

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية -  
REPULIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

7/80

وزارة التعليم و البحث العلمى  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1EX

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: MINE ET METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**ETUDE COMPARATIVE DES  
CARACTERISTIQUES METALLURGI-  
QUES POUR LA SUBSTITUTION  
DE LA FONTE Fc 25 PAR LA FONTE  
FGS 38 - 15**

PROPOSE PAR:

S.NVI-CV

ETUDIE

A.BRAHIMI

DIRIGE PAR

Z.GSEPIGA

PROMOTION: JUN 86



\* \* \*

Dédicaces

A la mémoire de mon père,  
A ma mère.  
A mes frères et sœurs.  
A tous ceux qui me sont chers.  
Je dédie ce modeste travail.

Brakimi

Abdehalim \*

---



## Remerciements

Mes remerciements sincères à Monsieur GSEPIGA et Messieurs PAVLOV pour leurs aide tout au long de l'élaboration de ce mémoire, je tiens à leurs exprimer toute ma gratitude, il m'est agréable aussi d'exprimer ici ma reconnaissance aux professeurs qui ont contribué à ma formation.

Je tiens également à remercier tout le personnel du laboratoire de mécanique et de la fonderie de la S.N.V.I - Louiba, qui n'ont ménagé aucune peine pour m'aider.

Enfin, sans oublier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet, en particulier Monsieur Moussa Ali et Hocine Saïd-Abdessamed pour la mise en forme et le tirage de cette thèse. \*

Brahimi  
Abdelhalim





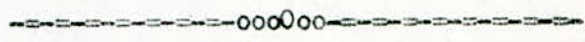
INTRODUCTION .

<u>Chapitre I.</u>	Présentation des pièces
I.1.	Dessin technique
I.2.	Fabrication
I.3.	Sollicitation des pièces.
<u>Chapitre II.</u>	Etude des fontes lamellaires
II.1	Elaboration
II.2.	Composition chimique
II.3.	Mécanisme de cristallisation du graphite lamellaire.
II.4	Caractéristiques mécaniques.
<u>Chapitre III.</u>	Etude des fontes à graphite sphéroïdal.
III.1	Elaboration
III.2	Composition chimique
III.3.	Mécanisme de cristallisation du graphite sphéroïdal.
III.4.	Caractéristiques mécaniques.
<u>Chapitre IV.</u>	Etudes expérimentales
IV. 1.	Echantillons et éprouvettes.
IV. 2	Micrographie
IV. 3.	Essais mécaniques.
IV. 4.	Aspect micrographique.
IV. 5.	Caractéristiques mécaniques.
<u>Chapitre V.</u>	Comparaison entre la fonte F.t25 et GS.38-15
V.1.	Propriété de traction.
V.2.	Dureté
V.3.	Résistance aux chocs.

- V.4. Résistance à l'usure.
- V.5. Résistance à la fatigue.
- V.6. Résistance à la corrosion.
- V.7. Usinabilité.

chapitre VI. Influence de l'épaisseur des pièces sur la fonte GS 38-15

Chapitre VII. Influence sur la température de revenu sur la fonte Ft 25.



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique



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

-----00-----

Dans la dernière décennie, les domaines d'application des fontes à graphite sphéroïdal se sont sensiblement étendus. Les raisons qui ont motivé un tel essor s'inscrivent très logiquement dans un esprit de réduction des coûts de production ainsi que d'optimisation des caractéristiques mécaniques des matériaux.

Dans ce contexte l'industrie automobile (qui s'est intéressée très tôt à ce type d'alliage) se trouve à l'heure actuelle le principal utilisateur de ce type de matériau.

L'objet de ce projet consiste en l'étude du changement de la matière de certains pièces.

Il s'agit de les intégrer à la fonderie de ROUIBA.

Cette étude prévoit la possibilité de fabrication de ces pièces en fonte GS 38-15 au lieu de Ft 25. Ces pièces actuellement importées sont fabriquées en vue de leur utilisation dans un camion SONACOME.

Le premier chapitre consiste à la présentation des pièces (dessin fabrication, sollicitation).

Le deuxième et le troisième chapitre sont consacrés à l'étude bibliographique des fontes lamellaires et sphéroïdale.

Dans le chapitre IV, on fait une étude expérimentale sur les fontes (FT 25 et GS 38-15)

Le chapitre V est une comparaison entre les deux fontes pour nous permettre de donner une conclusion.

Nous avons jugé utile de consacrer :

- Un chapitre sur l'étude de l'influence de l'épaisseur sur la fonte GS 38-15 puisque les pièces auxquelles nous sommes intéressés présentent une variation d'épaisseur.
- Un chapitre sur les influences des traitements thermiques (trempe et revenu) sur la fonte Ft 25 pour voir la possibilité de l'amélioration de ces caractéristiques mécaniques.

I PRESENTATION DES PIECES :

I 1. Dessin technique : Voir page n° 2 et 3.

I.2 Fabrication :

Ce sont des pièces moulées, il sont coulées en moule perdue avec de la fonte Ft 25 et qu'on désire fabriquer en G S 38 15.

I.2.1 Sable de fonderie :

Le sable est caractérisé par ce qualités réfractaire (1700°c) par sa plasticité et sa perméabilité au gaz (porosité).

on utilise deux sortes de sable : Sable de moulage

Sable cronig (noyautage).

Le sable de moulage est composé de :

{ Silice 80 - 82 %  
{ Argile bentonite : 11 à 12 %  
{ noir minéral 3, 5 à 4 %  
{ Humidité 4 %

Le sable cronig est composé de

{ Silice 95 %  
{ Résine 5 %  
{ Hexaméthylène 10 % (de la quantité de résine)

1 2 2 1 Décochage : (désablage).

Après la coulée des pièces et refroidissement lent dans le moule on effectue le décochage. Le moule contenant la pièce passe dans une machine qui à l'aide de secousses permet de désabler les pièces.

1 2 2 2 Ebarbage et débarbage :

Après désablage les pièces subissent l'opération de l'ébarbage et débarbage qui consistent à nettoyer les pièces à l'aide d'une grenailleuse et à les débavurer à l'aide d'une meule (enlever les masselotes et les jets de coulée).



1 2 2 3

Contrôle :

Il consiste à contrôler l'aspect et les dimensions des pièces (conformité sur les plans).

1 2 2 4

Traitement thermique

Les pièces selon qu'elles sont en Ft 25 ou en GS 38-15 doivent subir un traitement thermique.

Les pièces en Ft subissent un traitement de relaxation de contrainte.

Les pièces en GS 38-15 subissent une ferritisation.

1.2 2 4 1

Relaxation des contraintes (Ft 25)

C'est un traitement qui permet d'éliminer ou plus précisément minimiser les tensions internes il consiste à chauffer les pièces à une température de 580 °C.

- La montée en température est lente 100°C par heure maximum
- Maintien : la durée est suivant l'épaisseur de la pièce  
1 h par 25 mm d'épaisseur + 1 h (Minimum 2 h)
- refroidissement lent dans le four 60° par heures maximum
- défournement à une température inférieure à 200°C

1 2 2 4 2

Ferritisation :

A l'état brut de coulée, les moulages contiennent souvent une certaine proportion de perlite surtout, si on utilise dans le lit de fusion de l'acier, dont la composition est toujours incertaine, si on désire l'éliminer on dispose de deux méthodes.

- Chauffage et maintien au-dessous du point (700 - 740° C - pendant 4 - 5 heures) pour graphitiser la perlite, puis refroidissement dans le four, porte fermée.
- Chauffage et maintien plus élevé entre AC 1 et AC 3 (875° pendant 30 - 60 Minutes) puis refroidissement lent (four porte fermée).



1 2 2 5

Peinture :

les pièces sont peintes par une peinture anti corosif (pellicule protectrice) vu les conditions de travail des pièces (influence de l'atmosphère).

1 3

Sollicitation des pièces :

La pièce n° 164962 (n° plan) est un chapeau de pompe à l'huile comme l'indique son nom c'est un couvercle dans la pompe à l'huile fixée dans un camion sonacome.

la pièce est exposée à l'atmosphère par sa partie externe. Elle n'est soumise à aucun effort (de traction, d'usure de frottement).. mais elle doit assurer une bonne étanchéité et une bonne résistance à la corosion (camion travaillant dans le désert et près de la mer).

La pièce n° 719398 est un cylindre avant fixé sur la pompe dans le cylindre il y a de l'huile sous pression (7 bar). La pièce doit donc assurer une bonne étanchéité et une bonne résistance à la corosion puisqu'elle est exposée à l'atmosphère.

Donc en résumé les exigences que doit vérifier la fonte GS 38-I5 pour quelle peut remplacer la Ft 25 à la fabrication des pièces sont :

- avoir les même ou meilleures caractéristiques mécaniques.
- assuré une bonne résistance à la corosion et une bonne étanchéité.
- facilité d'usinage puisque les pièces sont percées de trous et nécessité de chanfrin.

## II ETUDE DES FONTES LAMELLAIRES :

Dans ces fontes la plupart du carbone se trouve sous forme de lamelles de graphite formées par la solidification suivant le diagramme fer - graphite. Ce graphite donne aux fontes une cassure grise d'où leur nom. Au fond c'est un alliage Fe - C - Si qui contient comme impuretés inévitables Mn, P, S. Le graphite à une forme lamellaire, ce qui est une caractéristique particulière de ces fontes qui détermine de nombreuses de leurs propriétés. Les plus utilisées sont les fontes hypoeutectiques titrant :

2,8 à 3,8 % C  
1,0 à 3 % Si  
≤ 0,25 % P  
≤ 0,10% S  
≤ 0,9 % Mn

## III ELABORATION

Les fontes grises peuvent être élaborées dans divers appareils de fusion les plus couramment utilisés sont le cubilot et le four électrique. (à arcs et induction qui sont utilisés à la S.N.V.I rouiba).

La charge métallique est composée de :

- retours de fabrication ( en général 25 à 50 % du poids total de la charge)
- fontes neuves (à proportion variable selon analyse chimique désirée)
- ferraille d'acier (20 à 25 % du poids totale de la charge métallique)

Les ferrailles d'acier sont ajoutées parfois pour obtenir une fonte liquide dont la teneur en carbone total est moins élevée et présentant par suite meilleures propriétés mécaniques.

Au cours de la fusion il y a perte d'un peu de silicium et de manganèse par oxydation. Pour ajuster les teneurs en ces éléments les ferro alliages peuvent être ajoutés ( Fe - Si à 25 % de Si, Fe - Mn à 10 -12 % de Mn), dans la poche de coulée.



## II. 1.1 LES FOURS ELECTRIQUES .

La fonte grise lamellaire est un domaine particulièrement favorable à l'emploi des fours électrique en raison de l'absence de sulfuration et de la souplesse de conduite (réglage de la température et analyse du débit de métal).

Les fours électrique les plus utilisés en fonderie de fonte sont les fours à arcs et à induction.

### II. 1. 1. 1. FOUR A ARC.

Il sont chargés par des bennes pénétrant dans la voûte (éclipsable) et les trois (3) électrodes de graphite coulissent verticalement sous l'action du système électrique ou hydraulique de réglage des arcs. Il sont caractérisés par :

- Une : - Capacité de ..... 10 t
- Puissance de ..... 21 MVA
- $\phi$  intérieur cuve....3,505 m
- Epaisseur de tôle... 25,4 mm
- Hauteur de .....2,413 m

### II 1.1. 2 FOUR A INDUCTION :

Le principe est de transformer l'énergie électrique dans une bobine d'induction en énergie électromagnétique où les courants induit se transforment en chaleur par effet joule. Le rôle de ce four et le maintien du métal stocké à une température de 1500 °

- capacité ..... 13 t
- Puissance ..... 3 MVA
- $\phi$  Intérieur creuset 1, 232 m
- Hauteur ..... 2,100 m



## II 2 COMPOSITION CHIMIQUE :

Les propriétés d'utilisation des fontes grises ordinaires sont intimement liées à la structure de ces fontes, laquelle dépend de deux facteurs principaux : analyse chimique d'une part et vitesse de refroidissement ( épaisseur moyenne de la pièce à couler et nature du moule dans lequel la pièce sera coulée) d'autre part.

Ainsi en fonderie de fonte grise, la pièce étant connue (donc son épaisseur moyenne) et la nature du moule étant fixée. C'est l'analyse chimique de la fonte coulée qui conditionnera principalement sa structure.

### II. 2. 1 LE CARBONE :

Dans les fonte grise à graphite lamellaire la teneur en carbone varie couramment de 2,8 à 3,8 % . A la température ambiante le carbone n'entre qu'en très faible quantité en solution dans le fer  $\alpha$  (ferrite). il se trouve donc surtout à l' état combiné sous forme de carbure ( $Fe_3C$ ) ou libre sous forme de graphite.

Le graphite étant un élément sans consistance et affaiblissant même la résistance de la matrice métallique acier de la fonte. La teneur en carbone total d'une fonte grise lamellaire doit être d'autant plus basse que les résistances mécaniques recherchées sont plus élevées.

Cependant dans l'obtention des pièces coulées, la teneur en carbone total de fonte grise joue favorablement à l'intérieur de certaines limites. en effet :

- Plus la teneur de la fonte en carbone total est basse, plus ses propriétés de coulabilité (aptitude de la fonte à remplir correctement le moule) diminuent. et plus les difficultés d'obtention des pièces denses sans défauts (retassures et criques) apparaissent. Et c'est pourquoi industriellement il n'est guère possible d'envisager une teneur en carbone inférieure à 2,70 %

Les meilleurs résultats sont obtenus pour la composition eustectique.

Mn % = 1,72 + 5 % + 0,30 de façon que le rapport des teneurs en manganèse et soufre soit supérieur à celui de leur poids atomique pour que tout le soufre soit combiné au manganèse sous forme de sulfure de manganèse Mn S moins dangereux que le sulfure de fer ( Fe S).

#### II. 2.4. LE SOUFRE

C'est un élément nuisible qui diminue la coulabilité, gêne la graphitisation et augmente la dureté de la fonte qui devient de plus en plus dure ; fragile et poreuse lorsque la teneur en soufre augmente. C'est pourquoi dans l'obtention des fontes grises devant présenter des résistances mécaniques élevées la teneur en soufre ne doit pas dépasser 0,15 % on recherche de préférence une teneur en soufre voisine de 0,10 %

#### II. 2.5. LE PHOSPHORE

Le phosphore déplace vers la gauche comme le silicium la composition du point eutectique et la limite de la solubilité du carbone dans l'austénite à la température eutectique. Il favorise aussi l'accroissement de l'écart de température entre les paliers eutectiques stable et métastable. sa teneur varie pratiquement de 0,05 à 1,5 % à partir d'une teneur de 0,1 % environ, il forme un eutectique Fe - Fe 3 C - Fe 3 P fondant à 983 °C, cet eutectique phosphoreux (ousteadite) crée des difficultés d'usinage, et peut engendrer des prosités diminuée les propriétés mécaniques. Cependant le phosphore améliore beaucoup la fluidité et la coulabilité des fontes grises.

TABLEAU ANALYSE CHIMIQUE DE LA FONTE LAMELLAIRE Ft 25 (C 40) UTILISE DANS LA FABRICATION DES PIECES

	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Ni %	Mo %
Analyse selon cahiers des charges (SNVI)	3,10 3,50	1,80 2,30	0,60 0,80	≤ 0,10	≤ 0,25	≤ 0,30	≤ 0,10.
Analyse faite sur copeaux d'une pièce réelle	3.41	1.9	0.74	0.01	0.21	0.05	0.07



## II. 2.6. STRUCTURE :

### Graphite :

Dans l'espace les particules de graphite se présentent comme des fouilles au profil plus au moins tourmenté.

Au microscope elles apparaissent alors sous forme de batonnets aux extrémités effilées. Leur longueur peut atteindre le millimètre.

### MATRICE :

Comme dans les aciers la matrice à l'état brute de coulée est composée de ferrite, perlite ou d'un mélange phosphoreux (stéadite) lorsque celui ci dépasse 0,1 % environ. Elle peut contenir des carbures lorsque la vitesse de refroidissement est importante ou lorsqu'elle contient des éléments carburigènes.

FERRITE : Elle est plus dure que celle des aciers en raison de sa teneur en silicium plus élevée. La tendance à sa formation croît avec la quantité de carbone équivalent.....

### PERLITE :

Sa dureté croît avec la finesse de ses lamelles.

Sa quantité et sa finesse dépendent de la composition chimique de la fonte et augmente avec la vitesse de refroidissement.

## II. 3. 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 pratiquement pas gêné par le liquide, et de ce fait prend son habitus normal. La vitesse de croissance suivant le plan de base du cristal hexagonal de graphite est un multiple de la vitesse de croissance suivant l'axe C ; Il en résulte qu'un cristal de graphite se présente sous forme d'une plaquette. Cette plaquette 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, parce que leur croissance qui commence librement est bientôt gênée par la phase austénite qui les enveloppe.

La croissance des cristaux de graphite eutectique peut être décrite comme suit : Le germe cristallin prend naissance dans le liquide et se développe d'abord tout à fait librement jusqu'à former une petite plaquette (Fig. 1.10). Au cours de sa croissance le cristal de graphite enlève du carbone de liquide créant ainsi un gradient de concentration en carbone. Au voisinage immédiat de ce cristal, donc là où la concentration en carbone est la plus faible, il se forme bientôt un germe d'austénite à partir duquel se développe un cristal d'austénite, ce dernier pour que soit respecté le rapport constant des poids et des volumes entre les deux phases de l'eutectique. Se développe très rapidement vers la plaquette de graphite et la recouvre bientôt les deux faces, d'abord partiellement (Fig. 1.11.) puis totalement (Fig. 1.12.)

Le cristal de graphite est encore en contact avec le liquide par ses extrémités ; il continue de croître par diffusion du carbone à travers l'enveloppe d'austénite (épaississement des lamelles) et par apport direct sur ses extrémités, ce qui est beaucoup plus rapide. On atteint finalement le stade de l'enveloppement total du cristal de graphite (Fig. 1.13). Toute croissance ultérieure n'est alors possible par diffusion du carbone à travers l'enveloppe d'austénite.

En considérant le moment où s'achève l'enveloppement en classe les types de graphite de la façon suivante :

- Type A. B. C. Surfusion inexistante ou faible, enveloppement très tardif croissance lente et par conséquent lamelles longues.
- Type D. et E. (Graphite interdendritique) surfusion considérable germes en grand nombre, croissance rapide, mais enveloppement précoce et par conséquent lamelles de graphite courtes.
- Graphite punctiforme, très forte surfusion et enveloppement presque immédiat.

Le tableau ci dessous fixe les caractéristiques a atteindre pour la C40 ces valeurs s'entendent pour des éprouvettes tirées de barreaux brut coulée en ce qui concerne la résistance à la traction et sur pièces tabilisées en ce qui concerne la dureté.

SYMBOLE	Designation Citroen Correspondante	Désig. AFNOR	Résistance à la traction daN / mm <sup>2</sup>	Dureté BRINELL 10/3000/15	
				Empreinte 1/10mm	H B
C 40	S.M. 114	Ft 25	25 30	43- 39	195 - 240
	S M 116				

Selon cahier des charges.



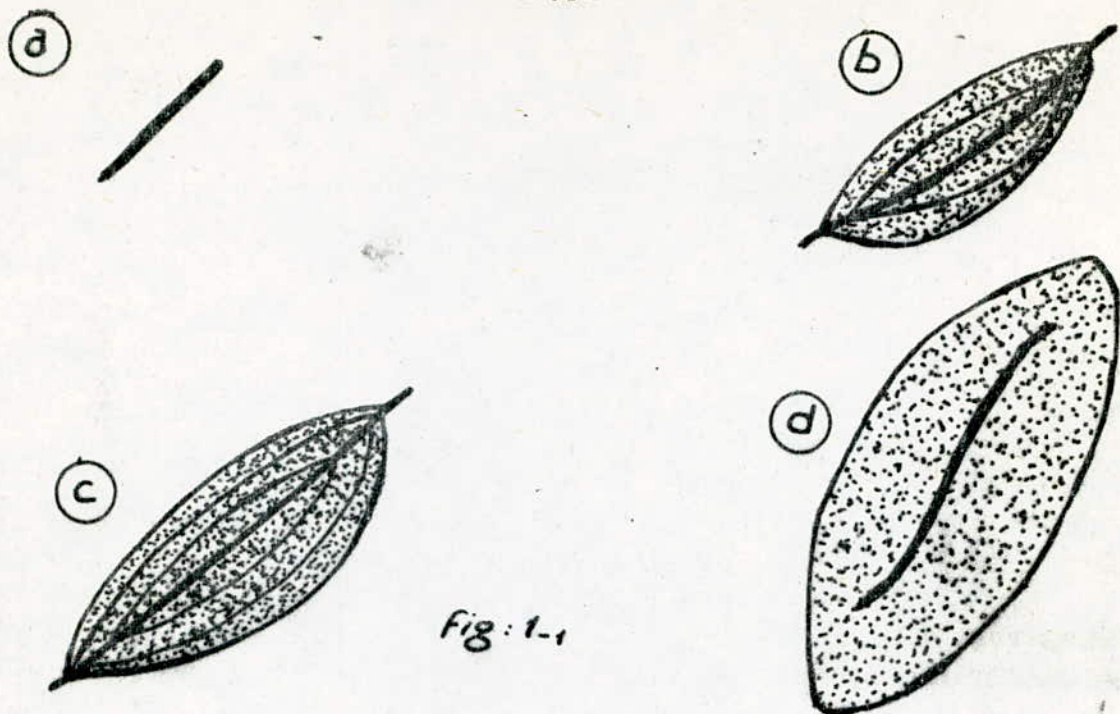


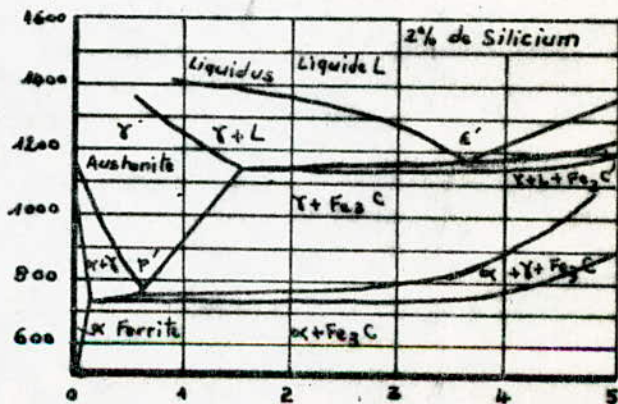
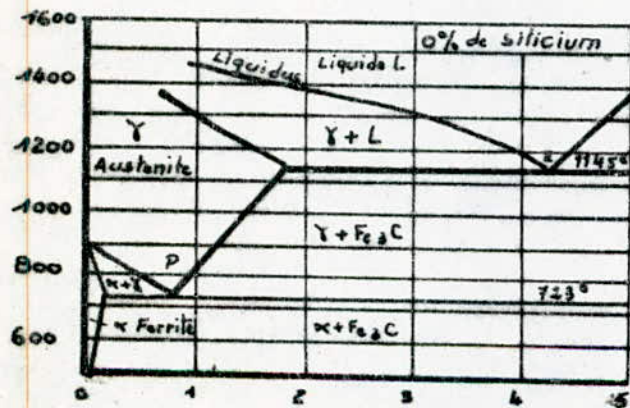
Fig: 1-1

MÉCANISME DE LA CRISTALLISATION DU GRAPHITE LAMELLAIRE DANS LE LIQUIDE EUTECTIQUE

Fig: 1-2

Température, en °C

Carbone, en %



E. Point eutectique - E' section de la vallée eutectique.

P. Point eutectoïde - P' section de la vallée eutectoïde.

INFLUENCE DU SILICIUM SUR LE DIAGRAMME Fe-C



### III. ETUDE DES FONTES G.S.

Ces fontes sont caractérisés par un graphite de solidification sphéroïdal ( de forme VI selon la norme NF A.32 100), répartie de manière uniforme dans la matrice ferritique, ferrito perlitique, perlitique (à l'état brut de coulée) leur différentes propriétés et caractéristiques mécaniques sont définies par la norme NF A 32. 201.

#### III.1 ELABORATION (Fabrication de la fonte).

La fonte de base destinée à la transformation en graphite sphéroïdal peut être élaborée dans l'un quelconque des fours généralement utilisés en fonderie. Elle peut avoir une composition chimique variable, mais une très faible teneur en soufre, généralement inférieure à 0,02 %. Sa composition moyenne est :

- C = 3,2 à 4 %	Si = 1,8 à 3 %
- Mn = 0,18 à 0,8 %	P ≤ 0,006 % , S ≤ 0,02

Si on coulait cette fonte sans transformation on aurait une fonte grise, pour obtenir de la fonte à graphite sphéroïdal, dans cette fonte de base on introduit un alliage contenant deux sortes d'éléments ayant des rôles opposés, immédiatement avant la coulée, des blanchissants qui ont pour rôle d'empêcher temporairement la formation du graphite en lamelles et à donner de la fonte blanche.

Des éléments graphitisants qui provoquent la formation de sphéroïdes de graphite.

Plusieurs types d'alliage peuvent être utilisés.

#### III. 1.1. NICKEL - MAGNESIUM (Ni - Mg)

C'est l'alliage le plus ancien, il a l'avantage d'une forte densité et qui par conséquent, entre facilement dans le métal liquide, une basse teneur dans la fonte, Le nickel peut ne pas modifier beaucoup de

.../...

structure. Mais normalement il tend plutôt à donner une héridité perlitique, d'où l'intérêt d'utiliser le nickel, magnésium dans le cas des fontes G.S. perlitiques.

III. 1.2. NICKEL - MAGNESIUM - SILICIUM (Ni - Mg - Si )

Le rendement en magnésium est un peu plus inférieur à celui de l'alliage précédent, il introduit un peu de silicium et moins de nickel dans la fonte, ce qui peut être avantageux pour certaines application.

III. 1.3. - FER - SILICIUM - MAGNESIUM -(Fe - Si - Mg )

Ce sont les plus couramment utilisés du fait qu'ils sont plus léger et plus économiques et évitent l'introduction de nickel dans la fonte, en plus ça permet l'emploi d'alliages plus dilué en magnésium, ce qui permet des réactions plus calmes et un meilleur rendement. Toutefois, il en résulte aussi un accroissement de la quantité d'alliage utilisée, donc du silicium apporté ce qui oblige à rechercher une teneur en silicium plus basse dans le lit de fusion.

Le point délicat de l'opération de traitement pour les ferro alliages est le mode d'introduction de ces alliages dans la fonte liquide en raison des projections de métal liquide occasionnées par la présence du magnésium qui se transforme brusquement en vapeurs (température d'ébullition 1 100°C).

Un certain nombre de méthode ont été étudiées et à l'heure actuelle la méthode sandwich semble très utilisée pour éviter :

- De grandes pertes en Mg ( Mauvais rendement).
- Les risques d'accident par projection de fonte

Température fusion du Mg = 650 ° C

$\mu = 1,75 \text{ Kg / dm}^3$



III. 1. METHODE SANDWICH :

- Comme nous l'avons déjà signaler cette méthode serait actuellement la plus répandue à cause de sa simplicité et du bon rendement en magnésium.

L'alliage au magnésium est placé dans une cavité ménagée dans le fond de la poche de traitement, cette dernière est de forme spéciale( voir Fig 2.2. ). L'alliage est recouvert de petites chutes de tôle qui l'isolent du contact immédiat de la fonte. Eventuellement, la couverture en tôle peut être remplacée par une couche de ferro-silicium en grain destinée à l'opération finale d'inoculation.

Le traitement doit être pratiqué dans une poche de grande hauteur H par rapport à son diamètre D, (  $H = 2 D$  ) et en conservant une garde importante ( par exemple  $1/3 H$  ) pour éviter les projections.

Le sandwich est composé de deux couches ayant chacune un rôle bien précis.

COUCHE A : Composée de fer silicium magnésium et de faible pourcentage de Ba - Al - La et Ce.

Le magnésium agit comme nodulisant sphéroidisant.

Le silicium agit comme inoculant graphitisant des oxydant.

Le calcium agit comme désulfurant

Le cérium agit comme désulfurant et anti poison.

l'aluminium agit comme désoxydant

le barum agit comme inoculant sphéroidisant et ferritisant.

COUCHE B : Composée de Ferro - silicium - aluminium avec prédominance de l'effet de désoxydation de la fonte liquide.



### III. 2 COMPOSITION CHIMIQUE :

- Comme pour les fontes grises lamellaire, c'est l'analyse chimique de la fonte coulée qui conditionnera principalement sa structure., mais des différences importantes sont à retenir avec le cas des fontes grises ordinaires.

#### III. 2.1. LE CARBONE :

L'influence du carbone sur les caractéristiques est beaucoup plus faible que dans les fontes lamellaires et comme par ailleurs cet élément améliore la coulabilité et évite les défauts de trempe et de retassure si sa teneur ne dépasse pas certaines limites .

La teneur en carbone a une grande influence sur la vitesse de refroidissement des pièces moulées. C'est la raison pour laquelle on choisit habituellement une teneur en carbone inférieure à 4,3 ( c'est la proportion en poids du carbone correspondant à l'eutectique E du diagramme Fe - C).

En fait comme pour les fontes lamellaires les meilleurs résultats ( maximum de coulabilité et un minimum de tendance à la retassure ) sont obtenus pour la composition eutectique.

#### III 2.2. LE SILICIUM

Pour éviter des fontes à graphite non sphéroïdal et afin d'éviter d'obtenir en fin de compte de la fonte traitée, le pourcentage de silicium, élément graphitisant doit être en principe assez élevé, il est en général un peu au dessus de la moyenne rencontrée habituellement dans les fontes ordinaires ( 2,75 % environ) ceci dépend de la massivité des moulages et de la structure recherchée, une grande partie de silicium est apportée par les retours intérieurs de fabrication .

( 0,6 à 10 % et même 1,5 %) et pour les traitements au ferro -alliages (notamment le Fe - Si et Fe - Si - Mg).

Les matières premières utilisées dans le lit de fusion auront donc une teneur assez basse en cet élément mais comme les conditions sont variables d'une fonderie à une autre, il est avantageux de pouvoir choisir la fonte neuve dans une gamme très variée de teneurs en silicium, comme l'accroissement de la teneur en silicium fait durcir la ferrite, augmente la résistance à la traction mais fait baisser la résilience de la fonte.

Il convient d'en ajouter la quantité juste suffisante. La teneur finale visée pourra varier suivant l'épaisseur des pièces entre 1,8 et 3 %

### III. 2.3. LE MANGANESE :

Ce corps pratiquement présent dans toutes les fontes y est parfois ajouté intentionnellement, car c'est un désulfurant actif ( il fixe le soufre sous forme de Mn S).

Le soufre étant déjà éliminé par la magnésium dans les fontes à graphite sphéroïdal et sa teneur résiduel étant très faible, donc l'effet du manganèse comme désulfurant n'est pas nécessaire, sa teneur doit donc être limitée, selon la structure désirée ( 0,10 à 2 % fonte ferretique  
0,2 à 0,4 % fonte ferrito perlitique  
ou perlitique.

et comme le manganèse a pour effet de durcir la fonte c'est à dire de faire baisser sa résilience, il y a donc intérêt dans la plus part des cas où une grande ductibilité est requise à prévoir un pourcentage en manganèse relativement bas ( 0,4 %)

### III. 2.4. LE SOUFRE :

Comme pour les fontes a graphite lamellaire il est souhaitable que la teneur en soufre soit très faible, de préférence inférieure à 0,01 % La présence de soufre a pour inconvénient d'augmenter la consommation de magnésium dont le prix de revient est très élevé, et de former des

.../...



des sulfures de magnésium qui risque de se localiser dans les pièces en inclusions néfastes à leur santé et aux caractéristiques mécaniques.

### III. 2.5 - LE PHOSPHORE :

- Le phosphore, sous forme de phosphures métallique abaisse les propriétés mécaniques du matériau.

C'est un élément fragilisant des fontes à graphite sphéroïdal. Les fontes ductiles de qualité ordinaire correspondent à un pourcentage en phosphore inférieur à 0,2 mais on peut sans inconvénient majeur avoir un P allant jusqu'à 0,6 et obtenir des fontes GS de bonne qualité.

Mais si on veut avoir une bonne ductibilité dynamique (résistance au choc) pour la fonte à graphite sphéroïdal on maintient le titre en phosphore aussi basse que possible et dans tous les cas  $P \leq 0,08 \%$

### III. 2.6. LE MAGNESIUM

Pour ce qui est du magnésium la quantité est assez faible malgré que c'est un élément de base pour l'obtention du graphite sphéroïdal. Sa teneur de 0,03 % à 0,7 % avec la variation de l'épaisseur de moulage. Pour les pièces minces une teneur de 0,03 % peut être suffisante. Pour les pièces épaisses on peut avoir une teneur de 0,07 % et même 1,0 % mais dans le cas où on désire obtenir une structure ferritique brut de coulée il est nécessaire d'avoir des valeurs très faibles. Il est à noter que la température d'ébullition du magnésium est de 1100 ° C et que son immersion dans la fonte liquide donne lieu à une vaporisation soudaine du métal, donc la teneur en magnésium résiduel diminue aussi rapidement que la température de la fonte liquide est élevée.

D'où la nécessité de prévoir une certaine marge par excès. En tenant compte bien sûr du temps de coulée. Il convient aussi de noter que le magnésium se trouve dans la fonte sous deux formes. (Sulfures de magnésium Mg S (inclusions néfastes aux caractéristiques mécaniques des moulages) Magnésium dissout seul actif.



III. 2.7. IMPURETES NOCIVES :

- Lorsque la fonte présente une teneur finale en soufre très faible, et une teneur correcte en magnésium, la forme du graphite doit normalement être bien sphéroïdale s'il n'y a pas d'impuretés nocives. Mais certains éléments peuvent détruire la forme spheroidale et le graphite apparait sous forme de modules déchetée passant éventuellement au pseudo-lamelles ou même aux lamelles.

Les plus nocifs sont le plomb, le bismuth, et le tellure qui agissent à très faibles teneurs (0,003 à 0,005 %). Les éléments antimoine, titane, arsenic, sont nocifs à des doses plus élevées (0,05 à 0,1 %) l'aluminium n'est nocif qu'en forte teneur ( > 1 %)

On utilise comme contre poison le cerium qui joue le rôle de remede on fixant ces poisons sous forme de composé intermetalliques.

TABLEAU ANALYSE CHIMIQUE DE LA FONTE G.S. 38-15 PRODUIT A LA S.N.V.I. ROUBA

-----ooo0ooo-----

	% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Mg
Analyse selon cahier de charge (S.N.V.I.)	3,65 3,85	2,60 3,20	< 0,40	< 0,008	< 0,02	0,035
Analyse réelle sur barre brut de coulée	3,58	2,48	0,33	0,01	0,015	0,041

### III. 2.8. STRUCTURE :

Les différentes nuances de fonte G.S. proposées par la norme AFNOR A.32 201 correspondent à des structures différentes soit :

- Ferritique pour les catégories présentant ductilité résistance au chocs et allongement.
- Perlitique pour les nuances à résistance à la traction (et au frottement) élevée.
- Ferrito perlitique pour un compromis entre ces caractéristiques.

Il faut signaler que toutes les impuretés orientent vers la perlite et c'est pourquoi lorsqu'on recherche la structure ferritique (ce qui est notre cas) il est nécessaire d'utiliser les matières premières très pures.

### III. 3. MECANISME DE LA CRISTALLISATION DU GRAPHITE SPHEROÏDALE

( Selon A. DESY et J VIDES ).

Pour mieux élucider le mécanisme de la cristallisation du graphite sphéroïdal, il est avantageux d'examiner ~~pour~~ les structures de deux fontes hypoeutectiques ayant la même composition, mais l'une avec graphite sphéroïdal et l'autre avec graphite lamellaire en comparant les deux micrographies ( Fig. 3.1... et 3.2.. ) on constate notamment :

- 1° - La différence de forme du graphite sphéroïlites d'une part et lamelles de l'autre.
- 2° - La similitude des zones de ségrégation plus fortement attaquées qui correspondent au liquide de dernière solidification, enrichi en impuretés. Ces zones de ségrégation permettent de déceler les joints des grains de l'austérité primaire.
- 3° - La différence de répartition des particules de graphite ; les sphéroïlites sont situés à l'intérieur des grains d'austénite tandis que les lamelles se trouvent dans les zones de ségrégation.



La position centrale des sphérolites de graphite à l'intérieur des grains primaires indique que ces sphérolites ont réellement **Crû** en phase solide c'est à dire par apport de carbone diffusant depuis le liquide jusqu'au cristal de graphite en cours de cristallisation à travers l'enveloppe austénitique.

Sans exclure à priori quela croissance spheroidale des cristaux de graphite puisse être liée à des phénomènes d'interface dûs à l'**adsorption** de magnésium ou d'autre corps modulisants, tel que : (Ce. Li. Ba. Sr. Na. La. Y. ....) qui ont tous la particularité d'être à la fois très avides de soufre et d'oxygène (éléments qui réduisent très fortement la tension superficielle (T.S) de la fonte car l'élimination des éléments soufre et oxygène provoque une **remontée** (très nette de la tension superficielle (TS). Il est par, ailleur loisible d'expliquer la croissance sphéroidale par un **mécanisme** de diffusion isotrope et d'auto diffusion. En admettant que l'austénite soit homogène, on conçoit que la diffusion duncarbone vers le cristal de graphite en cours de croissance s'effectue avec la **même** vitesse dans toutes les directions, une vitesse constante de croissance variable, engendre évidemment la forme sphéroidale. La libération de l'espace nécessaire à l'accroissement du sphérolite peut se faire, soit par déformation plastique de l'austénite sous l'influence de la force de cristallisation, soit par diffusion du fer (auto diffusion) et des autres éléments dissous dans l'austénite, dans le sens opposé du carbone.

La seconde hypothèse semble **la** plus probable, car de nombreuses observations, ont prouvées qu si un sphérolite rencontre une inclusion **au** cours de sa croissance, il l'enveloppe en perdant sa forme sphéroidale ce qui est un argument de poids en faveur de l'hypothèse de la diffusion sitrope et de l'auto diffusion dans les cristaux homogène d'austénite.

Il reste à savoir où les germes de graphite prennent naissance ?  
Il n'y a que deux possibilités :

.../...

- Soit dans les cristaux sursaturés d'austénite, soit dans le liquide. Dans les deux cas, probablement très près de l'interface solide liquide (concentration maximum de carbone), ou au moins dans son voisinage.

Dans le premier cas, le graphite est enveloppé d'austénite dès sa naissance et le cristal se développe dès le début suivant une réaction péritectique.

Dans le second cas, la particule de graphite se forme dans le liquide mais elle est très rapidement enveloppée par l'austénite (forte surfusion, germination tardive, enveloppement quasi immédiat). Sans doute, n'est il pas possible de préciser si, les germes du graphite qui se forment tous près de la surface des cristaux d'austénite naissent dans l'austénite sursaturée ou dans le liquide sursaturé, mais il est en tout cas certain que le cristal de graphite croit dans l'austénite suivant une réaction péritectique, sinon, dès le début, au moins depuis un stade très précoce.

### III. 4 CARACTERISTIQUE MECANIQUES :

Par référence à la norme, la qualité des fontes GS est définie par ses caractéristiques déterminées sur éprouvettes usinées à partir d'un bloc échantillon coulé a part. Les formes et dimensions de ces blocs sont parfaitement définies par la norme.

Evidement, les caractéristiques mécaniques dépendront de la bonne spheroidisation du graphite ainsi que la structure qui joue un rôle déterminant.

Pour une forme bien spheroidale du graphite les caractéristiques de résistance et d'allongement sont proches de celles de l'acier. Ces caractéristiques peuvent varier si on passe d'une structure ferritique (  $RT = 40 - 55 \text{ Kg/mm}^2$  et  $A = 15 - 24 \%$  ) à une structure perlitique (  $RT = 60 - 90 \text{ kg/mm}^2$  et  $A = 3 - 8 \%$  ) en passant bien sûr par des valeurs intermédiaires pour la structure ferrite perlitique. Dans notre étude on a affaire à une structure complètement ferritique.



**T** ABLEAU - **C** ARACTERISTIQUE

**M** E C A N I Q U E

- Selon cahier des charges ( fonte produite à la  
S.N.V.I. C.V.I. Rouiba)

SYMBOLE	RESISTANCE	Limite	Allongement	Résilience	Dureté Brinell	
	A LA TRACTION	Elastique	%	Daj / cm 2	10 / 3000 / 15	H.B.
	daN / mm <sup>2</sup>	daN / mm <sup>2</sup>			Ø Empreinte en 1/10mm	
F.G.S.	38	27	15	1,5	51	137
					46	140

- Ces valeurs s'entendent pour des éprouvettes tirées de lingots échantillons ayant subi le même traitement que les pièces.

#### IV ETUDE EXPERIMENTALE

##### IV. 1 ECHANTILLONS ET ERROUVETTES :

Les éprouvettes utilisées dans notre étude sont tirées de barreaux bruts de coulée (lingots échantillons) qui sont coulés à par (dans un moule "Keel Bloc " vers la fin de la coulée) avec du métal provenant de la poche destinée à la réalisation des pièces.

##### IV.2 MICROGRAPHIE

Elle nous permet de mettre en évidence les constituants des produits à étudiés.

L'étude à été réalisée par un microscope de marque ZEISS (Fig.....) au laboratoire mécanique S.N.V.I. de Rouiba. La préparation des échantillons micrographiques a été faite de la manière suivante.

- Prélevement : Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une scie mécanique et d'une tranconneuse sous arrosage de lubrifiant.

Enrobage : Les échantillons ont été enrobés à froid avec de la résine .

Polissage : Le polissage a été réalisé sous un courant d'eau avec des papiers abrasifs en passant par plusieurs étapes.

- Polissage grossier avec papier émeri 120 - 320 - 600

- Polissage fin " " 1000

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

Attaque :

- L'attaque des fontes lamellaires et sphéroïdals se fait avec un réactif de fer, Nital de composition :

H N. 03 5 %

C H 3.C H2.OH 95 %

La durée de l'attaque et de 15 - 20 secondes.



Préparation des éprouvettes :

- Les éprouvettes de traction et de résilience ont été réalisées à l'aide d'une fraiseuse universelle et la finition à la main.

Leurs dimensions sont données par la norme AFNOR

NF A 32 201 pour l'éprouvette de traction

NF A 03 156 pour l'éprouvette de résilience.

IV.3 Essais mécaniques :

- Les essais mécaniques ont pour but de déterminer un certain nombre de caractéristiques des métaux et alliages.

- Résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à un effort constant (essai de dureté).
- Aptitude à la déformation plastique et élastique pour essai de traction (ou compression).
- Résistance au choc (essai de résilience).

- Les résultats obtenus dans ces différents essais qui mettent en oeuvre des techniques particulières.

- ( - Eprouvettes de formes et dimensions bien définies )
- ( - Appareils conçus spécialement à ces effets avec des conditions )
- ( d'emploi bien précisés. )

sont en relation directe avec la structure du métal et permettent de prévoir son comportement dans les conditions réelles de l'utilisation.

IV. 3 1 ESSAI DE TRACTION

Il consiste à soumettre une éprouvette de forme normalisée (dans notre cas cylindrique de longueur initial  $L_0$  et section initiale  $S_0$ ) d'un effort de traction appliqué de façon continue selon l'axe de l'éprouvette jusqu'à rupture de cette dernière et à enregistrer la déformation de l'éprouvette  $L - L_0$  { L Longueur final  
{  $L_0$  Longueur initial en fonction de la charge appliquée.

L'appareil utilisé pour cet essai est une machine universelle de traction du type U S D R ( Fig.....)

Chaque éprouvette a été marquée par 2 repères distant d'une longueur  $L_0$  (défini par la norme AFNOR A32 101 et A32 201)

Les variations de dimensions que subit l'éprouvette au cours de l'essai sont mis en considération par les formules suivantes.

$$- A \% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{avec} \begin{cases} L_0 : \text{Longueur entre repères avant essai} \\ L : \text{Longueur entre repère après essai} \end{cases}$$

$$- R r = \frac{C r}{S_0} \quad \text{Avec} \begin{cases} C r : \text{Charge maximal supporté par l'éprouvette} \\ S_0 : \text{Aire de la section de l'éprouvette avant essai} \end{cases}$$

$$- R e = \frac{C e}{S_0} \quad \text{Avec} \begin{cases} C e : \text{Charge à la limite élastique} \end{cases}$$

#### IV. 3 2 ESSAI DE RESILIENCE :

L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule avec éprouvette entaillée (en U) en son milieu et reposant sur deux appuis. On détermine l'énergie (w) absorbée dont on déduit la résilience qui est l'énergie exprimée en joules par cm<sup>2</sup> nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette.

$$\text{Résilience (K)} = \frac{\text{Energie absorbée par la rupture } W(J)}{\text{Section au droit de l'entaille (Cm}^2\text{)}}$$

L'essai a été effectué conformément à la norme AFNOR A 03 /156 sur une machine de résilience "CHARPY TYPE n° NC 2701. (Fig...)

- Avec - Poids du pendule : 23,525 Kg
- Rayon du pendule : 0,671



IV. 3.3. ESSAI DE DURETÉE :

La dureté d'un métal est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui.

Pour des conditions expérimentales données, la dureté du métal est d'autant plus grande que la pénétration du corps est plus faible. L'essai consiste à exercer sur un poinçon de forme (sphérique, conique ou pyramidal) une force constante pendant un temps donné, une empreinte de diamètre "D" apparaît sur le métal.

La dureté est donc évaluée en fonction de la surface ou de la profondeur de l'empreinte laissée par le poinçon.

IV.3. 3.1. ESSAI BRINELL :

La pénétrateur est une bille en acier extra dur de diamètre D  
L'empreinte laissée par la pénétration du poinçon est assimilée à une calotte sphérique de surface S

La dureté BRINELL est définie par  $H B = \frac{P}{S}$

P : étant la force en (dan) exercée sur la bille

S : est calculer par la formule  $s = \frac{\pi D}{2} ( D - \sqrt{D^2 - \frac{4P}{H}} )$

ou d est le diamètre de la circonférence de l'empreinte .

l'essai a été effectué conformément à la norme AFNOR A 03.204  
une machine S.K.F. Type 09. ( fig.....)

**IV. 4 ASPECT MICROGRAPHIQUE :**

- Fonte lamellaire Ft. 25 : L'étude a été faite sur une pièce réelle stabilisée.

les figures (Page. 38.) montrent que la structure est perlitique à 90 % la forme distribution et dimension du graphite ont été déterminées suivant disposition de norme AFNOR A.32.100

Forme du graphite I	}	Partie épaisse de la pièce (Donc refroidissement lent)
Distribution A		
Dimension 5 : 6 à 12		

Forme I	}	Partie mince ( refroidissement rapide )
Distribution D.E.		
Dimension 5 : 6 à 12		

On peut remarquer que l'épaisseur de la pièce influence sur la distribution du graphite, en effet que que l'épaisseur est faible (donc refroidissement rapide) plus le graphique est mieux répartie.

Fonte G.S. 38 - 15

- L'étude a été faite sur micro tirée de barreau brut de coulée.

La structure est complètement ferritique avec un graphite

de	}	forme VI
		Distribution A
		Dimension 6.7.



IV. 5.1. CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE :

Les ~~pages 40 et 41~~ Représentent les diagrammes de traction caractéristique des fontes Ft 25 et GS 38-15 à l'état brut de coulée.  
d'après ces diagramme on tire les caractéristiques suivantes :

Fonte G.S 38 - 15

- La charge à la rupture

$$Cr : 7000 \text{ Dan pour } So \approx 153 \text{ mm}^2$$

$$Rr \approx 45 \text{ Dan / mm}^2$$

- La charge à la limite élastique

$$Ce : 5\ 000 \text{ dan pour } So \approx 153 \text{ mm}^2$$

$$Re \approx 32 \text{ Dan / mm}^2$$

- Allongement à la rupture.

$$DL : 11 \text{ pour } Lo \approx 70 \text{ mm}$$

$$A : 15 \%$$

Fonte Ft 25

- Charge à la rupture

$$Cr : 3875 \text{ Dan pour } So \approx 153 \text{ mm}^2$$

$$Rr \approx 25,33 \text{ Dan / MM}^2$$

- Charge élastique :

$$Ce : 1274 \text{ Dan pour } So : 153 \text{ mm}^2$$

$$Re : 8,33 \text{ Dan / mm}^2$$

- Allongement à la rupture

$$DL = L o \approx 70 \text{ mm}$$

$$A \% \approx 0 \%$$

IV. 5 2 DETERMINATION DE LA RESILIENCE :

Connaissans l'angle  $\alpha$  qui est lu directement sur la cadran du dispositif on peut déterminer la résilience K  
Dans notre étude on a utilisé un tableau qui donne directement la valeur de la résilience K à partir de l'angle  $\alpha$

IV. 5.3 . DETERMINATION DE LA DURETE BRINELL

Connaissans la charge P (force appliqué sur le poinçon) le diamètre " D " de la bille et " d " celui de l'empreinte on peut déterminer H.B.

$$P = 3000 \text{ d A N}$$

$$D = 10 \text{ mm}$$

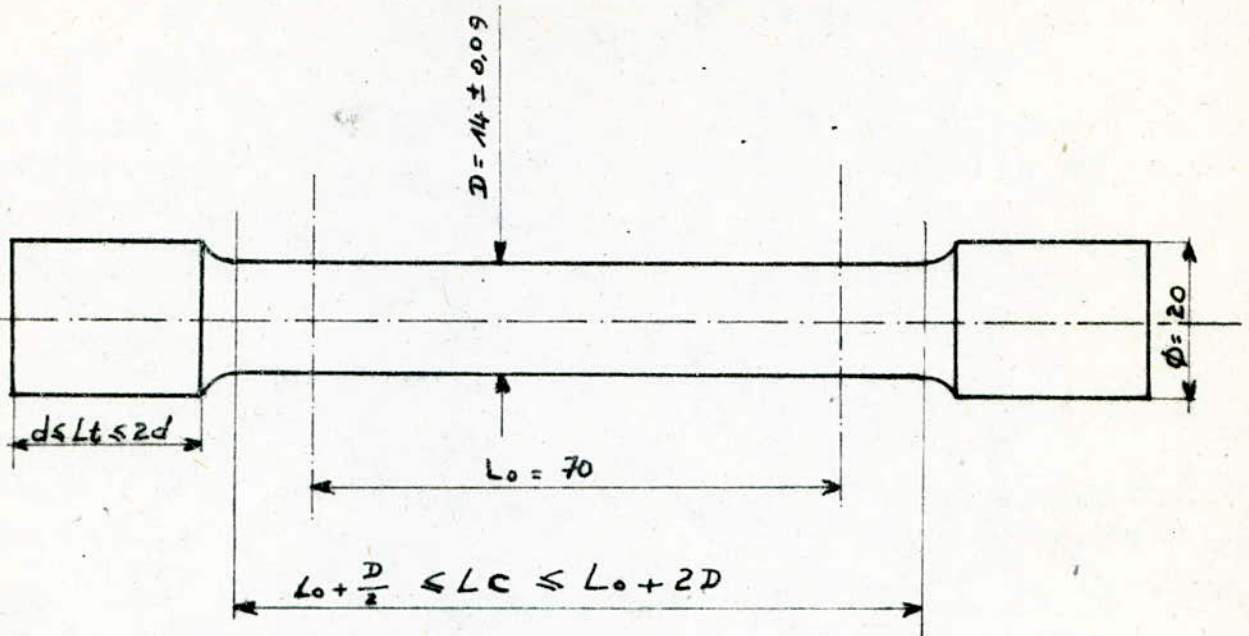
$$4,0 \leq d \leq 4,2 \text{ mm} \quad \text{pour fonte Ft 25}$$

$$4,2 \leq d \leq 4,3 \text{ mm} \quad \text{pour fonte G3 38-15}$$

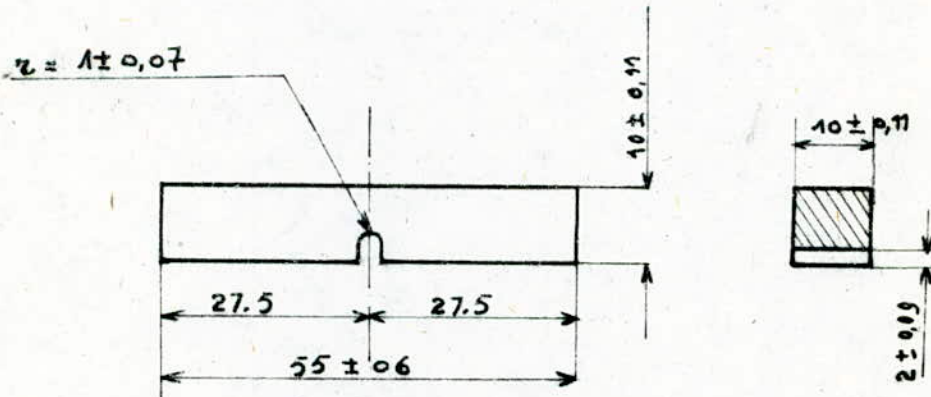
Nuance	R r (Dan MM2)	R e' (DANmm2)	A %	K (Daj / cm2)	H B
G S 3815	45	32	15 %	1,76	197
Ft 25	25,33	8.33	/	1,49	218

Chaque valeur sur le tableau correspond a une moyenne de trois essais.





EPROUVETTE DE TRACTION



EPROUVETTE RESILIENCE CHARPY "U"

Fig: 4.1



Fonte Ft 25  
BRUTE DECOULÉE  
NITAL x 250

Fig: 4.2



(Pice mince)  
Fonte Ft 25  
BRUTE DECOULÉE  
SANS ATTAQUE  
(x700)

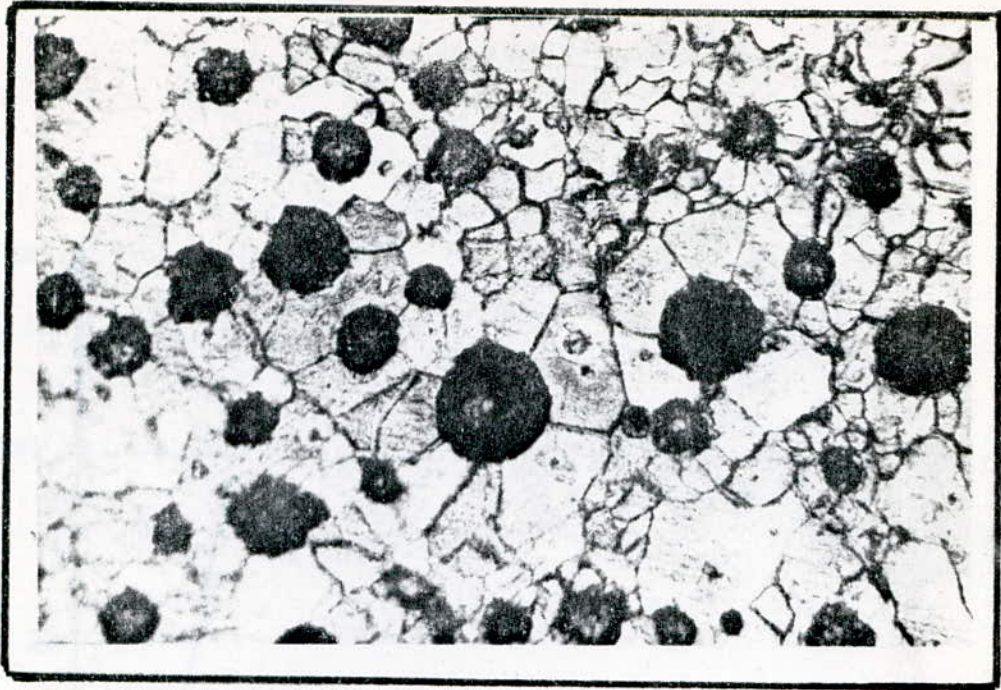
Fig: 4.3



(Pice épaisse)  
Fonte Ft 25  
BRUTE DECOULÉE  
SANS ATTAQUE (x100).

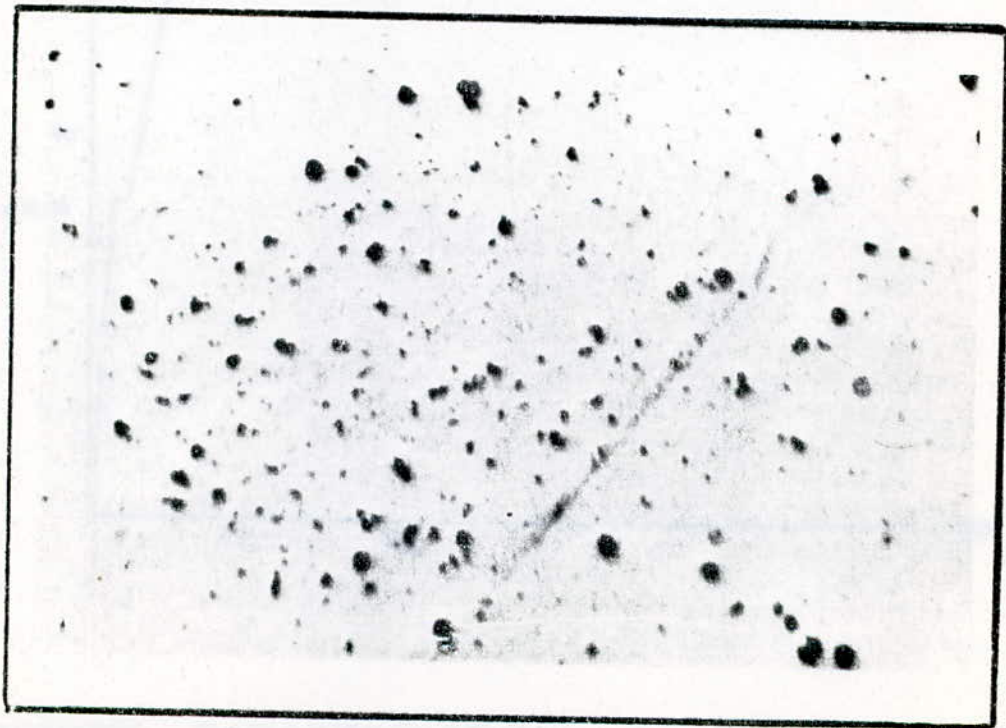


Fig: 5.1



Fonte GS 38-15 (après traitement de ferritisation).  
(NITAL x 250).

Fig: 5.2



Fonte GS 38-15  
sans attaque (x 100).

V. COMPARAISON ENTRE LA FONTE Ft 25 et GS 38 -15

V.1. PROPRIETES DE TRACTION :

D'après les expériences de traction faite sur les deux fontes on peut tirer les conclusions suivantes :

V.1.1. RESISTANCE A LA RUPTURE :

Pour la fonte lamellaire Ft 25 la résistance à la rupture est de 25,33 Dan/mm<sup>2</sup>

Pour la fonte GS 38-15 la résistance à la rupture est de 45 Dan/mm<sup>2</sup>  
On remarque la résistance à la rupture de la G S 38-15 est de loin supérieur à celle de la fonte Ft 25, donc pour les pièces travaillant à la traction, la fonte G S 38 - 15 peut remplacer la Ft 25.

V. 1.2. LIMITE ELASTIQUE :

La limite élastique de la fonte G S 38- 15 est de 32 Dan/mm<sup>2</sup>

La limite élastique de la fonte Ft 25 est de 8,33 Dan/mm<sup>2</sup>, là aussi nous remarquons la supériorité de la fonte GS 38 -15 sur la fonte Ft25, et de ce fait nous confirmons la possibilité du remplacement de la fonte Ft 25 par la fonte G.S 38- 15 pour les pièces travaillant à la traction ( ce n'est pas notre cas car les pièces ne sont pas soumises à un effort de traction).

V. 1.2. ALLONGEMENT :

La fonte GS 38 - 15 à un allongement de 15 %, la fonte Ft 25 n'a pas d'allongement ou plus précisément un allongement négligeable de 1 %.

On peut en conclure que : la fonte GS 38-15 est plus ductile , ce qui permet de dire qu'elle est meilleure pour la construction mécanique, par rapport à la Ft 25, mais dans notre cas la fonte Ft 25 ne cause aucun problème à la réalisation des pièces.



V. 5. RESISTANCE A LA FATIGUE

La fatigue étant définie comme étant la rupture sous charges fréquemment variables pour des efforts bien inférieurs à la charge de rupture. La cause fondamentale de la rupture en fatigue est la distribution non uniforme des tensions dans la pièce en travail.

Tous les métaux sont hétérogènes dans leurs structure microscopique et des concentrations de tension diminuent lentement par déformation plastique locale.

Ce relachement n'est pas possible quand la charge est fréquemment alternée. Au contraire après un grand nombre de cycles, de petites criques apparaissent dans des zones où la tension se concentre et cela entraîne une concentration supplémentaire. La crique se propage en rupture.

Pour la fonte GS 38-15, les sphéroides et leur voisinage immédiat qui cependant cause une concentration des tensions (car la fonte GS 38-15 est particulièrement non homogène en raison de la présence de sphéroides de graphite) sont aussi capables d'absorber une quantité considérable d'énergie avant de laisser se développer une crique même si une crique à pris naissance les sphéroides offrent une multitude de barrières qui arrêtent la propagation de la crique.

Dans le cas de fonte grise lamellaire, cette barrière n'existe pas et les criques se propagent facilement de lamelles en lamelles.

On peut tirer comme conclusion que pour les pièces travaillants sous charge alternée la fonte GS 38-15 peut très bien remplacer la Ft 25 mais il est à noter que dans notre cas les pièces ne sont soumises à aucun effort de fatigue donc la Ft 25 ne cause aucun problème de rupture par fatigue.

V. 6 RESISTANCE A LA COROSION :

Selon : M. DECROP.

En théorie la corosion peut n'être qu'une simple réaction chimique entre le milieu corosif et la pièce exposée. Après que le produit de la corosion ait couvert la surface exposée. La réaction peut s'arrêter ou continuer suivant la nature du produit de corosion, et s'il y a ou pas d'influences mécaniques qui enlèvent le produit de corosion de la surface.

En pratique, la corosion est presque toujours un processus électrochimique. En ce qui concerne les fontes (GS 38-15 et lamellaires) il se forme une batterie de piles entre les composants de la fonte et le milieu corosif, ce dernier agissant comme électrolyte. Le composant le plus noble électrochimiquement est le graphite suivi par le carbure de fer.

Le composant le moins noble est la ferrite, Par conséquent le graphite agit comme cathode, aidé par tous les carbures présents, alors que la ferrite devient anode et se détruit par corosion. Le courant électrique entre dans la pièce par les sphéroïdes de graphite et réintroduit le milieu corosif de la matrice métallique.

(Le taux de courant est directement proportionnel aux taux de corosion car les intensités de courant plus élevées transportant plus d'ions corosifs vers la matrice métallique). Il est à noter que la fonte GS 38-15 se corode moins vite que la fonte grise lamellaire du fait que sa surface cathodique est moins active, mais les deux fontes se corrodent à une vitesse inacceptable d'où la nécessité d'une couche de revêtement protectrice (Peinture).

V. 7. ETANCHEITE A LA PRESSION :

Les pièces en fonte grise lamellaire quand elles sont parfaitement saines fuient quand elles contiennent du liquide ou du gaz à pressions internes élevées ( dans notre cas on a l'huile sous pression de 7 Bars). La fuite est probablement un résultat de la diffusion le long des lamelles de graphite et au travers de la matrice qui est fortement sous tension. Dans notre cas la fonte Ft 25 ne cause aucun problème d'étanchéité, et la fonte GS 38-15 peut remplacer la Ft 25, car dans

.../...



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

Jusqu'à ce jour les pièces en fonte Ft 25 ont été importées, car la production nationale se limitait à la fonte G.S. 38-15, depuis une année, cette production a été étendue à la fonte Ft 25.

L'étude qui précède, montre que la fonte G.S. 38-15 peut remplacer la fonte Ft 25 pour la réalisation des pièces considérées, leurs propriétés de résistance, corrosion, fatigue .... sont vérifiées.

Il est à signaler par ailleurs que la fabrication des pièces en fonte G.S. 38-15 revient à un coût plus élevé, du fait que l'élaboration de la fonte G.S. 38-15 nécessite une étape supplémentaire que celle de la fonte Ft 25, cette étape concerne l'ajout de ferro-silicium-magnésium.

Etant donné que la fonte Ft 25 vérifie les exigences pour la fabrication des pièces, il serait économiquement préférable de l'utiliser. donc, on devrait produire de la fonte Ft 25 à la S.N.V.I. de Rouiba. (Projet et étude réalisés, la Ft. 25 est produite à Rouiba).

-----ooo0ooo-----

VI. INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DES PIÈCES SUR LA FONTE GS 38-15

Comme les pièces (chapeau de pompe à l'huile et cylindre avant) présentent une variation d'épaisseur il est donc intéressant d'étudier l'influence de l'épaisseur sur la structure (donc caractéristique mécanique) de la G.S. 38.15

Pour faire cette étude on a préparé un moule spécial, les empreintes ont été faites par 7 cylindres de  $\varnothing$  6 à 30 mm.

La coulée a été faite avec de la fonte GS 38-15 destinée à la réalisation des pièces réelles.

Après refroidissement lent dans le moule, dessablage et débavurage on a fait sur chaque pièce des essais de dureté et micrographie, les résultats obtenus sont les suivants :

- ESSAI DE DURETE : (Essai BRINELL).

Épaisseur de la pièce (mm)	$\varnothing$ mm de l'empreinte	H.B. 10/3000/15
30	41	217
24	40	229
20	39,5	235
15	39,0	241
13	38,5	248
10	36	285
6	35	302



INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION

- Les résultats obtenus montrent que la dureté brinell, le pourcentage de perlite sont inversement proportionnel à l'épaisseur.

Ceci est expliqué par : Une diminution de l'épaisseur, ce n'est rien d'autre qu'une augmentation de la vitesse de refroidissement, donc augmentation du pourcentage de perlite. Comme la perlite a une dureté H.B. supérieure à celle de la ferrite, on a donc une augmentation de cette dernière (dureté H.B.).

On remarque aussi que le graphite est mieux distribué et dimension plus faible lorsque l'épaisseur diminue (même résultat obtenu pour la fonte Ft25).

D'après la norme AFNOR on peut remarquer le changement de dimension des particules de graphite de 5 à 8, et distribution du graphite variant de D à E.

La méthode visuelle permet de fixer le changement de pourcentage de perlite de 10 à 75 %



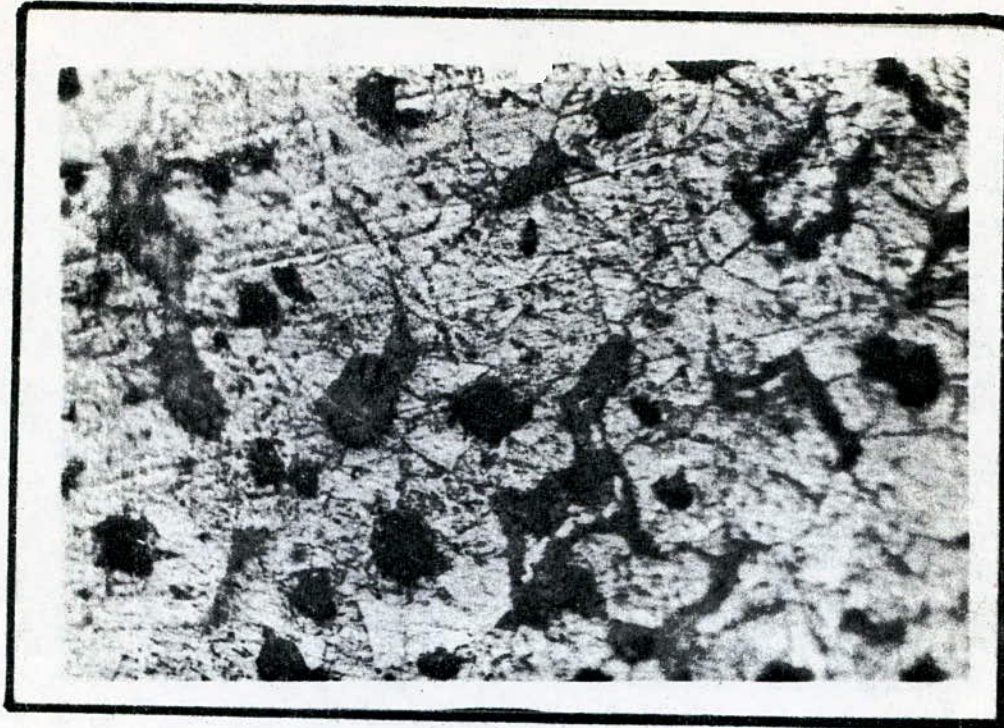


Fig: 6.1

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 30 mm).  
nitral x 250 ; structure Ferrite perlitique (à 10% perlite).

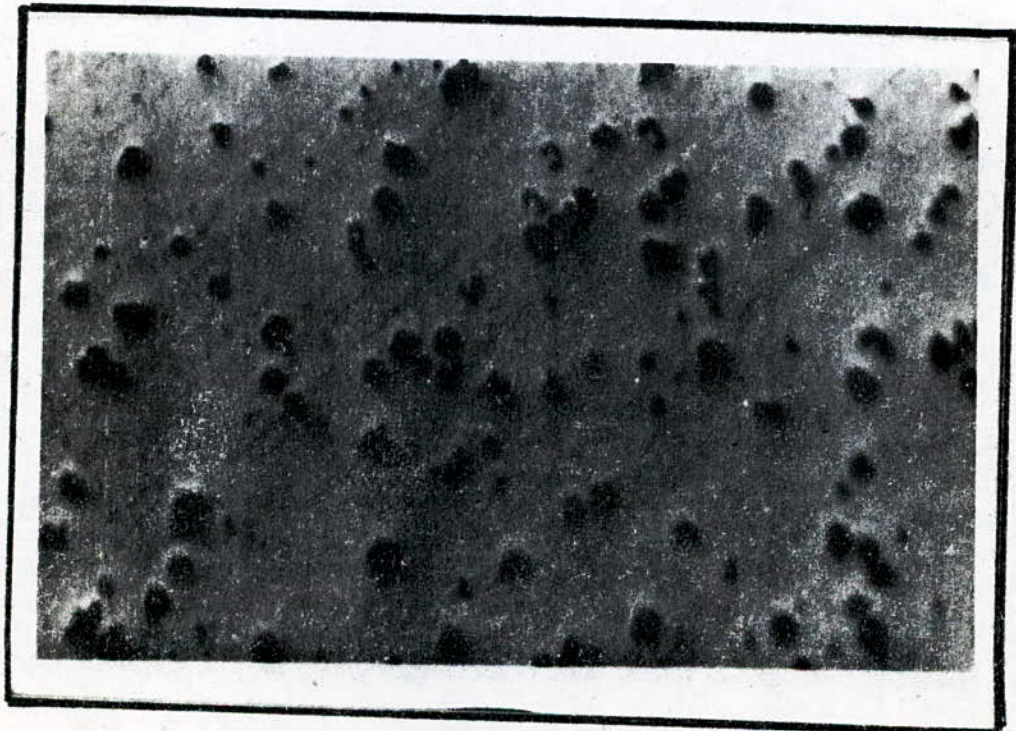


Fig: 62

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 30 mm)  
sans attaque (x 100).



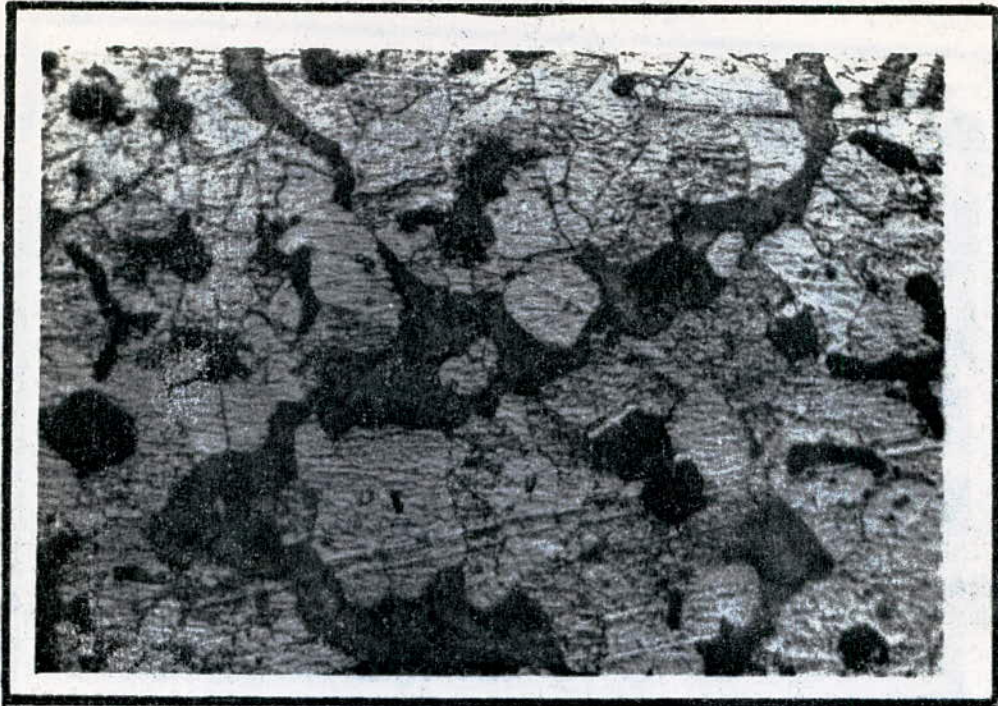


Fig: 7.1

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 24 mm)  
Nital x 250 ; structure Ferrite perlitique  
(à 20% perlite).

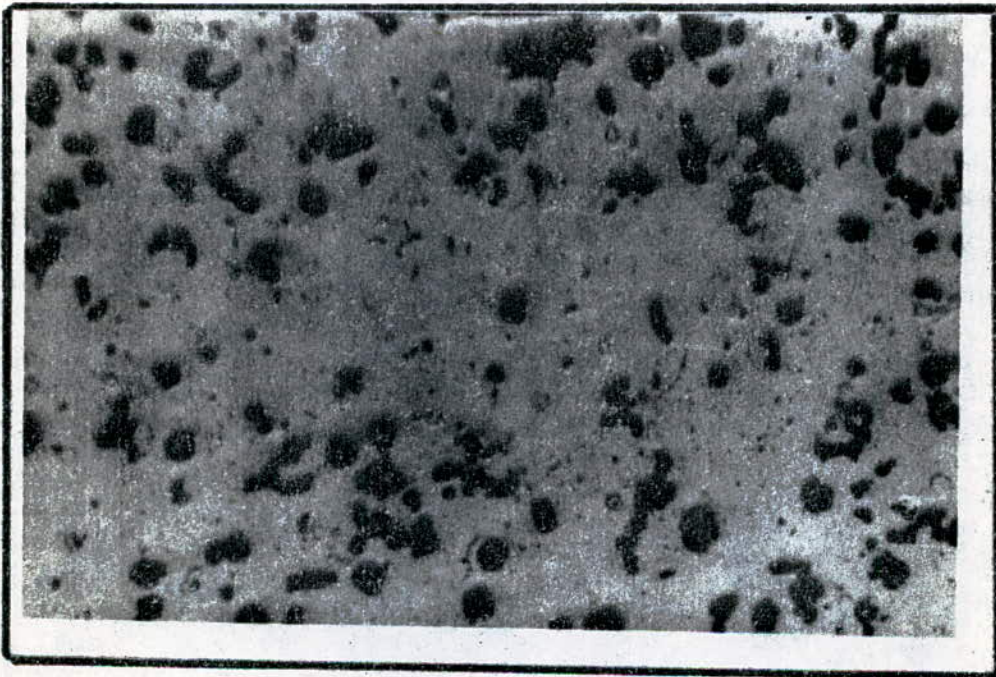


Fig: 7.2

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 24 mm).  
sans attaque (x100).





Fig: 9.1

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 15mm).  
Nital x 250 : structure ferrite-perlitique.

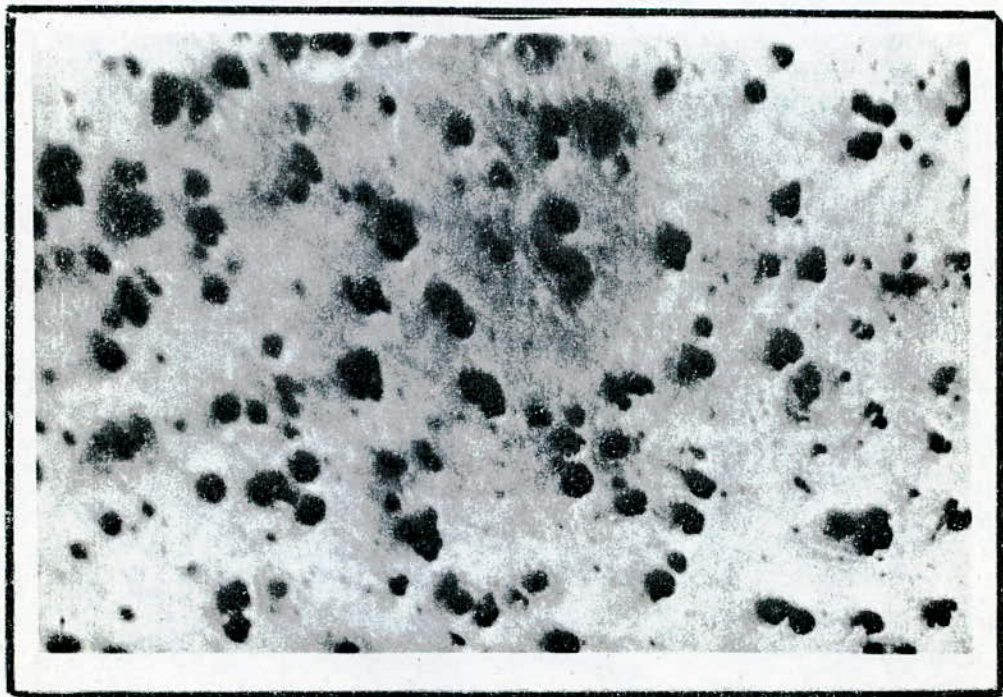


Fig: 9.2

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 15 mm)  
SANS ATTAQUE (x 100).





Fig. 10.1

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 13 mm).

Nital x 250 : structure FERRITO-PERLITIQUE  
à 50 % perlite.

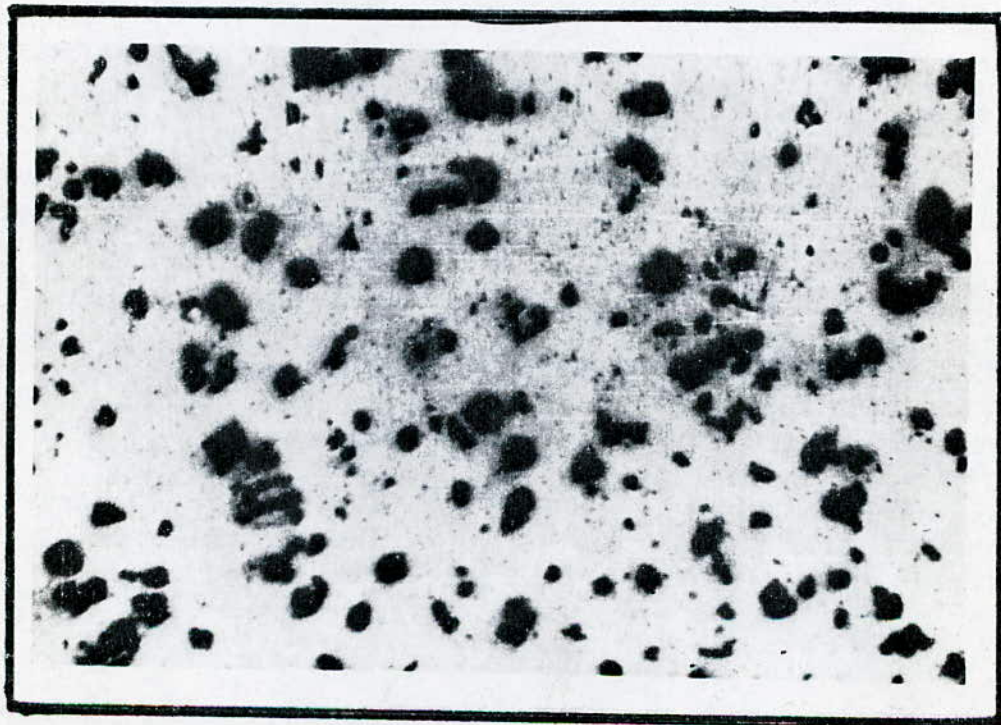


Fig. 10.2

Ferrite GS 38-15 (EPAISSEUR = 13 mm).

sans attaque (x 100).





Fig: M.1.

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 10 mm).  
NITAL x250 - structure ferrite-perlitique à 60% perlite.

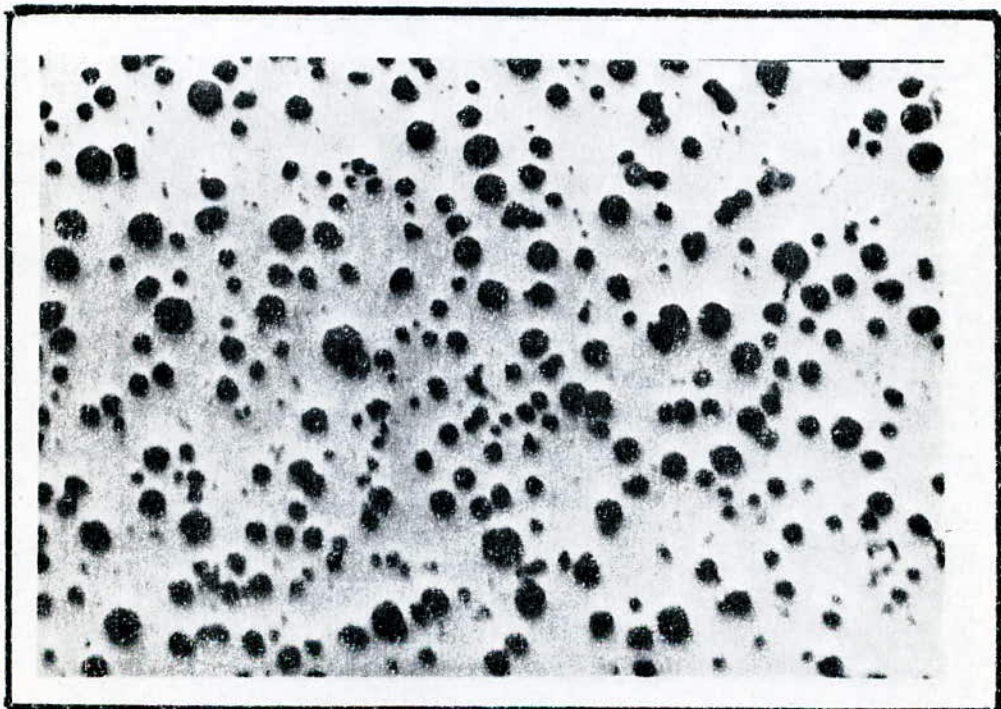


Fig: M.2

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 10 mm)  
sans attaque (x 100).



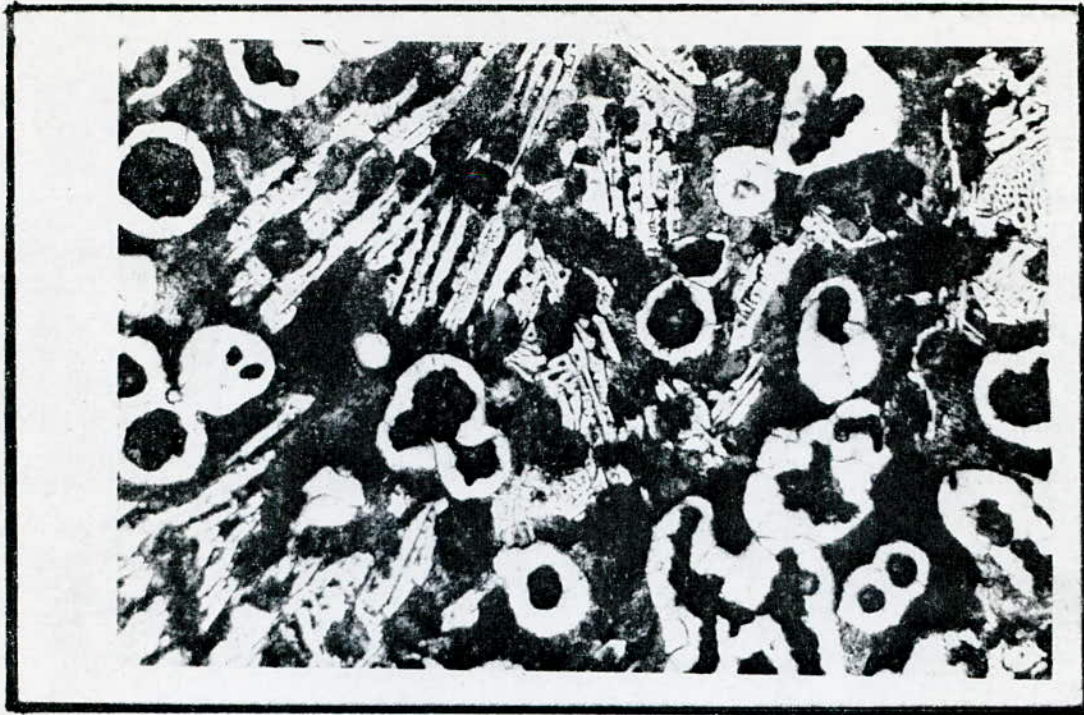


Fig: 12.1

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 6 mm)  
métal + 250 : structure ferrite + perlitique à 75% de perlite.

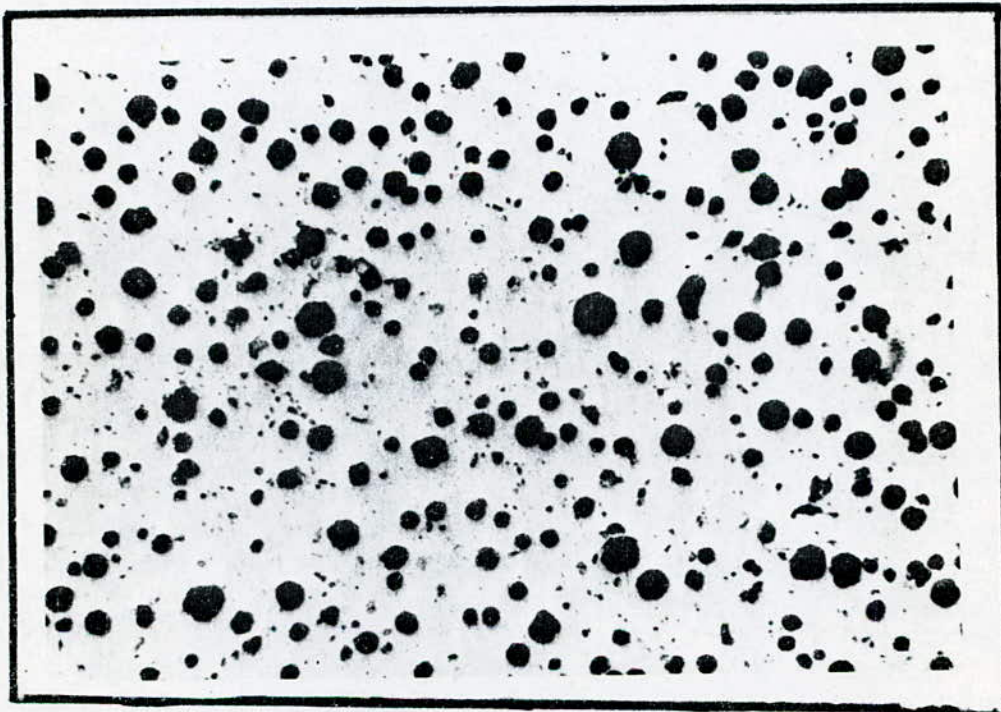
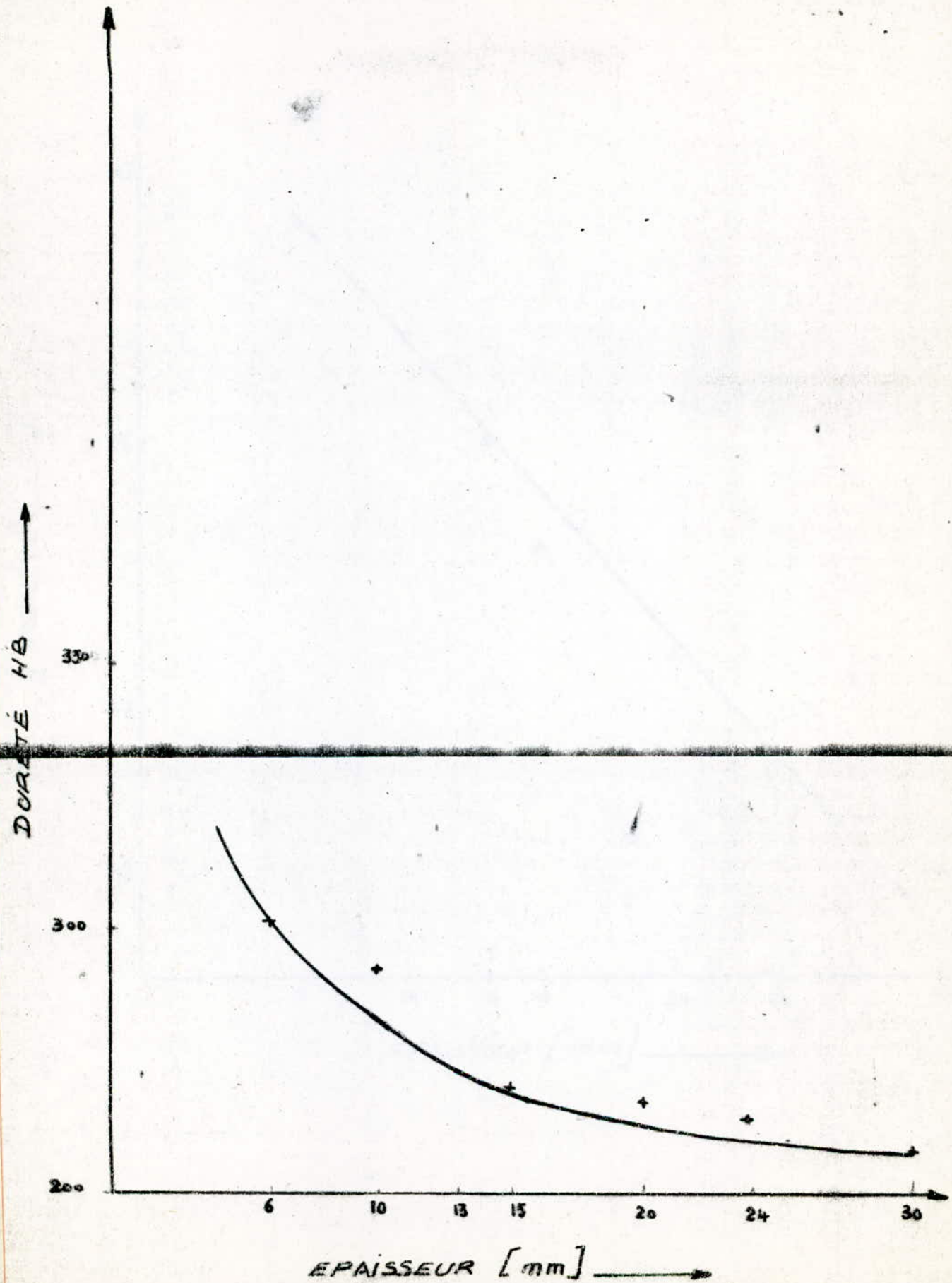


Fig: 12.2

Fonte GS 38-15 (EPAISSEUR = 6 mm)  
sans attaque (x 100).





VII. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE REVENU SUR LA FONTE Ft 25.

VII.1. STRUCTURE DE TRAITEMENT THERMIQUE :

VII.1.1. ETAT BRUT DE COULEE :

La fonte Ft 25 brute de coulée à une matrice perlitique (80 -90 % de perlite avec de petites plages de ferrite (10 à 20 % La graphite est lamellaire de (forme I Distribution A dimension 5) selon disposition de la norme AFNOR.

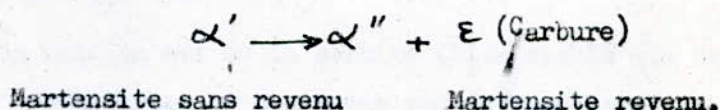
VII.1.2. ETAT TREMPE (Trempe à l'huile)

Avec une vitesse de refroidissement très grande (supérieure à la vitesse de trempe) la matrice qu'ont obtient et de la martensite (très fine) dont la dureté est supérieure à 450 HB, la photo (n° 2.2. Page 5.4.) ne permet pas de reconnaître la matrice, mais le résultat de l'essai Brinell (dureté 477 HB) montre bien que la matrice est de la martensite. On remarque aussi qu'il n'y a pas de changement des particules graphitiques.

VII. 1.3. ETAT TREMPE ET REVENU

VII. 1.3.1. Revenu à 200 °C

La matrice obtenu est la martensite revenu dont la teneur en carbone est plus faible que celle sans revenu, suite à la diffusion duncarbone qui se produit lors du revenu.



VII. 1.3.2. Revenu à 300 °C

La photo (n° 4.1. page 6.5..) ne permet pas de reconnaître la matrice, mais d'après les résultat de l'essai de dureté Brinell (375 HB ) et par suite de la diffusion du carbone du réseau de martensite à cause de l'augmentation de la température de revenu. On peut dire que la matrice est de la troostite.

.../...

VII. 2 CARACTERISTIQUES MECANQUES

Le changement de matrice observé au cours des différentes températures de revenu conduit à des variations de caractéristiques mécaniques. Cette variation est résumé dans le tableau suivant :

Température de Revenu	Matrice	R r daN/mm <sup>2</sup>	K daj / cm <sup>2</sup>	Durete H.B.
0°	Martensite	34	0,7	477
200 °	Martensite Revenu	31,4	1, 1	401
300 °	Troostite	30,6	1,3	375
400 °	Troostite	29	1,7	300
500 °	Sorbite	27	2	285
600 °	Sorbite	25,4	2,2	217



Les courbes qu'on peut tracer sont :

- La dureté HB en fonction à la température de revenu.
- La résistance à la rupture (Rr) en fonction de la température de revenu.
- La résilience (K) en fonction de la température de revenu.
- La résistance à la rupture (Rr) en fonction de HB pour vérification.

#### INTERPRETATION DES RESULTATS

D'après la courbe (page 68..) la dureté Brinell de la fonte Ft 25 diminue avec l'augmentation de la température de revenu. Ceci est évident vu le changement de matrice (passage de la martensite à la sorbite).

La dureté passe de 477 HB (état trempé) à 217 HB (Revenu 600°C).

De même on remarque une diminution de la résistance à la rupture lorsque la température de revenu augmente.

Ceci est expliqué par le fait que le revenu provoque une nette amélioration de la ductibilité et atténue notablement la dureté de la fonte et donc de la résistance à la rupture (Rr) et dureté Brinell proportionnelle).

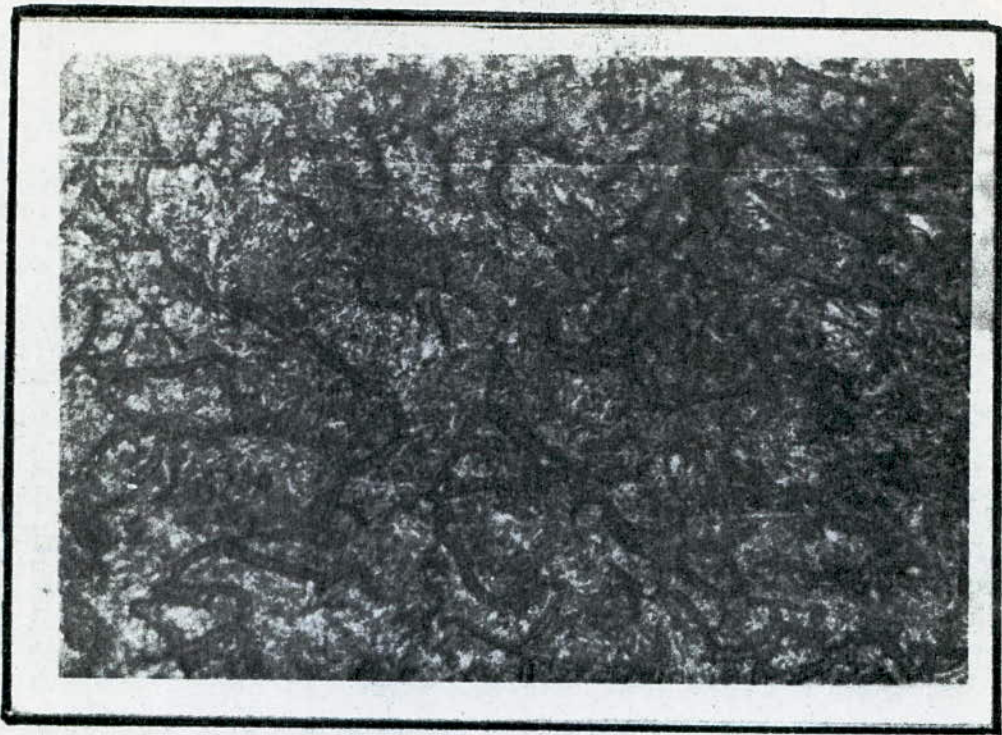


Fig: 13.1

Fonte Ft 25, structure martensitique  
après trempe à l'huile de  $\theta_r = 875^\circ$  (Nital x 700)  
Dureté = 477 H.B.



Fig: 13.2.

Fonte Ft 25 martensite revenu;  
 $\theta_r = 200^\circ$  (Nital x 700).  
Dureté = 401 HB.



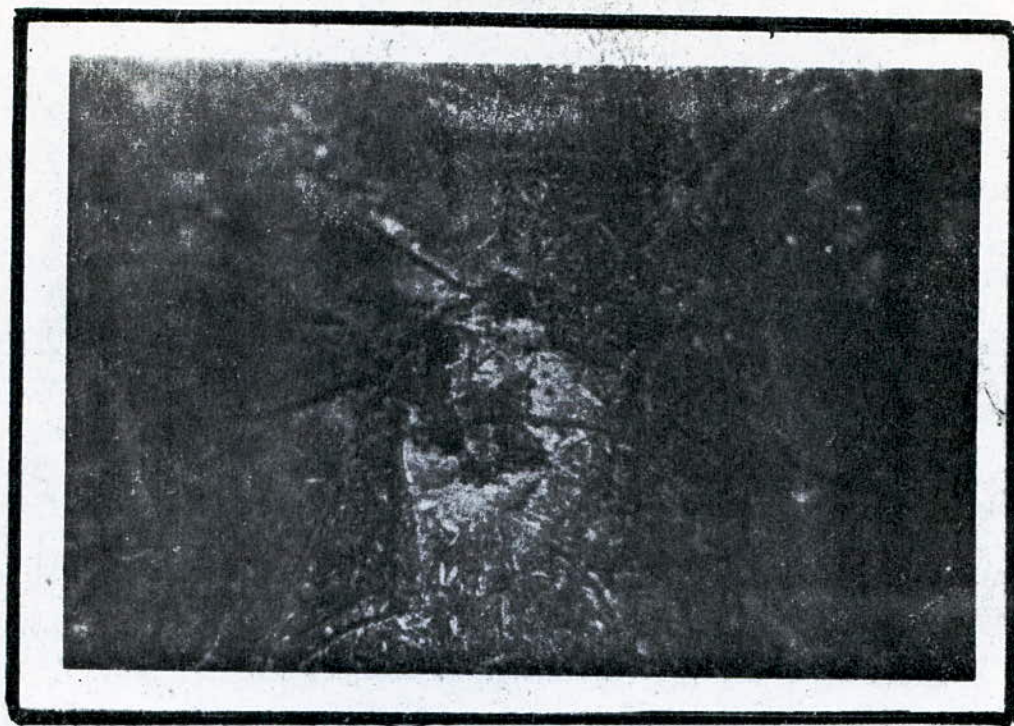


Fig: 14.1

Fonte F<sup>t</sup> 25 Troostite.

$\theta R = 300^\circ$

Dureté = 375 H.B.

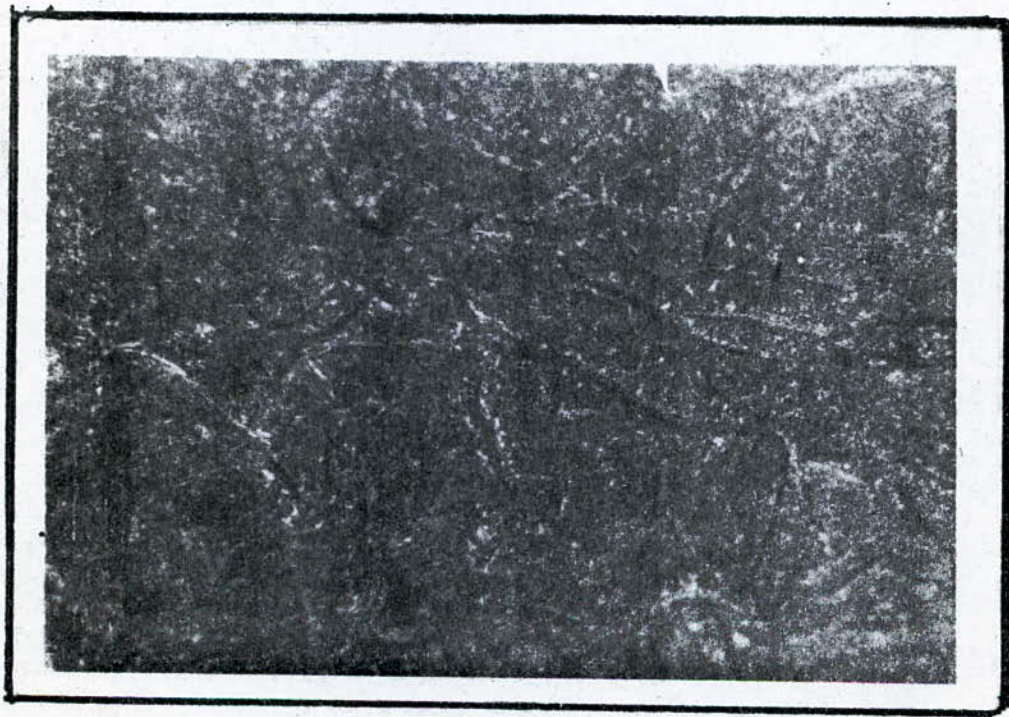


Fig: 14.2.

Fonte F<sup>t</sup> 25 Troostite

$\theta R = 400^\circ$  (Nital x 700).

Dureté = 300 HB





Fig: 15.1

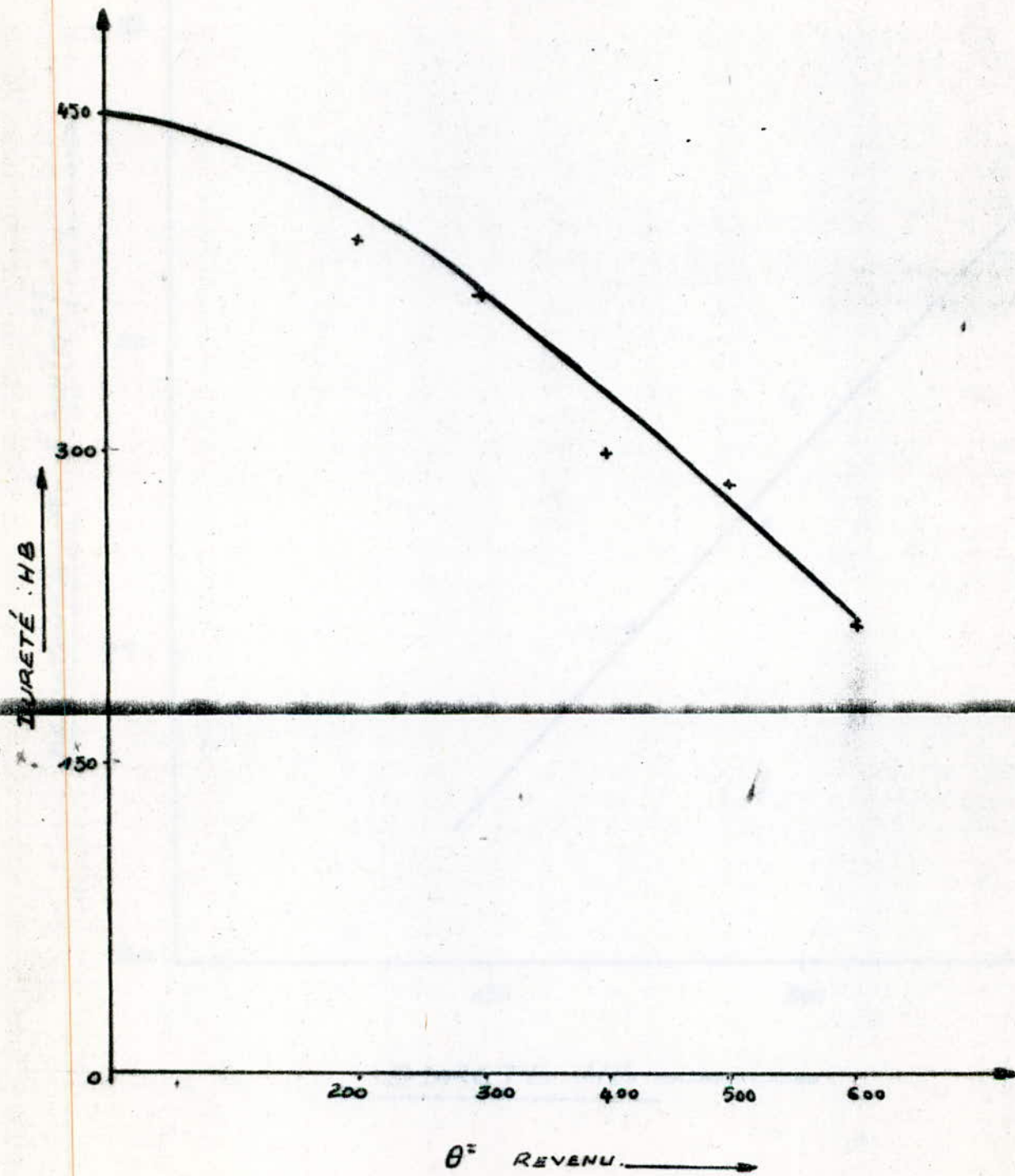
Fonte Ft 25 ; Sorbite ; (Nital x 700).  
 $\theta_R = 500^\circ$  ; Dureté = 285 HB



Fig: 15.2.

Fonte Ft 25 Sorbite  
 $\theta_h = 600^\circ$  ; (Nital x 700).  
DURETÉ = 217 HB.





-----  
REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE  
-----

- (1) J. BENARD : **Metallurgie générale.**  
- EDITION Masson 1984
- (2) LAKHTINE : **Metallographie et traitement thermique des métaux.**  
- EDITION MIR 1978
- (3) A. DESY et JULIEN VIDTS. : **Matallugie structurale.**  
- EDITION NICI et DUNOD 1962.
- (4) A. ROOS : **Précis de matallugie appliquée.**  
- EDITION DUNOD-BORDAS 1982
- (5) J. BARRALIS et G. MAEUER : **Précis de metallugie.**  
- EDITION AFNOR ET NATHAN 1983
- (6) POLYCOPE BERNARD SCHMITT : **Metallurgie physique (ENPA)**
- (7) **TECHNIQUES DE L'INGENIEUR 4 1982**  
Elaboration des fontes  
Moulage et fonderie de la fonte.
- (8) **REVUE DE FONDERIE N° 320 F.V. 1973**
- (9) **REVUE FONDERIE : Fondateur d'aujourd'hui n° 41 janvier 1985**
- (10) **REVUE TRAITEMENT THERMIQUE n° 195 Octobre 1985**
- (11) **REVUE TRAITEMENT THERMIQUE n° 194 Aout septembre 1985.**
- (12) A. SAUVEUR : **The metallography, and heat treatment**  
MC ORAW Hill Book Company  
NEW-YORK and London 1973
- (13) G. GORQUET : **Fonte G.S. Ferritique.**  
Fonderie n° 337 - 1974.
- (14) M. DECROP : J.M. SCHISLER : B. VIGNERON et J. GUYOT.  
Résistance au choc.  
Fonderie n° 381 - 1978
- (15) K. REIFFERSHEID : **Caractéristiques mécaniques.**  
Fonderie n° 381 - 1978



