

## P O I N T TECHNIQUE

N° 9

### FUSION ET SOLIDIFICATION DES ALLIAGES DE BIJOUTERIE

La fonderie est un procédé qui permet d'obtenir des pièces de formes et de dimensions variées, par coulée d'un métal ou alliage liquide dans un moule. C'est dans le moule, qui présente la forme voulue, que le métal liquide se refroidit et se solidifie.

La fonderie met en œuvre :

- un moyen de fusion • le four
- une empreinte à la forme désirée • le moule
- un dispositif pour faire passer le métal du four au moule.

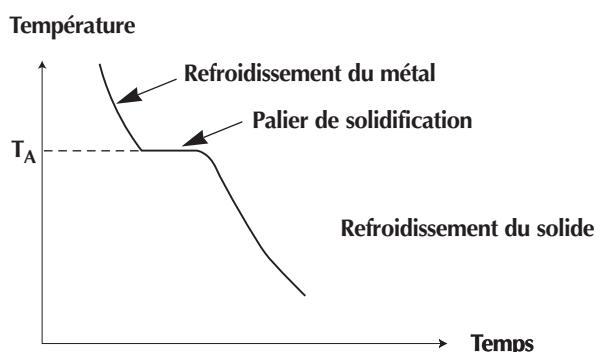
Le phénomène essentiel en fonderie est **la solidification du métal**.

La solidification d'un métal pur s'effectue à une température constante appelée « température de solidification » (c'est la même que la température de fusion).

#### SOLIDIFICATION D'UN MÉTAL PUR

Le passage de l'état liquide à l'état solide s'accompagne d'un dégagement de chaleur qui est caractéristique de chaque métal, cette chaleur est appelée **chaleur latente de solidification** (fig. 1).

Figure 1 : COURBE DE SOLIDIFICATION D'UN MÉTAL PUR A



Lorsqu'une masse de métal liquide se refroidit dans un moule, on voit apparaître, à la température de solidification, des fragments de solide qui grandissent à partir de germes.

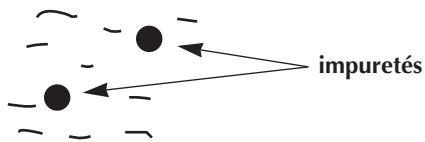
Pour que ces germes grossissent, c'est-à-dire pour que la solidification progresse, il faut que la chaleur qui se dégage soit évacuée par les parois du moule.

Les germes qui amorcent la solidification d'un métal peuvent avoir deux origines :

- soit être constitués de groupements d'atomes du métal qui prennent l'arrangement du réseau cristallin du solide
- C'est la **germination homogène**.



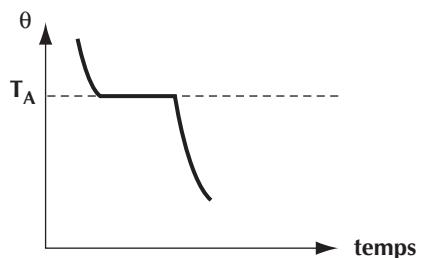
- Soit être des fragments de corps étrangers (impuretés) insolubles dans le métal liquide. C'est la **germination hétérogène**.



Quelle que soit la nature des germes, la solidification du métal liquide commence toujours à une température inférieure à la température de solidification, c'est le phénomène de surfusion (fig. 2 a et b).

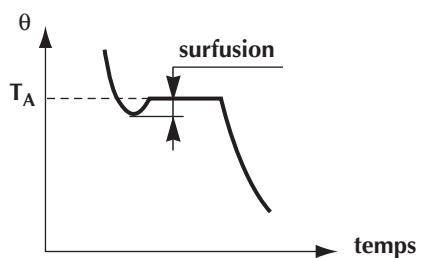
**Figure 2 a : COURBE DE SOLIDIFICATION THÉORIQUE**

LES GERMES NE PEUVENT SE FORMER,  
ILS SE REDISSOLVENT DANS LE LIQUIDE.



**Figure 2 b : COURBE DE SOLIDIFICATION RÉELLE**

LA SURFUSION PERMET LA FORMATION  
DE GERMES STABLES.



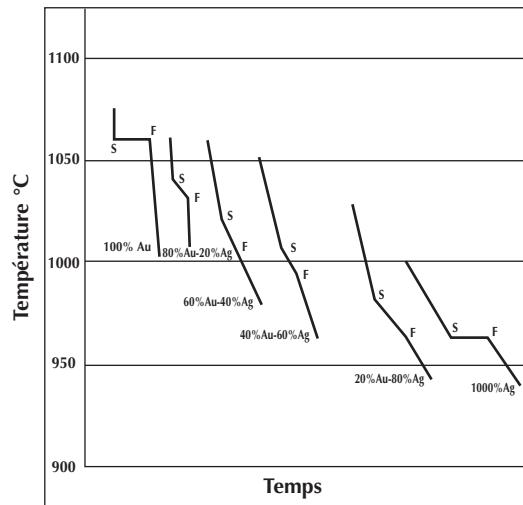
La surfusion permet la création de germes stables dans le liquide lorsque ces germes ont atteint une certaine grosseur, la température remonte à la valeur  $T_A$  et la solidification se poursuit à température constante, jusqu'à la dernière goutte de liquide.

### SOLIDIFICATION D'UN ALLIAGE

Excepté certains alliages particuliers (eutectique, péritectique, composé défini, etc...), la plupart des alliages se solidifient dans un intervalle de température qui est celui compris entre le liquidus et le solidus. La solidification débute, comme pour les métaux purs, par la formation de germes qui croissent au fur et à mesure que s'éliminent les calories du métal liquide.

**Figure 3 :**

Ces courbes de refroidissement pour une série d'alliages or-argent (Au-Ag) indiquent l'intervalle de fusion des alliages. Le point "S" représente le début de la solidification. À noter que l'or pur et l'argent se solidifient à des températures fixes, contrairement à leurs alliages.

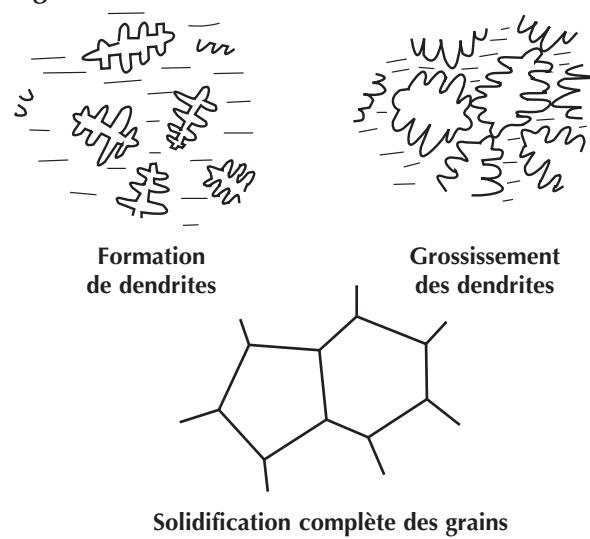


### STRUCTURE CRISTALLINE D'UNE PIÈCE COULEE

Les germes qui apparaissent dans le liquide se développent dans certaines directions en donnant naissance à des arborescences appelées dendrites. Au fur et à mesure que progresse la solidification, les dendrites croissent jusqu'à rencontrer d'autres voisines, la solidification se poursuit alors dans les espaces interdendritiques jusqu'à la dernière goutte de liquide environnant (fig. 4).

Lorsque la solidification est terminée, l'aspect dendritique a généralement disparu, il a fait place à des grains juxtaposés.

**Figure 4 :**



La grosseur et la forme des grains d'un métal coulé dépendent :

- du nombre de germes qui apparaissent dans le liquide,
- de la vitesse de croissance de ces germes.

Si le refroidissement est rapide :

la surfusion est importante

→ il y a un grand nombre de grains



**les grains sont petits**

Si le refroidissement est faible

→ le nombre de germes est petit



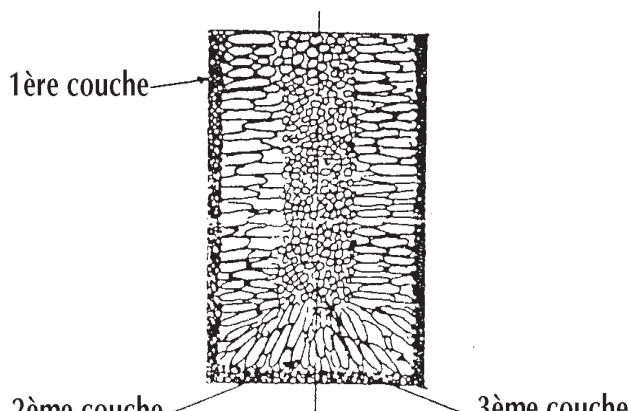
**les grains sont grossiers**

Lorsqu'on fait la coupe longitudinale d'un bloc de métal coulé dans un moule (fig. 5), on remarque trois couches cristallines d'aspect très différent :

### 1<sup>re</sup> couche :

Couche mince de grains très fins formés au contact des parois du moule. Dans cette zone, le refroidissement est brutal, les germes sont nombreux, ils donnent naissance à des grains fins.

**Figure 5 : COUPE LONGITUDINALE D'UN BLOC DE MÉTAL COULÉ DANS UN MOULE.**



### 2<sup>e</sup> couche :

Elle est constituée de gros grains orientés qui se sont développés perpendiculairement à la paroi du moule. Cette couche correspond à un refroidissement moins brutal, d'où le nombre de grains plus faible.

### 3<sup>e</sup> couche :

Elle est formée de grains moyens, diversement orientés.

Cette couche s'est refroidie lentement, il y a donc eu peu de germes.

### **Nota :**

Toutes les pièces de fonderie refroidies dans des moules métalliques présentent ces 3 couches. Le volume occupé par chacune d'elles dépend de plusieurs paramètres, notamment la température de coulée, la température du moule, le rapport masse métal liquide/masse du moule, etc...

## SEGREGATION

Lorsqu'un alliage se solidifie dans un intervalle de température, il faudrait, pour que les compositions du liquide et du solide suivent le liquidus et le solidus, une diffusion des atomes dans chaque phase. En pratique, cette diffusion se fait mal, le solide qui se dépose est formé de couches successives de compositions différentes de celle de l'équilibre.

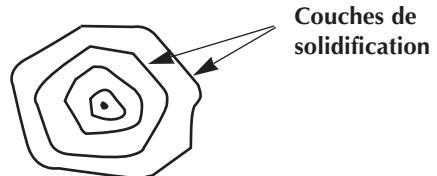
### 1 Formation d'un grain

Soit un grain de l'alliage X (fig. 6) qui se solidifie.

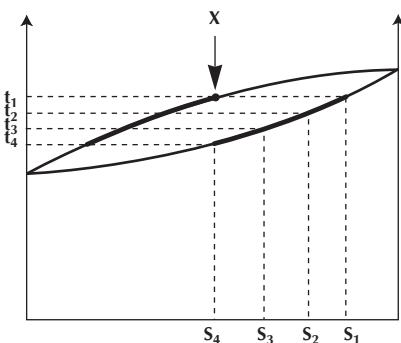
- A  $t_1$  apparaît le 1er germe de composition  $s_1$
- $t_2$  le solide qui se dépose à la composition  $s_2$
- $t_3$  le solide qui se dépose à la composition  $s_3$
- $t_4$  le solide qui se dépose à la composition  $s_4$

Bien que la diffusion des atomes tende à faire évoluer chaque couche déposée vers la composition d'équilibre, il subsiste dans le grain, en fin de solidification, une hétérogénéité de composition qu'on appelle : **ségrégation mineure**.

Le centre d'un grain a donc une composition différente de celle du bord.



**Figure 6 :**



## 1 Micro-retassure (ou retassure mineure)

En fin de solidification, il peut rester, entre les dendrites, des poches que le liquide final n'a pu combler. Ces trous sont appelés **micro-retassures** lorsque leurs dimensions n'excèdent pas quelques dixièmes de millimètres, ou **retassures mineures** dans le cas de cavités de plusieurs millimètres.

## 2 Retassure majeure

### 2 Remède à la ségrégation

Il n'est pas possible de supprimer les ségrégations mineures et majeures en agissant sur les paramètres de coulée.

#### RETRAIT

Lorsqu'un métal est coulé dans un moule, sa densité varie constamment au cours du refroidissement. Pour la plupart des métaux, la densité à l'état solide est plus élevée que celle de l'état liquide (tableau II), cela entraîne, après solidification complète, une contraction appelée **retrait\***.

#### DENSITÉ ET CHANGEMENT DE VOLUME DE QUELQUES MÉTAUX AU VOISINAGE DU POINT DE FUSION

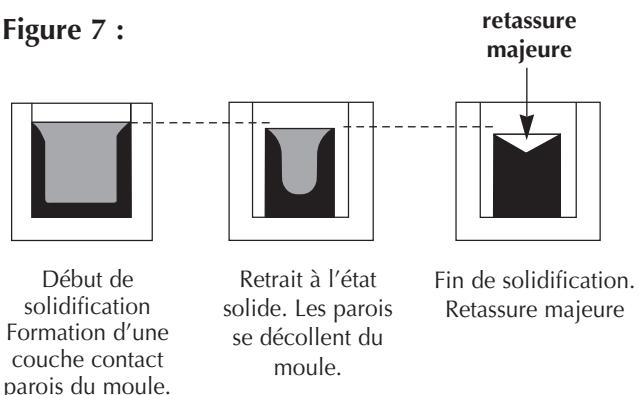
Métal	Densité			Changement de volume à la fusion
	du solide à 20°	du solide avant fusion	du liquide après fusion	
Or	19,32	18,31	17,36	+ 5,5 %
Argent	10,49	9,66	9,32	+ 3,7 %
Platine	21,45	20,16	18,91	+ 6,6 %
Cuivre	8,96	8,35	7,94	+ 5,2 %
Nickel	8,90	8,21	7,79	+ 5,4 %

\* Quelques éléments, comme le Si, Ge, Sb, Bi.... se contractent à la fusion.

#### Conséquences du retrait

Le retrait est à l'origine de plusieurs défauts, nous ne citerons que les plus courants.

**Figure 7 :**



## 3 Remède aux défauts résultant du retrait

La retassure majeure peut être diminuée par la création d'une masselotte dans le haut du lingot. La masselotte constitue une réserve de métal liquide. Maintenue dans une cavité isolante, elle permet de compenser la contraction qui résulte du retrait.

On réalise une masselotte en utilisant, dans la partie supérieure du moule, un matériau peu conducteur de la chaleur qui retarde la solidification du métal dans cette zone.

Une masselotte bien calculée doit se solidifier en dernier, après solidification complète de la pièce.

#### Le Service Technique.