

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

LES GRANDES FAMILLES DES ALLIAGES

II.1. Introduction

Les alliages sont généralement constitués de deux composants ou plus et contiennent une ou plusieurs phases. Une phase est une partie d'un système dont la composition (nature et concentration des composants présents) et l'organisation atomique (structure cristalline ou amorphe, etc.) sont fixes. Dans un système à l'équilibre, chaque phase a une composition fixe qui est uniforme partout. Dans les systèmes hors équilibre fréquemment rencontrés dans les matériaux, la composition peut varier en fonction du temps. Chaque phase est séparée des autres phases du système par une interface. La différence entre les phases amorphe et cristalline est l'arrangement de leurs atomes. Il existe généralement deux types d'alliages : Alliages de substitution et d'insertion.

II.2. Propriétés des alliages

Les propriétés des alliages diffèrent de celle de leurs éléments constitutifs. La résistance mécanique des alliages est meilleure que celles de ses constituants pris séparément.

Les propriétés des alliages dépendent de 4 facteurs qui sont :

- Leur composition chimique établie par analyse chimique.
- La constitution physico-chimique qui se définit par la nature et la proportion des constituants.
- La structure cristallographique des constituants
- L'état mécanique caractérisé par l'existence des contraintes propres aux matériaux

II.3. Préparation des alliages

Les alliages peuvent être fabriqués **par fusion**. La métallurgie des poudres permet la préparation d'alliages aux propriétés spécifiques. Pendant le frittage, les alliages sont produits en mélangeant des poudres sèches de matériaux, en pressant sous haute pression et en chauffant à des températures supérieures à leurs points de fusion.

Une autre technique de préparation des alliages est **l'implantation ionique**. Il s'agit d'une technologie à faisceau d'ions adaptée du processus de fabrication des circuits intégrés : des

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

éléments tels que le carbone et l'azote sont projetés sur du métal dans une chambre à vide, afin d'obtenir un alliage résistif en couche mince à la surface du métal. Par exemple, en bombardant du titane avec de l'azote, des alliages de bonne qualité pour implants prothétiques peuvent être obtenus [3].

II.4. Fer et alliages ferreux

II.4.1. Propriétés physico-chimiques du fer

Point de fusion	Structure cristalline			Masse volumique	Conductivité thermique
	$\Theta_f = 1538^\circ\text{C}$ et 1394°C	1394°C et 912°C	912°C et l'ambiante		
1538°C	CC	CFC	CC	780 kg/m^3	$30 \text{ à } 75 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

II.4.2. Alliages ferreux

II.4.2.1. Aciers

Le Carbone est l'élément qui se trouve dans la plupart des alliages avec des proportions variables. Ainsi, l'acier contient moins de 2 % de carbone ; A l'inverse, les fontes contiennent plus de 2% de carbone. Dans ces deux cas, d'autres éléments d'alliage peuvent être ajoutés en quantités très différentes, à condition que l'élément fer reste le plus important.

Cette limite de 2 % correspond pratiquement à l'extrémité du palier eutectique $\gamma\text{-Fe}_3\text{C}$ du diagramme fer-carbone (figure II.1). Ainsi, tout au moins à l'équilibre, les aciers se solidifient sans apparition d'eutectique c'est-à-dire en l'absence de carbures Fe_3C primaires. Inversement les fontes contiennent toujours de tels carbures formés à haute température. De même dans les aciers, les carbures pourront toujours être dissouts dans le domaine γ monophasé, à l'inverse des fontes.

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

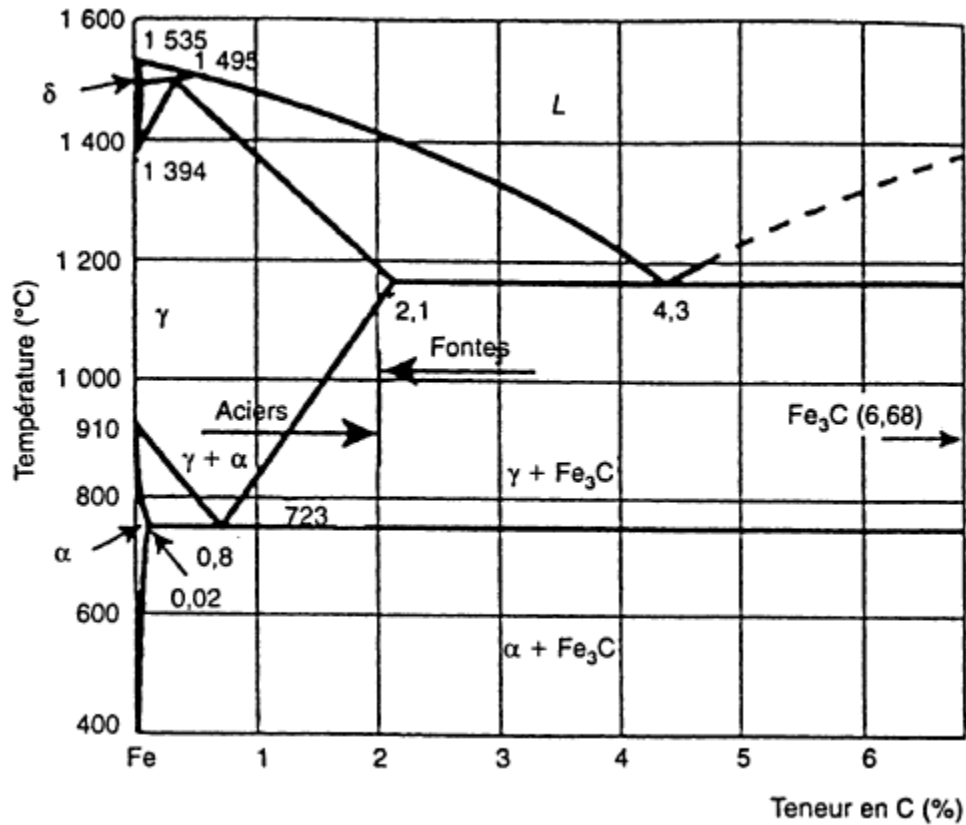


Figure II.1 – Diagramme Fe-C. [5]

Les différentes familles d'aciers ont été classées en fonction de deux critères, l'un de composition et l'autre de niveau de qualité¹. Ainsi, on distingue (figure II.2)

1. Selon l'analyse chimique :

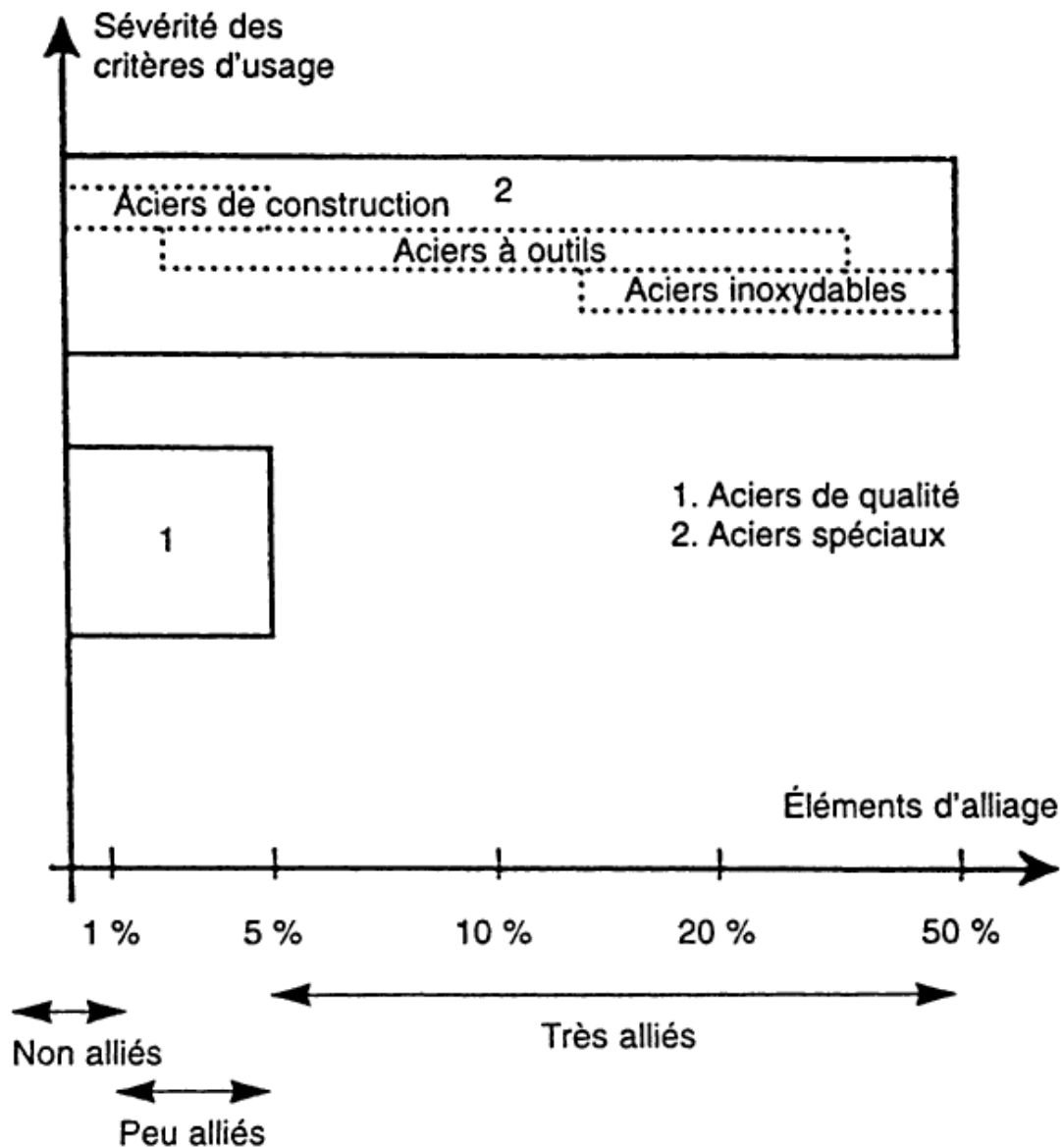
- les aciers non alliés ≤ 1 % d'alliage
- peu alliés – teneur de chaque élément d'alliage ≤ 5 %
- très alliés (cette dernière distinction n'est pas normalisée) ;

2. Selon le niveau de précision et de sévérité apporté aux garanties des propriétés d'usage :

Les aciers de qualité et spéciaux. : Se compose des quatre séries suivantes :

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

- Les aciers de construction peuvent être alliés ou non alliés à cette famille ont été associés les aciers pour appareils à pression
- Les aciers à outils choisis pour la préparation de tous les outillages : : usiné, mise en forme... ; ils sont non alliés ou alliés ;
- Les aciers inoxydables résistant à la corrosion et fortement alliés ; ils sont apparentés aux aciers réfractaires ;
- Les aciers spéciaux variés.



Chapitre II : Les grandes familles des alliages

Figure II.2 : Principales classes d'aciers [5].

II.4.2.1.1. Traitements thermiques des aciers

Sous condition de s'écarter de l'équilibre thermodynamique, diverses phases et structures métastables apparaîtront lors du refroidissement de l'acier, en particulier de la martensite dans le fer pur. Pour les aciers hypoeutectoïdes, la transformation perlitique est précédée par l'apparition de ferrite ; pour les aciers hypereutectoïdes, elle est précédée par l'apparition de cémentite.

II.4.2.2. Fontes

Les fontes leurs bonnes propriétés d'écoulement permettent d'obtenir des pièces de fonderie aux formes complexes. Du fait de leur forte proportion de carbone, entre 2% et 4%, ils sont généralement fragiles, peu ductiles (inadaptées s à la déformation à froid : forgeage et laminage) et difficilement soudables [4].

Fonte grise à graphite lamellaire (fonte L) : sa structure est principalement constituée de graphite lamellaire, contenant 3 à 4 % de carbone, 1 à 3 % de silicium et 0,5 à 1 % de manganèse.

Fonte blanche : La fonte blanche se caractérise par l'absence totale de graphite, puisque l'excès de carbone par rapport à sa solubilité maximale dans l'austénite se combine avec le fer sous forme de carbures stables.

Fonte Graphite Sphéroïdal (GS) : Obtenu par un traitement spécial du métal liquide qui, lors de la solidification, provoque du graphite non pas en lamelles, mais sous forme de particules quasi-sphériques (10 à 100 μm de diamètre). Différence - Capital - La base en métal est comparable à la fonte grise ordinaire. La forme sphérique du graphite lui-même a une résistance mécanique négligeable, ce qui permet d'ajuster la répartition des contraintes dans la matrice et de mieux obtenir les propriétés de l'acier correspondant.

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

Fonte malléable (coeur blanc MW (type européen) ou coeur noir MB (type américain)):

2 % à 3 % de carbone et 0,4 % à 1 % de silicium. Le carbone est agrégé sous forme de nodules. Ils ont des propriétés comparables à un acier doux. Elle permet le moulage de pièces minces et résilientes (non fragiles) mais est très coûteux Exemples : bogies de wagons de marchandises, tambours de freins, disques de freins, carters, etc.

Fontes spéciales alliées

Fontes alliées : Les fontes peu alliées ou modérément alliées en nickel, chrome, cuivre, étain, molybdène, titane..., ne modifiant pas la structure mais rendant seulement la matrice plus fine, plus homogène, plus sensible aux traitements thermiques.

Fontes grises fortement alliées (40 % de métaux divers) fontes austénitiques au nickel (cuivre) chrome, fontes ferriques à haute teneur en silicium ou en aluminium.

II.5. Alliages légers et ultra légers

Les alliages légers sont en aluminium et les alliages ultralégers en magnésium.

II.5. 1. Alliages d'aluminium

- Aluminium et alliages avec écrouissage et solutions solides

✓ **Aluminium non allié :** il résiste très bien à la corrosion ; il a une très bonne conductivité thermique et électrique et il est soudable

(Al-Mn) ses propriétés mécaniques sont améliorées grâce à des précipités de phase Al_6Mn ; il a une bonne aptitude à la mise en forme et bonne résistance à la corrosion et il est ; soudables

(Al-Mg) améliore ses propriétés mécaniques en dissolvant le magnésium en solution solide ; il résiste à la corrosion et convient à l'anodisation, excellente soudabilité.

✓ **Alliages d'aluminium à durcissement structural**

(Al-Cu). Durcissement par la précipitation de Al_2Cu ; faible résistance à la corrosion ; difficilement soudable.

(Al-Mg, Si) Alliage d'aluminium magnésium, silicium. Durcissement par précipitation contrôlée de la phase Mg_2Si , bonne formabilité à chaud et à froid ; bonne résistance à la corrosion, soudable.

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

(Al-Zn). Subit un durcissement par précipitation contrôlée de phase $MgZn_2$ par addition de Mg ; très bonnes propriétés mécaniques ; résistance à la corrosion et soudabilité moyennes.

✓ Autres alliages d'aluminium

(Al-Si). Propriétés mécaniques médiocres, faible ductilité, bonne résistance à la corrosion.

Des alliages Al-Fe destinés à l'emballage ménager, des alliages **Al-Sn** à faible coefficient de frottement, des alliages **Al-Li** à masse volumique plus faible et module de Young plus élevé que les alliages classiques.

II.5.2. Alliages de magnésium

Alliages Mn– Zr. La taille des grains est limitée par le zirconium, d'autre élément peuvent être additionnés pour un bon durcissement structural

Alliage magnésium manganèse. Applications électrochimiques telles que la protection cathodique de l'acier

II.6. Superaliages

Les superalliages sont divisés en trois catégories. Ce sont des alliages qui résistent à la corrosion lorsqu'ils sont soumis à de fortes contraintes mécaniques à température et pression élevées.

1. Les superalliages à **base de fer**, qui contiennent de 15 à 20 p. 100 de chrome ;
2. Les superalliages à **base de nickel-chrome**
3. Les alliages à **base de cobalt.**

Les superalliages sont principalement utilisés dans les réacteurs chimiques et pétrochimiques et les raffineries [4].

II.7. Alliages à base de cuivre

Les alliages de cuivre indiquent un groupe d'alliages composés de cuivre, appelés alliages de cuivre qui résistent bien à la corrosion.

II.7.1. Cuivres industriels et cuivres faiblement alliés

- **Cuivre à l'argent** (0,08 %). Température de recristallisation plus élevée, tenue au fluage améliorée.
- **Cuivre au cadmium** (0,7 à 1 %). Propriétés mécaniques très augmentées par rapport au Cu pur. Applications : fils et ressorts conducteurs (Exemples : « bronzes téléphoniques » pour les lignes électriques : Cu – Cd 1 Sn 0,15 ou Cu – Cd 0,9 Sn 0,4).

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

- **Cuivre Chrome** (0,5 à 0,9%). Alliages durcissant, Conserve ses propriétés mécaniques jusqu'à 450°C. application : Pièces électromécaniques thermiques (électrodes de soudage, composants de freinage, contacteurs de puissance).
- ✓ **Cuivre au beryllium** (2 %). Alliage à durcissement structural, à propriétés mécaniques très élevées conservées jusqu'à 300 °C. Nombreuses applications en électromécanique (variante Cu – Co 2,5 Be 0,5, à résistance mécanique plus faible, mais conductivité plus élevée).

II.7.2. Laitons : alliages cuivre-zinc de 5 à 45 % Zn

- Monophasés jusqu'à environ 33 % Zn, biphasés au-delà (figure I.3).
- Se prêtent à la mise en forme et à l'usinage de précision (avec addition de Pb).

Propriétés mécaniques croissantes avec la teneur en zinc (« métal de Muntz » Cu-Zn40). Bonne résistance à la corrosion dans de nombreux milieux, améliorée par addition d'étain (laiton « amirauté » : Cu-Zn29Sn1) ou d'aluminium (Cu-Zn22Al2, résistant à la corrosion et à l'érosion par cavitation).

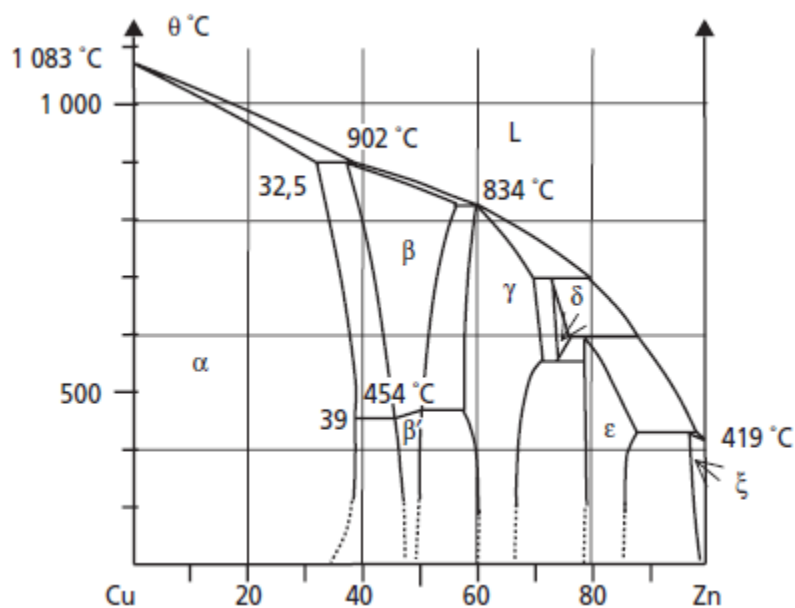


Figure II.3 Diagramme de phases Cu-Zn.[4]

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

II.7.3. Bronzes : alliages cuivre-étain de 3 à 20 %Sn

- **Bronzes monophasés** (1,25 à 10 % Sn). Plus résistants que les laitons à la corrosion marine, mais plus chers. Applications : diaphragmes, contacts électriques, soufflets, ressorts
- **Bronzes biphasés** (10 à 20 % Sn). Alliages de fonderie (très bonne coulabilité); très bonne résistance à la corrosion (pompes, vannes), bonnes propriétés mécaniques et bonne résistance au frottement et à l'usure (avec éventuellement addition de zinc ou de plomb : coussinets, engrenages, pignons).
- **Bronze à cloches** (20 à 25 % Sn). Bonne sonorité à cause de la forte proportion de phase δ dure et fragile.
- **Bronze à miroirs** (30 à 35 % Sn).

II.7.4. Cupro-aluminiums

- Monophasés jusqu'à 8 % Al (figure I.4) , malléables à froid. Bonnes propriétés mécaniques, combinées à une bonne résistance à la corrosion marine, corrosion sous contrainte.
- Biphasés $\alpha + \gamma_2$: moins ductiles, mais résistance mécanique supérieure. La transformation eutectoïde se prête à un traitement de trempe martensitique (peu durcissant) et revenu permettant d'affiner la structure. Applications : tubes d'échangeurs thermiques, condenseurs, organes de pompes, quincaillerie marine...

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

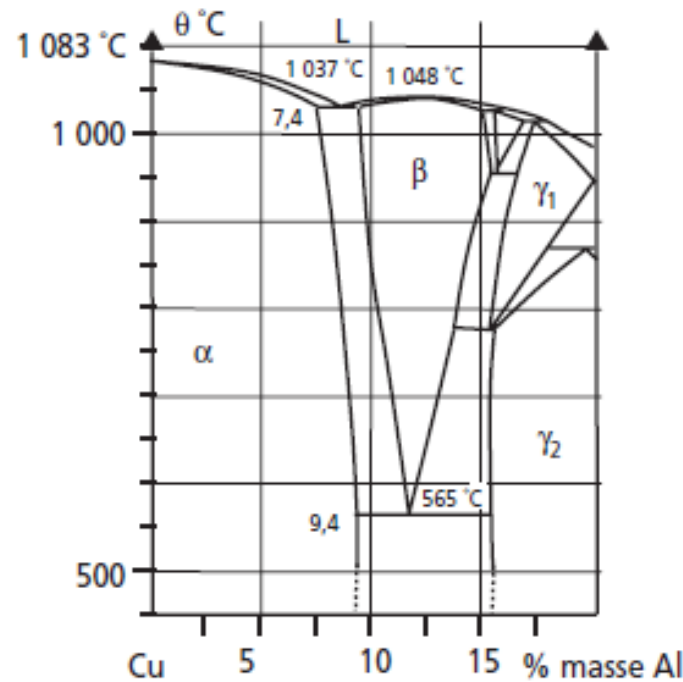


Figure II.4 Diagramme de phases Cu-Al. [4]

II.7.5. Autres alliages de cuivre

Cupro-nickels. La solubilité de Ni et Cu est indépendante du rapport de phase solide. Excellente résistance à la corrosion par l'eau de mer. Applications : condenseurs de navires, moteurs marins, échangeurs thermiques marins, industrie chimique...

II.8. Alliages à base de titane

Il existe 3 catégories d'alliages de Ti.

Les éléments d'alliage sont soit alphagènes (Al, O₂, N₂, B, C), soit bêtagènes (Mo, V, Nb, Cr, Si, Ta, Mn, Fe), soit neutres (Sn, Zr).

- **Alliages α** soudables, mais difficiles à déformer à froid ;
- **Alliages β** Bonne déformabilité à froid ; bonne ténacité. Applications : industrie chimique (excellente tenue à la corrosion), industrie aéronautique et spatiale (bonne résistance au fluage et faible masse volumique). Des composés intermétalliques Ti-Al sont en développement pour le même type d'applications.

Chapitre II : Les grandes familles des alliages

- **Alliages α et β** Soudables avec précautions ; déformabilité à froid moyenne ; meilleures propriétés mécaniques ajustables par traitements thermiques

II.9. Composites base métallique

Les composites sont constitués d'une matrice continue renforcée par des fibres [1]. Ces fibres résistantes sont immergées dans une matrice qui les retient et assure la cohésion de l'ensemble. Les propriétés mécaniques des composites fibreux dépendent de la quantité, de la dimension et surtout de l'orientation des fibres. Un composite à matrice métallique (CMM) est un mélange de métal avec un renfort sous forme de particule, de filaments ou de fibre comme le silicium de carbure (SiC) et les alumines (Al_2O_3). Ce renfort permet au métal d'avoir de meilleures propriétés au niveau de la rigidité et la résistance thermiques [6]. Les premiers composites CMM étaient ceux avec une matrice à base d'aluminium. La figure ci-dessous est une vue de coupe qui permet d'observer la disposition des fibres dans la matrice métallique.

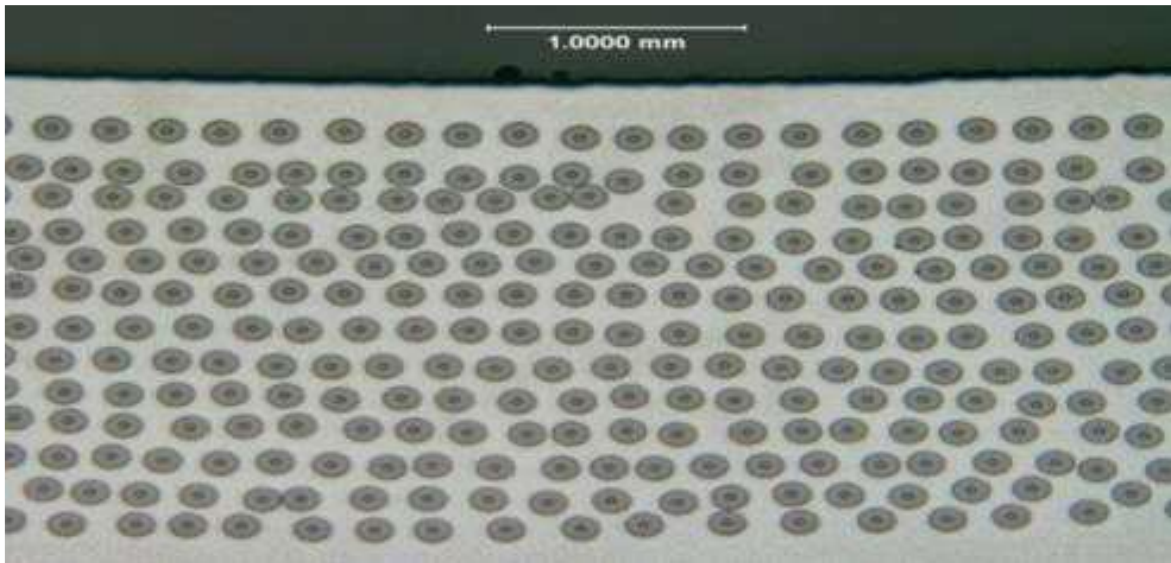


Figure II.5: Vue de coupe d'un composite à matrice métallique à mono filament [6]