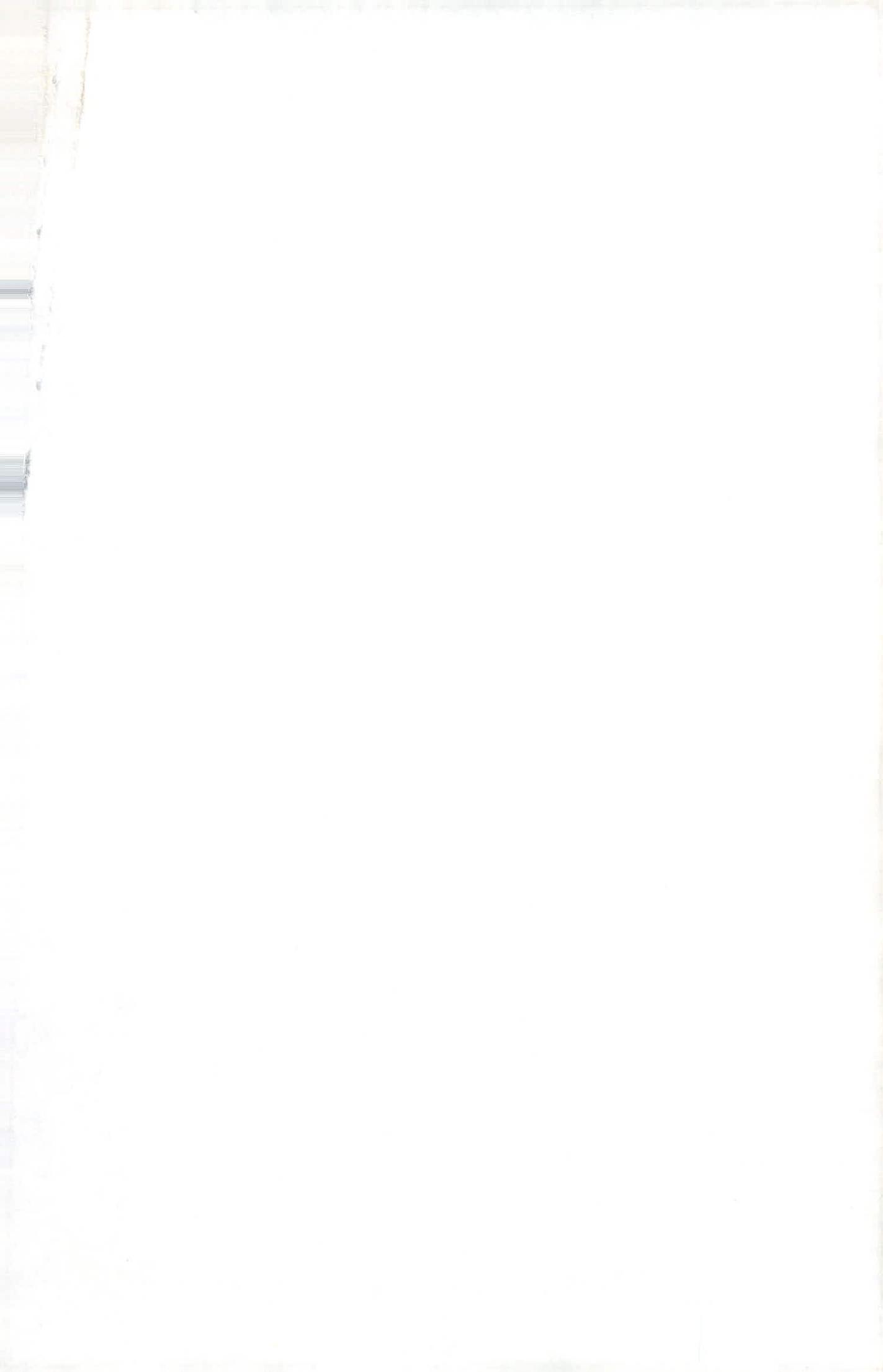
**M.MEZIANE**

**A.DASSA**

Dirigé par :

**Z.CSEPIGA**

PROMOTION : **janvier 88**



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: Mines & Metallurgie

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

etude

de l'influence des conditions de  
refroidissement sur les propriétés  
mécaniques des pièces en FGL 20

Proposé par :

C.P.V

Etudié par :

M.MEZIANE

A.DASSA

Dirigé par :

Z.CSEPIGA

PROMOTION janvier 88

DEDICACES.

Je dedie ce modeste travail.

- A mes très chers parents
- A mes frères et soeurs
- A tous mes amis.

MEZIANE B.M.

Je dedie ce modeste travail.

- A la mémoire de ma Mère
- A mon cher Père
- A mon frère
- A mes soeurs
- A tous ceux qui me sont chers.

A. DASSA

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

Nous tenons à remercier vivement tous les professeurs et les responsables du département Mines et Metallurgie qui ont contribué à notre formation , en particulier notre promoteur M<sup>r</sup> CSEPIGA et monsieur SALHI qui nous ont aidé tout au long de l'élaboration de ce projet de fin d'étude .

Nous remercions également tout le personnel de la fonderie du C P V de BERROUAGHIA , en particulier M<sup>r</sup> HASSOUN et M<sup>r</sup> MENDACI .

Enfin sans oublier tous ceux qui nous ont aidé dans la réalisation de notre projet .

2eme : de 600° à 300° dans le four avec une vitesse de 50°/h

3ème : de 300° à la température ambiante, à l'air libre.

g) Peinture :

Après un contrôle de qualité les pièces sont peintées par une peinture anticorrosive vu les conditions de travail ( eaux, pétrole.. )

- C H A P I T R E - II -

II - 1 - GENERALITES

Les fontes sont des alliages fer - carbone pouvant contenir de 1,7 à 6,7 % de carbone. Pratiquement, la fonte contient environ 3 à 4% de carbone.

Suivant la forme que prend le carbone on distingue les différents types de fonte.

A - FONTES BLANCHES :

Ce sont des fontes dont tout le carbone est sous forme de cémentite  $Fe_3C$  ( la cémentite donne à la cassure une couleur blanche ).

La fonte blanche est constituée de : perlite, lédéburite et cémentite.

B - FONTES TRUITEES :

Ce sont des fontes dont la plus grande partie du carbone ( plus de 0,8% ) se trouve sous forme de  $Fe_3C$ . Dans ce type des fontes, le graphite est le plus souvent sous forme de bâtonnets. la perlite est souvent grossière et lamellaire. La cémentite libre s'y rencontre souvent.

Structure : lédéburite + perlite + graphite lamellaire.

### C - FONTES GRISES :

Dont tout le carbone où sa majorité se trouve sous forme de graphite ( le graphite donne à la cassure une couleur grise ). Suivant la forme de graphite on distingue :

a) - Fonte grise lamellaire : où tout le graphite se trouve sous forme de lamelles.

b) - Fonte grise sphéroïdal : Elle s'obtient par addition de certains métaux alcalins où alcalino - terreux à la fonte liquide. Le principal élément employé est le magnésium ( 0,03 à 0,07 % ) qui favorise la germination du graphite, ainsi ce dernier se trouve non pas sous forme de lamelle mais de sphères dans la matrice.

c) Fonte Malléable : Les fontes malléables sont tout d'abord moulées avec une fonte blanche de première fusion, puis elles subissent un long traitement thermique à une température de 900° à 1000°C ( récuit ).

Durant ce traitement les carbures modifient son genre de combinaison au fer. La fonte est devenue ainsi plus tenace et plus résistante que la fonte grise et elle n'est pas cassante. Elle a pris une structure particulière qui la situe entre la fonte grise et l'acier coulé.

## II - 2 - FONTE GRISE LAMELLAIRE

Les fontes grises sont des fontes industrielles, au fond ce sont des alliages Fe-C-Si qui contiennent comme impuretés inévitables Mn, P et S.

Le graphite se trouve sous forme de filaments plus ou moins régulier.

En bordure de ces filaments se trouve des amas de ferrite, le reste constitué par de la perlite et quelques fois un peu de cementite.

Le graphite est une variété de carbone cristallisé; il est friable, donc très fragile. Le graphite primaire est en grosses plaquettes incurvées atteignant plusieurs mm de longueur, tandis que le graphite eutectique se présente sous forme de lamelles plus fines ou en amas. Le graphite secondaire ( ou proeutectoïde ) se dépose généralement sur les lamelles déjà existantes.

Ce sont ces lamelles de graphite qui rendent la fonte grise fragile et moins tenace que l'acier. En revanche, le graphite facilite l'usinage de la fonte et lui donne une bonne résistance à l'usure.

## S O M M A I R E

### INTRODUCTION

#### CHAPITRE I . PRESENTATION DE LA PIECE

I.1. ROLE DE LA PIECE

I.2. SOLLICITATION DE LA PIECE

I.3. FABRICATION

#### CHAPITRE II. ETUDE THEORIQUE DES FONTES GRISES LAMELLAIRES

II.1. GENERALITES

II.2. FONTE GRISE LAMELLAIRE

II.3. COMPOSITION CHIMIQUE

II.4. STRUCTURE

II.5. MECANISME DE CRISTALLISATION DU GRAPHITE LAMELLAIRE

II.6. CARACTERISTIQUE MECANIKES DES FONTES LAMELLAIRE

II.7. CONDITION DE REFROIDISSEMENT

II.8. INFLUENCE DES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT SUR  
LE GRAPHITE

#### CHAPITRE III. TRAITEMENTS THERMIQUES

III.1. DEFINITION

III.2. CYCLE THERMIQUE

III.3. MILIEU DE CHAUFFAGE

III.4. RECUIT

III.5. RECUIT D'ADOUCCISSEMENT

III.6. TREMPE ET REVENU

#### CHAPITRE IV . METHODES ET MATERIAUX EXPERIMENTALES

IV.1. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

IV.2. METHODES EXPERIMENTALES

#### CHAPITRE V. RESULTATS ET INTERPRETATION

V.1. RESULTATS EXPERIMENTAUX

V.2. INTERPRETATION

CONCLUSION

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

Les nombreuses applications de la fonte grise sont dues certainement à :

- une bonne coulabilité qui permet l'obtention par moulage des pièces de formes compliquées .
- une bonne usinabilité due à l'action du graphite qui joue le rôle d'un lubrifiant .
- un prix de revient qui n'est pas très élevé .
- une bonne résistance à la corrosion et à l'usure .

Cette présente étude réalisée au C P V de Berrouaghia a pour but d'étudier l'influence des conditions de refroidissement sur les propriétés mécaniques des pièces coulées en F G L 20 .

Ainsi les essais mécaniques faits sur des éprouvettes ayant différentes épaisseurs avant et après traitements thermiques, et l'étude métallographique , nous permet de donner une interprétation sur l'influence des conditions de refroidissement

Cette étude se présente comme suit :

- un premier chapitre qui consiste à la présentation de la pièce ( rôle , sollicitation ; fabrication )
- un deuxième chapitre qui est consacré à l'étude théorique des fontes grises lamellaires .
- le troisième chapitre contient les traitements thermiques utilisés dans notre étude .
- les deux derniers chapitres sont réservés pour l'étude expérimentale , les résultats et les interprétations .

Et on clôture notre étude par une conclusion .

- C H A P I T R E - I -

PRÉSENTATION DE LA PIÈCE

I - 1 - RÔLE DE LA PIÈCE :

Le corps spiral sert à capter l'eau sortant de la roue et à partiellement transformer son énergie cinétique en énergie de pression.

I - 2 - SOLLICITATION DE LA PIÈCE :

La pièce présentée est une partie hydraulique d'une pompe à eau de type 40 HVA 150 - 5.

Son débit est (  $9 \div 23$  ) m<sup>3</sup> / h et H<sub>max</sub> ( 28 m ) .

La pièce est soumise à une pression de 10 bar, elle doit assurer une bonne étanchéité et une bonne résistance à la corrosion, car la pompe peut - être utiliser dans le domaine de l'agriculture, refoulement des eaux, de pétrole.

I - 3 - FABRICATION ( Différentes étapes ) :

Le corps spiral est une pièce moulée, coulée en sable avec de la FGL 20.

a) - Coulée :

Généralement la température de coulée pour une fonte grise est située entre 1300° C et 1400 ° C suivant les dimensions de la pièce, la vitesse de coulée doit - être fixée.

b) - Moulage :

Son avantage est de permettre la réalisation des pièces complexes présentant d'importantes cavités et de forme compliquées avec un minimum d'usinage. Le procédé de moulage utilisé au niveau de la C P V est : le moulage mécanique en sable.

Le sable est caractérisé par différentes qualités : résistance mécanique, perméabilité, plasticité et réfractarité.

Deux deux sortes de sable sont utilisées :

\* Sable de moulage :

- 93 % de vieux sable
- 0,6% de sable neuf
- 0,7% de Bentonite
- 0,3% de poussière de charbon.

.../...

\* Sable de noyautage :

\*\* Procédé Cold BOX ( noyau extérieur )

96,8    : 98% de sable siliceux  
 1,5    :    2% de résine

\*\* Procédé au CO<sub>2</sub> ( noyau central )

95    : 95 % de sable neuf  
 2,4   : 4% de verre soluble  
 1 % de sciure de bois.

c) Décochage : ( Démoulage ) :

Après refroidissement lent dans le moule on effectue cette opération qui permet la séparation de la pièce du moule à l'aide d'une machine secousseuse.

d) Debavurage :

Cette opération consiste à séparer les masselottes et les jets de coulée de la pièce à l'aide d'une meule.

e) Ebarbage :

S'effectue à l'aide d'une machine grenailleuse et sert à débarrasser les grains de sable restant sur la pièce.

.../...

f) Traitement thermique :

Les pièces coulées en F G L 20 subissent un traitement thermique: recuit d'adoucissement.

Ce traitement thermique permet d'éliminer les tensions internes et de dissoudre la cémentite afin d'obtenir une structure ferritique ductile, ainsi les pièces obtenues présentent une très bonne usinabilité.

Recuit d'adoucissement : C P V

S'effectue de la manière suivante :

\* Enfournement à 300° C :

Chauffage des pièces jusqu'à 900 °C avec une vitesse de 150°/h dans le but de dissoudre la cémentite et obtenir une structure austénitique.

\* Maintient de 3 heures à 900° C pour permettre à la cémentite de se dissoudre et au carbone de se diffuser dans l'austénite.

\* Refroidissement ; lent en 3 étapes

1ere : de 900° à 600° C dans le four avec une vitesse de 30°/h

.../...

Les fontes les plus utilisées sont les fontes hypoeutectiques titrant :

- 2,4 - 3,8 % C
- 1,2 - 3,5 % Si
- 0,25 % P
- 0,9 % Mn

a) Elaboration de la fonte grise lamellaire :

L'élaboration de la fonte grise se fait dans divers appareils de fusion, parmi lesquels on peut citer : le cubilot et les fours électriques, au CPV de Berrouaghia la FGL est élaborée dans un four à induction.

La charge métallique est composée de :

- 10% de ferrailles
- 45% de retour de production
- 35% d'Hématite ( 3,9 %C; 1,96% Si; 0,68%Mn; 0,04% P; 0,024 % S ).
- 10% de fonte neuve ( .SNS )

b) Four à induction :

Il fonctionne selon le même principe qu'un transformateur. Un enroulement primaire, alimenté par un courant alternatif produit par induction des courants de très fortes intensités

dans la masse métallique à chauffer, qui constitue l'enroulement secondaire. Ces courants induits provoquent la fusion du métal, par simple effet joule.

- Capacité : 12 t
- Puissance : 2650 KW
- $\varnothing$  intérieur du creuset : 1,11 m
- Hauteur : 1,78 m

## II - 3 - COMPOSITION CHIMIQUE

La fonte grise contient en dehors du Fe les éléments suivants :

### a) - Le carbone :

La teneur en carbone varie couramment de 3 à 4% dans les fontes grises lamellaires, à la température ambiante le carbone peut exister sous trois formes.

- Carbone graphite qui adoucit la fonte, mais diminue sa résistance.
- Carbone combiné existant sous forme de cémentite  $Fe_3C$  qui durcit la fonte.

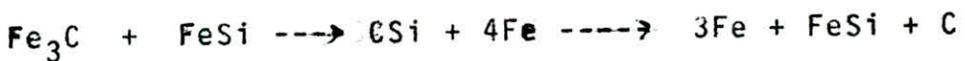
- Carbone dissout dans la ferrite

Plus la teneur en carbone est grande, plus il se forme de graphite et plus les propriétés mécaniques de la fonte

sont faibles. Par contre, des propriétés de moulage ( coulabilité ) élevées ne peuvent être assurées que par une teneur en carbone supérieur à 2,4%, ainsi les difficultés d'obtention des pièces diverses sans défauts ( criques, retassures ) apparaissent au fur et à mesure que la teneur de la fonte en carbone total est basse, c'est pourquoi à l'échelle industrielle, il est guère possible d'envisager une teneur en carbone inférieur à 2,8%. Les meilleurs résultats sont obtenus pour la composition eutectique.

b) - Le silicium :

Le silicium tend à provoquer la formation de la fonte grise, c'est à dire il favorise de plus la précipitation du carbone sous forme graphitique selon la réaction.



Par conséquent, le silicium adoucit la fonte et sa teneur varie de 0,5 à 3%, dans la FGL, le plus souvent il varie entre 1,2 à 3,5.

Le silicium est un élément graphitisant, il produit un décalage des lignes du diagramme de solidification Fer-carbone. ( FIG 1 et 2 page 14 )

Il modifie le point eutectique qui se déplace à gauche pour un alliage sans silicium, autrement dit on a :

le point eutectique à 4,3% C pour Si = 0 %

le point eutectique à 3,7 %C pour Si = 2 %

La présence de graphite en importante quantité va affaiblir les propriétés mécaniques de la fonte, donc si la teneur en carbone augmente, la teneur en silicium doit diminuer.

Le silicium agit dans le même sens que le ralentissement du refroidissement.

Les teneurs en Si varient en sens inverse avec l'épaisseur de la pièce et ceci pour garder les propriétés mécaniques semblables. Par ailleurs si la teneur en Si augmente, la température du début de solidification augmente aussi. Le silicium étant un élément graphitisant et permet l'augmentation de la coulabilité de la fonte.

#### c) - Le Manganèse :

Le manganèse accroît la finesse des lamelles de graphite. C'est donc un élément carburigène ou antigrahitisant comme tous les éléments qui forment des carbures plus stables que  $Fe_3C$ . Sa teneur varie habituellement entre 0,45 et 0,90 %.

FIG1

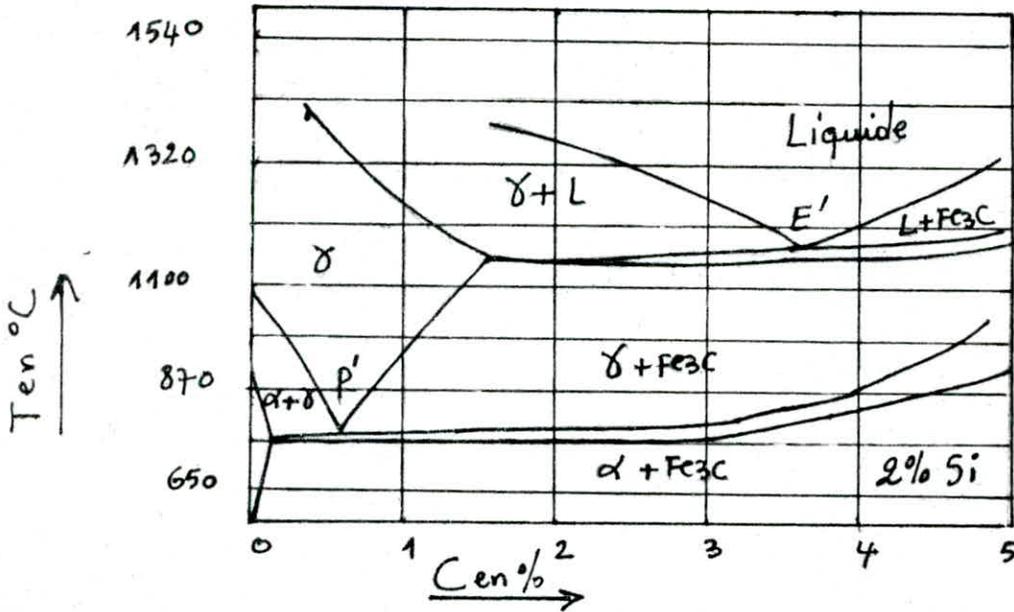
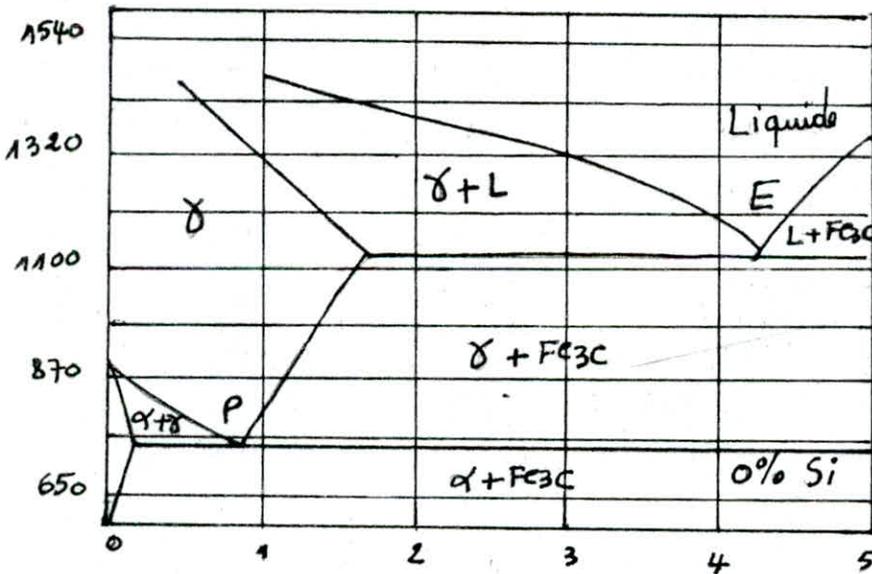


FIG2



P : Point eutectoïde  
 E : Point eutectique

P' : section de la vallée eutectoïde  
 E' : Section de la vallée eutectique

Influence du silicium sur le diagramme Fe-C

Le Mn est aussi un élément dé sulfurant actif, il a pour effet de durcir la fonte c'est à dire fait abaisser sa résilience, il forme avec le soufre des inclusions de MnS dont le rôle est négligeable, en plus il affine quelque peu la perlite, ce qui entraîne l'élévation de la résistance à la traction surtout pour des teneurs plus élevées.

La teneur minimum en manganèse doit répondre à la formule Pratique  $Mn\% = 1,72 + S\% + 0,3$ , de telle façon que le rapport des teneurs en Mn et S soit supérieur à celui --- de leur poids atomique et pour que tout le soufre soit combiné au manganèse sous forme de MnS qui est moins dangereux que le sulfure de fer FeS.

d) - Le soufre :

Le soufre est un élément qui ralentit sensiblement la graphitisation donc c'est un élément néfaste. Le soufre provoque le grossissement des lamelles de graphite, augmente le retrait de la fragilité, diminue la fluidité et favorise la formation des sulfures. C'est une impureté nocive qui altère les propriétés mécaniques et la coulabilité de la fonte. C'est pourquoi sa teneur doit être ramenée à 0,1 ou 0,12 %. En général la teneur en soufre ne doit pas dépasser 0,15 %.

e) - Le phosphore :

Dans une fonte grise la teneur en P ne doit pas dépasser 0,2%, mais parfois on l'admet jusqu'à 0,5%.

Le phosphore abaisse le point de fusion de la fonte, augmente la fluidibilité, mais l'existence de P sous forme de phosphore eutectique est une cause de fragilité. Un taux élevé dans la structure entraîne la formation des inclusions solides dures d'un eutectique phosphoreux binaire dans les fontes grises  $Fe_3P$ .  
La formation de l'eutectique améliore la coulabilité de la fonte.

L'analyse chimique de la FGL 20 selon le cahier de charge est la suivante :

	C %	Si %	M %	S%	P%
Cahier de charge	3,3 ÷ 3,6	1,6 ÷ 2,2	0,5 ÷ 0,75	0,12	0,45
Analyse faite sur copeaux d'une pièce réelle	3,50	1,74	0,58	0,027	0,38

## II - 4 - STRUCTURE

La fonte est constituée d'une matrice perlitique, ferritique ou ferrito - perlitique où se trouvent mêlées des particules de graphite en forme de lamelle, des phases d'eutectiques phosphoreux et d'autres inclusions secondaires dont le rôle est négligeable.

A l'état brut de coulée, la matrice est composée de ferrite, perlite ou d'un mélange phosphoreux lorsque celui - ci dépasse 1%. Elle peut contenir même des carbures lorsque la vitesse de refroidissement est importante.

### a) - MATRICE PERLITIQUE :

Ses caractéristiques sont directement liées à sa finesse c'est à dire la dureté croît avec la finesse de ses lamelles, elle est de l'ordre 200 jusqu'à 300 HB environ.

### b) - MATRICE FERRITIQUE :

Dans les fontes grises les propriétés de la ferrite peuvent être très modifiées par la mise en solution solide de Si et de P, donc la matrice ferritique est plus dure que celle des aciers car la teneur en silicium est plus élevée, la tendance à sa formation croît avec la quantité de carbone équivalent.

c) - Cementite :

C'est un constituant qui possède une dureté très élevée, elle est de l'ordre de 700 à 800 HB.

d) - Steadite : ( eutectique phosphoreux )

Constituant souvent réparti en réseau autour des cellules eutectiques, sa dureté varie <sup>de</sup> 400 à 600 HB. En l'absence de cémentite libre, il constitue la partie la plus dure du métal.

e) - Graphite :

Dans les fontes grises le graphite est souvent ramifié, plus ou moins fin et abondant. Dans l'espace il se présente comme des feuilles au profil plus ou moins tourmenté. Au microscope, il apparaît sous forme de bâtonnets aux extrémités effilées, leur longueur peut atteindre le millimètre. Les différents types de graphite lamellaire sont :

Type A : graphite en lamelles réparties uniformément

Type B : graphite en rosettes.

Type C : graphite en amas

Type D : graphite interdendritique sans orientation préférentielle.

Type E : graphite interdendritique orienté.

## II - 5 - MECANISME DE CRISTALLISATION DU GRAPHITE LAMELLAIRE

Selon : A DESY ET J. VIDTS.

Le graphite lamellaire prend naissance et se développe au sein du liquide eutectique. Le cristal en cours de croissance n'est pas gêné par le liquide ce qui lui permet de prendre son habitus normale.

La vitesse de croissance suivant le plan de base du cristal hexagonal de graphite est un multiple de celle qui est suivant l'axe.

Il en résulte qu'un cristal de graphite se présente sous forme de plaquettes. Cette dernière est droite lorsque le cristal se développe librement dans le liquide ( Graphite primaire ), par contre les cristaux de graphite eutectique sont toujours incurvés et gauches, car leur croissance qui commence librement est gênée par la phase austénitique qui les enveloppes. La croissance des cristaux de graphite eutectique peut - être décrite comme suit :

Le germe de graphite prend naissance dans le liquide et se développe librement jusqu'à la formation d'une petite plaquette. Au cours de sa croissance il enlève le carbone de liquide en créant un gradient de concentration en carbone.

Au visionnage immédiat il se forme un germe d'austénite à partir duquel il se développe un cristal d'austénite. Le dernier se développe très rapidement vers la plaquette de graphite, il recouvre bientôt les deux faces, d'abord partiellement puis totalement. Le cristal du graphite est encore en contact avec le liquide par ses extrémités, il continue à croître par diffusion de carbone à travers l'enveloppe d'austénite ( L'épaississement des lamelles ) et par apport de ses extrémités. Ce qui beaucoup plus rapide, on atteint finalement le stade de l'enveloppement **total** du cristal de graphite.

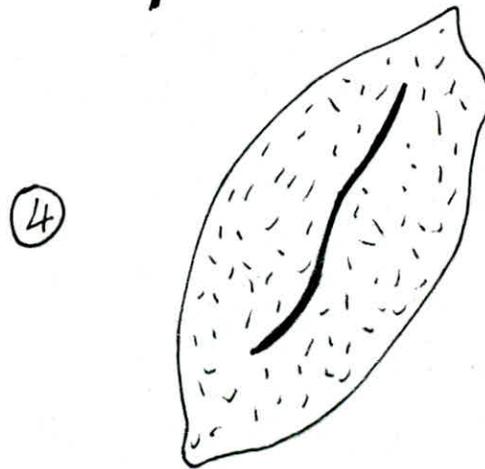
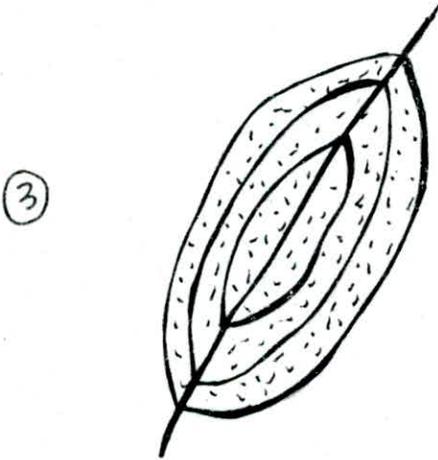
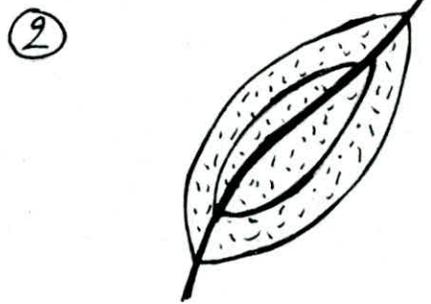
## II - 6 - CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES FONTES LAMELLAIRE :

La morphologie du graphite dans les fontes grises qui est sous forme lamellaire joue un rôle essentiel sur la résistance à la traction. Le graphite est un constituant sans résistance mécanique et sa présence correspond à des vides sous formes de fissures naturelles.

Dans ce cas, les propriétés mécaniques dépendent de la quantité, de la grandeur et de la distribution de graphite.

Plus la résistance de la fonte est grande, plus la quantité des inclusions de graphite est petite, fines et isolées. Les lamelles de graphite diminuent brusquement la résistance à

MÉCANISME DE LA CRISTALLISATION DU GRAPHITE  
LAMELLAIRE DANS LE LIQUIDE EUTECTIQUE



à la charge de rupture et la plasticité de la fonte.

La matrice joue un rôle important sur les propriétés mécaniques, ainsi la résistance à la traction d'une fonte est d'autant plus grande que la matrice est plus résistante. Pour la dureté, elle est déterminée essentiellement par la matrice métallique de la fonte.

La structure perlitique assure une tenue à l'usure, par contre la structure ferritique diminue la tenue à l'usure et la résistance et augmente la plasticité et la ductilité.

L'épaisseur des pièces a aussi un rôle important, car elle fait varier la vitesse de refroidissement qu'elle même a une grande influence sur la grosseur et la répartition du graphite ainsi que sur la structure de la matrice.

La résistance et la fragilité varient dans le sens contraire de l'épaisseur.

## II - 7 - CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT

Elles sont fixées par :

- Le métal ( température de coulée )
- Le moule ( nature des parois )
- La pièce ( Epaisseur ).

a) - Le métal ( température de coulée ) :

Pour les fontes grises la température de coulée varie entre 1300° C et 1400°C.

La vitesse de coulée doit - être fixée pour la même série des pièces fabriquées.

b) - Le moule ( Nature des parois ) :

Au niveau de CPV de Berrouaghia, les pièces sont coulées en sable. Le sable de moulage est caractérisé par sa qualité refractaire et sa perméabilité au gaz ( porosité ).

La composition du sable a été donné dans le CHAPITRE I

c) Massivité ( épaisseur de la pièce ) :

On peut considérer que la vitesse de refroidissement dépend de l'épaisseur, si on admet que la température de coulée varie relativement peu et que la nature du sable reste invariable.

La sensibilité à l'épaisseur c'est à dire la variation de la constitution et de la microstructure en fonction de celle-ci, est une caractéristique originale des fontes parmi les alliages de fonderie. Les propriétés mécaniques et les

structures peuvent se manifester entre diverses sections différentes d'une même pièce ou même entre la surface et le coeur d'une section importante.

Les différentes vitesses de refroidissement en fonction de l'épaisseur et en formation des structures ( figure II p 25 ) font apparaître des contraintes internes importantes susceptibles de produire des fissures.

## II - 8 INFLUENCE DES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT SUR LES GRAPHITE

L'influence du refroidissement sur la structure du graphite est intéressante surtout pour les fontes industrielles du type hypoeutectique.

On se rend fort bien compte de l'influence de la vitesse de refroidissement par l'examen d'une éprouvette témoin de coulée. Si la pièce présente des sections différentes, la petite section est plus blanche que la forte section qui est très grise. De même les lamelles de graphite sont plus longues à mesure que l'on se rapproche de la forte section. On note aussi que la formation du graphite au refroidissement lent a lieu pendant la solidification de l'eutectique, période pendant laquelle l'eutectique se décompose en graphite et austénite, selon le système stable. C'est le contraire au refroidissement rapide où apparaît la structure blanche.

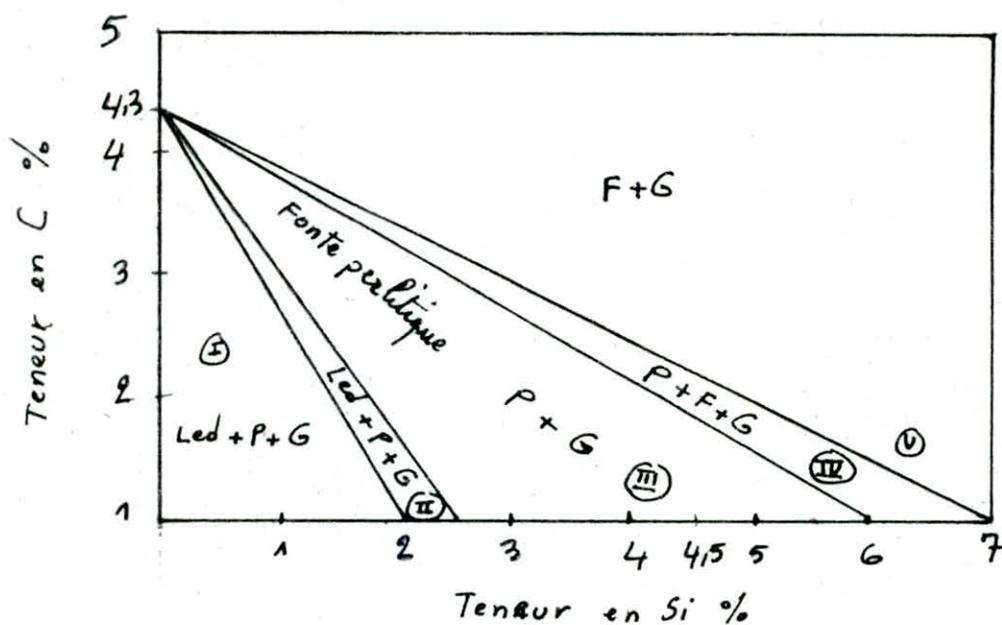


Fig I

- (I) Fonte blanche      (II) Fonte traitée (mi blanche-mi grise)  
 (III) Fonte grise perlitique      (IV) Fonte grise perlite-ferritique  
 (V) Fonte ferritique et lamellaire

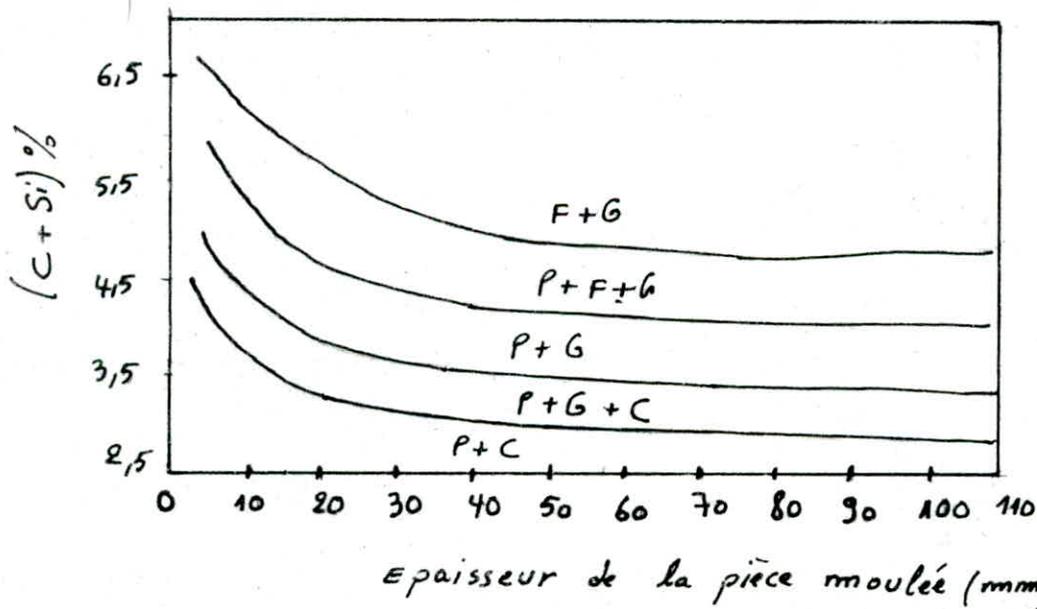


Fig II

Fig I: Influence de C et Si sur la structure de la fonte

Fig II: Influence de la vitesse de refroidissement et de la somme C + Si sur la structure de la fonte

C H A P I T R E - III -TRAITEMENTS THERMIQUESIII - I DEFINITION :

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage suivi de refroidissement, qui ont pour but de donner à une pièce métallique les propriétés les plus convenables pour son emploi où sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer les caractéristiques mécanique.

D'une manière générale, un traitement thermique ne modifie pas la composition chimique, mais il peut apporter des modifications relatives aux cas suivants :

- Constitution ( Etat de carbone )
- Structure
- Etat mécanique ( les différences de température aux divers points de la pièce provoquent des irrégularités de dilatation qui peuvent créer des contraintes propres et causer des déformations externes ).

Il existe trois types principaux de traitement thermique qui sont :

- Le recuit
- La trempe
- Le revenu

.../...

### III - 2 - CYCLE THERMIQUE

Techniquement, un traitement thermique est défini par la variation de la température en fonction du temps .

Un cycle thermique comporte 3 phases :

- Chauffage
- Maintient
- Refroidissement.

### III - 3 - MILIEU DE CHAUFFAGE

Dans un traitement thermique on cherche uniquement la modification de la structure, sans modifier la composition chimique de la matière, mais au cours du traitement, les pièces sont exposées à l'influence de l'atmosphère de four et peuvent subir des modifications chimiques en surface ( décarburation, oxydation ) si le chauffage se fait dans l'air donc il est souhaitable d'utiliser une atmosphère contrôlée qui soit neutre vis à vis de la matière.

### III - 4 - LE RECUIT

Les buts essentiels de recuit sont :

- Diminution de l'hétérogénéité chimique produite au cours de la solidification.

.../...

- Réduction des contraintes internes
- Adoucissement du métal

- Amener le métal en équilibre physico-chimique et mécanique et tend à réaliser l'équilibre structural.

L'état recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité ( allongement, résilience ) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance ( résistance à la traction, limite élastique et dureté ).  
Suivant les effets à réaliser, on peut distinguer plusieurs types de recuits

- 1 Recuit d'homogénéisation
- 2 Recuit de regeneration
- 3 Recuit d'adoucissement
- 4 Recuit de détente.

### III - 5 - RECUI D'ADOUCCISEMENT

( Recuit utilisé au complexe pompe et vane de Berrouaghia )  
Afin de faciliter l'usinage de métal on procède par ce recuit et ceci en abaissant la dureté et d'améliorer la plasticité.

.../...

Le plus souvent les structures et les propriétés désirées des fontes grises sont obtenus à l'état brut de coulée c'est à dire sans traitement thermique pour des raisons évidentes de simplification et d'économie, mais ce traitement est nécessaire dans le cas des pièces contenant des carbures où même simplement plus de perlite qu'il en faudrait, donc un adoucissement par recuit graphitisant où ferritisant est en général recommandable.

Cycle de recuit d'adoucissement :

- Enfournement se fait à 300 ° C
- Chauffage jusqu'à 900° C de 4 heures avec une vitesse de 150° C / h.
- Un maintient de 3 heures à 900° C
- Refroidissement en 3 étapes.

1ere étape : entre 900 ° et 600° de 10 heures avec une vitesse de 30° C / h.

2ème étape : entre 600° et 300° de 6 heures avec une vitesse de 50° C / H.

3ème étape : Refroidissement à l'air.

.../...

a) Recuit graphitisant : ( Graphitisation des carbures ).

C'est un traitement thermique d'adoucissement qui décompose les carbures libres suivant la réaction  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$

Le carbone décomposé se précipite à l'état de graphite ( du fait, de l'évolution du système métastable vers la forme stable ).

Ce principe appelle aux remarques fondamentales suivantes

- Soit la précipitation du graphite secondaire sur le graphite eutectique qui augmente l'épaisseur.
  - Soit la précipitation du graphite secondaire libre sous forme de cheveux dans le cas d'une fonte grise lamellaire. Ce traitement thermique a pour but de compléter la graphitisation qui n'a pas pu avoir lieu lors de la coulée. Pendant la coulée on a pu obtenir que le graphite primaire en première cristallisation  $1,9\% < C < 5,5\%$  et graphite eutectique et on a  $\delta + G_e$ .
- Ce 2eme graphite est beaucoup plus fin que le graphite primaire, le graphite eutectique  $G_e$  se précipite aux joints de grains en petites lamelles courtes.
- Lors du traitement thermique on a le graphite secondaire (GS) qui est rejeté des grains  $\delta$  lors du refroidissement sur la ligne  $ACm$  jusqu'à  $A_1$ .

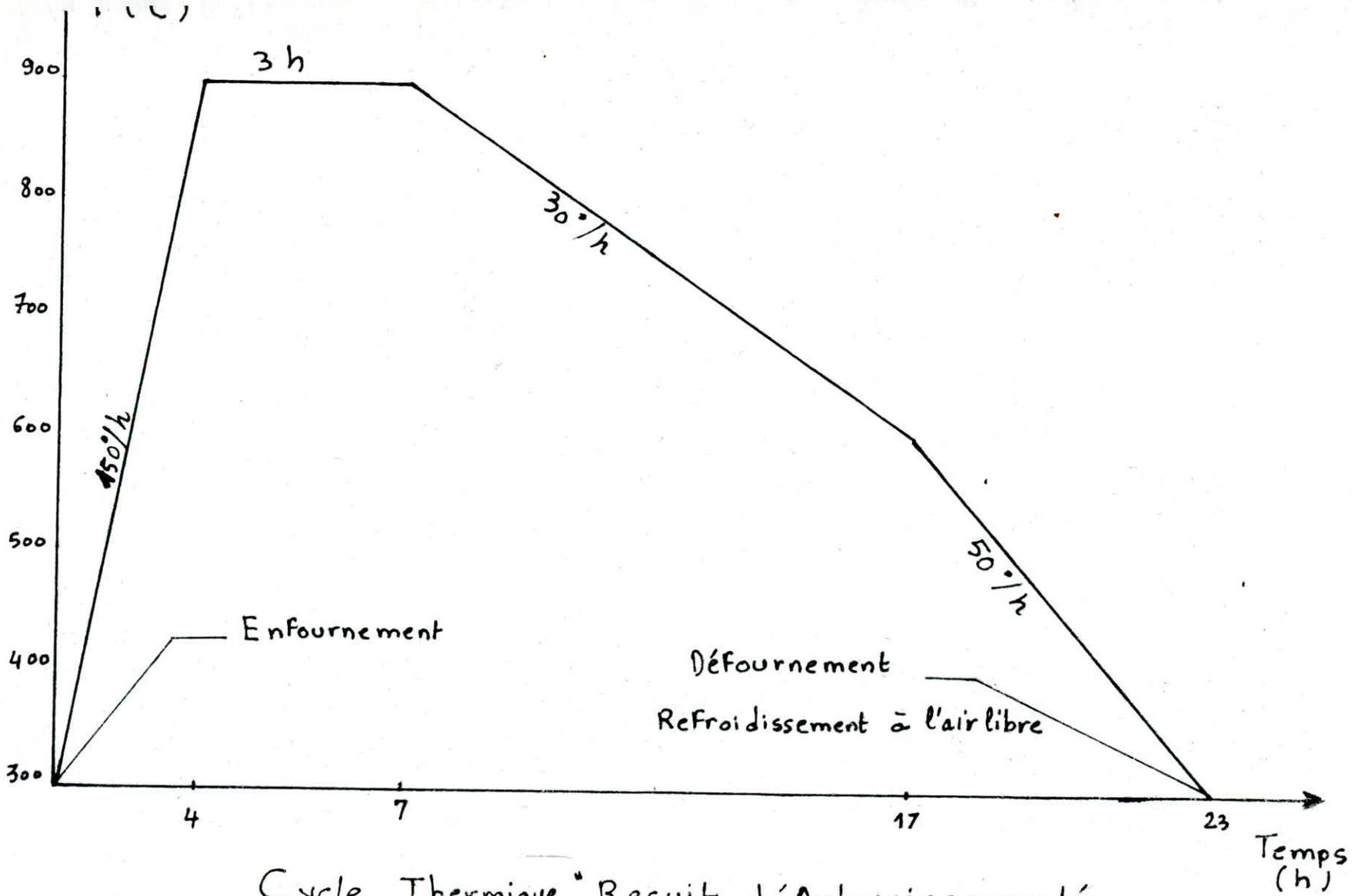
La quantité de carbone peuvent se dissoudre de  $\zeta$  est de 1,2% = (1,9% - 0,7%). 0,7% de carbone représente la structure eutectoïde plastique si on continue le refroidissement le four, relativement faible entre A1 et A"1. Ainsi Gs se précipite sur les lamelles de Ge si le refroidissement est très lent le Carbone de la perlite continue à se précipiter en graphite à condition que les éléments carburigènes soient faibles.

La transformation engendre une expansion due à la différence de masse volumique entre le G et celles des carbures.

b) - Recuit ferritisant :

Afin d'obtenir une matrice ferritique, il est plus sûr d'austénitiser le métal et de le refroidir assez lentement pour qu'en franchissant l'intervalle de transformation  $Ar_3 - Ar_1$ .

Dans ce recuit on a la décomposition de la cémentite et de la perlite en ferrite et graphite suivant la réaction :  
perlite + grapite -----> Ferrite + graphite.



Cycle Thermique "Recuit d'Adoucissement"  
utilisé à la fonderie de Berrouaghia

### III - 6 - TREMPE ET REVENU

La trempe et le revenu des fontes n'ont pas pour but seulement de régler la dureté, mais visent plutôt à établir le meilleur compromis entre l'usinabilité, la résistance à l'usure et les caractéristiques mécaniques ( résistance, résilience, plasticité ) des pièces.

Hautement sollicitées statiquement ou dynamiquement.

Nous désignons cet ensemble de propriétés par le terme général de tenacité.

Pour le traitement des fontes grises ou blanches ordinaires, on évite en général la trempe à l'eau et même à l'huile ( sauf forme des pièces favorables à l'égalisation très rapide des températures ) en raison des risques de tapures.

La trempe au - dessus de  $A_{C_3}$  produit des constituants aciculaires (martensite, bainite) plus ou moins mêlés de résiduelle, d'austénitisation sont choisies en fonction de la teneur en carbone que l'on veut donner à la matrice pour lui procurer la trempabilité et, après revenu, les propriétés voulues.

la T et la durée ↗

Le revenu achève la décomposition de l'austenite résiduelle, transforme plus ou moins les constituants aciculaires en les adoucissant, permet la relaxation des contraintes de coulée et de trempe ainsi que la stabilisation dimensionnelle.

Dans notre étude nous avons opté le cycle de traitement thermique ( trempe et revenu) suivant :

1 - Le chauffage :

On a introduit notre éprouvette en escalier dans le four de traitement thermique, et chauffée jusqu'à 800° c ( Température d'austénisation ).

2 - Le maintien :

Le maintien a pour but de mettre en solution le fer et le carbone et les éléments d'alliage, et d'homogénéiser la température dans l'éprouvette entre la surface et le cœur. Vu les dimensions de la pièce, la durée de maintien est d'une heure.

Ces deux premières étapes sont appelées " austénisation "

3 - Refroidissement :

Trempe à l'huile.

D'une manière générale une trempe est toujours suivie d'un revenu qui consiste à faire un chauffage dans un domaine de température inférieur à ( AC ) et un refroidissement lent à l'air calme. La température de revenu varie en 200 et 600°C

.../...

## Stades de revenu

### - 1° Stade :

Le revenu à basse température s'effectue avec un chauffage au environ de 200°C. Ce revenu diminue les contraintes internes, transforme la martensite de trempe en martensite de revenu. Il augmente la résistance et améliore quelque peu la ductilité sans altérer la dureté.

### - 2° Stade :

Le revenu à température intermédiaire se fait entre 300 et 500°C; il permet d'obtenir une limite d'élasticité importante. La structure assurée par ce revenu est troostite de revenu où la troostomartensite.

### - 3° Stade :

Le revenu à haute température se fait entre 500 et 700°C, il donne une structure de sorbite de revenu.

Le revenu à haute température donne un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité.

METHODES ET MATERIAUX EXPERIMENTALESIV - 1 - TECHNIQUES EXPERIMENTALESa) - Essais mecaniques :

Les essais mecaniques sont les plus pratique pour les pièces qui doivent satisfaire à certaines exigences mecaniques, ainsi l'importance de ces essais apparait d'une part, contrôle de qualité, d'autre part, contrôle de l'amélioration due au traitement thermique.

Les caractéristique déterminés par les essais mecaniques sont :

- L'Aptitude à la déformation plastique ou élastique pour essai de traction ou compression.

- La résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à un effet constant ( Dureté ).

- La résistance au choc ( Resilience ).

1 - Essai de traction :

Cet essai est exécuté sur une éprouvette de forme et dimension déterminées ( voir schéma n°1 p:46) de section initial  $S_0$  et de longueur initial  $l_0$ , sur laquelle un effort croissant  
 ..../....

de façon continue est exercé suivant l'axe de cette éprouvette jusqu'à rupture et à enregistrer la déformation de l'éprouvette.

$L - L_0$        $L =$  Longueur finale

$L_0 =$  Longueur initiale

en fonction de la charge appliquée

L'essai de traction définit un ensemble de caractéristique dont les principales sont :

- La limite élastique (  $R_e$  ) :

Exprimée en  $\text{daN} / \text{mm}^2$

C'est la contrainte minimale qui produit une déformation permanente du métal.

$$R_e = \frac{C_e}{S_0}$$

$C_e$  : charge à la limite élastique.

$S_0$  : Air de la section de l'éprouvette avant essai.

- La charge de rupture (  $R$  )

Exprimée en  $\text{dan} / \text{mm}^2$

C'est la charge maximale atteinte au cours de l'essai

$$R = \frac{C_r}{S_0}$$

$C_r$  : charge maximale

.../...

- L'allongement après rupture ( A % ) :

Exprimée en % de la longueur initiale entre repère  $L_0$   
par le rapport :

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

$L_u$  = longueur entre repères  
en fin d'essai.

$L_0$  = longueur entre repères  
initiale.

- La striction (Z % ) :  $S_0$  = Section de l'éprouvette

$$Z \% = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

avant déformation

$S$  = Section de l'éprouvette  
après déformation.

La machine utilisée pour cet essai est universelle de  
type U.S.D.R.

## 2 - Essai de résilience

Il a pour but de mettre en évidence les propriétés de  
tenacité du métal, et consiste alors à rompre d'un seul  
coup de mouton pendule l'éprouvette entaillée en U ( en  
son milieu ) reposante sur 2 appuis.

.../...

La résilience ( K ) est déterminée par le travail ( T ) absorbé par la rupture de l'éprouvette, rapporté à la section de l'éprouvette ( S ) au droit de l'entaille.

$$K = \frac{T}{S} \text{ daj / cm}^2$$

La machine de résilience est de type CHARPY N - Ne 2701

#### - Pratique de l'essai

La résilience K est déterminée par l'angle qui se trouve sur le cadran de dispositif, puis on lie directement la valeur de la résilience à l'aide d'un tableau.

#### 3 - Essai de dureté :

Par définition, la dureté est la résistance qu'un corps oppose à la pénétration par un autre corps plus dur que lui, pour des conditions expérimentales données, la dureté est d'autant plus grande que la pénétration du corps est plus faible.

Cet essai se fait de la manière suivante :

On exerce sur un poinçon de forme soit conique, pyramidal ou sphérique une force constante pendant un certain temps donné.

.../...

### 3 - 1 - Methode Brinell :

Une bille en acier extra - dur est enfoncée dans le corps essai sous une charge continue est constante.

On mesure le diamètre obtenu et on calcule la surface de l'empreinte qui est assimilée à une calotte sphérique.

La dureté Brinell est définie par  $HB = \frac{P}{S}$

HB : Dureté

P : Charge de l'effort exercé

S : Surface de l'empreinte

$$S = \frac{\pi D}{2} \cdot \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

d : diamètre de l'empreinte

D : diamètre de la bille.

Pour la pratique, connaissant la charge de l'effort exercé ( P ) et le diamètre de la bille ( D ) ainsi que le diamètre de l'empreinte ( d ) on peut déterminer la dureté H.B

### 3 - 2 - Microdureté :

Pour essai de microdureté ( c'est à dire sur de très petites surfaces ), on applique de très faibles charges allant de

.../...

quelques grammes à quelques dizaines de grammes. Les empreintes ont des dimensions de l'ordre de quelque microns.

Les essais de microdureté sont des essais de dureté vickers.

- Essais vickers :

L'empreinte vickers est une pyramide.

La dureté vickers Hv est déterminé par la relation :

$$HV = \frac{P}{S}$$

P : la charge appliquée

S : Surface latérale

d : Diagonale du caré d'intersection de l'empreinte avec la surface libre du métal.

$$S = \frac{d^2}{2 \sin 68}$$

$$HV = \frac{P}{S} = \frac{2P \sin 68}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

d est mesuré à l'aide d'un microscope à oculaire micrométrique.

b) - Micrographie :

La micrographie a pour but de mettre en évidence les constituants des produits métallurgiques. Pour cela on

procède par différentes étapes qui sont :

- Prélèvement
- Enrobage : s'effectue avec la résine
- Polissage : qui consiste à rendre la surface plane et brillante et ne présente aucune rayure.

Le polissage a été effectué avec du papier abrasif.

- Polissage grossier avec papier émeri : 120-320 - 400 - 600
- Polissage fin avec papier émeri : 1000
- Finition à l'aide d'un feutre, pâte diamantée et de lubrifiant
- Attaque : elle se fait avec du Nital ( 5% ) pendant 20 secondes environ.
- L'examen au microscope :

Suivant le grossissement désiré on a pris les photographies sur les pièces ( états bruts et états traités )

c ) - Traitements thermiques :

Les éprouvettes utilisées pour les différents essais sont d'abord à l'état brut de coulée puis soumises aux 3 principaux traitements thermiques qui sont :

- Le recuit d'adoucissement ( cycle thermique de CPV ).
- La trempe
- Le revenu

IV - 2 - METHODES EXPERIMENTALES

Généralement la méthode la plus utilisée pour mettre en évidence l'influence des conditions de refroidissement sur les propriétés mécanique et défauts physiques est est d'utiliser une éprouvette à différentes sections.

On a utilisé pour cela une éprouvette en escalier à quatre sections différentes ( voir schéma <sup>p45</sup> ) avec de métal provenant de la poche destiné à la fabrication des pièces.

. Prélèvement des éprouvette :

Les éprouvettes de tractions et de résilience ont été tirées de centre de chaque section de l'éprouvette en escalier.

.../...

- 11
- Les dimensions de éprouvettes sont données par :
  - TGL 14401 BL-2 pour les éprouvettes de traction
  - NFA 03 - 156 pour les éprouvettes de résilience.

L'étude expérimentale a été faite de la manière suivante :

1° - A l'état brut de coulée

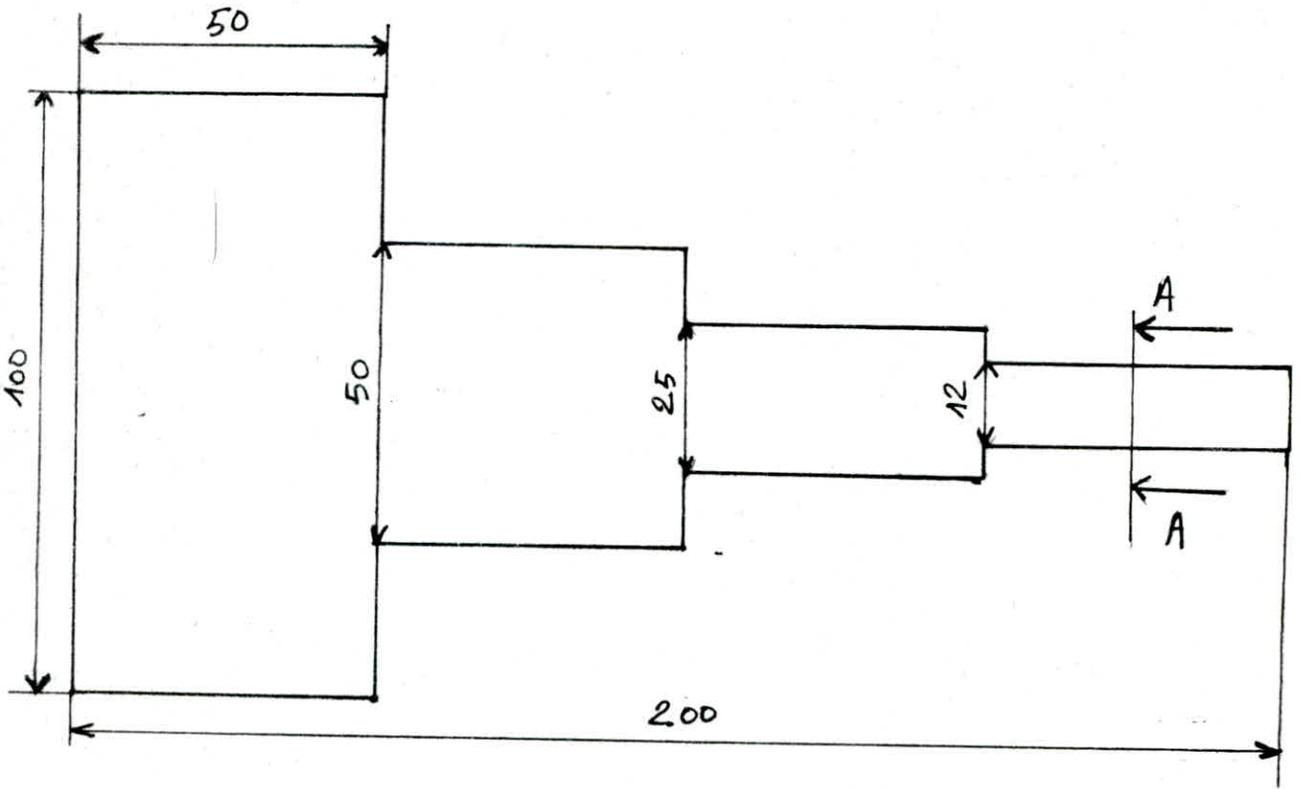
2° - A l'état traité ( Recuit d'adoucissement de  
CPV )

3° - A l'état traité ( trempe et revenu )

- Trempe 800° C d'une heure + revenu  
200° c de 2 heures.

- Trempe 800° C d'une heure + revenu  
600° C de 2 heures.

45



Coupe A-A

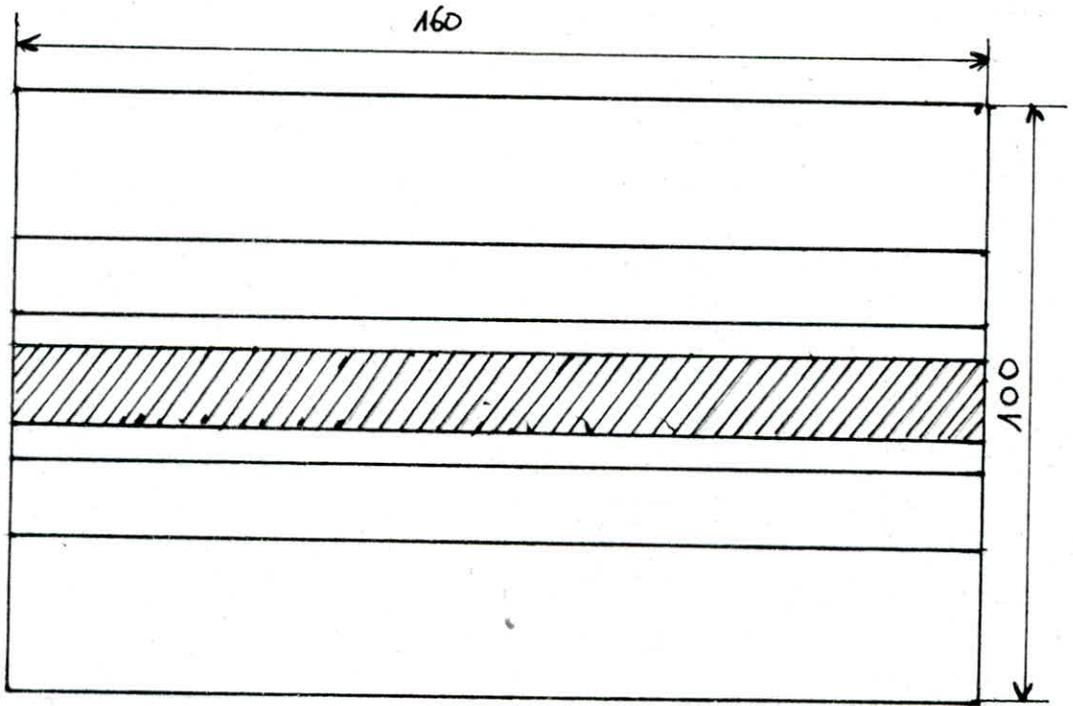


schéma de l'éprouvette en escalier (symétrique)

46

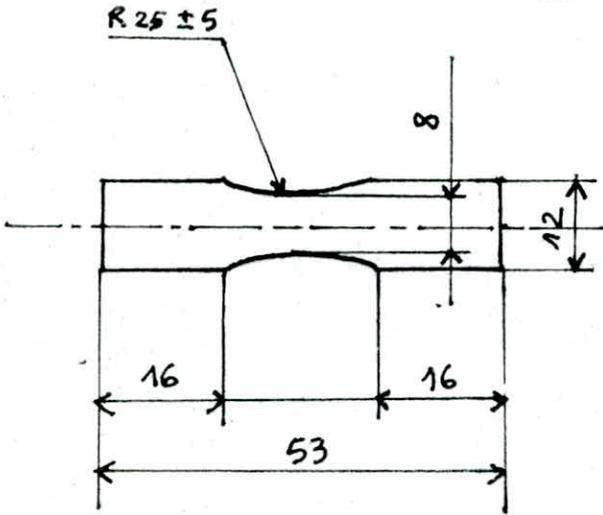
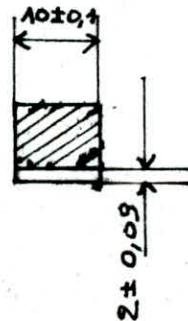
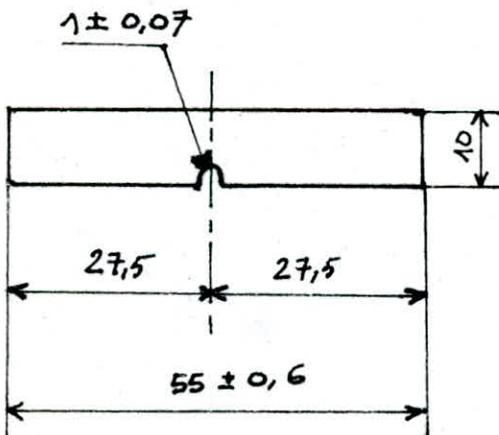


schéma 1

Norme A 10 TGL 14401 BL-2  
Diamètre brut =  $13 \pm 1$  mm  
Longueur brut =  $130$  mm

EPROUVETTE DE TRACTION

schéma 2



EPROUVETTE DE RESILIENCE

## - C H A P I T R E - V -

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V - 1 - RESULTATS EXPERIMENTAUXL'état bruta - Essai de traction :

## \* Epaisseur 12 mm

La charge appliquée :  $Cr = 1050 \text{ daN}$  pour  $So = 50,26 \text{ mm}^2$   
 d'où la charge à la rupture :  $Rr = 20,9 \text{ daN / mm}^2$

## \* Epaisseur 25 mm

$Cr = 980 \text{ daN}$  pour  $So = 50,26 \text{ mm}^2$

la charge à la rupture :  $Rr = 19, \text{ daN/mm}^2$

## \* Epaisseur 50 mm

$Cr = 860 \text{ DaN}$  pour  $So = 50,26 \text{ mm}^2$

la charge à la rupture :  $Rr = 17,11 \text{ daN/mm}^2$

## \* Epaisseur 100 mm

$Cr = 760 \text{ daN}$  pour  $So = 50,26 \text{ mm}^2$

===  $Rr = 15,12 \text{ daN./mm}^2 =$

b - Essai de résilience : Résultat ( voir tableau n° 2 )

c - Dureté Brinell : Résultat ( voir tableau n° 2 )

La charge  $P = 750 \text{ daN}$

Le diamètre de la bille  $D = 5 \text{ mm}$

HB est déterminée à partir du diamètre de l'empreinte.

d - Microdureté :

P = 200 g

d est mesuré à l'aide d'un microscope à oculaire micrométrique. Les valeurs de Hv sont données directement par un tableau en fonction de d.

Résultat voir tableau n°: 1

Tableau N° 1

Epais- seur (mm)	E S S A I S										HV P
	12	237	285	297	319	312	315	302	309	285	309
25	309	327	312	311	285	242	303	245	277	299	291
50	357	312	327	297	285	312	373	319	309	349	324
100	286	297	286	327	299	341	304	285	311	294	305

e) - Structure :

La structure est perlitique ( Le pourcentage de perlite varie de 100 % pour 12 mm jusqu'à 80 % pour 100 mm ) avec un graphite : ( fig 5 et 6 page 53 )

12 mm	{	Forme I	25 mm	{	Forme I
		Distribution B			Distribution A
		Dimension 5			Dimension 3
50 mm	{	Forme I	100 mm	{	Forme I
		Distribution A			Distribution A
		Dimension 2			Dimension : 2

Tableau n° = 2

* Epaisseur (mm)	R <sub>p</sub> (daN /mm <sup>2</sup> )	K (daJ/cm <sup>2</sup> )	Dureté (HB)	Microdureté (HV)
12	20,9	0,32	230	297
25	19,5	0,38	205	291
50	17,11	0,41	182	324
100	15,12	0,48	164	303



fig 1

Ft 20

e = 50 mm G : 100 sans attaque



fig 2

Ft 20

e = 100 mm G X 100 sans attaque

fig 3



Ft 20 Brut de coulée  
 $e = 12 \text{ mm}$   $G : 100$  sans attaque

fig 4



Ft 20 Brut de coulée  
 $e = 25 \text{ mm}$   $G : 100$  sans attaque



Fig 5

Ft 20 St: perlitique Brut de coulé  
 $e = 12\text{mm}$  Nital x 500

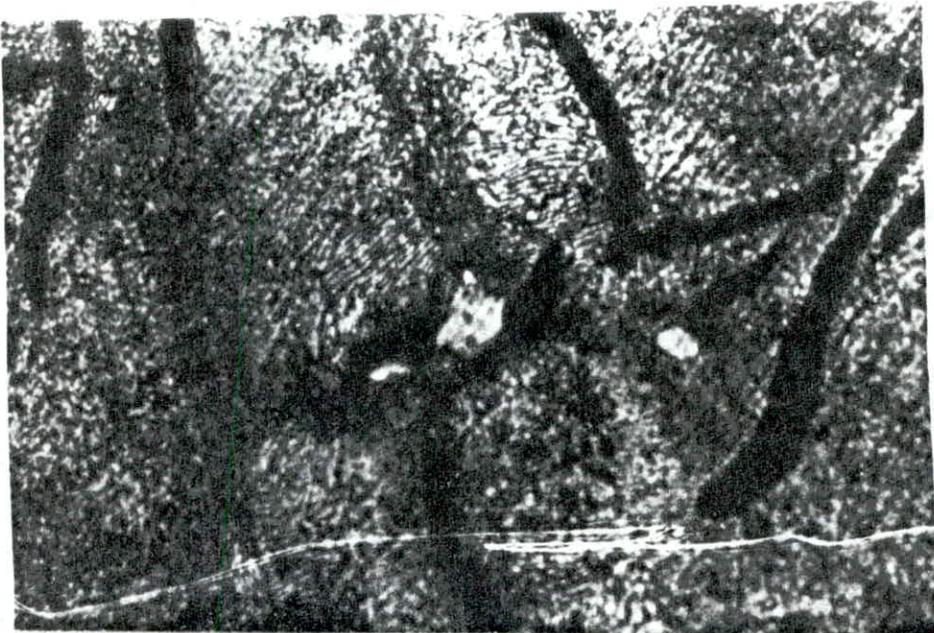


Fig 6

Ft 20 St: perlitique Brut de coulé  
 $e = 50\text{mm}$  Nital x 500

Etat traité ( Recuit d'adoucissement )

a - Essai de traction :

\* Epaisseur 12 mm

$$Cr = 729 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \quad \text{d'où } Rr = 14,5 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 25 mm

$$Cr = 620 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \quad \text{d'où } Rr = 12,33 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 50 mm

$$Cr = 608 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \quad \text{d'où } Rr = 12,1 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 100 mm

$$Cr = 514 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \quad \text{d'où } Rr = 10,22 \text{ daN/mm}^2$$

Les résultats de dureté et résilience sont portés sur le tableau n° 4

b - Microdureté :

Tableau n° 3

Epaisseur (mm)	E S S A I S										HV F
12	148	166	183	179	172	183	199	206	195	199	183
25	170	168	181	147	156	160	147	156	145	170	160
50	147	148	146	170	152	150	161	166	145	145	186
100	150	145	150	161	125	147	145	130	156	161	147

c - Structure :

La structure est ferritique à 95 % avec de graphite :

(Fig 7 et 8 page 56)

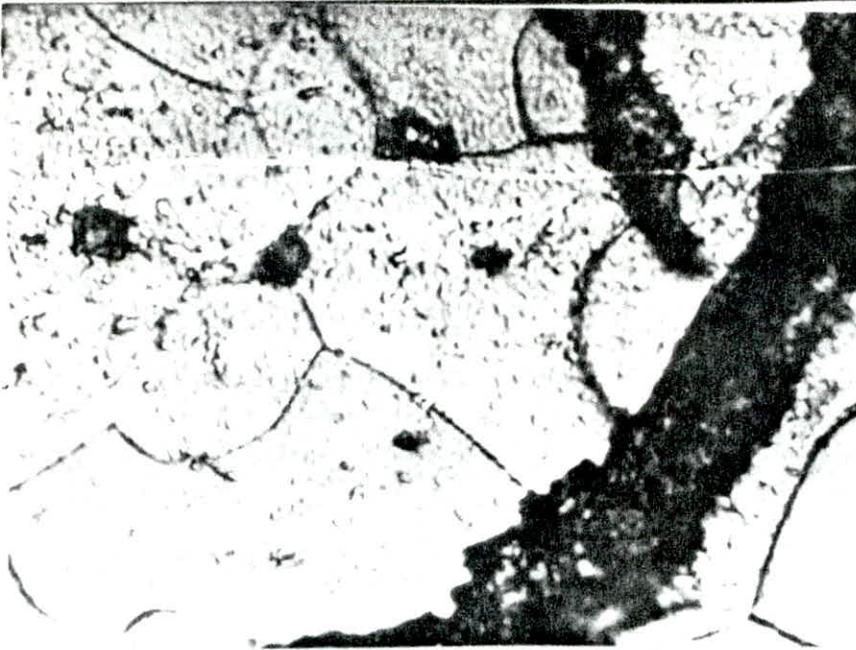
12 mm {  
Forme : I  
Distribution : B  
Dimension : 4

25 mm {  
Forme : I  
Distribution : A  
Dimension 3

50 mm {  
Forme : I  
Distribution : A  
Dimension : 2

100 mm {  
Forme : I  
Distribution : A  
Dimension : 2

Fig 7



Ft 20 st: Ferritique (Recuit d'adoucissement)

e = 12 mm Nital x 500



Fig 8

Ft 20 st: Ferritique (Recuit d'adoucissement)

e = 50 mm Nital x 200

Tableau n° 4

* Epaisseur (mm)	Rr (daN/mm <sup>2</sup> )	K(daj/cm <sup>2</sup> )	Dureté (HB)	Micro- dureté (Hv)
12	14,5	0,27	125	183
25	12,33	0,28	110	160
50	12,1	0,31	105	156
100	10,22	0,38	102	147

Trempe à l'huile + revenu 200°C

a - Essai de traction

\* Epaisseur 12 mm

$$Cr = 1418 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 28,2 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 25 mm

$$Cr = 1352 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 26,9 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 50 mm

$$Cr = 1272 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 25,3 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 100 mm

$$Cr = 1191 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 23,7 \text{ daN/mm}^2$$

- Dureté et Résilience : voir tableau n° 6

b - Microdureté

Tableau N° 5

Epais- seur (mm)	E S S A I S										HV
12	309	347	322	299	347	355	283	303	304	351	322
25	322	323	309	347	351	286	281	283	357	351	321
50	303	319	351	325	281	347	325	299	319	321	319
100	257	303	347	350	321	291	320	339	303	309	325

c - Structure :

La structure obtenue est la martensite de revenu avec de graphite. (Fig 3 et 10 page 60)

12mm	{	Forme ... . I	25 mm	{	Forme... I
		Distribution .. B			Distribution A.
		Dimension 5			Dimension... 3
50 mm	{	Forme ... I	100 mm	{	Forme... I
		Distribution .A			Distribution A.
		Dimension... 2			Dimension 2.

tableau N°6

Epaisseur (mm)	Rr (daN/mm <sup>2</sup> )	K (daj/cm <sup>2</sup> )	Dureté (HB)	Microdureté (HV)
12	28,2	0,23	260	322
25	26,9	0,24	255	321
50	25,3	0,27	247	319
100	23,7	0,37	220	325

Trempe à l'huile + revenu 600°C

a - Essai de traction

Epaisseur 12 mm

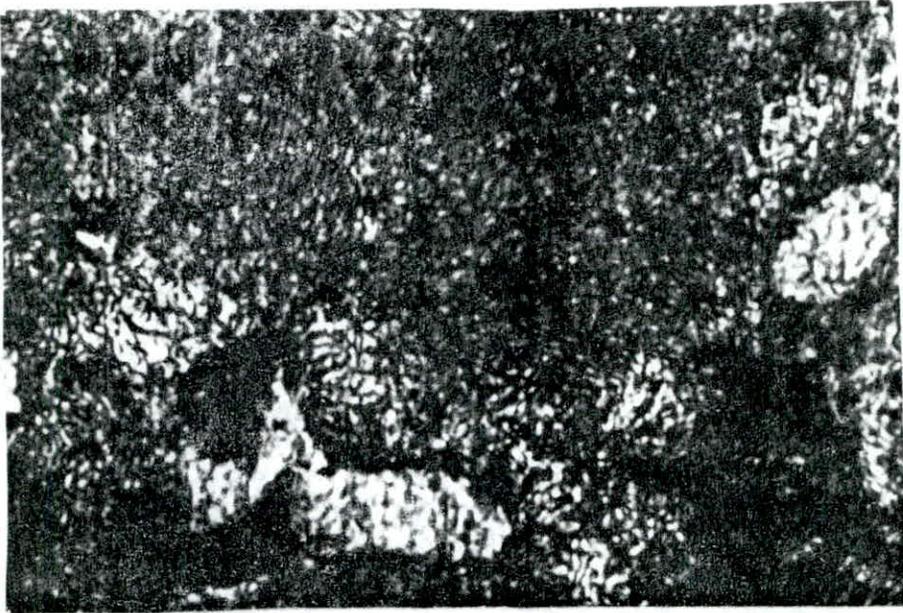
Cr = 1196 daN pour So = 50,26 mm<sup>2</sup> d'où Rr = 23,8 daN/mm<sup>2</sup>

Fig 9



Ft 20 St: martensite de revenu  
 $e = 12 \text{ mm}$  Nital  $\times 500$

Fig 10



Ft 20 St: martensite de revenu  
 $e = 50 \text{ mm}$  Nital  $\times 500$

\* Epaisseur 25 mm

$$Cr = 1111 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 22,1 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 50 mm

$$Cr = 1035 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 20,6 \text{ daN/mm}^2$$

\* Epaisseur 100 mm

$$Cr = 999,8 \text{ daN pour } So = 50,26 \text{ mm}^2 \text{ d'où } Rr = 18,5 \text{ daN/mm}^2$$

- Dureté HB et résilience K ( voir tableau n° 8 )

b - Microdureté

Tableau n° 7

Epais- Seur (mm)	E S S A I S										HV
12	291	286	291	244	351	341	312	311	304	309	304
25	278	254	286	304	310	303	321	304	286	294	294
50	303	291	321	286	279	289	278	294	286	303	293
100	244	257	323	304	303	286	294	311	285	283	298

c - Structure :

La structure devient sorbitique avec de graphite  
(Fig 11 et 12 page 63)

12 mm	{ Forme... <i>I</i> Distribution... <i>B</i> Dimension... <i>5</i>	25mm	{ Forme... <i>I</i> Distribution... <i>A</i> Dimension... <i>3</i>
50mm	{ Forme... <i>I</i> Distribution... <i>A</i> Dimension... <i>2</i>	100mm	{ Forme... <i>I</i> Distribution... <i>A</i> Dimension... <i>2</i>

Tableau N° : 8

Epaisseur (mm)	Rr (daN/mm <sup>2</sup> )	K (daj/cm <sup>2</sup> )	Dureté HB	Microdureté HV
12	23,8	0,27	226	304
25	22,1	0,26	215	294
50	20,6	0,31	212	293
100	18,5	0,36	203	289

Chaque valeur sur les tableaux correspond à une moyenne de 3 essais.



Fig 11

Ft 20 st : sorbitique  
 e = 12 mm Nital x 500

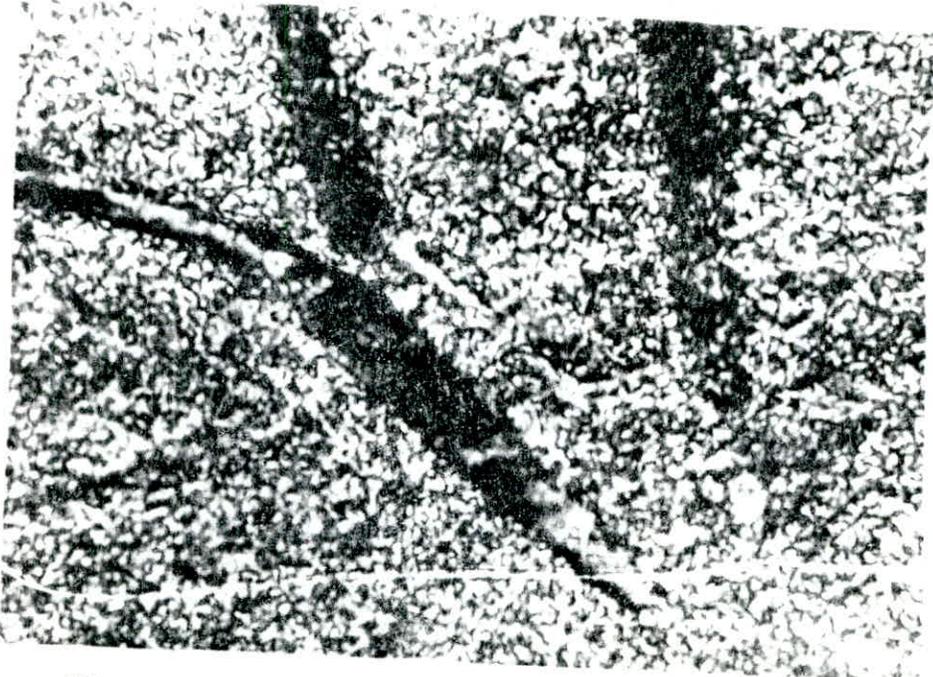


Fig 12

Ft 20 st : sorbitique  
 e = 50 mm Nital x 500

1.1

Remarque :

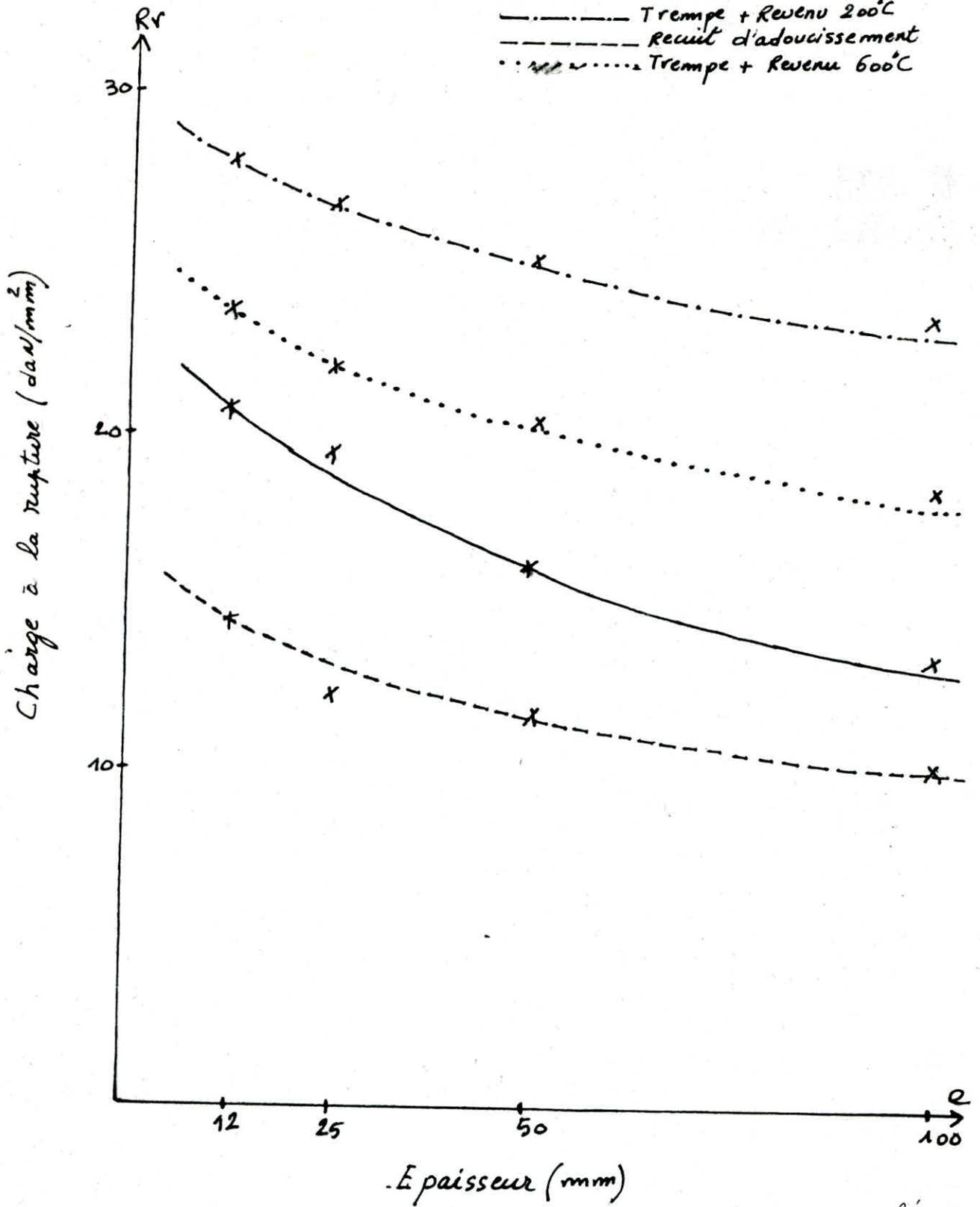
Pour l'essai de traction on n'a pas pu tracer le diagramme caractéristique réel à cause de l'enregistrement qui ne fonctionne pas, pour cela on a tracé un diagramme conventionnel représentatif. (Fig page 68)

Tableau des caractéristiques selon le cahier de charges

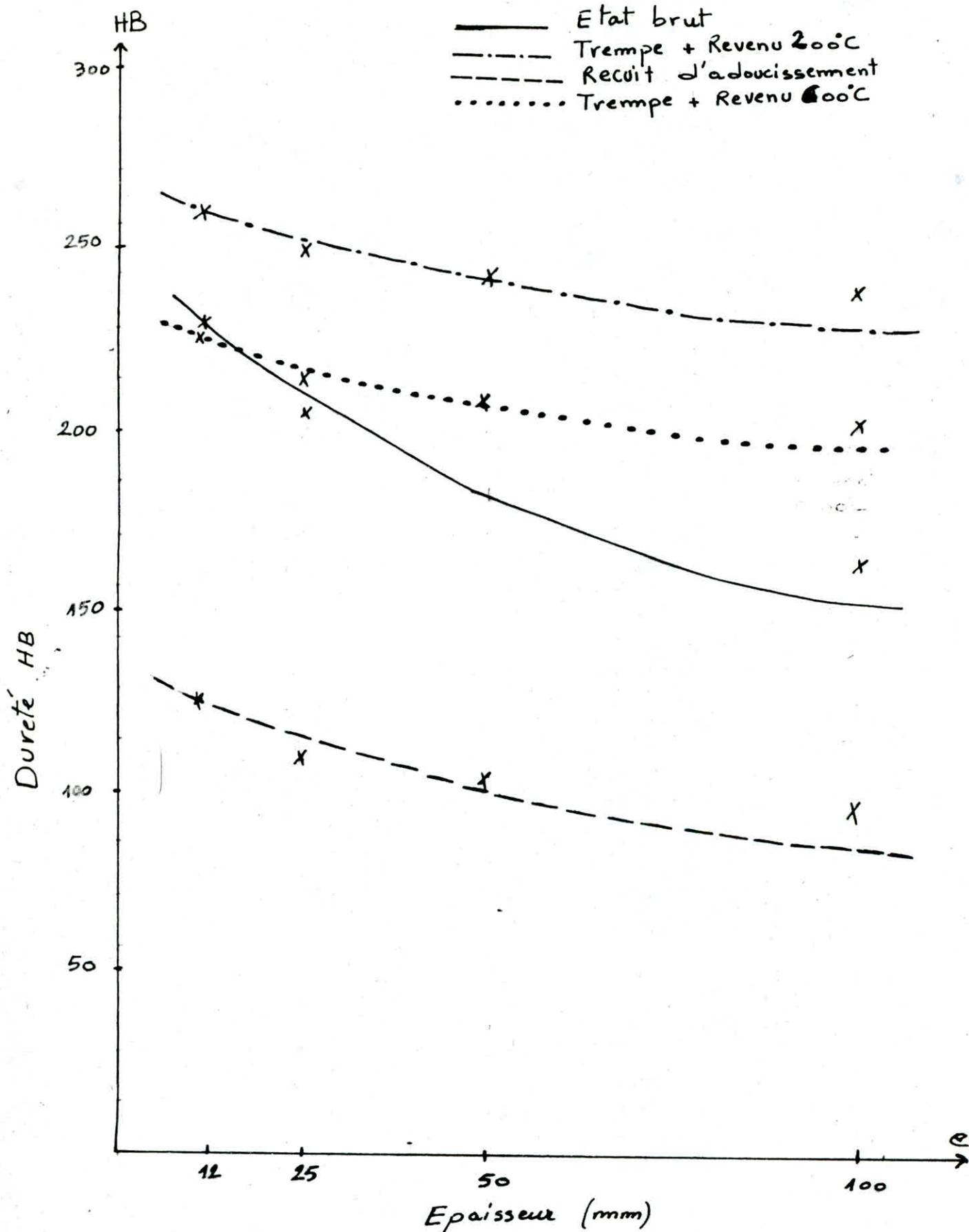
	L'état brut	après traitement
Résistance à la rupture (daN/mm <sup>2</sup> )	20 - 24	15 - 20
Dureté HB	180 - 280	130 - 180
Structure	Perlitique	Ferritique (90 - 100 %)

65

— Etat brut  
 - - - - - Trempe + Revenu 200°C  
 - - - - - Recuit d'adoucissement  
 ······ Trempe + Revenu 600°C

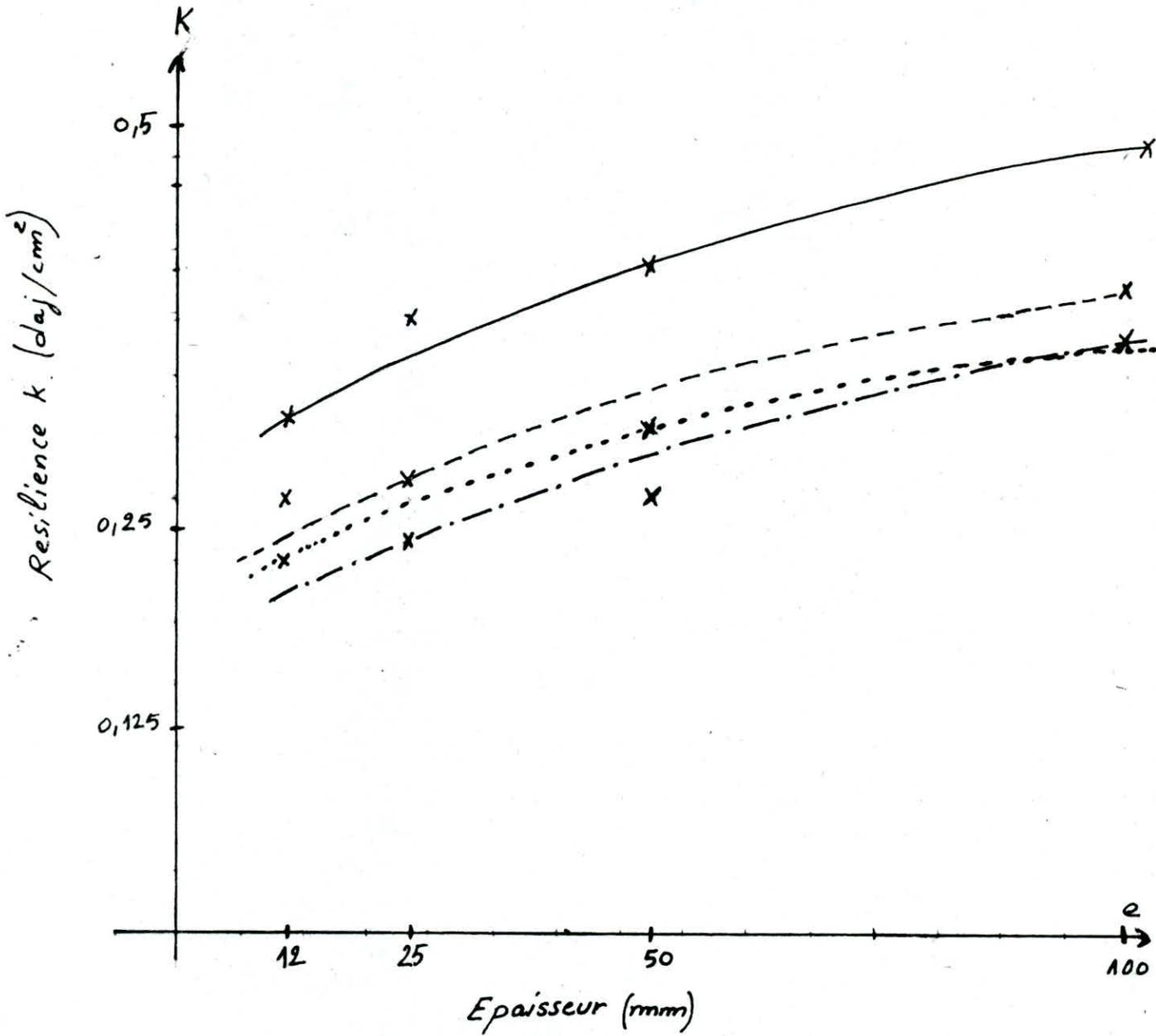


Courbe de charge de rupture en fonction de l'épaisseur

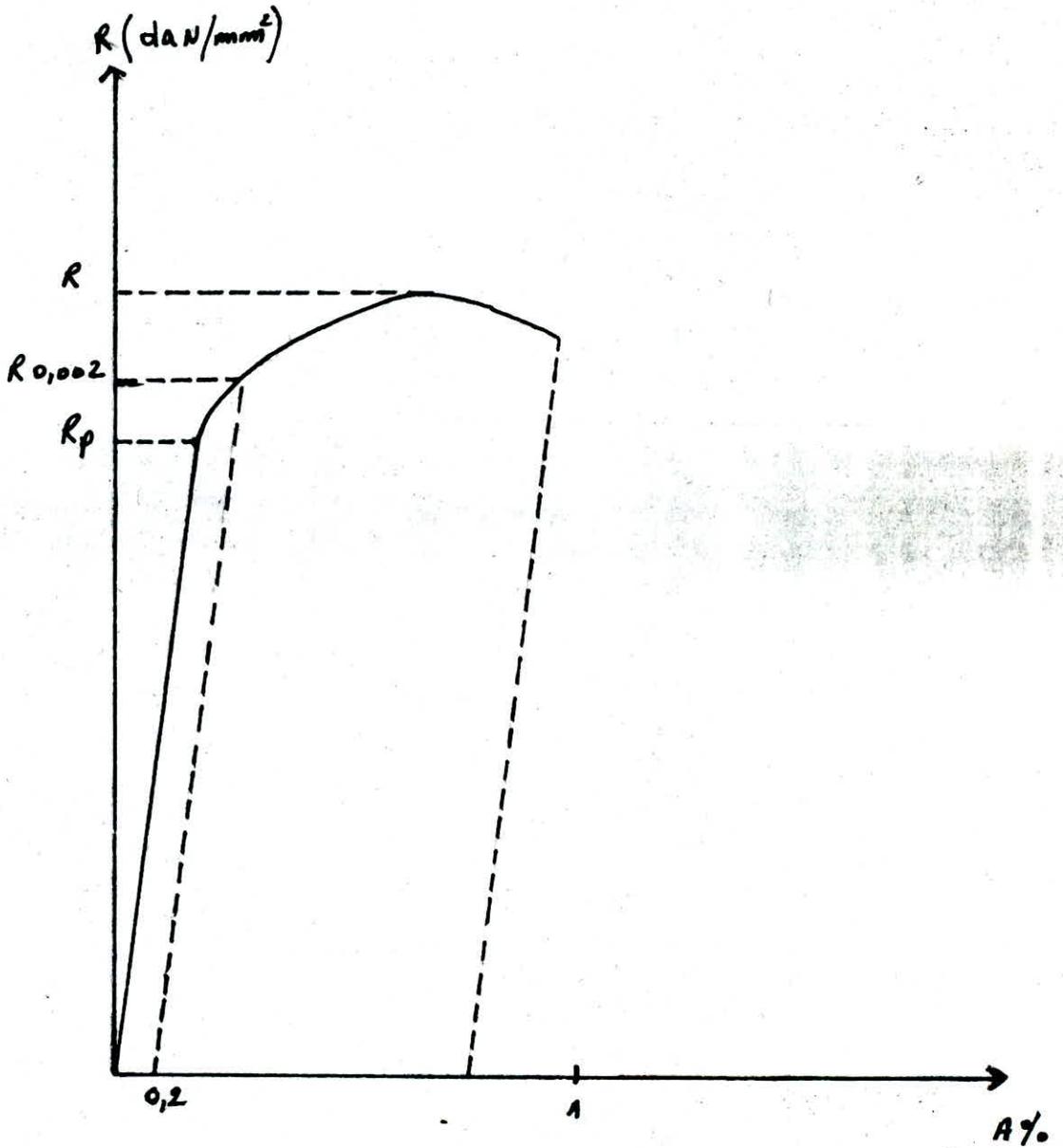


Courbe de dureté en fonction de l'épaisseur

— Etat brut  
 - - - - - Trempe + Revenu 200°C  
 - - - - - Recuit d'adoucissement  
 ······ Trempe + Revenu 600°C



Courbe de resilience en fonction de l'épaisseur



Courbe conventionnelle de traction

V - 2 - INTERPRETATION

D'après les résultats obtenus, on constate que la dureté HB de la Fe 20 diminue avec l'augmentation de l'épaisseur, la dureté passe de 230 HB pour l'épaisseur 12 mm à 164 HB pour l'épaisseur 100 mm, et ceci à l'état brut.

Ces différences de dureté sont dues essentiellement à l'influence de la vitesse de refroidissement, autrement dit, une augmentation de la vitesse de refroidissement c'est-à-dire pour petites sections agit simultanément pour affiner la structure du graphite et la structure de la matrice (perlite), et une diminution de la vitesse de refroidissement pour les grandes sections favorise la graphitisation et donne des constituants plus grossiers (graphite et perlite).

Les valeurs de HB obtenues pour les différents traitements thermiques sont différentes, vu le changement de la matrice (passage de la ferrite pour le revenu d'adoucissement) et de (martensite de revenu à la sorbite pour la trempe et le revenu) mais on constate en plus que la variation de la dureté d'un tel traitement en fonction de l'épaisseur de l'éprouvette est moins importante, car la matrice devient plus stable, et les particules graphitiques ne subissent pas de changement très important.

La résistance à la rupture croît avec la diminution de l'épaisseur, en effet cette croissance est due en grande partie au graphite, car au fur et à mesure que l'on se rapproche de la zone à refroidissement lent, on remarque l'augmentation de la dimension des lamelles de graphite qui influe beaucoup sur la résistance. En plus la résistance à la traction est une fonction de HB.

Les différentes structures de la Ft 20 à l'état brut et à l'état traité sont à la base de l'explication des différences de valeurs constatées dans les caractéristiques mécaniques ( $R_r$ , HB).

L'épaisseur influe beaucoup sur le pourcentage de perlite, ceci est expliqué par : une diminution de l'épaisseur c'est l'augmentation de pourcentage de perlite, ainsi les caractéristiques mécaniques ( $R_r$ , HB) sont les plus élevées

Pour la résilience K, on a constaté d'après les résultats qu'elle varie avec l'épaisseur mais par des différences de valeurs moins importantes, ceci est dû à la matrice car plus elle est résistante, plus elle est fragile.

## C O N C L U S I O N

L'influence des conditions de refroidissement sur les caractéristiques mécaniques est plus appréciable à l'état brut, d'après les résultats obtenus on peut dire que la résistance à la traction varie dans le sens contraire de l'épaisseur, car les dimensions et la répartition du graphite dépendent de la vitesse de refroidissement, donc de l'épaisseur.

A l'état traité on a constaté que les parois ne jouent aucun rôle important, car on a une homogénéisation de structure dans les différentes sections.

Le recuit abaisse la résistance à la traction, alors que la trempe et revenu améliorent sensiblement cette résistance, qui dépend de la température de revenu et du temps de maintien.

A l'aide des traitements thermiques on peut éviter les défauts liés à l'hétérogénéité de la structure, et favoriser l'obtention d'une structure plus ou moins homogène.

Les valeurs de la résilience obtenus durant notre étude étaient relativement faibles, mais cela ne représente pas un grand inconvénient car l'utilisation de ces fontes se limite à l'état statique. La plupart des pièces travaillent en compression, d'où l'allongement ne joue pas un rôle important.

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

1 - LAKHTINE

Métallographie et traitements thermiques des métaux  
Edition Mir.

2 - A. ROOS

Précis de métallurgie appliquée Edition DUNOD

3 - C. CHAUSSIN et G. HILLY

Métallurgie Tome I : alliages métalliques

4 - Technique de l'ingénieur

Elaboration des fontes

Moulage et fonderie

Traitement thermique.

5 - A. DESY et JULIEN VIDTS : Métallurgie structural

6 - MICHEL GEIER : Métallurgie et fonderie Tome 1 et 2

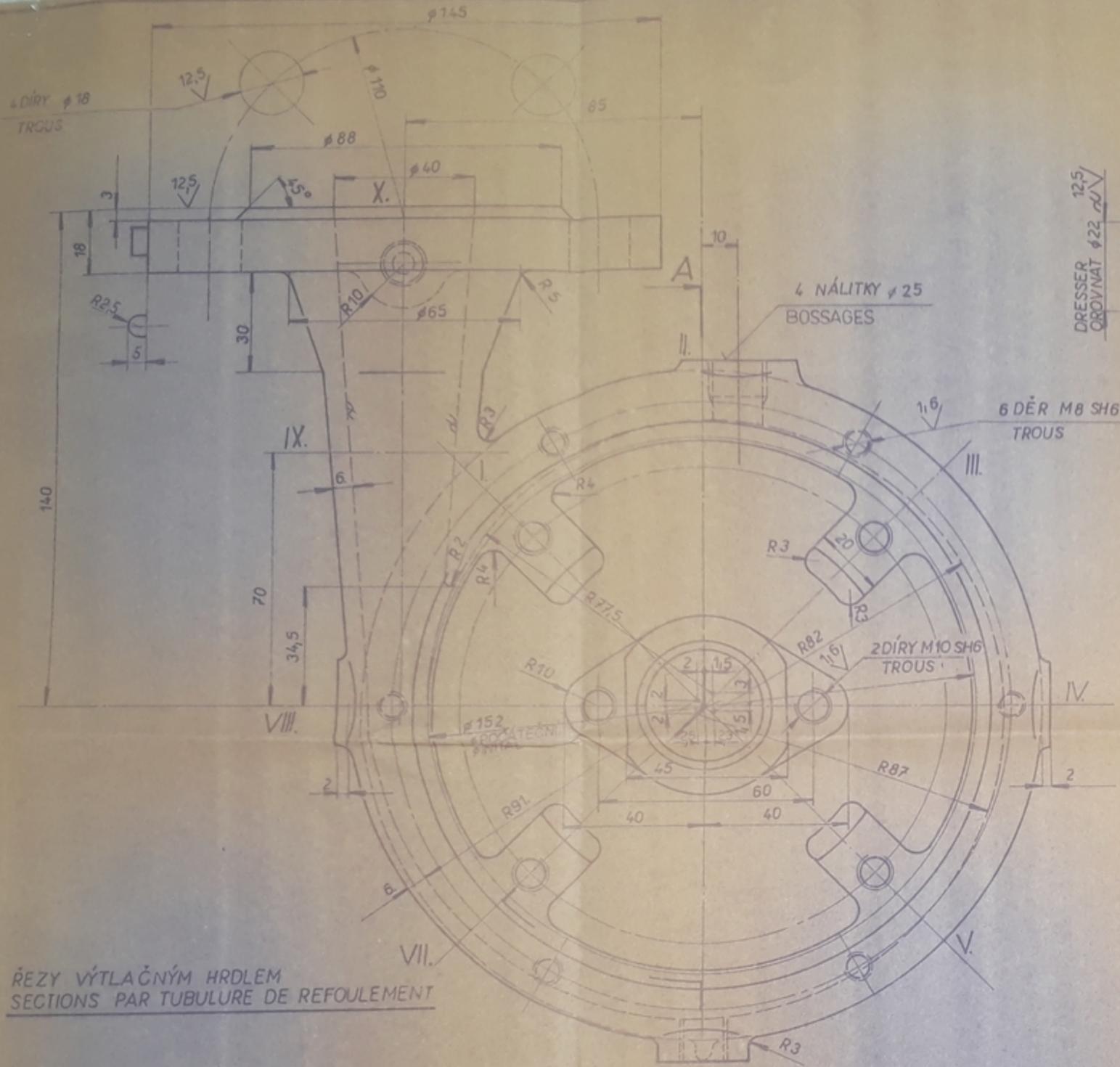
Edition EYROLLES.

7 - Atlas métallographique des microstructures types

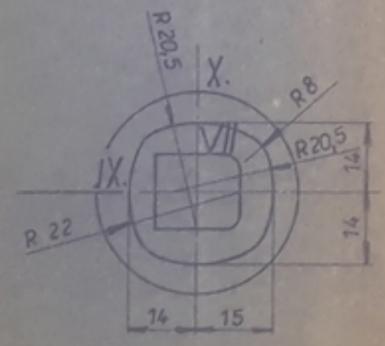
Edition technique des industries de la fonderie

8 - Aide mémoire de métallurgie

Edition DUNOD.

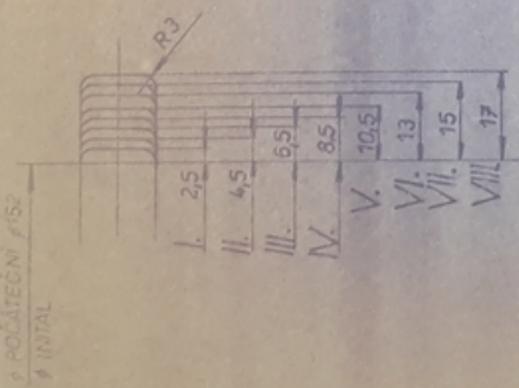


ŘEZY VÝTLAČNÝM HRDLEM  
SECTIONS PAR TUBULURE DE REFOULEMENT

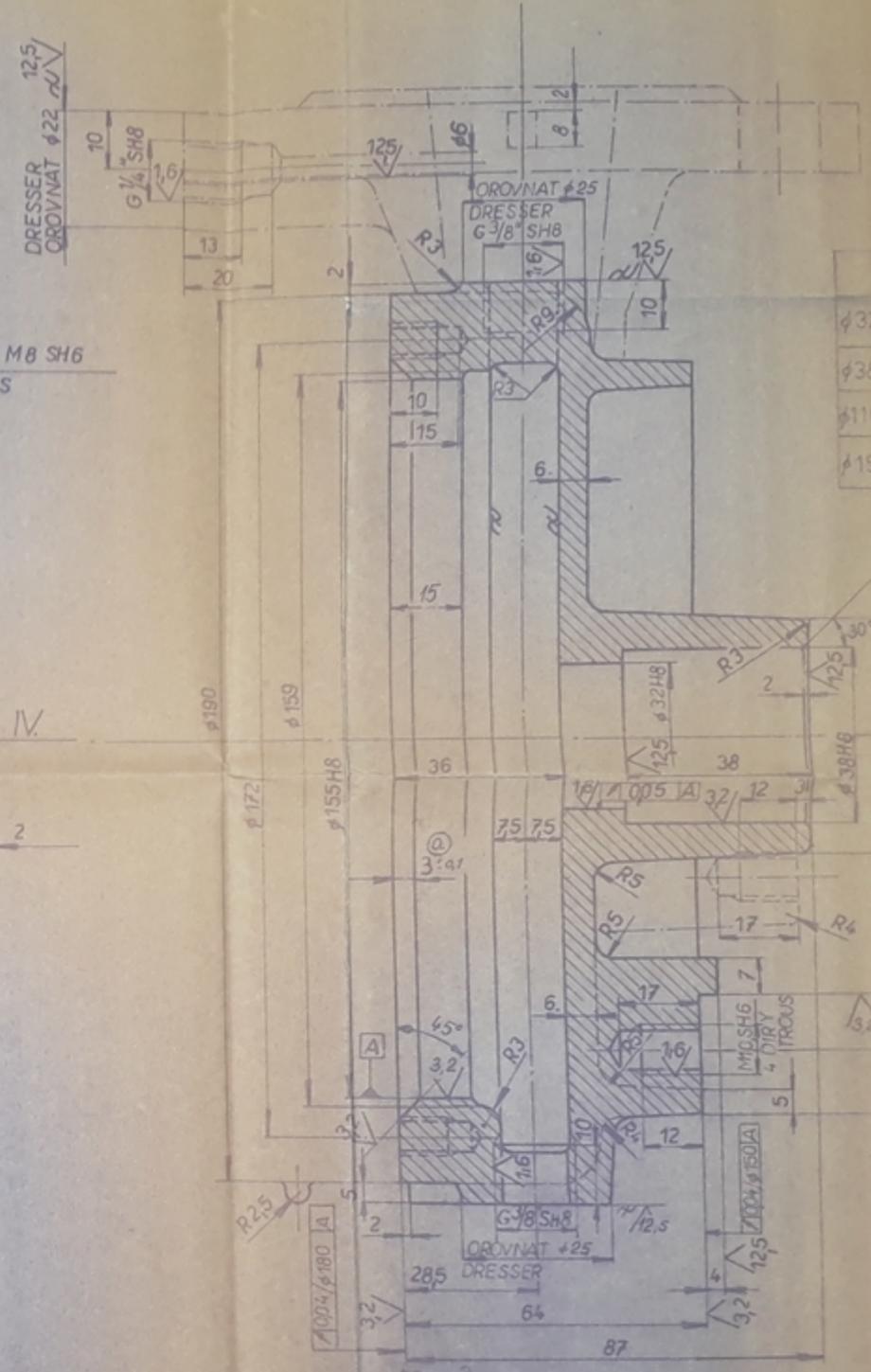


PL 01088  
Annexe

ŘEZY SPIRÁLOU  
SECTIONS PAR LA SPIRALE



ŘEZ  
SECTION A-A



	CÔTE MIN	CÔTE MAXI
φ32 H8	32 - 0.0	32 + 0.039
φ38 H8	38 - 0.0	38 + 0.039
φ110 h7	110 - 0.035	110 - 0.0
φ155 H8	155 - 0.0	155 + 0.063

TLAKOVAT VODOU ZKUŠEBNÍM TLAKEM 5  $\text{kp/cm}^2$   
PO DOBU 5 min.  
ÉPROUVER À L'EAU PRESSION D'ÉPREUVE  
DE 5  $\text{kp/cm}^2$  PENDANT 5 min.  
STUPEŇ PŘESNOSTI ODLITKU ČSN 01 4470.4  
DEGRÉ DE PRÉCISION DE PIÈCE DE FONDERIE  
SELON ČSN 01 4470.4  
SELON LE PLAN 104.089667.00.1.3

40-NVA-150-5	Desig. n° POS.2 1 00.08.9693.00.5.2	95	6r
	MODELE N° 1-08 9667		
	42 24 15		
	SPIRALNÍ SKŘÍN CORPS SPIRAL		
	1 00.08.9667.00.1.2		