

LC18 – CORPS PURS ET MÉLANGES BINAIRES

26 juin 2020

Aurélien Goerlinger & Yohann Faure

Niveau : PSI

Extraits du programme

4. Changement d'état du corps pur	
Potentiel chimique du corps pur.	Identifier le potentiel chimique d'un corps pur à son enthalpie libre molaire.
Conditions d'équilibre d'un corps pur sous plusieurs phases.	Établir l'égalité des potentiels chimiques pour un corps pur en équilibre sous plusieurs phases. En déduire l'existence d'une courbe d'équilibre sur un diagramme (P,T)
Variance.	Définir et déterminer la variance d'un système polyphasé en équilibre.
Évolution d'un système sous plusieurs phases.	Définir et déterminer la variance d'un système polyphasé en équilibre.
5. Mélanges	
Potentiel chimique d'un constituant dans un mélange ; enthalpie libre d'un système chimique.	Citer l'expression (admise) du potentiel chimique d'un constituant en fonction de son activité. Exprimer l'enthalpie libre d'un système en fonction des potentiels chimiques. Approche documentaire : à partir de documents sur la pression osmotique, discuter de l'influence de la pression sur le potentiel chimique et d'applications au laboratoire, dans l'industrie, ou dans la vie courante.
6. Changement d'état des alliages métalliques	
. Diagrammes isobares d'équilibre solide-liquide : - avec miscibilité totale des solides ; - avec miscibilité nulle des solides, avec ou sans composé défini à fusion congruente. Théorème des moments chimiques.	Exploiter les diagrammes isobares d'équilibre entre deux phases pour, à composition en fraction massique donnée : - décrire le comportement d'un mélange binaire lors d'une variation de température en traçant l'allure de la courbe d'analyse thermique. - déterminer les températures de début et de fin de changement d'état ; - donner la composition des phases en présence à une température fixée ainsi que les masses dans chaque phase ; - identifier les compositions relatives aux mélanges indifférents, eutectiques et aux composés définis et leur intérêt dans l'utilisation des alliages métalliques

Bibliographie

- ✦ *Chimie tout-en-un PSI, J'intègre, Fosset, Baudin, TOUT Lahitète*
- ✦ *Chimie des matériaux inorganiques Hprépa*

Prérequis

- Fractions molaires et massiques
- Miscibilité
- Potentiel chimique
- Transformation physique

Expériences



Table des matières

1 Corps pur	3
1.1 Définition et diagramme	3
1.2 Variance	4
1.3 Analyse thermique	5
2 Diagrammes binaires : origine	5
2.1 Solution binaire	6
2.2 Courbes de refroidissement	6
2.3 Diagramme	7
2.4 Variance	7
2.5 Solides miscibles	8
3 Utilisation	9
3.1 Théorèmes	9
3.1.1 Théorème de l'horizontale : lecture de graphe	9
3.1.2 Théorème des moments chimiques	10
3.2 Applications	11
3.2.1 Salage des routes : diagramme eau/sel	11
3.2.2 Alliage Magnésium/Zinc	12

Introduction

La matière est présente sous forme de corps pur ou de mélange. On a vu précédemment que la température était un paramètre de contrôle quand on étudiait la matière. On va voir dans cette leçon que la composition d'un système a également son importance. Pour cela, on utilisera un outil, le diagramme binaire, qui est vital dans l'étude des mélanges.

1 Corps pur

Pour l'instant, commençons pas étudier le corps pur.

1.1 Définition et diagramme

Un **corps pur** est un système composé d'un seul constituant (atome pour un corps pur simple, ou molécule pour un corps pur composé). Il peut se présenter sous plusieurs phases : solide, liquide ou vapeur.

Il est légitime de se demander comment contrôle les phases d'un corps pur, les états dans lesquels il se trouve. On peut penser intuitivement à la température. On en fait d'ailleurs l'expérience quotidienne avec l'eau, qui gèle à 0°C et qui bout à 100°C. Cependant, on sait également que ce n'est pas le cas si on est par exemple à la montagne, où l'eau bout à plus faible température. Il doit donc avoir un autre paramètre de contrôle.



Ébullition de l'eau



⊖ 5 min

Faire bouillir de l'eau dans un ballon. Une fois l'ébullition atteinte, retirer le ballon du chauffe ballon, attendre la fin de l'ébullition et boucher le ballon (en ayant graissé le rodé).

Mettre alors le ballon sous un jet d'eau froide qui va refroidir le gaz dans le ballon et faire chuter la pression. L'eau va alors de nouveau bouillir

La pression est donc également un paramètre influant sur l'état d'un corps pur. On peut alors représenter l'influence de la pression et la température sur l'état d'un corps pur à l'aide d'un diagramme (p,T). Sur ce diagramme on représente pour chaque température la pression à laquelle le corps pur change d'état.

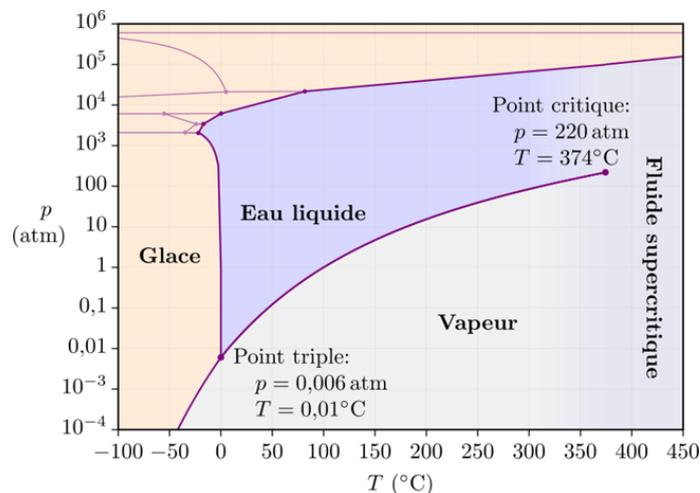


FIGURE 1 – Le diagramme (p,T) de l'eau.

Sur ce diagramme on voit apparaître les courbes de changement d'état et les trois états de l'eau. À faible pression et haute température, l'eau est à l'état de vapeur, etc.

Le diagramme comporte trois courbes qui sont les courbes de :

- **Fusion** : équilibre solide-liquide
- **Sublimation** : équilibre solide-gaz
- **Vaporisation** : équilibre liquide-gaz

Sur ce diagramme intervient aussi le point t , nommé point triple. Il s'agit d'un point où les trois phases peuvent coexister. Il est à une pression et une température fixées. Pour l'eau $t=(0.006\text{bar},273.16\text{K})$. C'est un point qui est utilisé pour faire des références de températures exactes.

Jusqu'au 20 mai 2019, le kelvin était défini comme la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau (H_2O), une variation de température d'1 K étant équivalente à une variation d'1°C. La nouvelle définition a pour objectif de respecter cette valeur, mais en l'ancrant sur une valeur fixée de la constante de Boltzmann.

Il est bon de remarquer que pour l'eau, et c'est un des rares corps à faire cela, la courbe de fusion a une pente négative. Cela vient du fait que l'eau gonfle en se gelant.

Sur le diagramme apparaît aussi le point critique.

Afin de comprendre pourquoi le changement d'état s'effectue toujours, pour une pression fixée, à une température fixée, et pourquoi on n'a jamais de glace à plus de 0 à pression ambiante, on va définir la Variance.

1.2 Variance

La **variance** d'un système correspond au nombre de paramètres intensifs indépendants qui permettent de fixer totalement l'état d'équilibre d'un système.

Ainsi pour le cas d'un changement de phase liquide-solide, on a la température et la pression, mais le diagramme de pression température indique que, comme on est à un changement de phase, la fonction $p(T)$ est fixée. Par conséquent il n'y a qu'un seul paramètre libre.

Cela se traduit par le fait que pour un système à l'équilibre liquide-solide, on ne peut fixer que la température OU (exclusif) la pression, l'autre étant fixé par le premier.

De manière générale, on peut donner la formule standard de la variance comme suit :

$$v = N - C \quad (1)$$

où N est le nombre de paramètres intensifs décrivant à priori le système, et C le nombre de relations indépendantes reliant ces paramètres. Calculons la variance dans le cas du diagramme pT du corps pur.

La variance correspond également au nombre de paramètres que l'expérimentateur peut fixer si il veut voir le corps pur dans un état donné !

Dans tous les cas, $N=2$ car p et T décrivent le système.

- Corps pur monophasé : il n'y a aucune relation, $v = 2$, on peut fixer p et T à volonté
- Corps pur diphasé : il y a une relation : le point doit être sur une courbe de changement d'état, donc $v = 1$, on ne peut fixer que p ou T .
- Corps pur triphasé : vous l'aurez deviné, $v = 0$, on ne peut rien fixer du tout. Ce point est une constante physique absolue.

Une forme simplifiée de la variance dans le cas d'un corps pur est $v = 3 - \phi$ ou ϕ est le nombre de phases.

Nous allons maintenant nous convaincre du fait que la température est fixée quand un corps pur change d'état à pression fixée.

1.3 Analyse thermique

Pour tracer un diagramme p T on se place à plusieurs pressions, et on observe le refroidissement du corps pur considéré et ses changements de phases successifs. Cela permet de repérer tous les points de la courbe p(T).

Nous allons pour notre part déterminer la température de fusion de l'acide stéarique (68.8°C en théorie) pression atmosphérique.



Courbe de refroidissement de l'acide stéarique pur

TP7 JFLM

⊙ 10 min

Mélanger les 2 acides en prenant soin de connaître précisément la composition (prendre $x_{\text{benzène}} = 0.7$).

Chauffer l'acide stéarique pour obtenir l'état liquide.

Retirer ensuite la source de chaleur et laisser refroidir, tout en traçant la température en fonction du temps.

Remarques : Utiliser les tubes de faible diamètre pour refroidir plus vite. L'agitateur est constitué d'un fil de fer façonné autour d'un agitateur en verre. Une courbe de refroidissement complète prend plus de 30 min à réaliser.

Principe de l'expérience : faire fondre la naphthalène, puis tracer la température en fonction du temps pendant son refroidissement.

Ce que l'on s'attend à voir : D'abord une descente de température, le temps que tout le liquide arrive à la température de changement d'état ; température constante le temps que tout change d'état ; et re-descente de température. Faire l'analyse de variance en live.

Remarque : Pour une question de temps, il faut choisir les points que l'on ajoute à la courbe. Mon avis sur la question est de lancer le montage, parler en l'expliquant, et ne prendre des points que jusqu'au début du plateau.

Il faut faire l'XP en prépa!!

Conclusion

Pour un corps pur, une transition de phase à pression fixée se fait à température donnée!

La variance est ton amie.

Mais que se passe-t-il dans le cas d'un mélange de composés ? On sait toutes que le sel diminue la température de fusion de l'eau par exemple. Pourquoi ?



2 Diagrammes binaires : origine

Définition : On appelle un mélange binaire un mélange de deux composés non réactifs.

L'intérêt de se limiter aux composés non réactifs est que les seules transformations chimiques que l'on peut observer qui dépendent de la composition sont des changements de phase.

Lors de cette leçon, nous nous intéresserons uniquement aux mélanges binaires liquide/solide, conformément au programme.

2.1 Solution binaire

On va maintenant étudier un système comportant deux corps purs. On supposera que ces corps purs sont parfaitement miscibles à l'état liquide.

La cohésion des liquides est due aux interactions entre les molécules qui les composent, ainsi dans le cas d'un mélange les interactions se complexifient. En effet, si les composés A et B du mélange sont différents, il y a trois types d'interactions différents : AA, AB et BB.

Ces interactions font que les propriétés d'un mélange ne sont pas simplement une moyenne de celle des deux corps purs. Le comportement du mélange va grandement dépendre de la composition en chaque composé.

L'exemple typique est celui des mélanges eau-sel, qui sont, comme vous le savez probablement, nettement plus dur à congeler que de l'eau pure. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle on sale les routes en hiver.

2.2 Courbes de refroidissement

On a vu pour le corps pur que la température était un paramètre de contrôle sur son état. On veut donc logiquement voir l'effet de la température sur un mélange binaire de composition fixée.

Pour cela, on trace ce que l'on appelle une *courbe de refroidissement*. Comme son nom l'indique, on refroidit un mélange tant en notant l'évolution de la température au cours du temps ainsi que l'état du système à une température donnée. On travaille à pression atmosphérique, donc à pression fixée.



Courbe de refroidissement du mélange acide stéarique/acide benzoïque

TP7 JFLM

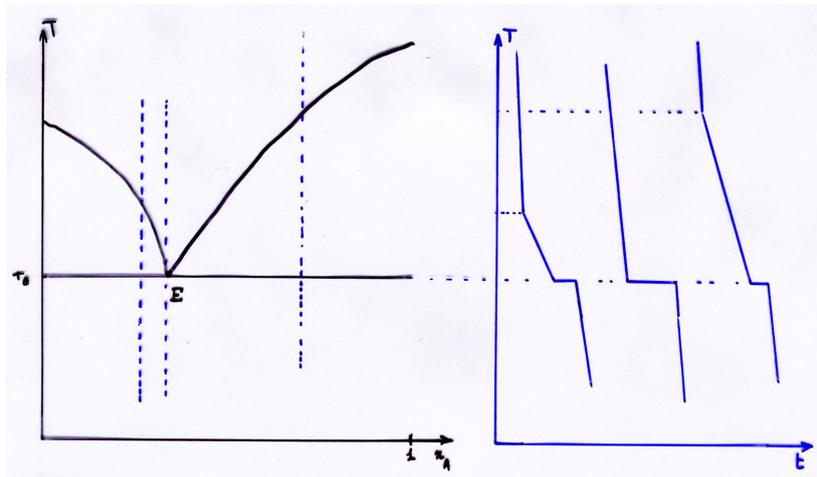
⊖ 10 min

Mélanger les 2 acides en prenant soin de connaître précisément la composition (prendre $x_{\text{benzène}} = 0.7$).

Chauffer le mélange des deux acides pour obtenir l'état liquide.

Retirer ensuite la source de chaleur et laisser refroidir, tout en traçant la température en fonction du temps.

Remarques : Utiliser les tubes de faible diamètre pour refroidir plus vite. L'agitateur est constitué d'un fil de fer façonné autour d'un agitateur en verre. Une courbe de refroidissement complète prend plus de 30 min à réaliser.



On obtient la courbe de refroidissement la plus à droite. On observe 3 ruptures de pente, ce qui signifie qu'il y a eu apparition/disparition d'une ou plusieurs phases à ces deux endroits de la courbe.

Dans notre cas, la 1ère rupture correspond à l'apparition de l'acide benzoïque solide. la solidification est exothermique donc le refroidissement est ralenti, on passe alors sur une pente plus douce.

La seconde rupture correspond à l'apparition de l'acide stéarique solide. Cette fois, on arrive sur un palier. On verra par la suite pourquoi.

Enfin la troisième rupture correspond à la disparition du liquide : le refroidissement peut reprendre.

↓ A partir de ça, on construit les diagrammes
↓

2.3 Diagramme

Si on trace des courbes de refroidissement pour différentes compositions, on finit par connaître l'état du mélange pour ces deux paramètres (on est toujours à pression fixée). On obtient alors un diagramme binaire solide/liquide.

Dans le cas du mélange acide stéarique/acide benzoïque, on obtient un diagramme binaire avec un palier. Ce diagramme est typique des mélanges binaires de solides non-miscibles.

Le palier est appelé **palier eutectique**. On nomme **liquidus** la courbe en contact de la zone liquide (elle marque l'apparition/la disparition de la première poussière de solide) et on nomme **solidus** celle en contact avec la zone solide (elle marque l'apparition/la disparition de la première goutte de liquide).

↓ On ne sait toujours pas pourquoi on a un palier de température. C'est une histoire de variance!
↓

2.4 Variance

Reprenons le mélange acide stéarique/acide benzoïque de composition $x_{\text{benzène}} = 0.7$. On note S l'acide stéarique et B l'acide benzoïque. Calculons la variance à différents endroits de la courbe en utilisant la méthode vue dans la première partie :

- **Avant la première rupture de pente** : On a juste une phase liquide $\{S+B\}_{(l)}$.

Variables intensives : P, T, x_S^{liq} , x_B^{liq}

Relations : $x_S^{\text{liq}} + x_B^{\text{liq}} = 1$

La variance vaut donc $4-1=3$. Avec la pression fixée, on a encore 2 degrés de libertés.

- **Entre la première et la seconde rupture de pente** : On a toujours une phase liquide $\{S+B\}_{(l)}$ mais cette fois en présence de B_s .

Variables intensives : P, T, x_S^{liq} , x_B^{liq} , x_B^{sol}

Relations :
$$\begin{cases} x_S^{\text{liq}} + x_B^{\text{liq}} = 1 \\ x_B^{\text{sol}} = 1 \\ B_{(l)} = B_{(s)} \quad \text{égalité de potentiels chimiques} \end{cases}$$

La variance vaut donc $5-3=2$. Avec la pression fixée, on a encore 1 degré de libertés. Toujours pas de palier.

- **Entre la seconde et la troisième rupture de pente** : On a toujours une phase liquide $\{S+B\}_{(l)}$ en présence de B_s mais en plus on a apparition de S_s .

Variables intensives : P, T, x_S^{liq} , x_B^{liq} , x_B^{sol} , x_S^{sol}

Relations :
$$\begin{cases} x_S^{\text{liq}} + x_B^{\text{liq}} = 1 \\ x_B^{\text{sol}} = 1 & \text{solides non-miscibles} \\ x_S^{\text{sol}} = 1 & \text{solides non-miscibles} \\ B_{(l)} = B_{(s)} & \text{égalité de potentiels chimiques} \\ S_{(l)} = S_{(s)} & \text{égalité de potentiels chimiques} \end{cases}$$

La variance vaut donc $6-5=1$. Avec la pression fixée, on n'a plus de degré de libertés. La température ne peut pas évoluer tant que la transformation n'est pas finie : **on a un palier de température.**

- **Après la troisième rupture de pente** : on n'a plus que B_s et S_s non-miscibles.

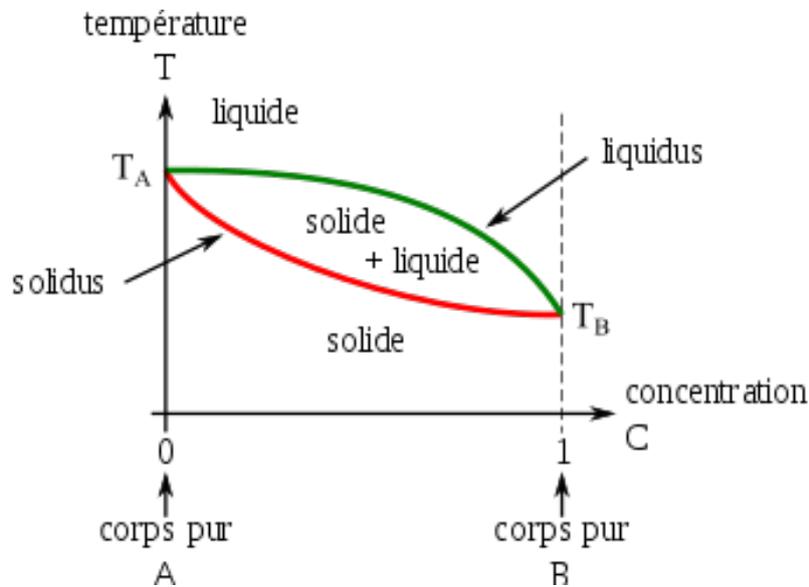
Variables intensives : P, T, x_S^{sol} , x_B^{sol}

Relations :
$$\begin{cases} x_B^{\text{sol}} = 1 & \text{solides non-miscibles} \\ x_S^{\text{sol}} = 1 & \text{solides non-miscibles} \end{cases}$$

La variance vaut donc $4-2=2$. Avec la pression fixée, on a encore 1 degré de liberté. La température peut donc de nouveau évoluer.

2.5 Solides miscibles

Dans le cas d'un mélange de deux solides miscibles, on obtient un diagramme différent. En effet, on obtient un fuseau et il n'y a pas de palier eutectique. On a toujours un liquidus et un solidus. On peut citer comme exemple de solides miscibles le mercure et l'or (amalgamation).



Les courbes de refroidissements ont dans ce cas toutes la même allure, à savoir deux ruptures de pente avec apparition du solide à la 1^{ère} rupture, processus exothermique qui ralentit le refroidissement, et disparition du liquide à la 2^{ème} rupture.

Depuis le temps que l'on en parle, il est temps de regarder les applications, et surtout l'application au salage des routes non ? Fini le teasing !!



3 Utilisation

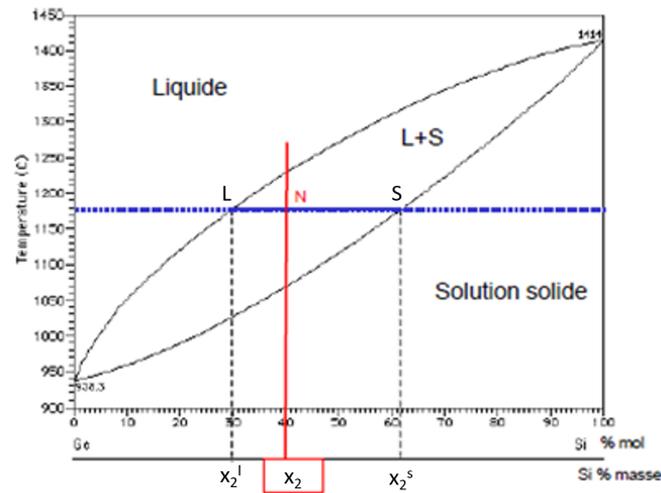
Mais d'abord...

3.1 Théorèmes

NE PAS DESSINER DE FUSEAU AU TABLEAU SANS AVOIR INTRODUIT LES DIAGRAMMES DE SOLIDES MISCIBLES

3.1.1 Théorème de l'horizontale : lecture de graphe

On prend un mélange solide-liquide des composés 1 et 2. On note la quantité de matière totale n , qui est la somme des quantités de matière de solide et de liquide : $n = n_1 + n_2 = n^s + n^l$. On note alors les fractions molaires de solide et de liquide x^s et x^l respectivement, et les fractions molaires des espèces 1 et 2 dans une phase α donnée sont notées x_1^α et $x_2^\alpha = 1 - x_1^\alpha$.



Pour lire un diagramme binaire il faut tout d'abord y déterminer la fraction molaire de l'espèce 2 par exemple dans la phase liquide et dans la phase solide. Pour se faire, on sait quelle est la fraction x_2 totale en espèce 2 que l'on a introduite dans le système ainsi que la température de ce dernier, donc il suffit de poser le point (x, t) dans le diagramme, ici le point N , et de tracer une horizontale (d'où le nom du théorème) à la température correspondante. On note alors les points L et S respectivement sur le liquidus et le solidus. On lit alors directement sur le diagramme x_2^l qui est l'abscisse de L , ainsi que x_2^s qui est l'abscisse de S . On en déduit x_1^l et x_1^s .

Pourquoi ça marche ? On se place dans une zone diphasée et si on fait le calcul on trouve une variance de 2. Si on fixe P et T , il ne reste plus aucun degré de liberté et la composition est fixée : c'est celle qu'on lit avec le théorème de l'horizontale.

3.1.2 Théorème des moments chimiques

On peut alors écrire

$$n_2 = x_2 n = x_2 (n^s + n^l)$$

or

$$n_2 = n_2^s + n_2^l$$

Et

$$\begin{cases} n_2^s = x_2^s n^s \\ n_2^l = x_2^l n^l \end{cases}$$

Donc

$$n_2 = n_2^s + n_2^l = x_2^s n^s + x_2^l n^l$$

Et finalement

$$\begin{aligned} x_2 n^s + x_2 n^l &= x_2^s n^s + x_2^l n^l \\ (x_2 - x_2^l) n^l &= (x_2^s - x_2) n^s \end{aligned}$$

Or sur le graphe on a $x_2 - x_2^l = NL$ et $x_2^s - x_2 = NS$. On obtient donc

$$NLn^l = NSn^s$$

On remarque que

$$NLn^l = NSn^s = NS(n - n^l) \Rightarrow (NL + NS)n^l = NSn \Rightarrow LSn^l = NSn$$

On obtient donc le théorème des moments :

$$\begin{cases} n^l = \frac{NS}{LS}n \\ n^s = \frac{NL}{LS}n \end{cases}$$

3.2 Applications

3.2.1 Salage des routes : diagramme eau/sel

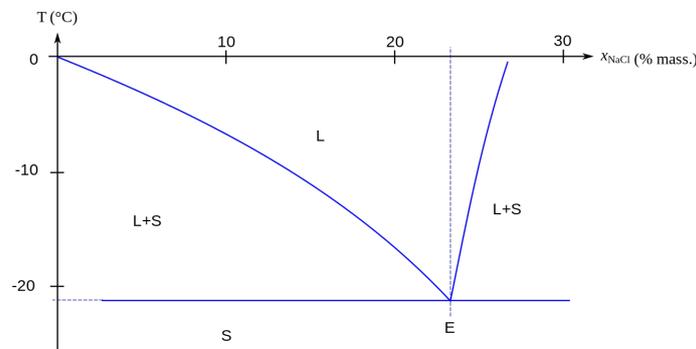


FIGURE 2 – Diagramme eau sel.

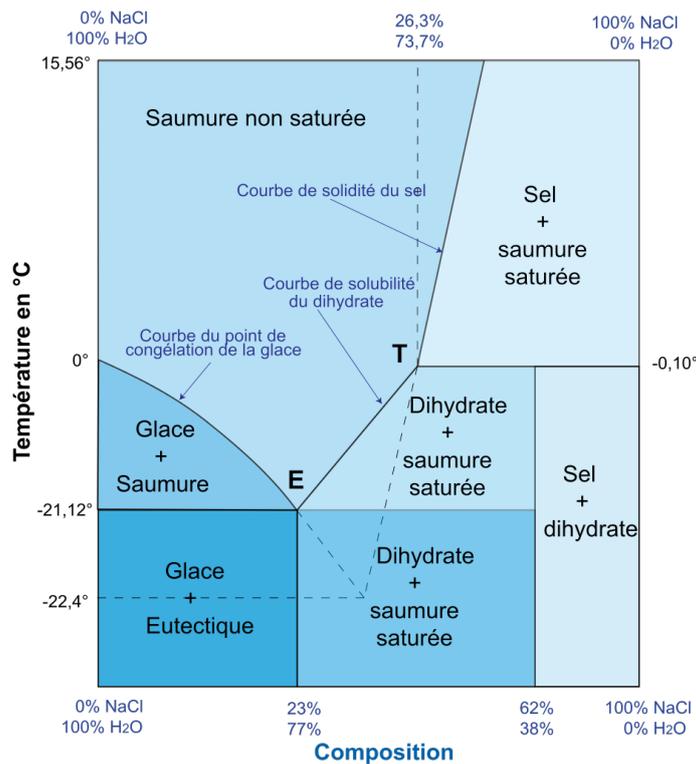


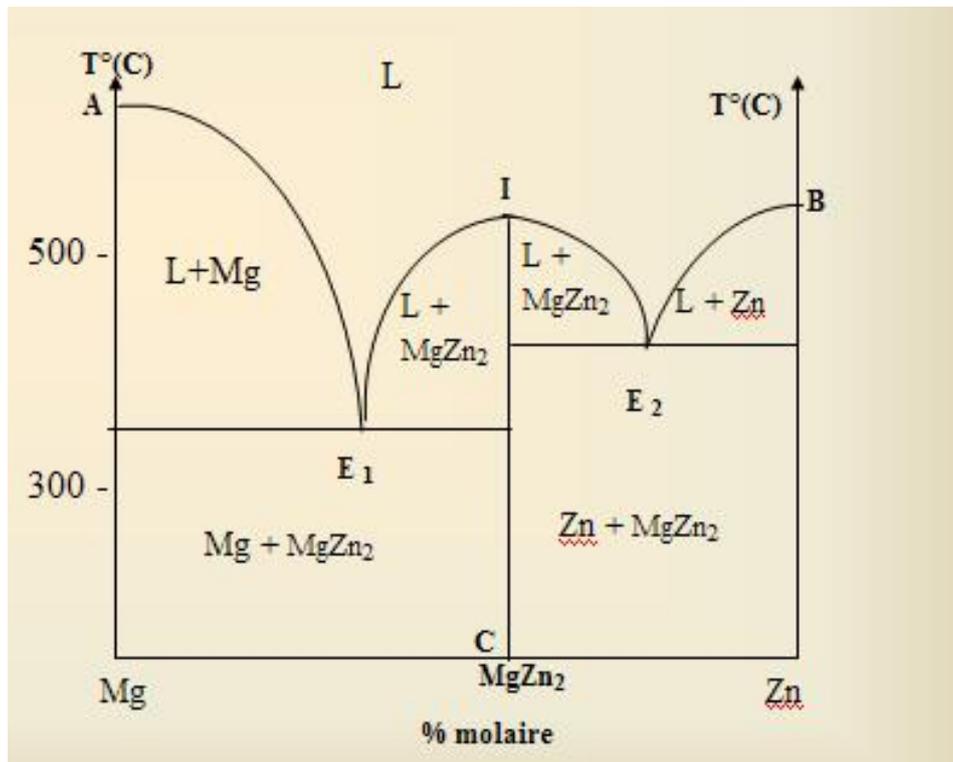
FIGURE 3 – Diagramme eau sel compliqué.

Si il y a de l'eau sur la route, elle peut geler la nuit. Mais si on la sale, il faut aller beaucoup plus bas en température !

3.2.2 Alliage Magnésium/Zinc

Les alliages de magnésium sont très intéressants dans l'industrie car ils sont très légers et permettent donc de gagner du poids.

Étudions un des ces alliages en particulier, à savoir l'alliage magnésium-zinc.



Ce diagramme peut être découpé en deux, avec un diagramme de solides non-miscibles de chaque côté. La nouveauté ici est la présence d'un **composé défini**, qui est un composé donc le changement de phase se fait à fusion constante.

Pour trouver sa formule, il faut connaître la **fraction molaire** d'un de ces constituants. Dans le diagramme Mg/Zn, le composé défini correspond à $x_{Zn} = \frac{2}{3}$.

En mettant le composé défini sous la forme Mg_aZn_b , on aurait $\frac{b}{a+b} = \frac{2}{3}$. Il suffit de prendre les plus petits entiers a et b vérifiant cette équation. On trouve ici que $b = 2$ et $a = 1$ donc le composé défini est bien $MgZn_2$.

On peut attribuer à chaque domaine les phases présentes, et on peut s'amuser à tracer les courbes de refroidissements ou à déterminer les compositions de phases pour un x_{Zn} donné.

Conclusion

Nous avons vu au cours de cette leçon que l'étude des mélanges de deux corps pur a permis de définir les diagrammes binaires qui caractérisent ces mélanges. Nous avons vu deux types de diagramme : diagramme binaire liquide/solide avec phases solides miscibles et ceux avec phases solides non miscibles. Pour ce dernier, nous avons mis en évidence l'existence du point eutectique qui permet d'obtenir une température de fusion du mélange plus faible que celle des deux corps pur.

C'est le cas pour l'exemple eau+sel que nous avons vu en introduction. Pour ce mélange, la température de fusion est $T = -21\text{ °C}$. Donc le salage des routes sert bien à empêcher la formation de glace en cas de neige. Ces diagrammes

sont également utilisés dans l'industrie, notamment pour former des alliages.

On peut également obtenir ce type de diagramme dans le cas du changement d'état liquide/vapeur.

Commentaires lors de l'oral blanc du 15 mai 2020 :

- Savoir définir la fusion congruente et comment la repérer sur un diagramme binaire (et donc savoir ce qu'est une fusion non congruente)
- Connaître le terme de solution solide pour désigner un mélange de solides (totalement ou partiellement) miscibles, savoir qu'il y a des solutions solides d'insertion et de substitution
- Avoir des notions de cristallographie, ça tombe assez souvent en question
- Connaître différents types d'alliages/mélanges : l'acier (fer carbone avec 5% en masse de carbone), les mélanges à miscibilité totale (Ag-Au mélange quasiment idéal, Si-Ge), à miscibilité partielle (Pb-Zn)
- Une impureté commune pour l'acier est le soufre : il prend la place du carbone localement et engendre des défauts dans la structure de l'acier, provoquant une chute des propriétés mécaniques. Ce soufre vient en général des minerais.
- Il y a des aciers durs, cassants et des aciers mous. Savoir ce qu'est une courbe de traction (déformation en fonction de la contrainte) et son allure quand l'acier est cassant (croissance linéaire avec pente = module d'Young puis brisure de la courbe)
- On pourrait rajouter une expérience qualitative où on met du sel sur de la glace et on voit T diminuer
- Montrer un exemple de calcul pour passer de fraction molaire à massique et inversement
- Faire un exemple à la fin avec le calcul en question puis un calcul de quantités de matière avec les différents théorèmes serait pas mal.
- On peut évoquer les phénomènes de métastabilité et de retard à la cristallisation quand on montre les courbes de refroidissement (on peut peut-être le voir sur les courbes expérimentales)
- Quand il fait trop froid, on remplace le sel par du chlorure de césium (par exemple au Canada)
- Savoir justifier la non-miscibilité de l'acide stéarique et benzoïque à partir de considérations de liaison chimique.
- Savoir justifier la position de la notion du composé défini (après le mélange eau-sel)
- Se préparer à d'éventuelles questions sur le point critique



Analyse thermique par refroidissement isobare

↗ Girard p331



Matériel : plaque chauffante + bain d'huile de silicone, thermomètre à mercure (on peut uniquement utiliser ceux là), tube à essai, erlenmeyer.

TOUT FAIRE SOUS HOTTE

- Mettre la naphthalène solide dans un tube à essai. Fixer dessus un réfrigérant fait maison (bouchon avec un trou et une pipette) pour faire condenser les possibles vapeurs.
- Chauffer le tube au bain à huile pour dépasser la température de fusion du naphthalène.
- Attacher l'erlenmeyer à une pince sans qu'il touche la paillasse. Attacher le tube à essai pour qu'il entre dans l'erlenmeyer, fixer dessus un bouchon à un trou et le thermomètre (il doit être assez plongé dans le liquide).
- Fermer les vitres de la hotte, prendre les mesures de la température toutes les minutes.

Si on attend la solidification complète, en principe le thermomètre est coincé. Il faut donc à nouveau chauffer le tube à essai pour pouvoir le retirer.

Dès que la manip est terminée, tout ce qui a été en contact avec le mélange liquide ou solide (thermomètre, spatule, entonnoir, ...) se nettoie à l'acétone sauf le tube à essai. Concernant le labo de l'ENS, il faut emballer le tube avec du papier aluminium et jeter le tout à la poubelle. Il faudra demander la procédure le jour J.