

**Compétences visées:**

- Énoncer la définition d'un alliage.
- Citer la composition de quelques alliages courants utilisés dans le domaine professionnel.
- Distinguer les alliages par substitution et par insertion. Citer des exemples.
- Exploiter le diagramme (P, T) d'un corps pur métallique pour déterminer l'état du métal et son évolution par variation de T ou de P .
- Définir les chaleurs latentes massique et molaire de changement d'état.
- Établir un bilan énergétique lors d'un changement d'état.
- Décrire l'allure et exploiter les diagrammes d'équilibre binaires solide-liquide isobares (miscibilité totale ; eutectique).

Exercices :

- Composition et propriétés d'alliages courants
- Substitution ou insertion ?

[...]

Version Numérique :

Ce cours est disponible en **version numérique**.
Vous pouvez y accéder en scannant le **QR Code**
ci-contre :



Table des matières

I	Qu'est-ce qu'un alliage ?	3
A	Définition et intérêt	3
B	Alliages courants dans le domaine professionnel	4
C	Alliages de substitution et alliages d'insertion	6
II	Changement d'état d'un métal ou d'un alliage	8
A	Diagramme (P, T) d'un corps pur métallique	8
B	Chaleur latente de changement d'état	10
C	Bilan énergétique lors d'un changement d'état	11
III	Diagrammes d'équilibre binaires solide-liquide isobares	14
A	Miscibilité totale à l'état solide et à l'état liquide	14
B	Miscibilité totale à l'état liquide, nulle à l'état solide : l'eutectique	17

I Qu'est-ce qu'un alliage ?

A Définition et intérêt

📖 Définition : Alliage

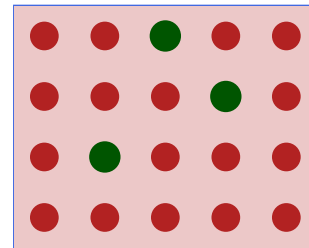
Un **alliage** est un matériau métallique obtenu en combinant un **métal de base**, avec un ou plusieurs autres **éléments d'addition**.

💡 Remarque

On distingue un alliage d'un simple mélange hétérogène de métaux : dans un alliage, les éléments d'addition sont incorporés au sein même de la structure cristalline du métal de base (on parle de **solution solide**), et non simplement juxtaposés à une échelle macroscopique.



Mélange hétérogène
grains distincts de A et de B



Alliage (solution solide)
un seul réseau cristallin

FIGURE 1 – Différence entre un mélange hétérogène (deux phases distinctes, séparées par des joints de grains visibles) et un alliage en solution solide (un unique réseau cristallin, homogène jusqu'à l'échelle atomique).

⚠ Attention : Pourquoi allier des métaux ?

Un métal pur possède rarement les propriétés optimales pour une application donnée. L'alliage permet d'ajuster :

- la dureté et la résistance mécanique (traction, fatigue, usure) ;
- la résistance à la corrosion ;
- la température de fusion ;
- les propriétés électriques, magnétiques ou l'aptitude au soudage/moulage ;
- l'aspect (couleur, éclat) et le coût.

B Alliages courants dans le domaine professionnel

Alliage	Composition typique	Propriété recherchée	Domaine d'utilisation
Acier	Fe + C (< 2 %)	Dureté, résistance mécanique	Construction, mécanique, outillage
Acier inoxydable	Fe + Cr ($\sim 18\%$) + Ni ($\sim 8\%$)	Résistance à la corrosion	Agroalimentaire, chirurgie, robinetterie
Laiton	Cu + Zn (5 à 40 %)	Usinabilité, esthétique, faible frottement	Robinetterie, quincaillerie, instruments
Bronze	Cu + Sn ($\sim 10\%$)	Résistance à l'usure et à la corrosion	Cloches, paliers, statuaire
Duralumin	Al + Cu ($\sim 4\%$) + Mg, Mn	Légèreté et résistance mécanique élevée	Aéronautique, structures légères
Soudure étain-plomb	Sn + Pb	Basse température de fusion	Brasage électronique (usage historique)



Exercice 1

Composition et propriétés d'alliages courants (★)

Q1 À l'aide du tableau ci-dessus, citer un alliage utilisé pour sa résistance à la corrosion et un alliage utilisé pour sa légèreté.



Exercice 2

Fabrication d'un bronze pour un client (★★★)

Un atelier de fonderie reçoit une commande d'un client : produire un lot de **bronze CuSn10**, c'est-à-dire un bronze contenant 10 % en masse d'étain (Sn), le reste étant du cuivre (Cu). Le lot commandé a une masse totale $m_{\text{tot}} = 50$ kg.

Données

- Masses molaires : $M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Sn}) = 118,71 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masses volumiques : $\rho(\text{Cu}) = 8,96 \text{ g.cm}^{-3}$; $\rho(\text{Sn}) = 7,31 \text{ g.cm}^{-3}$; $\rho(\text{bronze CuSn10}) \simeq 8,80 \text{ g.cm}^{-3}$
- Prix des matières premières : cuivre $\simeq 9 \text{ €/kg}$; étain $\simeq 28 \text{ €/kg}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

 Formule : Aides pour l'exercice

- Pourcentage massique d'un constituant i dans un mélange : $\%_i = \frac{m_i}{m_{\text{tot}}} \times 100$.
- Quantité de matière : $n = \frac{m}{M}$, avec m en g et M en g.mol^{-1} .
- Fraction molaire d'un constituant i dans un mélange à deux composants i et j : $x_i = \frac{n_i}{n_i + n_j}$.

Q1 Calculer la masse d'étain m_{Sn} et la masse de cuivre m_{Cu} à peser pour élaborer les 50 kg de bronze commandés.

Q2 En déduire le coût approximatif des matières premières nécessaires à cette commande.

Q3 Calculer les quantités de matière n_{Cu} et n_{Sn} correspondantes, puis en déduire la **fraction molaire** d'étain $x_{\text{Sn}} = \frac{n_{\text{Sn}}}{n_{\text{Cu}} + n_{\text{Sn}}}$ dans cet alliage. Comparer cette fraction molaire à la fraction massique de 10 % : est-ce cohérent ? Justifier qualitativement l'écart observé à partir des masses molaires de Cu et de Sn.

Q4 En supposant que les volumes de cuivre et d'étain s'additionnent lors de l'élaboration de l'alliage (approximation de non-contraction du mélange), calculer le volume total V de bronze obtenu à partir des masses m_{Cu} et m_{Sn} de la question 1. Comparer la masse volumique ainsi obtenue ($\rho = m_{\text{tot}}/V$) à la valeur tabulée $\rho(\text{CuSn10}) \simeq 8,80 \text{ g.cm}^{-3}$.

Q5 Le client souhaite couler ce bronze dans des lingotières cubiques d'arête a . Calculer l'arête a d'un lingot dont la masse est de 2,0 kg, en utilisant la masse volumique tabulée du bronze CuSn10.

C Alliages de substitution et alliages d'insertion

Remarque

Il existe différentes organisations d'alliages. Les alliages de **substitution** et d'**insertion**.

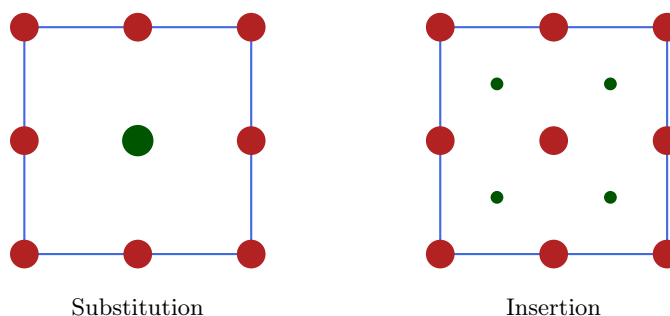


FIGURE 2 – Représentation d'un alliage de substitution (un atome remplace un autre atome) et d'un alliage d'insertion (petits atomes dans les sites interstitiels).

Définition : Alliage de substitution

Dans un **alliage de substitution**, les atomes de l'élément ajouté remplacent directement des atomes du métal de base dans le réseau cristallin. Ce type d'alliage se forme préférentiellement lorsque :

- les rayons atomiques des deux espèces sont proches (écart relatif inférieur à environ 15 %) ;
- les deux métaux cristallisent dans des structures semblables.

Dans un **alliage d'insertion**, les atomes de l'élément ajouté, sans beaucoup plus petits que ceux du métal de base, ils se logent dans les **sites interstitiels** (espaces vides) du réseau cristallin du métal de base, sans remplacer les atomes de celui-ci.

Méthode : Distinguer substitution et insertion

1. Comparer le rayon atomique de l'élément d'addition à celui du métal de base.
2. Si les rayons sont proches ($< 15\%$ d'écart environ) : l'élément d'addition se substitue aux atomes du réseau $\Rightarrow$ **substitution**.
3. Si l'élément d'addition est beaucoup plus petit (typiquement H, C, N, B) : il se place dans les sites interstitiels $\Rightarrow$ **insertion**.

 Exemple

- Le laiton (Cu-Zn) et l'acier inoxydable (Fe-Cr-Ni) sont des alliages de **substitution** : les rayons atomiques du cuivre, du zinc, du fer, du chrome et du nickel sont voisins (de 124 à 145 pm).
- L'acier (Fe-C) est un alliage d'**insertion** : le rayon atomique du carbone (~ 77 pm) est très inférieur à celui du fer (~ 126 pm), si bien que les atomes de carbone se logent dans les sites interstitiels du réseau du fer.

**Exercice 3****Substitution ou insertion ? (★ ★)** **Données**

Rayons atomiques (pm) : Fe : 126 ; Cr : 128 ; Ni : 125 ; Cu : 128 ; Zn : 134 ; Sn : 145 ; C : 77 ; N : 71.

Q1 L'acier inoxydable est un alliage Fe-Cr-Ni. S'agit-il d'un alliage de substitution ou d'insertion ? Justifier à l'aide des rayons atomiques.

Q2 Le bronze est un alliage Cu-Sn. Même question.

Q3 La nitruration est un traitement de surface qui fait pénétrer de l'azote dans le fer. De quel type d'alliage relève le composé formé en surface ?

II Changement d'état d'un métal ou d'un alliage

Rappel

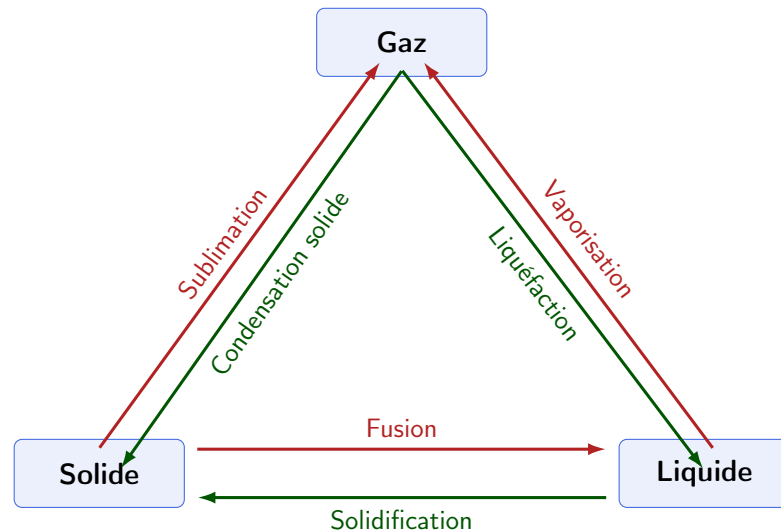


FIGURE 3 – Vocabulaire pour les changements d'état.

A Diagramme (P, T) d'un corps pur métallique

📖 Définition : Diagramme (P, T)

Le **diagramme** (P, T) (ou diagramme de phase) d'un corps pur représente les domaines d'existence de chacun des états physiques (solide, liquide, gaz). Ces domaines sont séparés par des courbes d'équilibre entre deux phases : courbe de fusion (solide-liquide), courbe de vaporisation (liquide-gaz) et courbe de sublimation (solide-gaz).

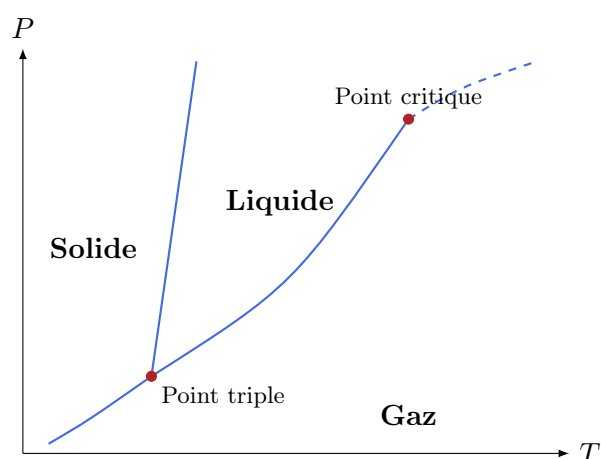


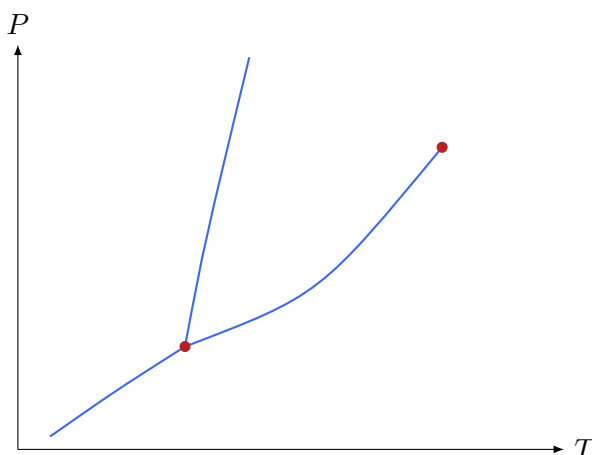
FIGURE 4 – Allure du diagramme (P, T) d'un corps pur métallique.

Remarque

Pour la plupart des métaux, la courbe de fusion est quasiment verticale : la température de fusion dépend donc très peu de la pression, sauf sur des plages de pression considérables. À la pression atmosphérique usuelle, on peut donc parler *de la* température de fusion d'un métal.

Methode : Exploiter un diagramme (P, T)

1. Placer le point représentatif de l'état (P, T) étudié sur le diagramme.
2. Identifier le domaine (ou la courbe frontière) dans lequel il se trouve : c'est l'état physique du corps.
3. Pour une évolution à P fixée (transformation isobare), déplacer le point horizontalement lorsque T varie, et repérer les franchissements de courbes : chaque franchissement correspond à un changement d'état.
4. Pour une évolution à T fixée (transformation isotherme), procéder de même verticalement en faisant varier P .

Exercice 4 Lecture d'un diagramme (P, T) (★ ★)FIGURE 5 – Diagramme (P, T) d'un métal, à compléter.

- Q1** Sur le diagramme ci-dessus, écrire dans chacun des trois domaines délimités par les courbes le nom de l'état physique correspondant (**Solide, Liquide, Gaz**).
- Q2** Nommer les deux points marqués d'un point rouge sur le diagramme : celui où se rejoignent les trois courbes (**point triple**), et celui où s'arrête la courbe de vaporisation (**point critique**).
- Q3** Un métal est initialement à l'état solide, à une pression P_0 légèrement supérieure à celle du point triple. On augmente la température à pression constante. Décrire les changements d'état successivement observés.

Q4 Que se passe-t-il si l'on part d'une pression inférieure à celle du point triple et que l'on augmente la température à pression constante ?

B Chaleur latente de changement d'état

Définition : Chaleur latente

La **chaleur latente massique** de changement d'état, notée L (en J.kg^{-1}), est l'énergie thermique échangée par une masse m de corps pur lorsqu'elle change intégralement d'état, à température et pression constantes, sans variation de température :

$$Q = m L.$$

On définit de même la **chaleur latente molaire** L_m (en J.mol^{-1}), telle que $Q = n L_m$, avec $L_m = M L$.

Remarque

Par convention :

- la chaleur latente de fusion L_{fus} est positive (le système reçoit de l'énergie pour fondre) ;
- la chaleur latente de solidification vaut $-L_{\text{fus}}$ (le système cède la même énergie en se solidifiant) ;
- de même pour la vaporisation ($L_{\text{vap}} > 0$) et la liquéfaction ($-L_{\text{vap}}$).

Formule : Energie thermique sans changement d'état

Pour chaque étape d'échauffement sans changement d'état, la formule à utiliser est la suivante :

$$Q = m c \Delta T$$

où c est la capacité thermique massique de la phase considérée (donnée).

C Bilan énergétique lors d'un changement d'état

Methode : Établir un bilan énergétique

1. Découper la transformation en étapes successives : échauffement (ou refroidissement) d'une phase homogène, puis changement d'état, puis éventuellement échauffement de la nouvelle phase.
2. Pour chaque étape d'échauffement sans changement d'état, utiliser $Q = m c \Delta T$, où c est la capacité thermique massique de la phase considérée.
3. Pour chaque étape de changement d'état, utiliser $Q = m L$ (avec le signe adapté au sens de la transformation).
4. Sommer les énergies de chaque étape pour obtenir l'énergie totale échangée.



Exercice 5

Fusion d'un lingot : bilan énergétique (★ ★)

Données

On souhaite fondre un lingot d'aluminium de masse $m = 2,0$ kg, initialement à la température $T_1 = 20^\circ\text{C}$.

- Température de fusion de l'aluminium : $T_f = 660^\circ\text{C}$
- Capacité thermique massique de l'aluminium solide : $c_s = 900 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente massique de fusion de l'aluminium : $L_{\text{fus}} = 397 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Q1 Décrire les différentes étapes de la transformation entre l'état initial et l'obtention d'aluminium liquide à T_f .

Q2 Calculer l'énergie nécessaire pour amener le lingot solide de T_1 à T_f .

Q3 Calculer l'énergie nécessaire à la fusion complète du lingot à T_f .

Q4 En déduire l'énergie totale à fournir pour obtenir le lingot entièrement liquide à T_f .

✎ Exercice 6 Fusion de la glace (★ ★ ★)

On souhaite faire fondre entièrement un glaçon de masse $m = 50 \text{ g}$, initialement à la température $\theta_1 = -10 \text{ C}$, sous pression atmosphérique.

☰ Données

- capacité thermique massique de la glace : $c_{\text{glace}} = 2,1 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- chaleur latente massique de fusion de la glace : $L_{\text{fus}} = 334 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}$;
- température de fusion de la glace sous pression atmosphérique : $\theta_{\text{fus}} = 0 \text{ C}$.

Q1 Décrire les différentes étapes que subit le système entre l'état initial (glace à -10 C) et un état final où l'on obtient de l'eau liquide à $\theta_2 = 20 \text{ C}$.

Q2 Calculer l'énergie thermique Q_1 nécessaire pour réchauffer la glace de -10 C à 0 C .

Q3 Calculer l'énergie thermique Q_2 nécessaire pour faire fondre entièrement le glaçon à 0 C .

Q4 Calculer l'énergie thermique Q_3 nécessaire pour réchauffer l'eau liquide obtenue de 0 C à 20 C .

Q5 En déduire l'énergie thermique totale Q reçue par le système au cours de la transformation complète.

**Exercice 7****Vaporisation d'eau et brûlure par la vapeur (★ ★ ★)**

On chauffe une masse $m = 200 \text{ g}$ d'eau liquide, initialement à $\theta_1 = 20 \text{ C}$, sous pression atmosphérique, jusqu'à sa vaporisation complète à $\theta_{\text{vap}} = 100 \text{ C}$.

**Données**

- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- chaleur latente massique de vaporisation de l'eau : $L_{\text{vap}} = 2,26 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$;
- température de vaporisation de l'eau sous pression atmosphérique : $\theta_{\text{vap}} = 100 \text{ C}$.

Q1 Calculer l'énergie thermique Q_1 nécessaire pour élever la température de l'eau liquide de 20 C à 100 C .

Q2 Calculer l'énergie thermique Q_2 nécessaire pour vaporiser entièrement cette masse d'eau à 100 C .

Q3 En déduire l'énergie thermique totale Q nécessaire pour transformer l'eau liquide à 20 C en vapeur à 100 C .

Q4 Comparer les valeurs de Q_1 et Q_2 . Commenter, en particulier, pourquoi une brûlure par la vapeur d'eau à 100 C est généralement plus grave qu'une brûlure par l'eau liquide à la même température.

III Diagrammes d'équilibre binaires solide-liquide isobares

Remarque

Contrairement à un corps pur, un alliage ne fond pas nécessairement à température constante : sa fusion s'étale en général sur un intervalle de température. On étudie ces équilibres à l'aide de **diagrammes binaires isobares**, tracés à pression constante, donnant la température en fonction de la composition du mélange.

A Miscibilité totale à l'état solide et à l'état liquide

Définition : Diagramme à miscibilité totale

Lorsque les deux métaux A et B sont miscibles en toute proportion aussi bien à l'état liquide qu'à l'état solide (ils forment une unique solution solide, généralement par substitution), le diagramme d'équilibre isobare a l'allure d'une **lentille** délimitée par deux courbes :

- le **liquidus** (courbe supérieure), au-dessus duquel le mélange est entièrement liquide ;
- le **solidus** (courbe inférieure), en dessous duquel le mélange est entièrement solide.

Entre les deux courbes, les phases liquide et solide coexistent.

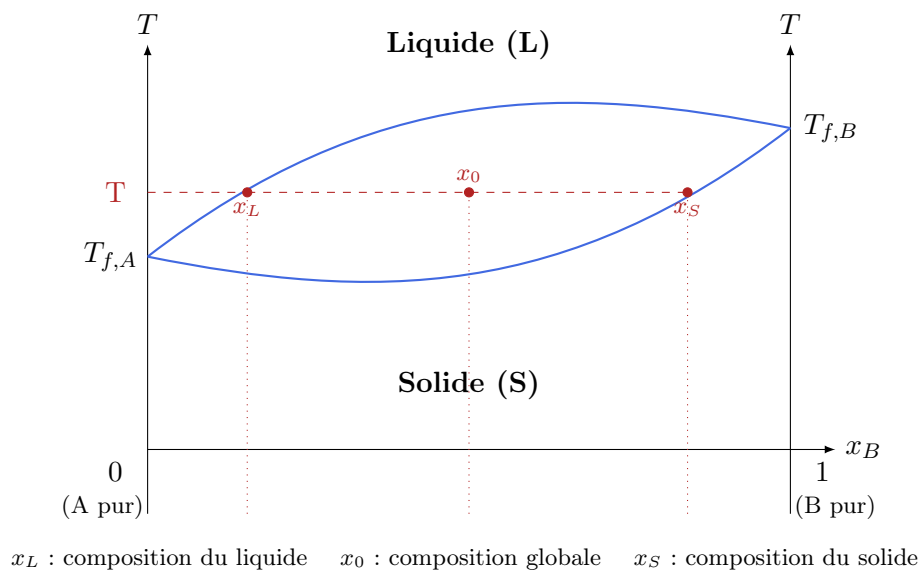


FIGURE 6 – Diagramme binaire isobare à miscibilité totale à l'état solide et à l'état liquide.

🔧 Methode : Exploiter un diagramme à miscibilité totale

1. Repérer la composition globale x_0 du mélange et le suivre verticalement lorsque la température varie.
2. Au-dessus du liquidus : le mélange est totalement liquide, de composition x_0 .
3. En dessous du solidus : le mélange est totalement solide, de composition x_0 .
4. Entre les deux courbes, à une température T donnée : tracer la **droite de conjugaison** (horizontale, à la température T) ; son intersection avec le liquidus donne la composition x_L de la phase liquide, son intersection avec le solidus donne la composition x_S de la phase solide.
5. Utiliser la **règle des moments chimiques** pour déterminer les proportions massiques de chaque phase :

$$\frac{m_L}{m_S} = \frac{x_S - x_0}{x_0 - x_L}.$$

6. Si la masse totale $m_{tot} = m_L + m_S$ du mélange est connue, en déduire les masses de chaque phase :

$$m_L = m_{tot} \frac{x_S - x_0}{x_S - x_L} \quad \text{et} \quad m_S = m_{tot} \frac{x_0 - x_L}{x_S - x_L}.$$

✎ Exercice 8 Diagramme à miscibilité totale : règle des moments chimiques (★ ★)

On utilise le diagramme suivant, où le mélange étudié possède une composition globale $x_0 = 0,4$, à une température $T = 60^\circ\text{C}$. On donne les températures $T_{f,A} = 80^\circ\text{C}$ et $T_{f,B} = 50^\circ\text{C}$.

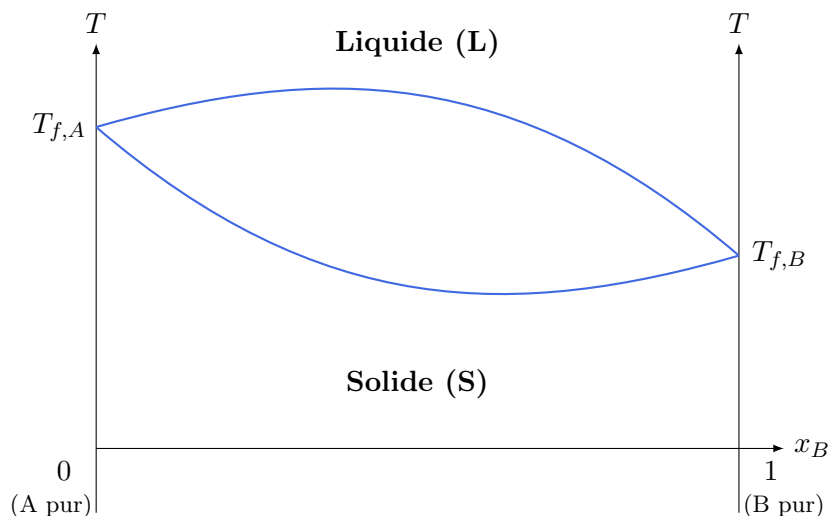


FIGURE 7 – Diagramme binaire étudié

- Q1** Placer sur le diagramme les points x_S , x_L et x_0 .
- Q2** Le mélange est-il entièrement liquide, entièrement solide, ou biphasé à cette température ? Justifier.

Q3 Calculer le rapport m_L/m_S des masses des deux phases en présence.

Q4 Sachant que la masse totale du mélange vaut $m = 500$ g, calculer les masses m_L et m_S de chaque phase.

Exercice 9 Diagramme eutectique : règle des moments chimiques (★ ★)

On utilise le diagramme suivant, où le mélange étudié possède une composition globale $x_0 = 0,25$, à une température $T = 250^\circ\text{C}$. On donne $T_{fA} = 200^\circ\text{C}$ et $T_{fB} = 350^\circ\text{C}$.

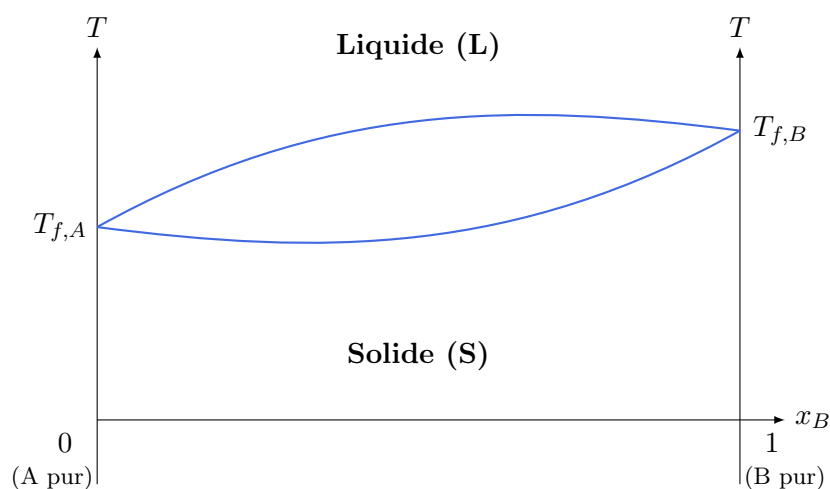


FIGURE 8 – Diagramme binaire eutectique étudié

Q1 Placer sur le diagramme les points x_S , x_L et x_0 correspondant à l'état du système à $T = 250^\circ\text{C}$.

Q2 Le mélange est-il entièrement liquide, entièrement solide, ou biphasé à cette température? Justifier, en précisant la nature des phases en présence.

Q3 Calculer le rapport m_L/m_S des masses des deux phases en présence.

Q4 Sachant que la masse totale du mélange vaut $m = 800$ g, calculer les masses m_L et m_S de chaque phase.

B Miscibilité totale à l'état liquide, nulle à l'état solide : l'eutectique

📖 Définition : Système eutectique

Lorsque deux métaux A et B sont miscibles à l'état liquide, mais totalement immiscibles à l'état solide (chacun cristallise séparément), le diagramme d'équilibre isobare présente deux branches de liquidus qui se rejoignent en un point particulier, le **point eutectique** E .

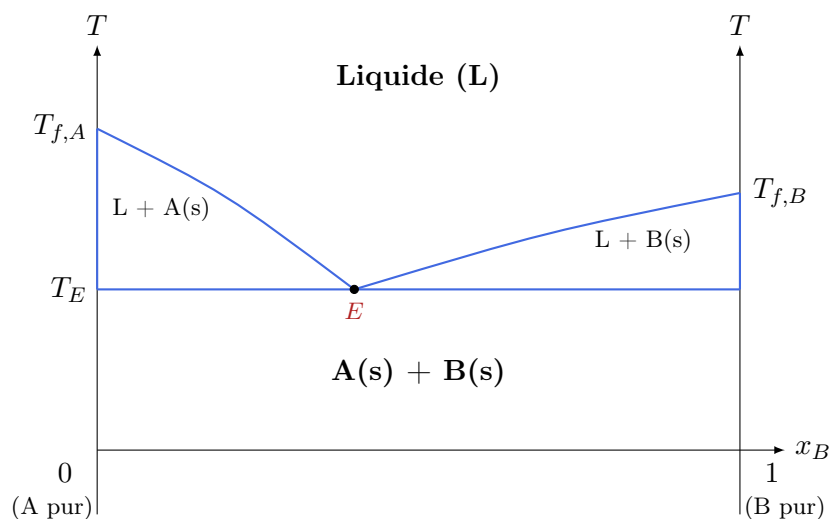


FIGURE 9 – Diagramme binaire isobare à miscibilité totale à l'état liquide et nulle à l'état solide.

Propriété : Particularité du point eutectique

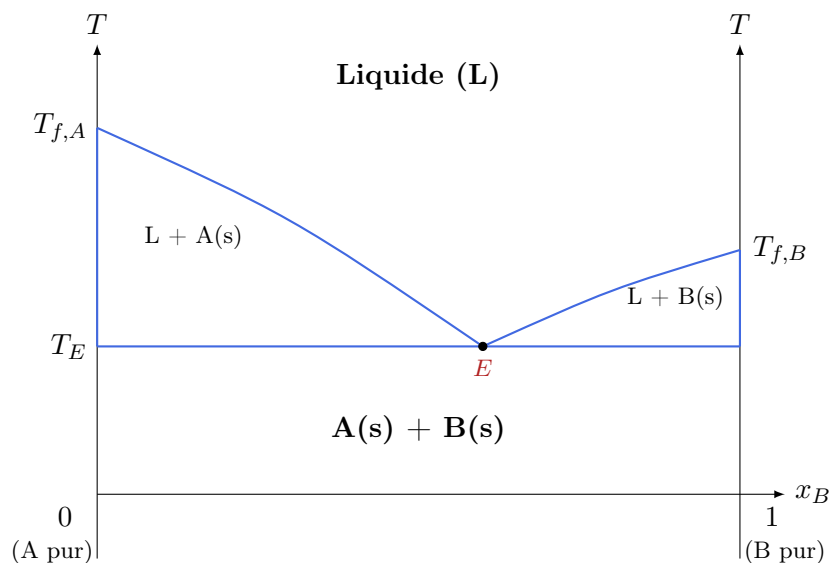
Au point eutectique, le mélange liquide de composition x_E se solidifie entièrement à la température constante T_E , en formant simultanément un mélange homogène de cristaux de A et de B, appelé **mélange eutectique** : il se comporte, du point de vue thermique, comme un corps pur.

Méthode : Exploiter un diagramme eutectique

1. Repérer la composition globale x_0 du mélange étudié et la comparer à x_E .
2. Suivre la composition x_0 verticalement en abaissant la température depuis l'état liquide.
3. Au premier franchissement du liquidus, un solide pur (A ou B, selon que $x_0 < x_E$ ou $x_0 > x_E$) commence à se former : le mélange devient biphasé (liquide + solide pur).
4. Lorsque la température atteint T_E , la composition du liquide restant a rejoint x_E : ce liquide se solidifie alors intégralement à température constante en mélange eutectique.
5. En dessous de T_E , le mélange est entièrement solide, constitué de cristaux du solide pur formé en premier et de mélange eutectique.

Exercice 10 Alliage Pb-Sn : étude d'un diagramme eutectique (★ ★ ★)

Le système plomb-étain (Pb-Sn) présente un point eutectique de composition $x_E(\text{Sn}) \simeq 0,62$ et de température $T_E \simeq 183^\circ\text{C}$. Les températures de fusion des corps purs sont $T_f(\text{Pb}) = 327^\circ\text{C}$ et $T_f(\text{Sn}) = 232^\circ\text{C}$.



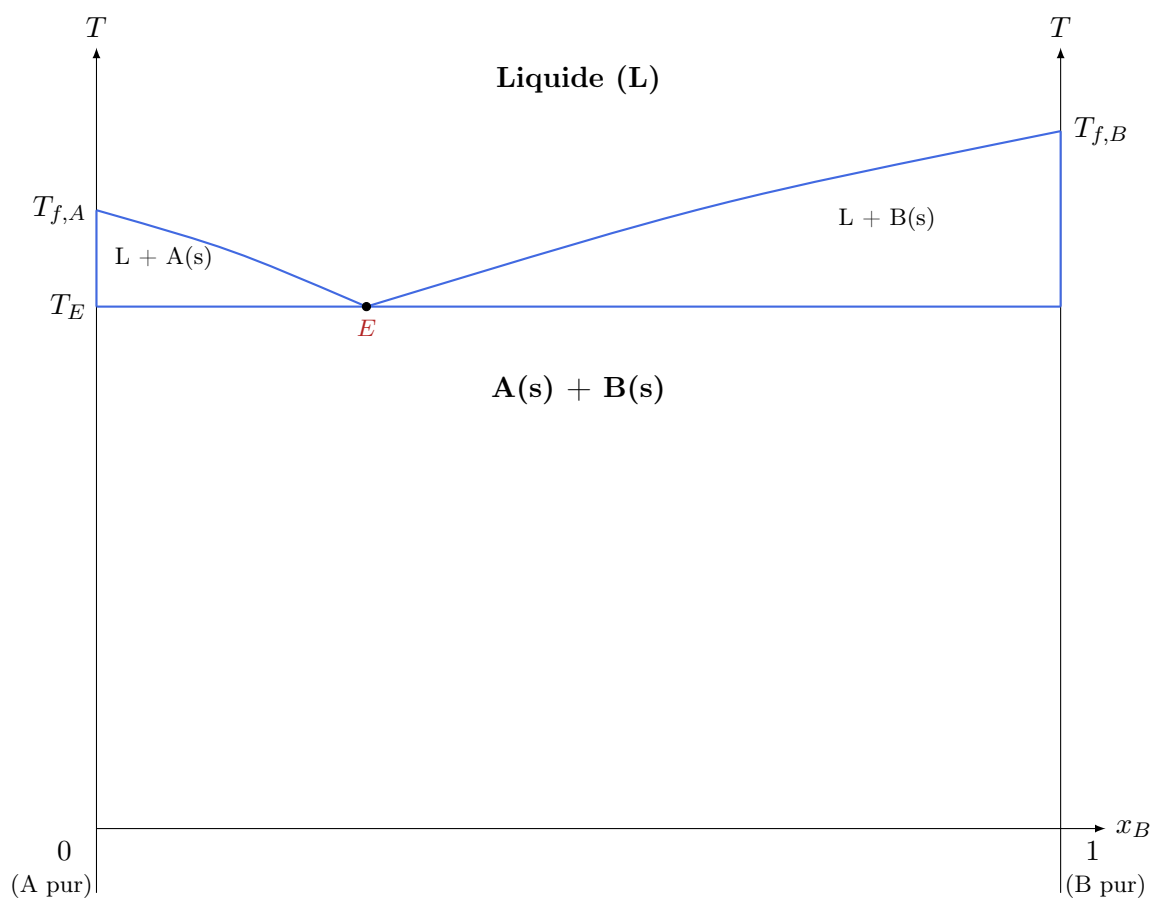
Q1 On refroidit lentement un alliage liquide de composition $x_0(\text{Sn}) = 0,30$ depuis 300°C . Décrire qualitativement les étapes de la solidification, en précisant la nature des phases en présence à chaque étape.

Q2 Même question pour un alliage de composition $x_0(\text{Sn}) = x_E$.

Q3 Pourquoi les soudures utilisées historiquement en électronique étaient-elles souvent proches de la composition eutectique du système Pb-Sn ?

Exercice 11 Alliage Ag-Cu : étude d'un diagramme eutectique (★ ★ ★)

Le système argent-cuivre (Ag-Cu) présente un point eutectique de composition $x_E(\text{Cu}) \simeq 0,28$ et de température $T_E \simeq 780^\circ\text{C}$. Les températures de fusion des corps purs sont $T_f(\text{Ag}) = 962^\circ\text{C}$ et $T_f(\text{Cu}) = 1085^\circ\text{C}$.



Q1 On refroidit lentement un alliage liquide de composition $x_0(\text{Cu}) = 0,15$ depuis 1100°C . Décrire qualitativement les étapes de la solidification, en précisant la nature des phases en présence à chaque étape, et déterminer graphiquement les compositions des phases juste avant le palier eutectique.

Q2 Même question pour un alliage de composition $x_0(\text{Cu}) = x_E$. Que devient la totalité du liquide au niveau du palier eutectique ?

Q3 En utilisant la règle des moments chimiques, déterminer la proportion massique de phase solide $A(s)$ (riche en argent) obtenue juste avant le palier eutectique, pour l'alliage de la question 1, sachant que $x_S \simeq 0,05$ et $x_L \simeq 0,28$ à cette température.

Q4 Pourquoi l'ajout de cuivre à l'argent pur permet-il d'abaisser la température de fusion de l'alliage ?

Notion	Caractéristique / Formule
Alliage de substitution	Atomes de l'élément ajouté remplacent ceux du métal de base (rayons atomiques $\simeq$) — ex : laiton, acier inoxydable
Alliage d'insertion	Petits atomes logés dans les sites interstitiels — ex : acier
Diagramme à miscibilité totale	Solide unique sur toute la gamme de composition ; lentille liquidus-solidus — ex : Cu-Ni
Diagramme eutectique	Immiscibilité totale à l'état solide ; palier de solidification à T_E pour x_E — ex : Pb-Sn
Pourcentage massique	$\%_i = \frac{m_i}{m_{\text{tot}}} \times 100$
Quantité de matière	$n = \frac{m}{M}$
Fraction molaire	$x_i = \frac{n_i}{n_i + n_j}$
Énergie sans changement d'état	$Q = m c \Delta T$
Énergie de changement d'état	$Q = m L$
Convention de signe	$L_{\text{fus}} > 0$; solidification : $-L_{\text{fus}}$ $L_{\text{vap}} > 0$; liquéfaction : $-L_{\text{vap}}$
Règle des moments chimiques	$\frac{m_L}{m_S} = \frac{x_S - x_0}{x_0 - x_L}$
Masses des phases	$m_L = m_{\text{tot}} \frac{x_S - x_0}{x_S - x_L}$; $m_S = m_{\text{tot}} \frac{x_0 - x_L}{x_S - x_L}$