

Intitulé du Master : Physique de la matière condensée

Semestre : S3 Intitulé de l'UE : Fondamentale

Intitulé de la matière : Transition de phase Crédits : 6 Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement

Ce cours est une initiation aux transitions de phase et aux lois élémentaires qui gouvernent ces phénomènes.

Connaissances préalables recommandées

Ce cours nécessite des connaissances préalables en thermodynamique, en physique statistique et en physique du solide.

Contenu de la matière

I. Introduction

II. Classification des transitions de phases

II.1. Classification d'Ehrenfest

II.2. Classification basée sur la chaleur latente

III. Théorie de Landau des transitions de phase

III.1. Notion de paramètre d'ordre

III.2. Ordre d'une transition au sens de Landau

III.3. Développement de l'énergie libre

III.4. Transition du second ordre

IV. La transition para-ferromagnétique

IV.1. Introduction

IV.2. Modèle d'Ising

IV.3. Approximation de champ moyen

IV.4. Entropie

IV.5. Energie libre premier ordre

V. La transition isotrope-nématique

V.1. Introduction

V.2. Paramètre d'ordre

V.3. Modèle de Landau - de Gennes

Travail personnel : 4 heures/semaine

Mode d'évaluation : Contrôle continu 50 % et examen 50%.

Références

Introduction to condensed matter physics, V1 F. Duan & J. Guojun, Nanjing University, Ed. Woeld Scientific

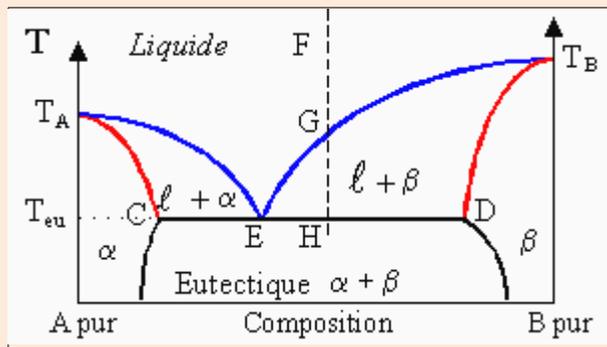
Physique des transitions de phases : Concepts et applications, P. Papon, J. Leblond et P.H.E. Meijer, Ed Dunod.

I. Introduction

Les diagrammes de phase sont utilisés par les scientifiques en sciences des matériaux afin de :

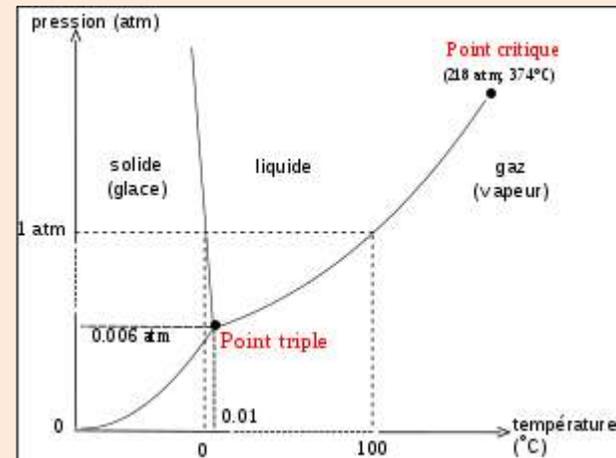
1. Développer de nouveaux alliages pour une utilisation spécifique,
2. Fabriquer ces alliages
3. Optimiser les traitements thermiques pour obtenir les propriétés mécaniques, physiques et chimiques désirées,
4. Apporter des solutions aux problèmes qui arrivent lors de l'utilisation commerciale de certains alliages.

Les diagrammes de phase donne ne indication sur la phase thermodynamiquement stable dans l'alliage et qui est susceptibles d'être présente longtemps lors de son utilisation à une température particulière par exemple.



http://www.uqac.ca/chimie_ens/Thermochimie/Chap_htm/CHAP_11.htm

|



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8e/Diag_eau.svg/300px-Diag_eau.svg.png

Thermodynamique : C'est la science des **transformations de l'énergie**. Elle fournit les méthodes indispensables pour préciser les **conditions d'existence d'états physiques et de leurs transformations** (stabilité d'une phase, transition d'une phase à une autre, *etc.*).

Un état thermodynamique est caractérisé par un ensemble de propriétés physiques auxquelles on associe des grandeurs macroscopiques : volume V , masse m , l'aimantation M , *etc.*

L'état d'équilibre thermodynamique d'un système est décrit grâce à un ensemble de variables thermodynamiques, qu'on appelle **Variables d'état**. C'est des grandeurs macroscopiques observables qui caractérisent un système. On peut citer; la température T , la pression P , le volume, la masse M ou la densité ρ et le potentiel chimique μ .

Pour plus de simplicité on considère que le matériau est constitué par un seul élément chimique pur et non une mixture.

Par définition un état d'un système simple est paramétré par deux variables indépendantes, alors que les autres sont considérées comme fonction de ces deux premières.

En particulier, T et μ sont un bon choix de variables indépendantes.

La pression P est une fonction convexe de ces variables. Et, cette convexité englobe certaines propriétés mécaniques et de stabilité thermiques du système.

Toutes les propriétés du matériau peuvent être obtenues à partir de P comme fonction de T , $P(T)$, et μ par différentiation.

Phase:

Tous les matériaux dans des conditions d'états données existent sous formes gazeuse, liquide ou solide, on s'y réfère en utilisant le terme phase,

Les variables d'états sont la composition, la température, la pression, le champ magnétique, le champ électrostatique, le champ gravitationnel,

Le terme phase fait référence à cette région de l'espace occupée par un matériau physiquement homogène.

Un système est *monophasique* s'il est **homogène**. Un système est dit *polyphasique* s'il est **hétérogène**

Le sens strict de homogène explique le fait que les propriétés physiques à travers tout l'espace occupé par la phase est absolument identique, et tout changement dans les conditions de l'état, aussi minime soit il, entraîne l'apparition d'une nouvelle phase.

Par exemple, un métal solide avec une apparence homogène peut ne pas être un matériau en single phase, car les conditions de pression dans l'échantillon varient à cause de son propre poids dans le champ gravitationnel.

Une substance solide ou liquide peut avoir plusieurs arrangements distincts des atomes, des molécules ou des particules, qui leur sont associés, et qui vont correspondre à des propriétés différentes du matériau solide ou liquide, constituant ainsi des **phases**.

Equilibre:

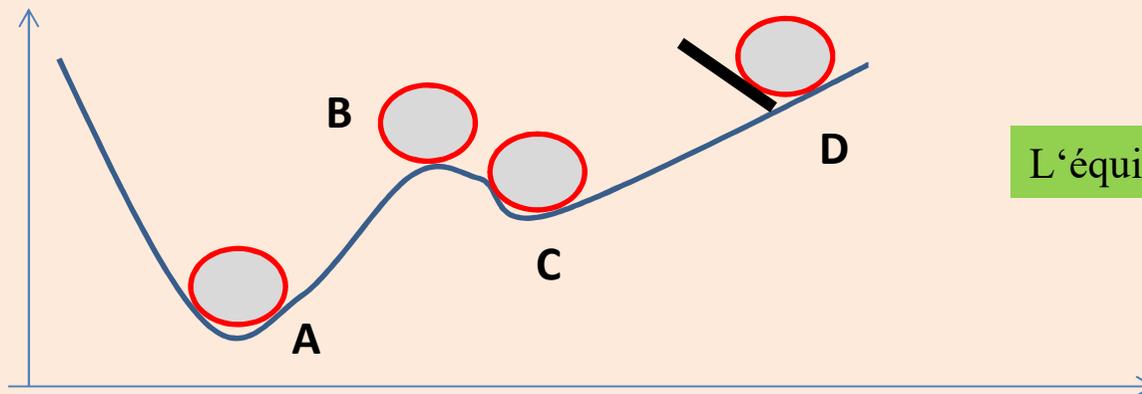
On a quatre types d'équilibres: stable, métastable, instable et stable contraint (voir schéma).

L'équilibre stable existe quand l'objet est au niveau énergétique le plus bas (position A).

L'équilibre métastable existe quand il faut rajouter au système une énergie additionnelle pour atteindre la stabilité réelle, c'est un équilibre localement stable mais globalement instable (position C).

L'équilibre instable existe quand toute perturbation infinitésimale a tendance à éloigner le système de sa position d'équilibre. Aucune énergie supplémentaire n'est nécessaire pour atteindre la stabilité ou la métastabilité (position B).

L'équilibre stable contraint existe quand une énergie externe supplémentaire (contrainte extérieure) est nécessaire pour maintenir la stabilité (position D).



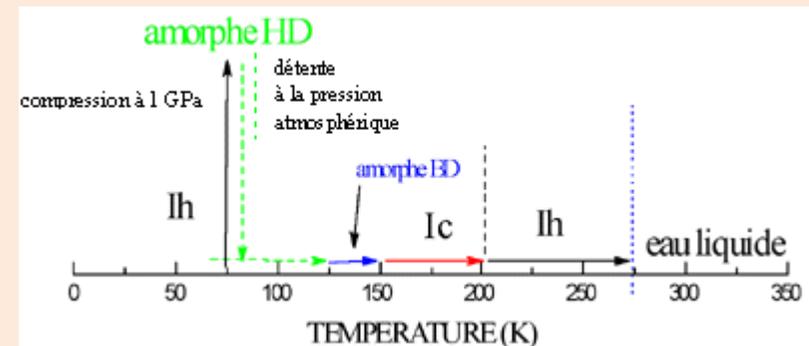
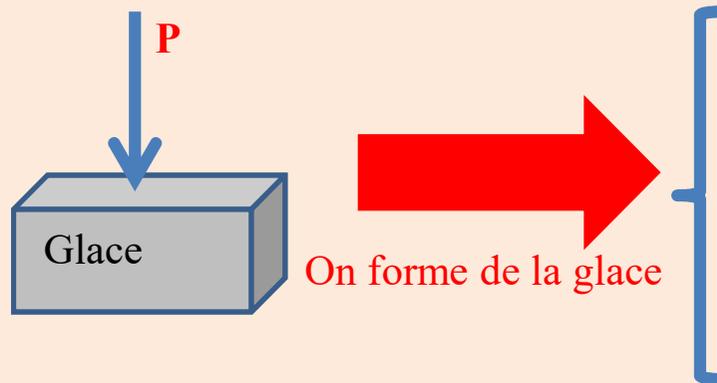
L'équilibre thermodynamique

Qu'est-ce qu'une transition de phase ?

Toute substance de composition chimique fixée, peut se présenter sous formes homogènes dont on peut distinguer les propriétés et que l'on appelle des états.

L'eau est un exemple. Les trois états de la matière (solide, liquide et gaz) diffèrent par leur densité, leur capacité calorifique, etc. Les propriétés optiques et mécaniques d'un liquide et d'un solide sont très différentes.

Si on applique une pression élevée sur un échantillon de glace (plusieurs kilobars), on peut obtenir plusieurs variétés de glace correspondant à des formes cristallines distinctes)



<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/douseau/decouv/proprie/images/Asequence3.gif>

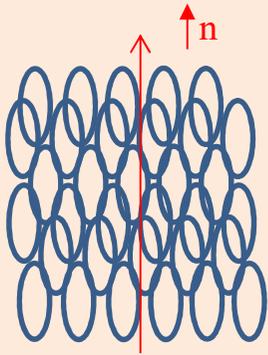
On a plusieurs phases de la glace correspondant à des variétés cristallines et amorphes distinctes de l'eau solide.

Nématique:

L'état nématique est un état intermédiaire entre l'état solide et l'état liquide. Les molécules sont allongées et réparties comme dans les liquides sans ordre de position, mais en demeurant en moyenne parallèles les unes aux autres.

Nématique vient du grec $\nu\epsilon\mu\alpha$ « fil »

Certains liquides peuvent avoir soit une phase isotrope soit une phase cristal liquide, que l'on peut distinguer par leurs propriétés optiques et qui diffèrent par l'orientation de leurs molécules.

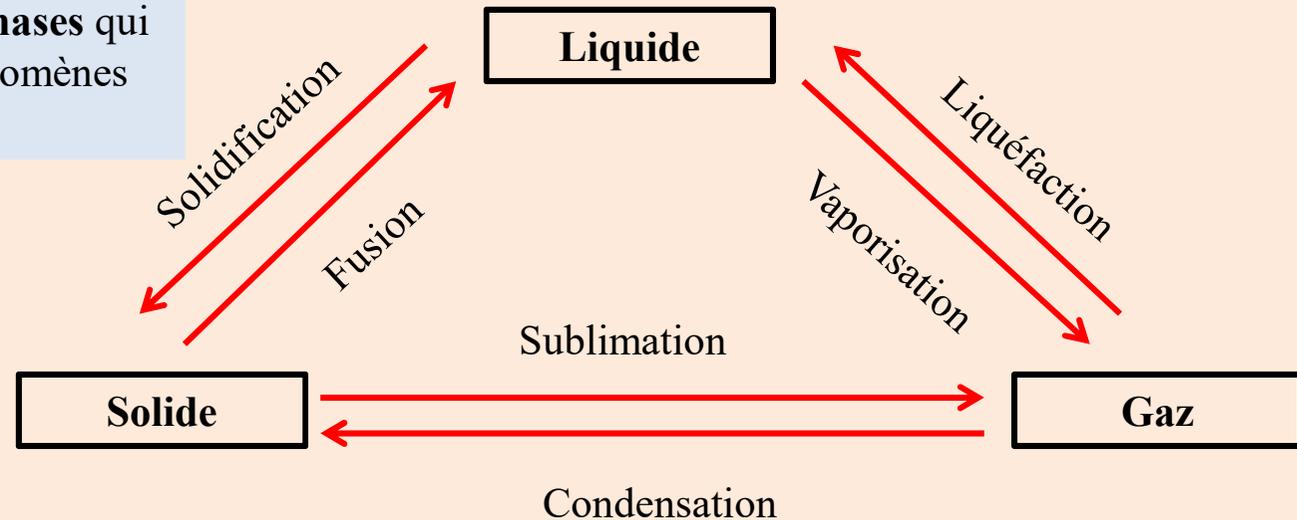


Cristal liquide nématique

C'est des **changements de phases** qui mettent en évidence les phénomènes de **transition de phases**.

Le passage d'une phase à une autre est une transformation brusque.

Les **changements de phases** sont réversibles.



Pour un corps pur, la transition d'une phase à l'autre se produit dans des conditions de pression et de température bien déterminées; pour une pression donnée, la température du changement de phase est déterminée.

Les changements de phase sont accompagnés d'un dégagement ou d'une absorption de chaleur. Ce transfert de chaleur est lui-même réversible: si le changement de phase d'un échantillon de matière dégage une certaine quantité de chaleur, la même quantité de chaleur est absorbée dans le changement inverse. **changements de phases** qui mettent en évidence des phénomènes de **transition de phases**.

On observe les transitions de phases dans la nature. On peut citer à titre d'exemple; la condensation de gouttes d'eau dans les nuages.

Changement de phase

Pour une pression donnée, le changement de phase d'un corps pur, constitué de molécules identiques, se produit à une température bien déterminée. La température de la substance reste exactement la même tant que les deux phases subsistent en présence.

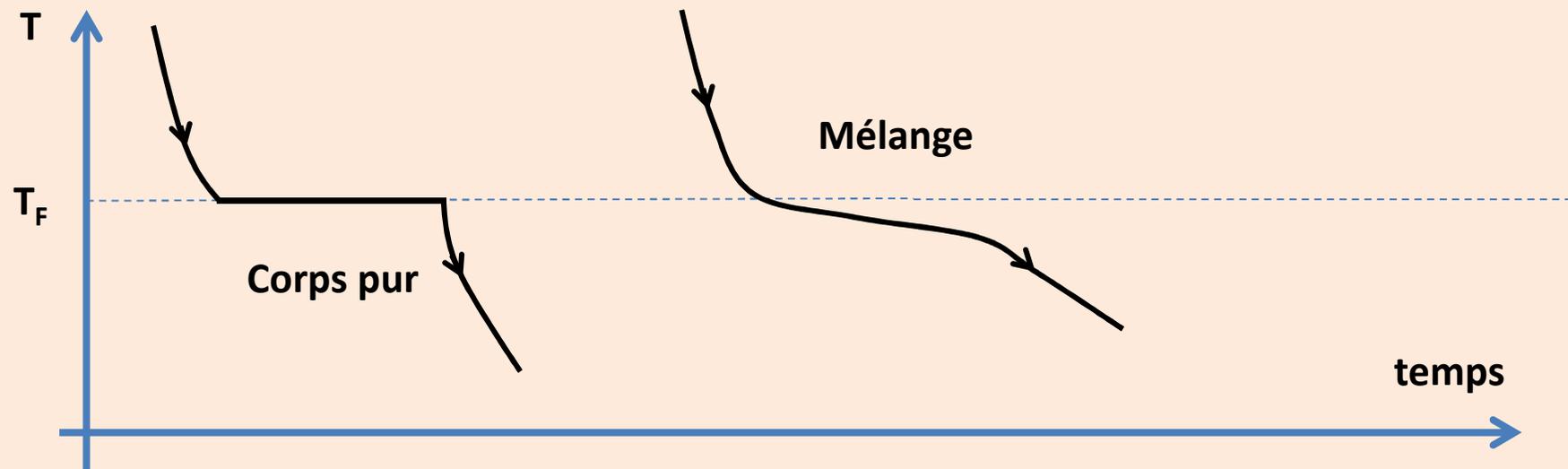


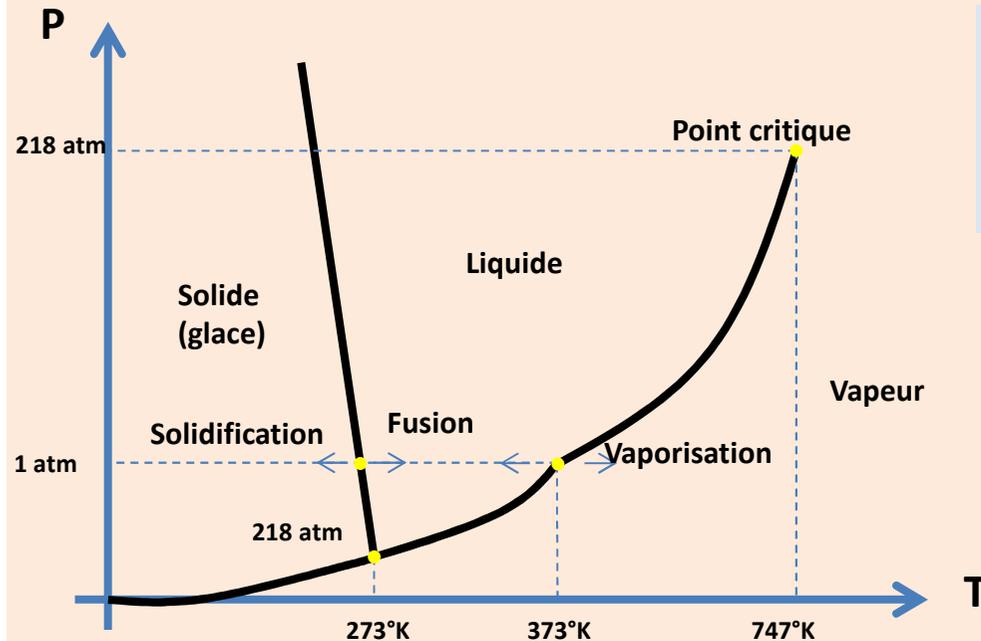
Diagramme d'analyse thermique de la solidification d'un corps pur et d'un mélange.

Il n'en est pas de même pour les mélanges de plusieurs corps purs: le changement de phase commence à une température déterminée mais celle-ci varie à mesure que l'une des phases disparaît au profit de l'autre.

Il existe donc pour un corps pur donné certaines conditions de pression et de température sous lesquelles deux phases différentes de cette substance peuvent coexister en équilibre.

Pour une substance donnée, il y a donc au moins trois équilibres possibles:

Solide-liquide: Le passage du solide au liquide est la fusion, le changement inverse est la solidification.



Liquide-gaz: Le passage du liquide au gaz est la vaporisation, l'inverse est la liquéfaction. La courbe de vaporisation représente l'ensemble des points d'équilibre du liquide et de la vapeur.

Solide-gaz: Le passage direct de la phase solide à la phase gazeuse est la sublimation. La courbe de sublimation représente l'ensemble des points d'équilibre du solide et de la vapeur.

Diagramme d'équilibre des différentes phases de l'eau. La courbe de fusion présente une pente négative.

Le point triple du diagramme, est un point où les trois phases solide, liquide et gazeuse coexistent en équilibre.

Pour l'eau le point triple est à 273,16°K (ou 0°C), alors que la pression qu'on appelle pression de vapeur saturante est très faible: 6 millibars ou environ 4,6 millimètres de mercure (Torr).