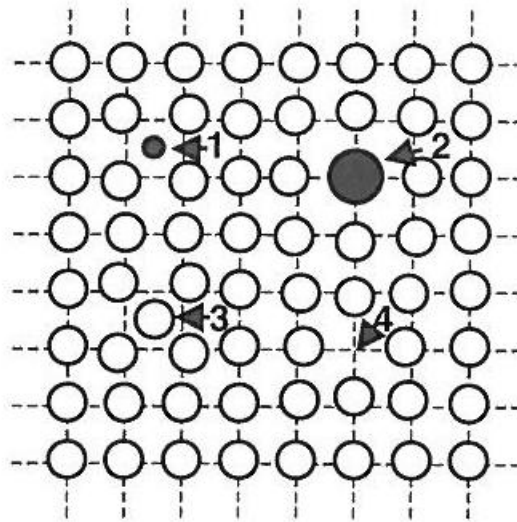


# Exercices TD1 Métallurgie

## 1. Défauts cristallins

Indiquez les noms des 4 différents types de défauts ponctuels schématisés ci-dessous :



## 2. Solutions solides

La figure 1 ci-dessous schématise un cristal constitué d'atomes d'un corps pur A. De manière analogue, essayez d'imaginer la structure que peuvent avoir des solutions solides de **quelques atomes** de B dans le cristal de A (proposez vos schémas sur les figures 2 et 3).

○ A    ● B

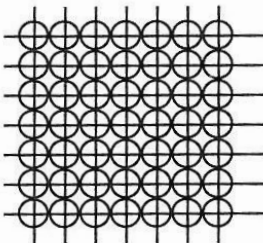


Figure 1

Cristal de A pur

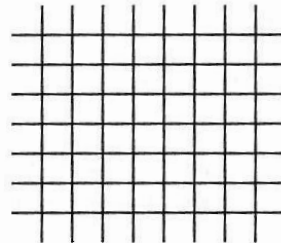


Figure 2

Solution solide d'insertion  
de B dans A

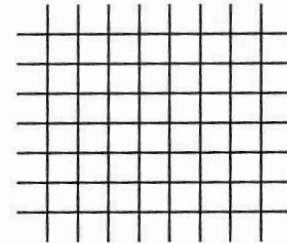
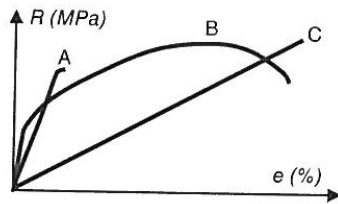


Figure 3

Solution solide  
de substitution de B dans A

### 3. Propriétés mécaniques et courbe de traction



La figure ci-contre schématise les courbes de traction de trois matériaux A, B et C.

Indiquez lequel des trois possède :

- |   |                             |                             |                             |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. le module de Young le plus élevé           | <input type="checkbox"/> A. | <input type="checkbox"/> B. | <input type="checkbox"/> C. |
| 2. la limite d'élasticité la plus élevée      | <input type="checkbox"/> A. | <input type="checkbox"/> B. | <input type="checkbox"/> C. |
| 3. la résistance à la traction la plus élevée | <input type="checkbox"/> A. | <input type="checkbox"/> B. | <input type="checkbox"/> C. |
| 4. la plus grande ductilité                   | <input type="checkbox"/> A. | <input type="checkbox"/> B. | <input type="checkbox"/> C. |

### 4. Règle de la variance

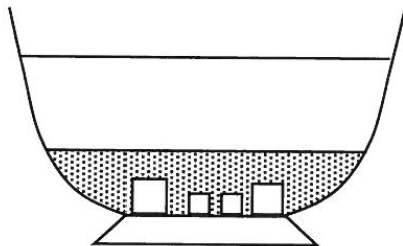
1. Écrivez l'équation qui exprime la **règle de la variance** (ou **règle des phases**, ou **règle de GIBBS**), donnant la variance  $\nu$  d'un mélange en équilibre en fonction de :

- $c$ , nombre de constituants du système ;
- $p$ , nombre de paramètres physiques influant sur l'équilibre du système (pour les phases condensées liquides ou solides, on admettra que seule la température influe, d'où  $p = 1$ ) ;
- $\phi$ , nombre de phases présentes dans le mélange.

2. Quelle est la variance d'un mélange à **deux constituants** dans lequel **deux phases** sont présentes à l'équilibre ?

3. Quel est le nombre maximum de phases condensées qui peuvent être présentes à l'équilibre dans un mélange à **trois constituants** ?

### 5. Phases, constitution, concentrations et composition



Un bol de vinaigrette contient (figure ci-contre) :

- 300 g d'huile ;
- 100 g de vinaigre ;
- 5 g de sel (NaCl) en solution dans le vinaigre ;
- 4 cristaux de sel (NaCl) solide en excès au fond du bol, représentant une masse de 20 g.

1. Combien de **phases** différentes ce mélange contient-il ? Nommez-les et précisez leur nature.

2. Quelle est la **concentration massique en NaCl de l'ensemble du mélange** ?

3. Quelle est la **concentration massique en NaCl de la phase riche en vinaigre** ? Déduisez-en la **composition massique de la phase riche en vinaigre**.

4. Quelle est la **fraction massique de la phase riche en vinaigre** dans le mélange ?

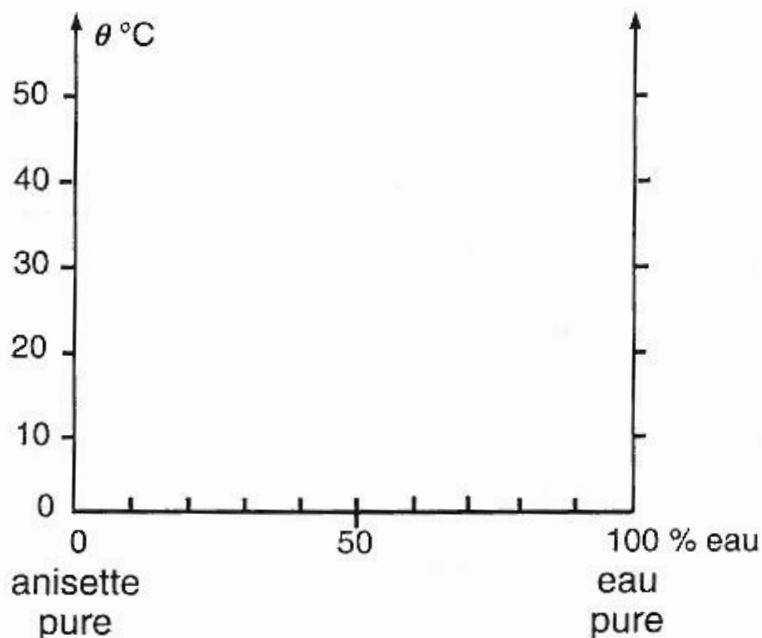
## 6. Apéritifs anisés !

Les bouteilles d'apéritifs anisés – que nous désignerons sous le nom générique d'« anisette » – contiennent un fluide transparent constitué d'eau, d'alcool et d'esters aromatiques.

Les esters aromatiques sont solubles dans les mélanges d'eau et d'une forte proportion d'alcool, mais ils précipitent sous forme de gouttelettes si la solution est diluée par addition d'eau : ces gouttelettes diffusent la lumière incidente et rendent le mélange opaque et blanchâtre. Ce phénomène se reproduit avec n'importe quelle anisette, qui contient simplement au départ assez d'alcool dans sa bouteille pour que les esters aromatiques y soient solubles.

On observe par exemple que l'anisette se trouble à 60 % m d'eau à 0 °C, à 70 % m d'eau à 20 °C et à 85 % m d'eau à 40 °C.

1. Dans des axes température et concentration en eau (en % masse) ci-dessous, esquissez l'allure du diagramme d'équilibre de phases anisette-eau en indiquant la limite des domaines monophasé et biphasé.



2. L'eau pure est-elle monophasée ou biphasée ? En conséquence, complétez la limite de domaine biphasé/monophasé, en admettant :

- que l'eau pure devient immédiatement biphasée dès qu'on lui incorpore la moindre quantité d'anisette (elle n'admet pratiquement pas d'anisette en solution liquide) ;
- que tous les mélanges anisette-eau sont toujours limpides aux températures supérieures à 50 °C.

3. À l'aide du diagramme ainsi établi, donnez la constitution du mélange comportant 1 dose (en masse) d'anisette pour 4 doses d'eau à 10 °C (point constitutif, nombre et nature des phases, composition chimique massique de chaque phase, fraction massique de chaque phase).

4. Indiquez qualitativement comment varie cette constitution lorsque le même mélange est chauffé jusqu'à 50 °C.

## 7. Concentration massiques / concentrations atomiques

Le diagramme d'équilibre de phases entre deux éléments chimiques A et B comprend un composé défini de formule  $A_4B$ .

1. Combien valent les concentrations atomiques des éléments A et B dans le composé défini  $A_4B$  ?
2. On donne les masses atomiques des éléments A et B :

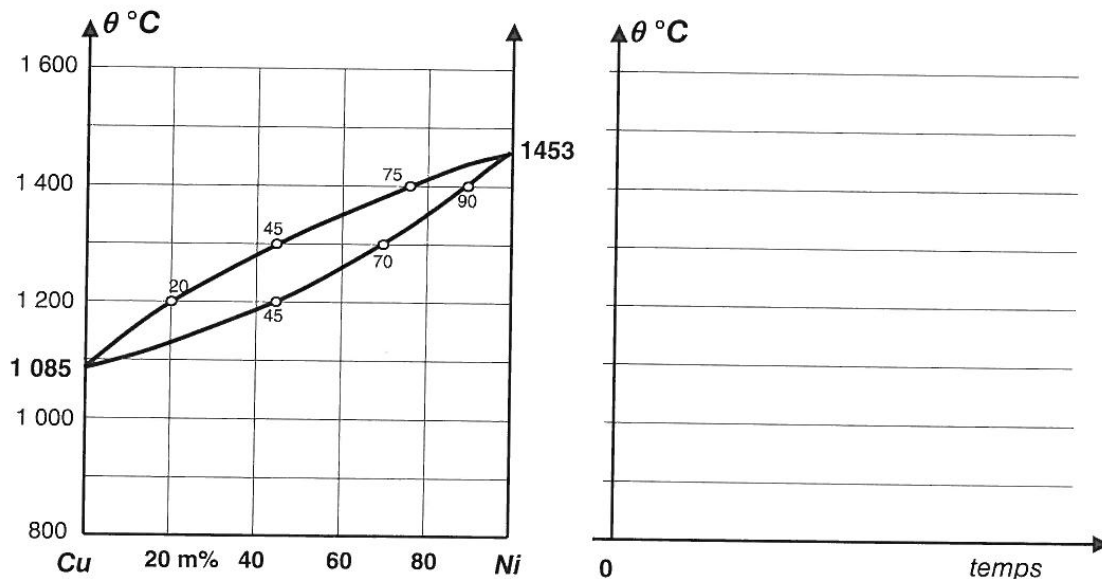
$$M_A = 17,5 \text{ g/mole} \quad M_B = 130 \text{ g/mole}$$

Combien valent les concentrations massiques des éléments A et B dans le composé défini  $A_4B$  ?

## 8. Diagramme d'équilibre de phase cuivre – nickel

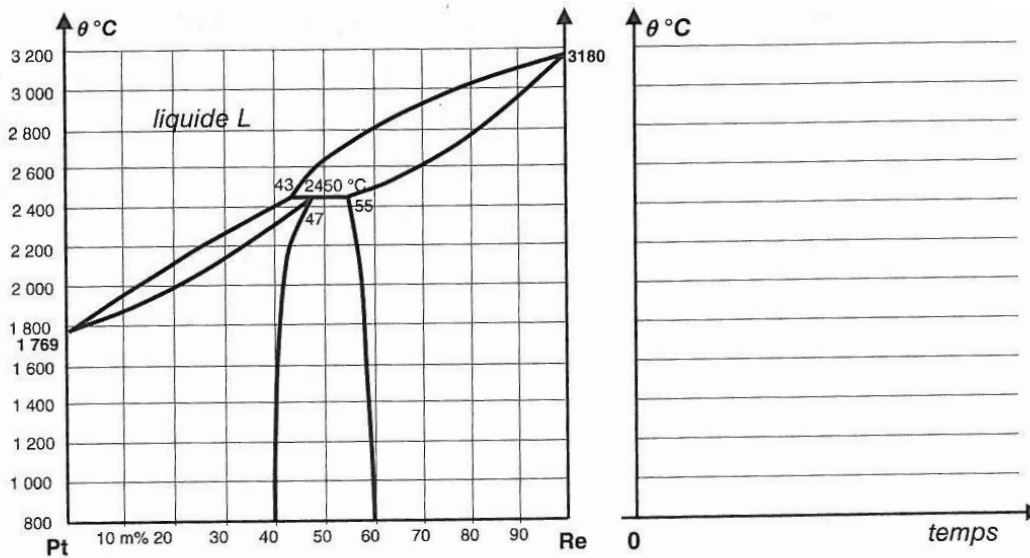
La figure ci-dessous représente une partie du diagramme d'équilibre de phases binaire **Cu-Ni**.

1. Indiquez dans les différents domaines du diagramme les différentes phases présentes. Indiquez la courbe *liquidus* et la courbe *solidus*.
2. Dans le diagramme d'analyse thermique de droite, tracez l'allure de la courbe de refroidissement spontané du nickel pur depuis 1500 °C jusqu'à 1000 °C. Indiquez à chaque stade la ou les phase(s) présente(s) ou les réactions éventuelles en cours (on négligera tout phénomène de surfusion et on supposera que le refroidissement s'effectue à chaque instant dans des conditions parfaites de réversibilité thermodynamique).
3. Marquez sur le diagramme le point A constitutif de l'alliage à 70 % en masse de cuivre à 1400 °C.
4. Tracez dans le diagramme de droite l'allure de la courbe de refroidissement de cet alliage depuis 1400 °C jusqu'à 1000 °C. Indiquez à chaque stade la ou les phase(s) présente(s) ou les réactions en cours.
5. On considère une masse de 100 kg de cet alliage à 70 % m Cu à l'équilibre à 1200 °C. Quelles sont les compositions chimiques du liquide et du solide présents à cette température ? Combien le mélange comporte-t-il de masse de liquide et de masse de solide ?



## 9. Diagramme d'équilibre de phase platines-rhénium

1. Complétez le diagramme de phases binaire platines-rhénium ci-dessous en indiquant (en les symbolisant par des lettres) la ou les phase(s) présente(s) dans chaque domaine.



2. Indiquez l'ensemble des lignes constituant le *liquidus* de ce diagramme. Indiquez l'ensemble des lignes constituant le *solidus* de ce diagramme.

3. Écrivez la réaction entre phases qui se produit à  $2450^{\circ}\text{C}$ . Quel nom général porte ce type de réaction ?

4. Reportez sur le diagramme les différents points constitutifs des alliages ci-dessous et indiquez la constitution des mélanges obtenus :

a. alliage à 80 % en masse de Pt à  $1600^{\circ}\text{C}$

b. alliage à 70 % en masse de Re à  $2700^{\circ}\text{C}$

5. Refroidissement d'un alliage à 70 % en masse de Re :

a. Combien vaut la variance  $v$  de cet alliage de  $3200^{\circ}\text{C}$  à  $2860^{\circ}\text{C}$  ?

b. Combien vaut la variance de cet alliage de  $2860^{\circ}\text{C}$  à  $2600^{\circ}\text{C}$  ?

c. Quelle est la réaction entre phases qui se produit dans cet alliage lors de son refroidissement entre  $2860^{\circ}\text{C}$  et  $2600^{\circ}\text{C}$  ?

d. Combien vaut la variance de cet alliage entre  $2600^{\circ}\text{C}$  et  $800^{\circ}\text{C}$  ?

e. En conséquence, tracez dans le diagramme de droite l'allure de la courbe de refroidissement de cet alliage de  $3200^{\circ}\text{C}$  à  $1200^{\circ}\text{C}$

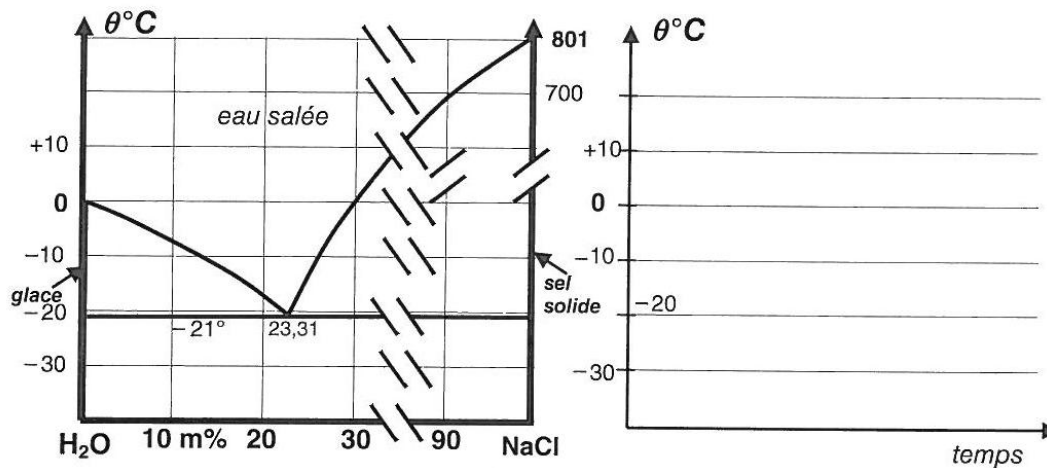
## 10. Diagramme d'équilibre de phase eau-sel

La figure ci-dessous représente une partie du diagramme d'équilibre de phases **eau H<sub>2</sub>O – sel NaCl**.

1. Indiquez les phases présentes dans les domaines biphasés de la partie gauche du diagramme.
2. Écrivez la réaction entre phases qui se produit à  $-21\text{ °C}$  en précisant la composition des phases qui interviennent ici. Quel nom général porte ce type de réaction ?
3. L'eau de mer comporte environ 3 % en masse de sel. Sur le graphe de la figure de droite, tracez la courbe de refroidissement de l'eau de mer depuis  $+10\text{ °C}$  jusqu'à  $-40\text{ °C}$ , en précisant les réactions entre phases dans chaque domaine de température.
4. Calculez la fraction massique de glace dans l'eau de mer à l'équilibre à  $-10\text{ °C}$ .

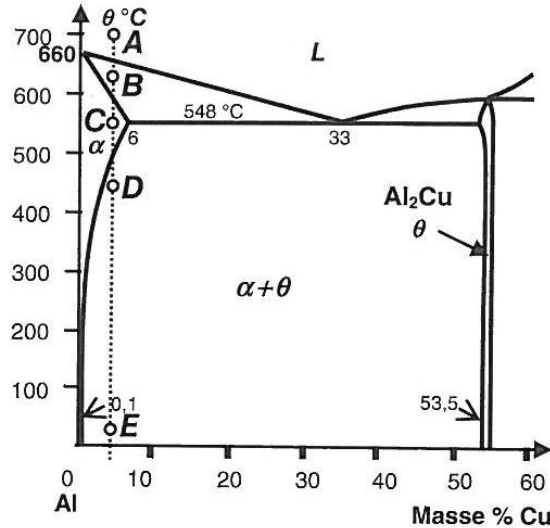
5. Lorsqu'on se trouve à une à **température imposée** de  $-10\text{ °C}$  par exemple, expliquez pourquoi on répand du sel sur les routes pour faire fondre la neige ou le verglas (détaillez le mécanisme d'action du sel sur la glace). Jusqu'à quelle température ce traitement peut-il être théoriquement efficace ?

6. Dans certaines sorbetières, on se place à **composition imposée** en mélangeant de la glace pilée avec du gros sel dans un bac de refroidissement bien isolé. Expliquez pourquoi ce mélange est capable d'abaisser la température du bac de refroidissement en dessous de  $0\text{ °C}$ .



## 11. Diagramme d'équilibre de phase aluminium-cuivre

Une partie du diagramme d'équilibre aluminium-cuivre est représentée ci-dessous.



1. Écrivez la réaction eutectique qui se produit à 548 °C pour les mélanges à 33 % m Cu.
2. Donnez la constitution d'équilibre d'un alliage Al-4,5 % m Cu à 548 °C (point constitutif C sur le diagramme).
3. Donnez la constitution d'équilibre du même alliage Al-4,5 % m Cu à 20 °C (point constitutif E sur le diagramme).

4. Les cinq croquis ci-dessous schématisent, dans le désordre, les microstructures d'équilibre de l'alliage Al-4,5 % m Cu à différentes températures repérées par les points constitutifs A, B, C, D et E. Pour chaque croquis, indiquez à quel point constitutif il correspond.

