

PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

FONTE

INTRODUCTION

La fonte est un alliage de fer et de carbone dont la teneur varie entre 2,1 % et 6,67 %. Ce sont des alliages qui présentent une bonne coulabilité (qui à l'état liquide, prend facilement une empreinte) et qui ont un faible retrait après solidification.

FER

Symbole : **Fe**
 N° Atomique : **26**
 Densité : **7,8**
 Masse molaire : **55,8 g.mol⁻¹**
 T°C fusion : **1538 °C**

CARBONE

Symbole : **C**
 N° Atomique : **6**
 Densité : **2,1 - 2,3 (graphite)**
 Masse molaire : **12 g.mol⁻¹**

FONTE

L'élaboration de la fonte commence par le minerai de fer qui est introduit dans un haut fourneau ainsi que du coke (carbone). Le fer sera extrait du minerai par réduction. Cette fonte est appelée fonte de première fusion. Elle peut être utilisée telle quelle pour certaines applications, ou pour l'élaboration de l'acier.

Une seconde méthode existe pour élaborer la fonte : à partir de ferrailles d'acier et de coke. Différents procédés existent : le cubilot, des fours électriques ou encore des fours rotatifs.

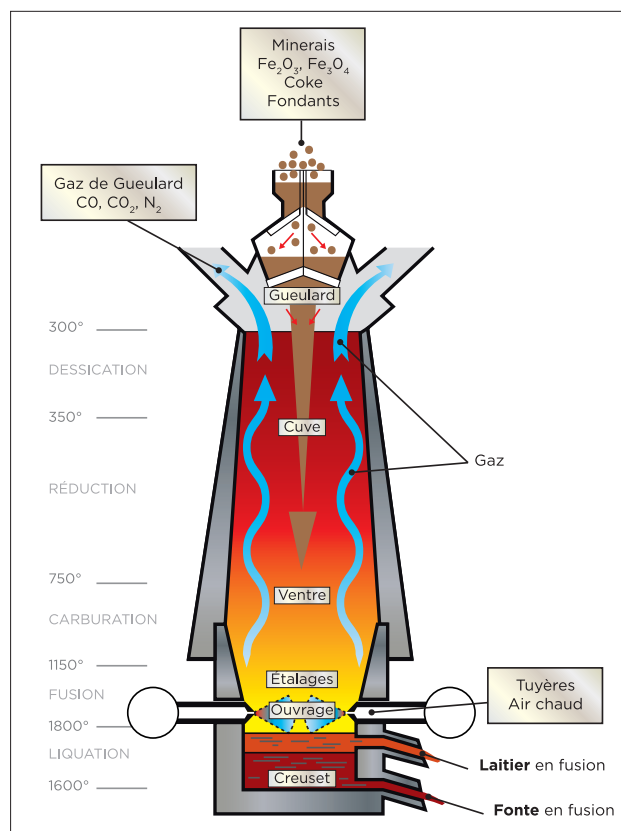


Fig 1 : Schéma d'un haut fourneau

Il est possible de distinguer les fontes par leur pourcentage de carbone :

- Les fontes hypoeutectique avec moins de 4,3 % de carbone
- Les fontes eutectiques avec 4,3 % de carbone
- Les fontes hypereutectoïdes avec plus de 4,3 % de carbone

Le diagramme d'équilibre Fe-C (figure 2) permet d'expliquer la solidification depuis l'état liquide.

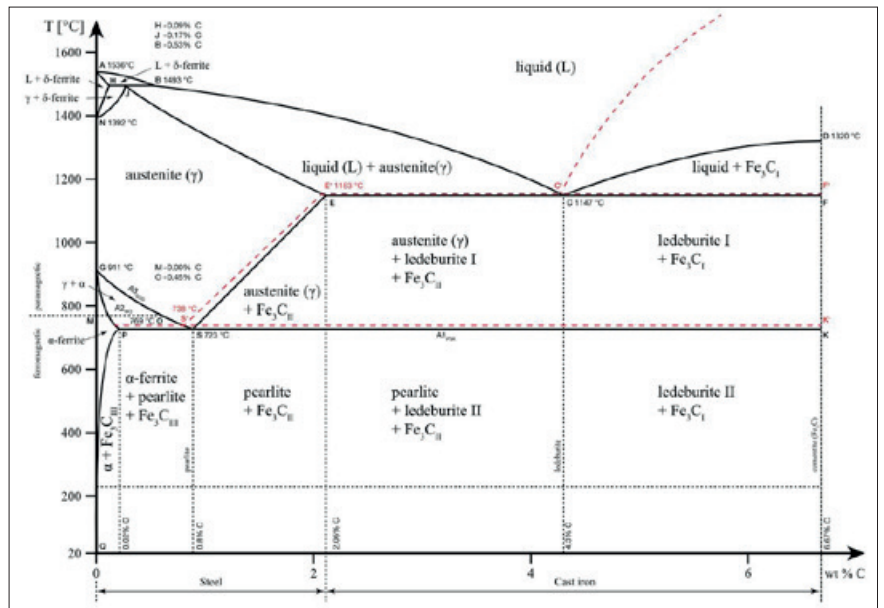


Fig. 2 : Diagramme Fe-C

LES PRINCIPALES FONTES

Généralement les fontes sont classées dans deux grandes familles :

LES FONTES BLANCHES

Le carbone se trouve sous forme de carbure Fe₃C et une matrice perlitique. Son nom vient du fait que lors d'une casse, son aspect est métallique blanc brillant. La fonte blanche est une fonte alliée avec du manganèse. Les présences de chrome et de molybdène vont également favoriser la création de fonte blanche. Ce type de fonte est résistant à l'usure mais est fragile aux chocs.

LES FONTES GRISES

Le carbone apparaît sous forme de graphite (**sphéroïdal ou lamellaire**). Ces fontes sont riches en silicium, cet élément d'addition favorise la formation du graphite. Il permet également d'améliorer la résistance à la corrosion.

=> Les fontes à graphite lamellaire sont fragiles du fait de la géométrie du graphite qui a un effet d'entaille. La résistance à la traction n'est pas optimale mais pour des applications de travail en compression ou pour un besoin de résistance à l'usure, celle-ci sera adaptée.

=> Les fontes à graphite sphéroïdal sont des fontes où le refroidissement a été ralenti pour que le carbone cristallise sous forme de sphère. La géométrie du graphite permet d'améliorer l'usinabilité et les caractéristiques mécaniques s'approchent de celles d'un acier. C'est une fonte ductile, malléable. L'ajout de magnésium dans la fonte va diminuer la présence de soufre. Ainsi le graphite va se former de manière sphérique et non en lamelle. Il est possible de créer une fonte à graphite sphéroïdal à partir d'une fonte blanche qui subit un traitement thermique.

Dans les fontes alliées :

- Le chrome augmente les caractéristiques mécaniques
- Le molybdène améliore la résistance aux chocs
- Le phosphore permet à la fonte d'avoir une meilleure coulabilité

La composition chimique du mélange est un des paramètres qui va déterminer le type de fonte obtenu.

La vitesse de refroidissement influe sur la formation de l'une ou l'autre des fontes.

- Si la vitesse de refroidissement est rapide : cela favorise la formation de cémentite, et donc l'obtention d'une fonte blanche.
- Si la vitesse de refroidissement est lente : le carbone a le temps de se rassembler sous forme de graphite et cela correspond donc à une fonte grise.

DÉSIGNATION DES FONTES

Les fontes ont une désignation normalisée selon la norme NF EN 1560-1.

Leur désignation commence toujours par EN-GJ (G correspond à un métal moulé et J pour le fer).

Une autre lettre qui correspond à la structure du graphite suit ce début de désignation :

- L** pour Lamellaire
- S** pour Sphéroïdale
- M** pour graphite de recuit (malléable)
- V** pour vermiculaire
- Y** pour structure spéciale
- N** pour absence de graphite

Généralement, tout ceci est suivi soit de la résistance minimale à la rupture et de l'allongement minimal exigé en % ou soit de la même désignation qu'un acier fortement allié.

Voici deux exemples :

EN-GJS-400-15 : Fonte à graphite lamellaire, résistance R min 400 MPa et allongement A 15%

EN-GJN-X 300 Cr Ni Si 9-5-2 : Fonte sans graphite (fonte blanche) à 3% de carbone, 9% de chrome, 5 % de nickel et 2% de silicium

=> Il existe de nombreuses nuances de fonte afin de répondre à toutes les applications selon les propriétés de résistance aux chocs, résistance à l'usure et de bonne coulabilité...

APPLICATIONS

Les fontes sont généralement utilisées pour des objets massifs : par exemple des regards d'égouts, des poêles, des pièces pour l'automobile...



PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

L'obtention d'une surface d'examen nécessite une succession d'opérations aussi importantes les unes que les autres quel que soit le matériau. Ces étapes sont dans l'ordre :

- Le prélèvement du produit à examiner (si nécessaire), appelé « TRONCONNAGE ».
- La standardisation de la géométrie de l'échantillon prélevé (si nécessaire), appelée « ENROBAGE ».
- L'amélioration de l'état de surface de cet échantillon, appelée « POLISSAGE ».
- La caractérisation de l'échantillon : révélation de la microstructure de l'échantillon par un réactif d'attaque (si nécessaire) appelée « ATTAQUE METALLOGRAPHIQUE » et l'observation microscopique (optique ou électronique).

=> Chacune de ces étapes doit être effectuée rigoureusement sous peine de rendre les étapes suivantes irréalisables.

TRONÇONNAGE

Le tronçonnage a pour but de prélever une partie précise d'un produit, de manière à obtenir une surface d'examen convenable, sans altérer les propriétés physico-chimiques des fontes.

En d'autres termes il est indispensable d'éviter un échauffement ou une déformation des fontes pouvant entraîner des modifications de structure. Le tronçonnage est une étape fondamentale qui conditionne la suite de la préparation et l'observation des pièces.

La large gamme de micro-tronçonneuses et tronçonneuses de moyenne et grande capacité PRESI permet de s'adapter à n'importe quel besoin en termes de précision de découpe, de dimensionnement ou de quantité de produits à découper :



Fig 3 : MECATOME T202



Fig 4 : MECATOME T330

Chacune des tronçonneuses de la gamme bénéficie de consommables et d'accessoires qui leur sont adaptés. Le système de bridage et le choix de ces consommables sont toujours des éléments essentiels pour la réussite d'une coupe métallographique.

=> Le bridage, c'est-à-dire le maintien de la pièce, est également primordial. En effet, si la pièce n'est pas bien maintenue, la coupe peut présenter des risques pour le consommable, la pièce et la machine.

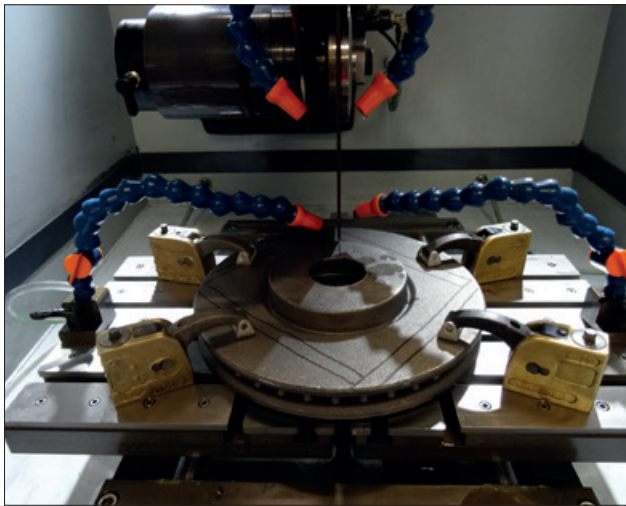


Fig. 5 : Disque de frein – EVO 400

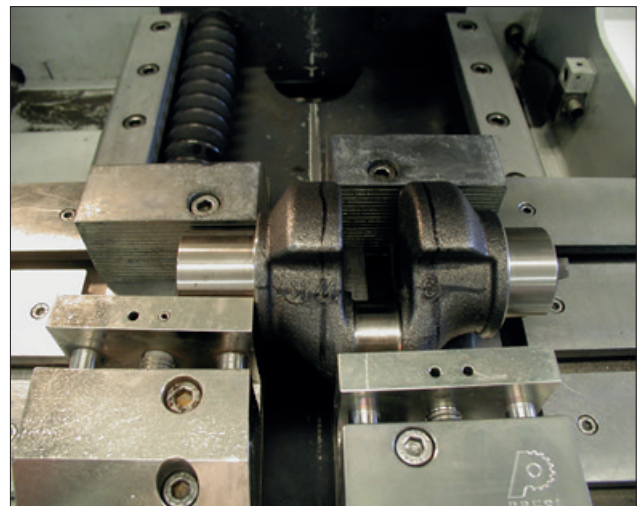


Fig. 6 : Vilebrequin – Mecatome T330

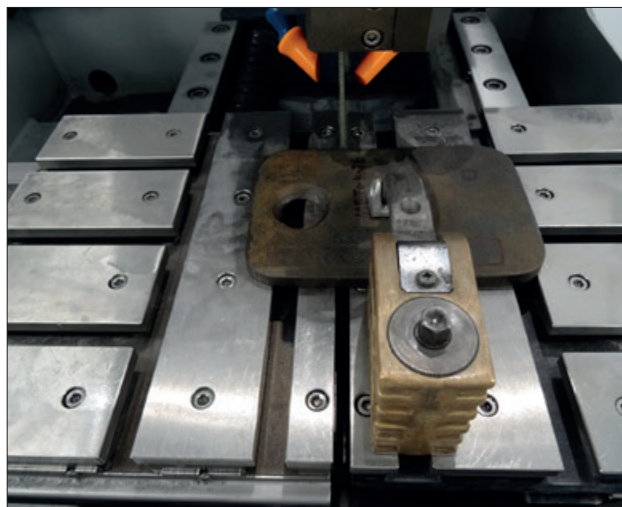
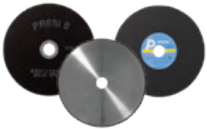


Fig. 7 : plaque fonte – Mecatome ST310

CONSOMMABLES

Toutes les tronçonneuses sont employées avec un liquide de lubrification/refroidissement composé d'un mélange d'eau et d'additif antirouille dans le but d'obtenir une découpe propre et sans échauffement. L'additif permet également de protéger l'échantillon et la machine de la corrosion.



	FONTES GRISES	FONTES BLANCHES
Micro- tronçonnage	S (Ø 180mm) UTW	S (Ø 180mm) AO CBN
Tronçonnage de moyenne capacité	F MNF AO	F AO CBN
Tronçonnage de grande capacité	MNF AO	AO

Tableau 1: Choix du type de meule

=> Le choix du type de meule de tronçonnage doit se faire judicieusement dans le but d'éviter d'éventuels refus de coupe, une usure trop importante ou encore une casse de la meule.

ENROBAGE

Les échantillons peuvent être difficiles à manipuler du fait de leur forme complexe, de leur fragilité ou de leur petite taille. L'enrobage facilite ainsi leur manipulation en standardisant leur géométrie et leurs dimensions.

Réaliser un enrobage de qualité est essentiel afin de protéger les matériaux fragiles mais également pour obtenir de bons résultats de préparation en vue du polissage et des futures analyses.

Avant toute opération d'enrobage, l'échantillon doit être ébavuré à l'aide par exemple, d'un papier abrasif (pour éliminer les éventuelles bavures de coupe) suivi d'un nettoyage à l'éthanol. Cette opération permet à la résine d'adhérer au mieux sur l'échantillon et ainsi limiter le phénomène de retrait (gap entre la résine et l'échantillon).

Il existe deux procédés d'enrobages :

- **LE PROCÉDÉ À CHAUD** est à privilégier pour des besoins d'examen de bords ou si la préparation métallographique est effectuée dans le but de réaliser des essais de dureté. **Le procédé à chaud nécessite l'utilisation d'une enrobeuse à chaud.**



Fig 8 : MECAPRESS 3

La machine nécessaire à l'enrobage à chaud est la Mecapress 3 :

- Presse d'enrobage à chaud totalement automatique.
- Simple d'utilisation, la mémorisation, l'ajustement des procédés et la rapidité d'exécution en font une machine de haute précision.
- L'enrobeuse à chaud propose six moules de diamètres différents allant de Ø25,4mm à Ø50mm.

LE +

Un des principaux avantages que présente ce procédé est la réalisation d'un enrobage aux faces parfaitement parallèles.

- **LE PROCÉDÉ À FROID** est à privilégier quand :
- Les pièces à examiner sont fragiles / sensibles à la pression
- Les pièces présentent une géométrie complexe (structure en nid d'abeille).
- Le besoin est d'enrober un grand nombre de pièces en série.

Le procédé à froid peut être utilisé avec :



Fig 9 : Appareil d'enrobage sous pression



Fig 10 : Appareil d'enrobage sous vide POLY'VAC

LE +

Améliore considérablement la qualité, notamment en diminuant le phénomène de retrait (espace entre la résine et l'échantillon), en optimisant la transparence de la résine.


LE +

Machine permettant l'imprégnation sous vide de matériaux poreux enrobés par le biais d'une résine époxy.

Les résines à froid laissent toujours un ménisque au dos de l'enrobage. Avant toute opération de polissage, il faut éliminer ce ménisque par une courte étape sur un papier abrasif. L'important est de s'assurer que cette petite rectification au dos de l'enrobage soit parallèle à la face où l'échantillon est à polir.

CONSOMMABLES

Afin de répondre aux besoins, PRESI propose toute une gamme de moules d'enrobage à froid. Le procédé à froid propose différents moules d'enrobage de diamètre Ø20mm à Ø50mm. Ces derniers sont répartis en plusieurs sortes : des moules optimisés appelés « KM2.0 », des moules en caoutchouc, en téflon ou bien en polyéthylène. L'enrobage à froid permet aussi plus de liberté, c'est pourquoi il existe des moules rectangulaires pour des besoins plus spécifiques.



		FONTES GRISES ET BLANCHES
A chaud	Phénolique Acrylique Epoxy	
A froid	KM-B KM-U	

Tableau 2 : Choix du type de résine d'enrobage

POLISSAGE

La dernière phase incontournable et cruciale du processus de préparation d'un échantillon est le polissage. Le principe est simple, chaque étape utilise un abrasif plus fin que le précédent. L'objectif consiste à obtenir une surface plane et à éliminer les rayures et les défauts résiduels qui gêneraient la réalisation des examens de contrôles métallographiques tels que les analyses microscopiques, les essais de dureté, les contrôles de microstructure ou les contrôles dimensionnels.

PRESI propose une grande gamme de polisseuses manuelles et automatiques, avec un large choix d'accessoires, afin de couvrir tous les besoins, du pré-polissage à la super finition et du polissage d'échantillons unitaires ou en série.

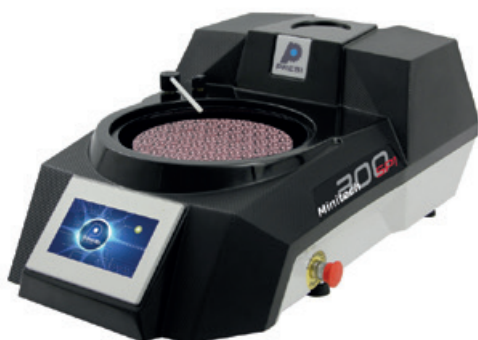


Fig 11 : MINITECH 300 SPI



Fig 12 : MECATECH 300 SPC

La gamme de polisseuses manuelles MINITECH intègre les technologies les plus avancées. Conviviale, fiable et robuste, elles apportent une réponse simple à tous les besoins.

La gamme de polisseuses automatiques MECATECH permet un polissage aussi bien manuel qu'automatique. Avec ses technologies avancées, ses puissances moteur de 750 à 1500 W, toute l'expérience de PRESI est concentrée dans cette gamme complète. Peu importe le nombre ou la taille des échantillons, MECATECH garantit un polissage optimal.

CONSOMMABLES ET GAMME DE POLISSAGE

Toutes les gammes de polissage ci-dessous sont données pour une préparation automatique des échantillons (pour du polissage manuel : ne pas prendre en compte les paramètres de tête). Elles sont les plus couramment utilisées et sont renseignées à titre d'information et de conseil.

Toutes les premières étapes de chaque gamme sont appelées « mise à niveau » et consistent à retirer de la matière rapidement afin de mettre à niveau la surface de l'échantillon (et de la résine). Celles données ci-dessous sont standards et peuvent, par conséquent, être modifiées selon le besoin.

Les forces d'appui varient selon la taille des échantillons mais de manière générale il sera appliqué : 1daN par 10mm de diamètre d'enrobage pour les étapes de pré-polissage (ex : Ø40mm = 4 daN) puis la force sera diminuée de 0,5daN à chaque étape de polissage avec une suspension abrasive.

La gamme de polissage suivante est une gamme d'ordre général pour **les fontes** :

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	P320	Ø / Eau	300	150		1'
2	TOP	9µm ADS poly / Lub ADS	150	135		4'
3	STA	3µm ADS poly / Lub ADS	150	135		3'
4	TFR	1µm ADS poly / Lub ADS	150	135		1'

Nota : La mise à niveau à l'aide du papier abrasif P320 est suffisante pour un échantillon provenant d'une coupe métallographique. Si un enlèvement de matière plus important est nécessaire, il faut utiliser un papier abrasif avec une granulométrie plus importante.

Lors du prépolissage, il n'est pas nécessaire d'inverser les sens de rotation de la tête et du plateau car cela peut détériorer la planéité. Cependant, l'inversion des sens de rotation peut aider si un enlèvement de matière important est à faire.

Le polissage de la fonte s'effectue généralement à l'aide de suspension diamantée polycristalline ADS (base alcool, exempt d'eau). Cela évite l'oxydation de la fonte qui est sensible à l'eau lors du polissage de finition.

Lors du nettoyage entre chaque étape, un séchage rapide à l'air comprimé après nettoyage à l'eau est conseillé, ou bien un nettoyage à l'éthanol va limiter l'apparition de point de corrosion.

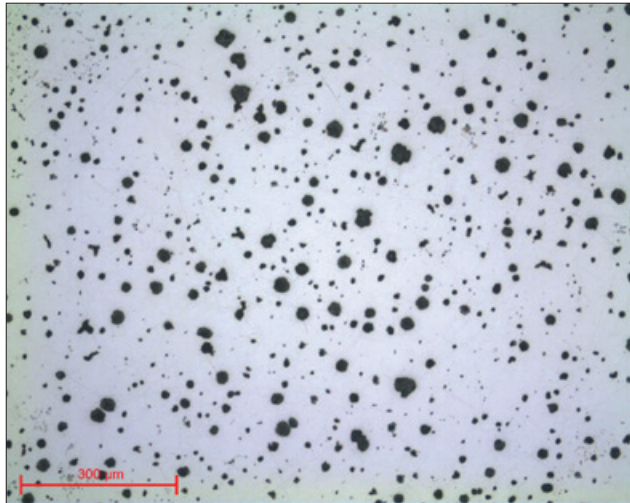


Fig. 13 : Fonte GS objx10

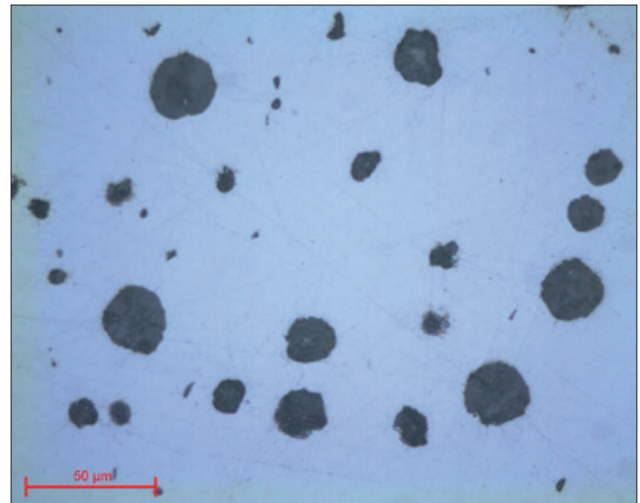


Fig. 14 : Fonte GS objx50

Une seconde gamme de polissage peut convenir pour le polissage **des fontes** :

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	I-Max R 54µm	Ø / Eau	300	150	→ →	3'
2	MED-R	9µm super abrasif MED-R	150	135	→ →	4'
3	STA	3µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	3'
4	TFR	1µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	1'

Dans cette seconde gamme, la mise à niveau est réalisée à l'aide d'un I-Max R 54 µm à la place d'un papier abrasif. Ce support diamanté à liant résine, adapté pour le polissage des matériaux durs, permet de conserver une bonne planéité et de remplacer plusieurs centaines de papiers abrasifs.

La seconde étape est faite à l'aide d'un support MED-R. Ce support constitué de plots de résine sur lequel un ajout de suspension super abrasif pour MED-R est réalisé, permet de conserver une bonne planéité et a une durée de vie plus importante qu'un tissu de polissage.

Les étapes de finition sont faites avec la suspension ADS. Une suspension polycristalline concentrée LDP peut convenir parfois, si la fonte ne se corrode pas ou peu.

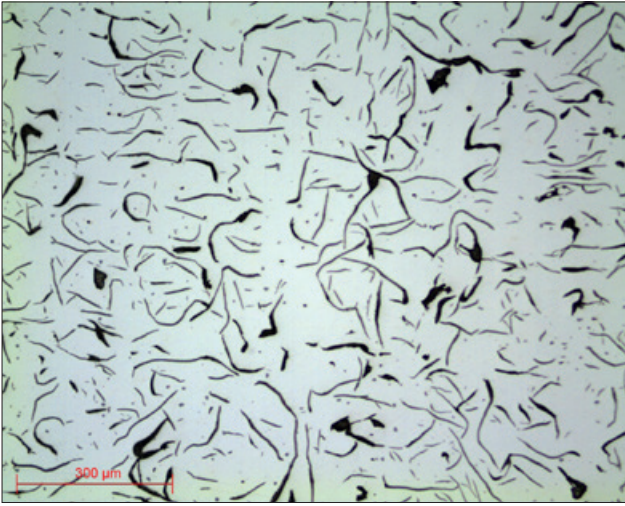


Fig. 15 : Fonte GL objx10

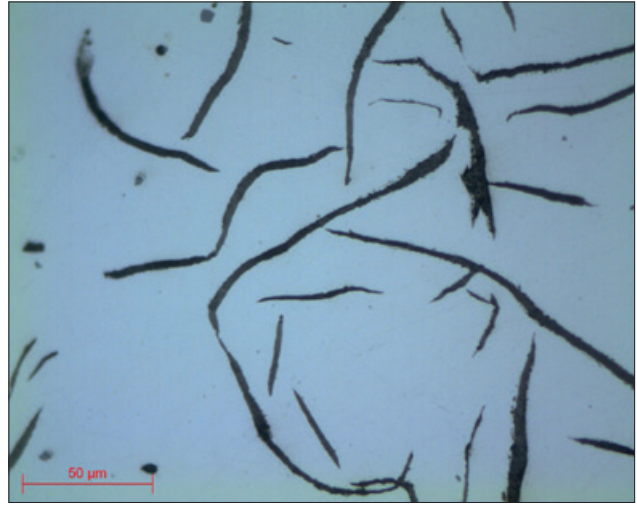


Fig. 16 : Fonte GL objx50

MICROSTRUCTURE

La structure des fontes peut se révéler à l'aide de différents réactifs d'attaque :

- Le réactif de Nital 4%
- Le réactif de Picral
- Le réactif de Le Chatelier

La liste est non exhaustive, les fontes ayant des structures proches de l'acier certains réactifs sont communs à ces deux matériaux. Les micrographies présentées ont été réalisées au moyen du logiciel **PRESI VIEW** :

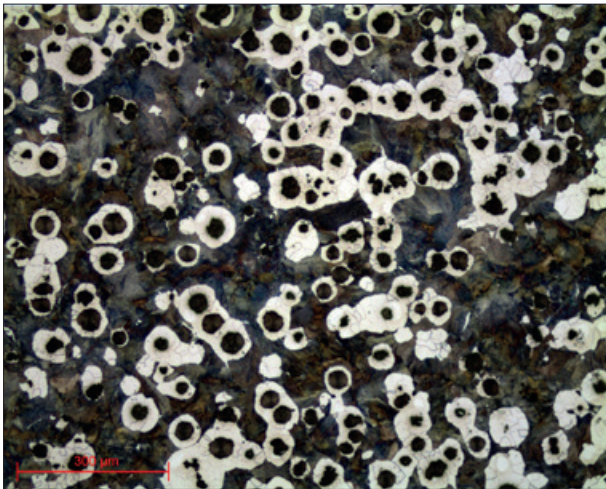


Fig. 17 : Fonte GS objx10

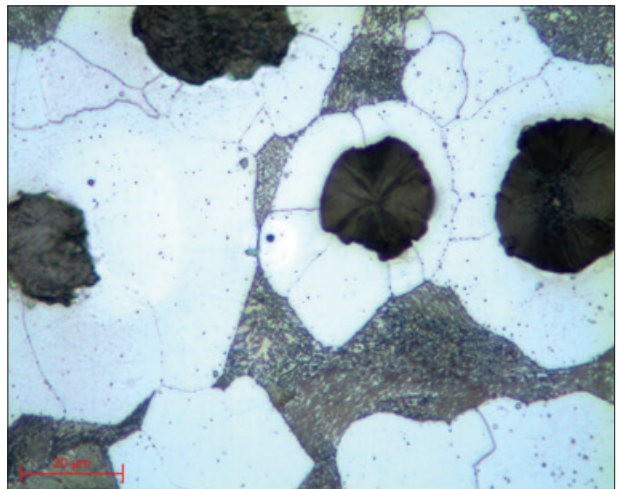


Fig. 18 : Fonte GS objx100

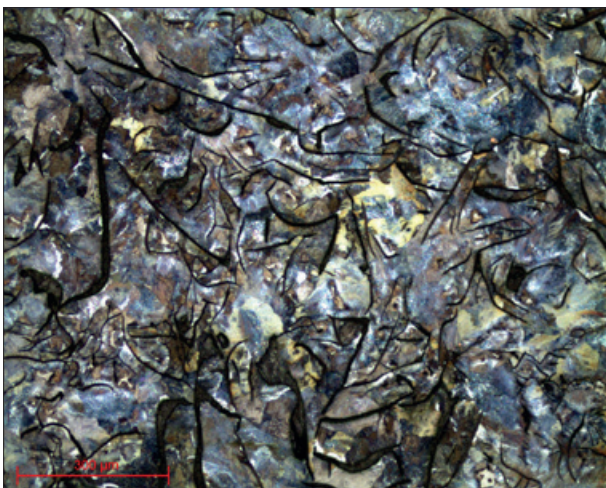


Fig. 19 : Fonte GL cœur objx10

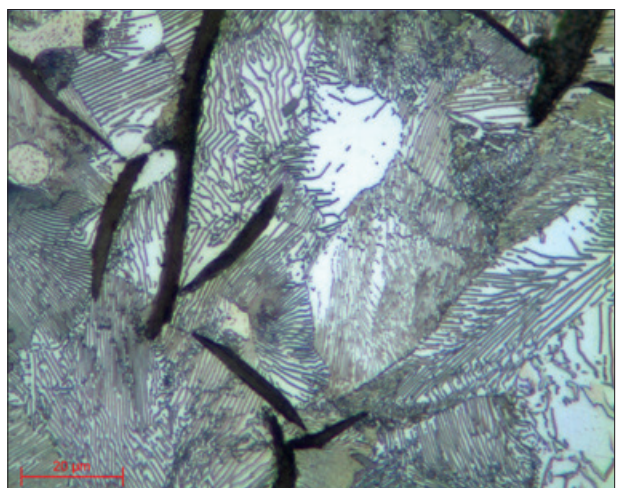


Fig. 20 : Fonte GL cœur objx100

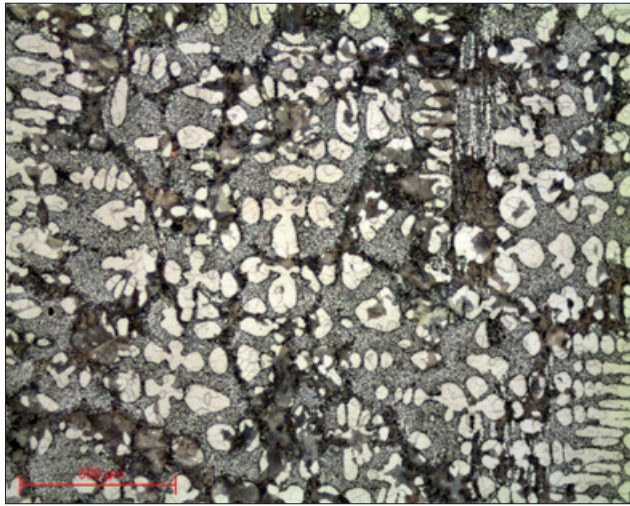


Fig. 21 : Fonte GL bord objx10

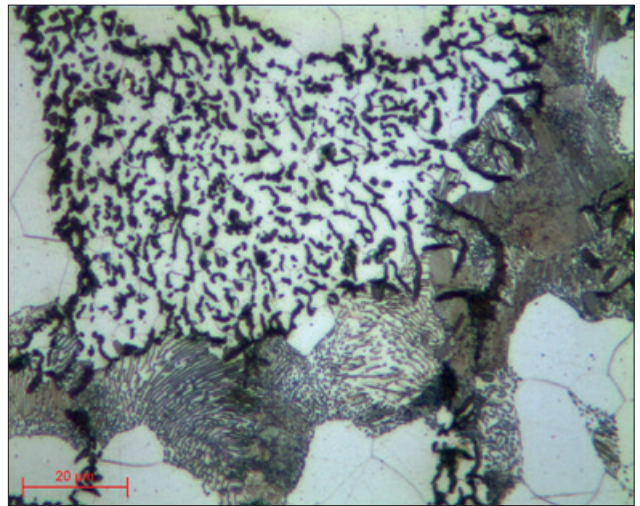


Fig. 22 : Fonte GL bord objx100

=> Toutes les structures visibles sur les figures 17 à 22 ont été révélées à l'aide du réactif de Nital à 4%.