

METALLURGIE

ANALYSES THERMIQUES DES METAUX PURS ET ALLIAGES

Pour étudier la solidification et le refroidissement des métaux purs et des alliages, on fait généralement appel à une analyse thermique qui consiste à observer la température θ en fonction du temps t . La courbe $\theta=f(t)$ permet d'avoir l'ensemble des observations sous forme de courbes.

I - DEFINISION :

1-1 Une phase : est un domaine du matériau dont les propriétés physiques et chimiques sont uniformes. Cette région ou cet ensemble de régions sont caractérisés par une structure et par un arrangement atomique identique.

1-2 Un composant est un corps pur. Il peut être simple (exemples : Ti, Ag, Cu...) ou être un composé chimique (H₂O, Al₂O₃, SiO₂...). Un composant peut être présent dans différentes phases, par exemple un glaçon dans de l'eau liquide. Deux composants mélangés peuvent ne former qu'une seule phase, comme l'eau et l'alcool. S'ils peuvent se mélanger quel que soit le dosage, on dit qu'ils sont totalement miscibles. S'ils ne peuvent se mélanger, comme l'eau et l'huile, ils forment alors deux phases, distinctes et sont dits non miscibles.

II ALLIAGES BINAIRES

Un alliage binaire est un alliage formé de deux constituants. Il peut être homogène ou hétérogène.

2.1 – Alliage binaire homogène :

On dit qu'un alliage est homogène lorsque son examen micrographique ne révèle que la présence d'un seul constituant. Il existe deux cas possibles :

2.1.1 – Composé chimiquement défini :

C'est un alliage homogène dans lequel les deux constituants se combinent chimiquement d'une manière précise. **Exemple** : Fe₃C

2.1.2 – Solution solide :

Une solution solide est un mélange solide homogène dont la composition est identique en tous ses points.

2.2 – Alliage binaire hétérogène :

Un alliage binaire est dit hétérogène lorsque son examen micrographique permet de mettre en exergue la juxtaposition d'au moins deux constituants.

METALLURGIE

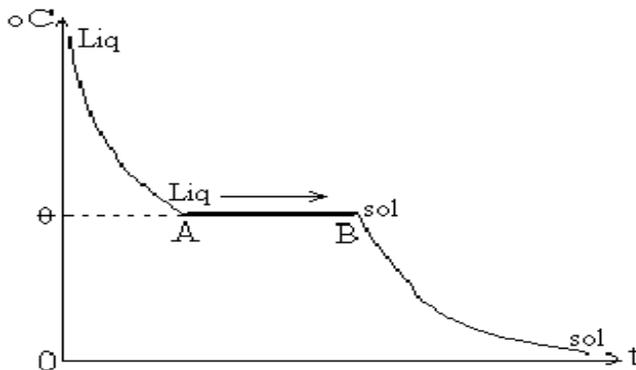
III COURBES DE REFROIDISSEMENT DES MÉTAUX PURS ET ALLIAGES

À l'exception du mercure, lorsqu'on refroidit un métal ou un alliage en fusion à température ambiante entraîne une solidification. Le passage de la phase liquide à la phase solide s'appelle un changement de phase.

Toutes les courbes de solidification peuvent se résumer en trois familles.

3.1 Courbes de solidification présentant uniquement un palier

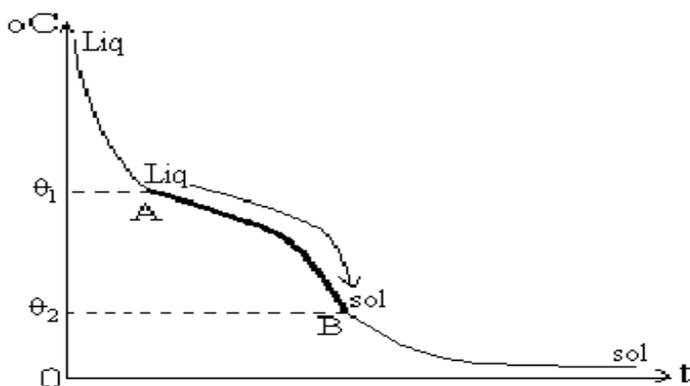
Lorsqu'il existe un palier, la solidification se fait à une température constante c'est-à-dire elle commence et se termine à la même température θ . La figure ci-dessous montre que la solidification commence en A et se termine en B. Un alliage binaire qui se solidifie à température constante est soit un **composé chimiquement défini** soit un **mélange hétérogène** appelé **alliage eutectique**, soit un **métal pur**.



3.2 Courbes de solidification présentant une simple anomalie

La solidification se fait à température variable c'est-à-dire elle commence à une température θ_1 et se termine à une température θ_2 (inférieure à θ_1).

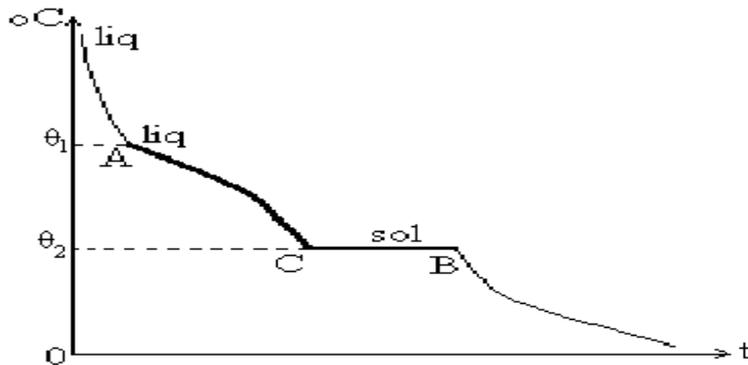
Lorsqu'une courbe de solidification ne présente pas de palier, l'alliage obtenu se présente sous forme de mélange homogène solide ou **solution solide**.



METALLURGIE

3.3 Courbes de solidification présentant une anomalie simple suivie de palier

La solidification se fait en deux temps. De A à C, la température est variable et commence à θ_1 pour se terminer à θ_2 . De C à B, la température est constante et égale à θ_2 .



Lorsque la solidification se fait en deux temps, l'alliage obtenu est généralement hétérogène donc formé de deux constituants (l'un homogène et l'autre hétérogène).

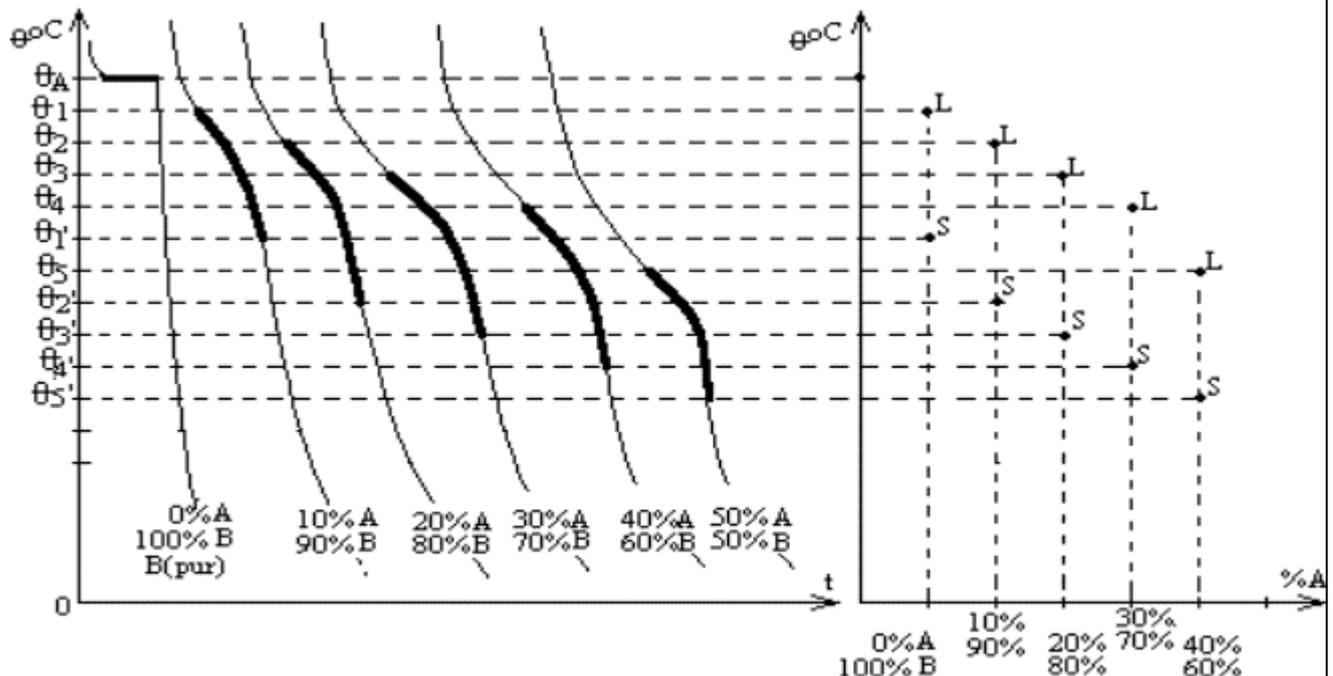
METALLURGIE

DIAGRAMME DE SOLIDIFICATION DES ALLIAGES BINAIRES

Le diagramme de solidification est un ensemble de courbes donnant les températures de début et de fin de solidification de la totalité des alliages possibles.

I – PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES

Soit l'ensemble des alliages formés de deux métaux A et B et dont la composition varie de façon continue de 0% de A et 100% de B à 100% de A et 0% de B.



L'ensemble des points **L** joints donne naissance à une courbe appelée **LIQUIDUS**. Celle donnée par les points **S** s'appelle le **SOLIDUS**.

L'ensemble des liquidus et des solidus forme le **DIAGRAMME DE SOLIDIFICATION** des alliages A et B.

1. Tout point du diagramme correspond à un alliage dont la composition est donnée par la projection orthogonale du point sur l'axe des abscisses.
2. Tout point au dessus du liquidus correspond à un alliage **entièrement liquide**.
3. Tout point en dessous du solidus correspond à un alliage **entièrement solide**.
4. Tout point compris entre le liquidus et le solidus correspond à un alliage **en cours de solidification** c'est-à-dire **en partie liquide et en partie solide**.

II – CLASSIFICATION DES ALLIAGES BINAIRES

METALLURGIE

A l'état solide, les alliages binaires peuvent être classés en trois types d'après le nombre de solutions solides. Celles-ci sont mises en évidence par le solidus du diagramme de solidification.

2.1 – Alliages formant à froid une solution solide unique

C'est le cas des alliages Cu-Ni. Ces deux métaux sont miscibles à froid en toutes proportions. Toutes les courbes d'analyse thermique de la solidification de ces alliages présentent une anomalie simple.

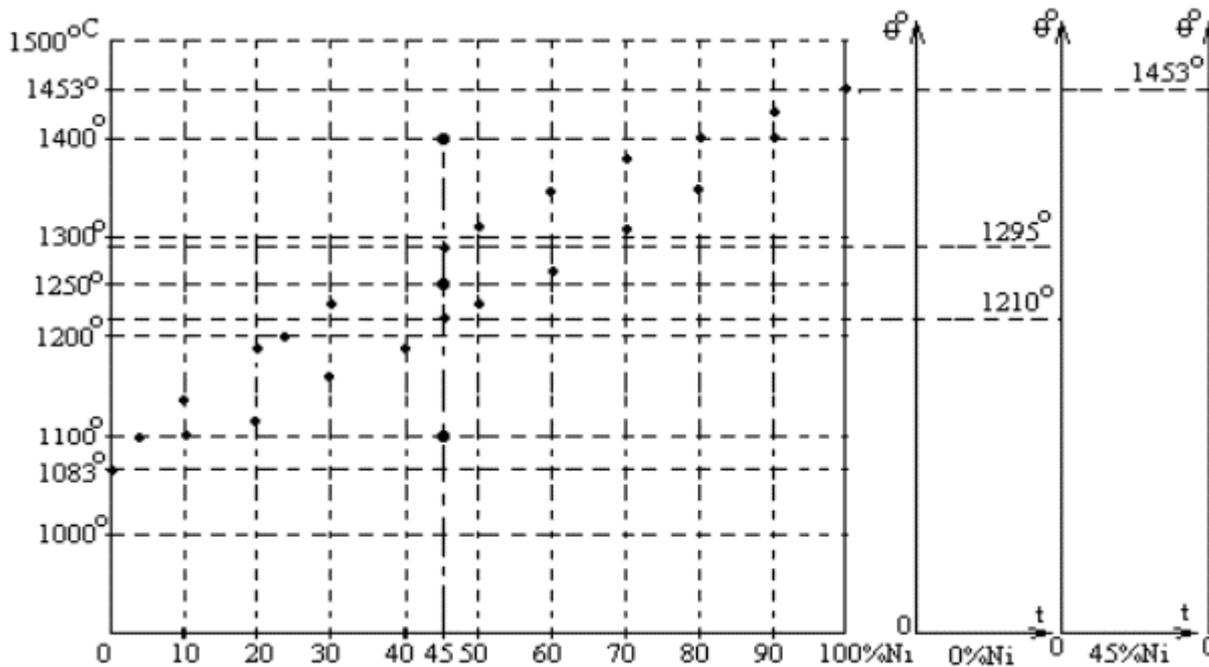


DIAGRAMME DE SOLIDIFICATION ET DE FUSION DES ALLIAGES Cu-Ni
D'ANALYSE THERMIQUE

COURBES

Interprétation du diagramme

1. Etat physique de l'alliage

Soient les points Q, P, R représentant le même alliage à 45% de Ni (55%Cu)

A 1400°C, le point Q est entièrement liquide.

A 1250°C, le point P est liquide-solide

A 1100°C, le point R est entièrement solide

2. Alliages en cours de solidification

METALLURGIE

A l'aide de deux règles d'utilisation fondamentales, on peut trouver :

- La composition des phases liquide et solide en équilibre, à une température q , d'un alliage en cours de solidification.
- La masse des phases liquide et solide.

3. Règle de l'horizontale

A une température q , les compositions des phases liquide et solide sont données respectivement par les abscisses des points d'intersection de l'horizontale à la température q avec le liquidus et le solidus (voir diagramme ci-dessus)

Exemple d'application : Déterminer la composition des phases liquide et solide à la température de 1250°C .

.....

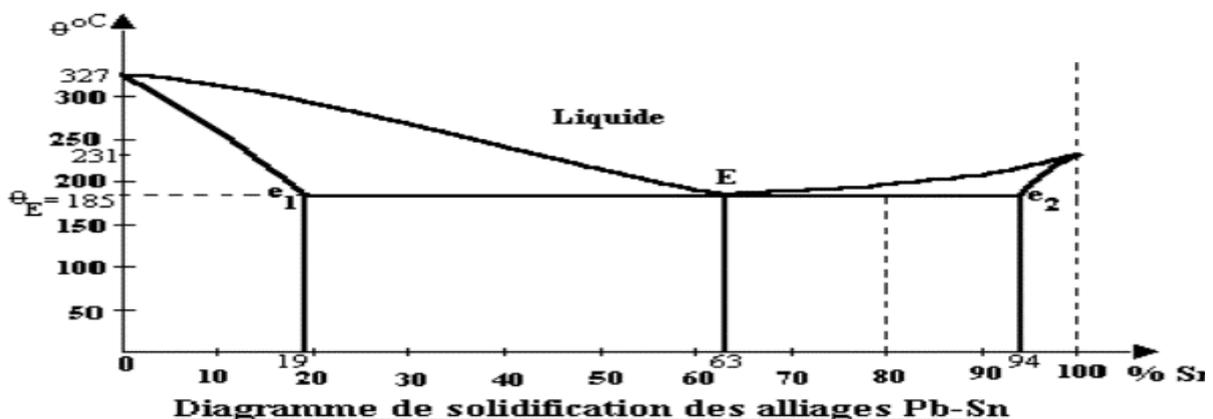
4. Règle des segments inverses

Pour un alliage en cours de solidification, dont le point figuratif est P , à la température q (voir diagramme ci-dessus), le pourcentage de liquide est PS/LS et celui de solide est LP/LS . Les points L et S étant les intersections de l'horizontale à la température q avec le liquidus et le solidus.

Exercice d'application : Calculer les masses des phases liquide et solides de l'alliage Cu-Ni à 45% Ni à la température de 1250°C . La masse de l'alliage considéré est de 80Kg

.....

2.2 – Alliages binaires formant à froid deux solutions solides



METALLURGIE**2.2.1 – Allure générale d'un diagramme à point eutectique**

Le diagramme comporte deux séries d'alliages homogènes :

- L'une riche en métal plomb et pauvre en métal étain est appelée **solution solide a**
- L'autre riche en métal étain et pauvre en métal plomb est appelée **solution solide b**

Les solutions solides sont repérées sous les branches obliques du solidus.

Quant aux deux branches du liquidus, elles se coupent au point **E** nommé **point eutectique**.

Ce point correspond à l'alliage eutectique dont le point de fusion q_E est inférieur à celui de tous les alliages voisins formés des mêmes constituants.

Interprétation du diagramme**a) Solidification de l'alliage eutectique**

Considérons l'alliage eutectique à 63% Sn.

Pour une température légèrement supérieure à q_E (185 °C), l'alliage est entièrement liquide. A la température $q_E = 185$ °C, il y a équilibre entre le liquide et les solutions solides a à 19 % Sn et b à 94 % Sn.

Liquide E * solution solide a à 19 % Sn + solution solide b à 94 % Sn

La solidification se faisant en température constante est composée de deux solutions solides (a et b) qui ont donné naissance à un mélange hétérogène. Cette réaction est appelée transformation eutectique.

Remarque :

Pour caractériser un eutectique, il ne suffit pas de donner sa composition chimique brute (teneur en métal A et en métal B), mais il est nécessaire d'indiquer la nature et les compositions des deux phases constituantes ainsi que leurs proportions en masse.

Exemple : les solutions solides a à $e_1\%$ A et b à $e_2\%$ B.

b) Solidification des autres alliages *

Alliages homogènes : Ils sont au nombre de deux dans le diagramme de solidification Pb-Sn. ·

METALLURGIE

Solution solide a à 19 % Sn (81 % Pb) riche en Pb et pauvre en Sn.

Solution solide b à 94 % Sn (06 % Pb) riche en Sn et pauvre en Pb*

Alliages hétérogènes : Tous les alliages se trouvant sous la branche horizontale du solidus sont dits hétérogènes **c'est-à-dire compris entre e_1 et e_2** . Ces alliages sont formés de deux phases :

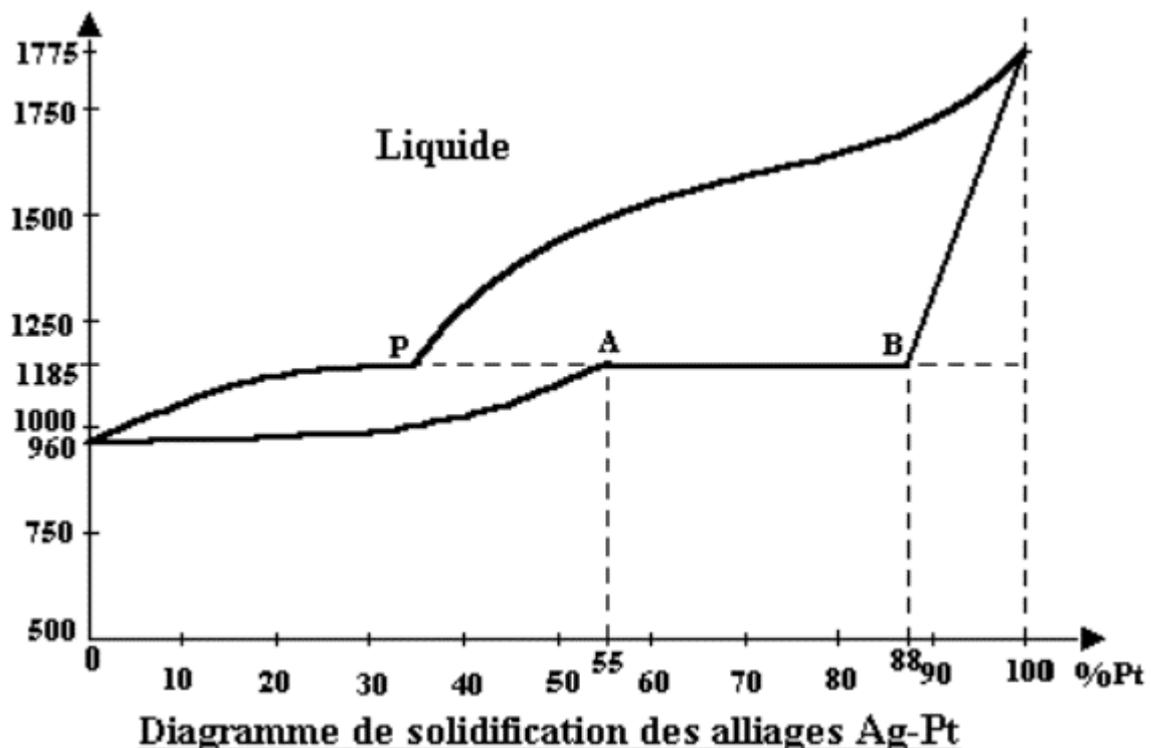
- ❖ une solution solide a à e_1 (19 % Sn) .
- ❖ une solution solide b à e_2 (94 % Sn) ou de deux constituants.
- ❖ une solution solide a proeutectique + eutectique E.
- ❖ une solution solide b proeutectique + eutectique E

EXERCICE D'APPLICATION :

Calculer la masse des phases et des constituants d'un alliage à 80 % Sn (20 % Pb) à la température ambiante. La masse totale de l'alliage est de 65 Kg (voir diagramme Pb-Sn).

2.2.2 – Allure générale d'un diagramme à point péritectique

Dans ce diagramme, le liquidus et le solidus n'ont pas de point de rencontre (sauf pour 0% et 100% Pt). Le point P, intersection du liquidus et du prolongement de l'horizontale du solidus, est appelé **point péritectique du diagramme**.



METALLURGIE

Interprétation du diagramme :

* sous les branches obliques du solidus se trouvent les **solutions solides a et b.**

* Sous la branche horizontale du solidus se trouvent les **alliages hétérogènes.**

La transformation péritectique correspond aux relations suivantes :

Entre P et A : Liquide P + Sol. Sol. b à 88% Pt * Liquide P + Sol. Sol. a à 55% Pt

Entre A et B : Liquide P + Sol. Sol. b à 88% Pt * Sol. Sol. a à 55% Pt + Sol. Sol. b à 88% Pt

2.3 – Alliages binaires formant à froid plus de deux solutions solides

2.3.1 – Cas général

Ces types de diagrammes peuvent présenter plusieurs solutions solides ainsi que des eutectiques, des combinaisons chimiquement définies et éventuellement des péritectiques.

2.3.2 – Etude des combinaisons chimiquement définies

Une combinaison chimiquement définie (c.c.d) correspond à un maximum relatif commun du solidus et du liquidus. Sa température de solidification est supérieure à la température de début de solidification des alliages de la composition la plus voisine. C'est le cas de C1 et de C2 sur le diagramme Cu-Mg.

2.3.3 – Recherche de la formule des combinaisons chimiquement définies

Le problème se pose toujours de la même façon.

Exemple :

Quelle est la formule chimique correspondante à une combinaison contenant 43,5 % de Mg (voir diagramme de solidification des alliages Cu-Mg). Cu = 63,5 g/mole Mg = 24 g/mole.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

METALLURGIE

