

Les états de la matière

Harold Erbin

Table des matières

1	Introduction	2
2	États communs	2
3	Diagrammes de phases	3
4	Fluide supercritique et cristal liquide	4
5	Plasma	5
6	Superfluide	5
7	Autres états	6

Ce texte est publié sous la licence libre

Licence Art Libre :

<http://artlibre.org/licence/lal/>

Version : 14 janvier 2010

1 Introduction

Cet article traitera, comme son nom l'indique, des états (ou encore phases) de la matière¹.

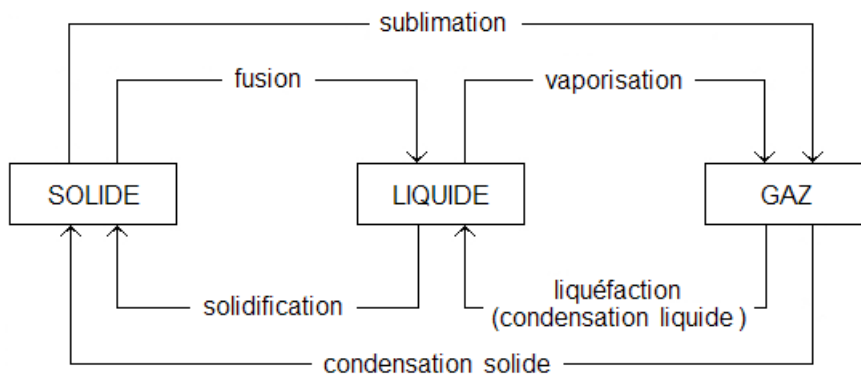
Un peu de terminologie et de nomenclature avant :

- p : pression ;
- V : volume ;
- T : température ;
- corps : entité quelconque.

2 États communs

J'imagine que chacun a entendu parler des trois phases "basiques" (en ayant dû, par exemple, apprendre au collège par coeur le fameux cycle ci dessous). Chaque état a des caractéristiques propres. L'état d'un édifice dépend des paramètres extérieurs (pression et température) et, pour ces raisons, la branche de la physique qui étudie les changements d'états est la thermodynamique².

FIGURE 1 – Changements d'états



Je commencerai donc par les trois états connus :

- Solide³ : les molécules et ions constitutifs ne sont pas libres (entendre par cela qu'un solide ne peut donc pas se déformer spontanément et occupe un espace défini). Plusieurs types de liaisons (covalentes, hydrogènes, van der Waals...) assurent la cohésion des constituants d'un solide, et expliquent sa rigidité. Enfin, un solide est très peu dilatable ou compressible (ce qui signifie qu'augmenter la pression ou la diminuer n'influera que peu sur son volume — ceci est très utilisé pour simplifier les problèmes de thermodynamique).

1. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Phase_\(matière\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Phase_(matière))

2. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermodynamique>

3. http://fr.wikipedia.org/wiki/État_solide

- Liquide⁴ : les constituants sont faiblement liés et occupent donc tout l'espace disponible. Toutefois, à l'instar des solides, les liquides sont très peu compressibles.
- Gaz⁵ : les différents constituants d'un gaz sont pour ainsi dire indépendants les uns des autres (on utilise d'ailleurs le modèle du gaz parfait⁶ pour simplifier leurs études : il revient à négliger toutes les interactions — la formule très connue est $pV = nRT$).

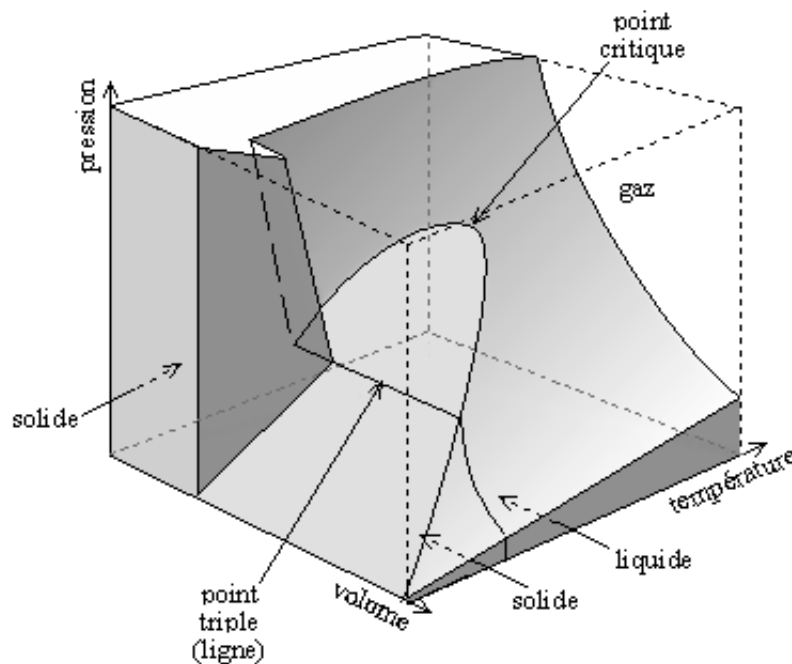
Les liquides et les gaz sont tous les deux considérés comme des fluides⁷, c'est à dire qu'ils sont déformables.

3 Diagrammes de phases

On étudie les transformations entre états grâce aux diagrammes de phase (en thermodynamique) : il s'agit de courbes en 2D ou 3D, qui dépendent de divers paramètres (V, p, T par exemple pour la 3D, ou bien les couples (p, T) , et (p, V) pour la 2D). Ces derniers permettent de déterminer l'état d'un constituant à partir des paramètres imposés.

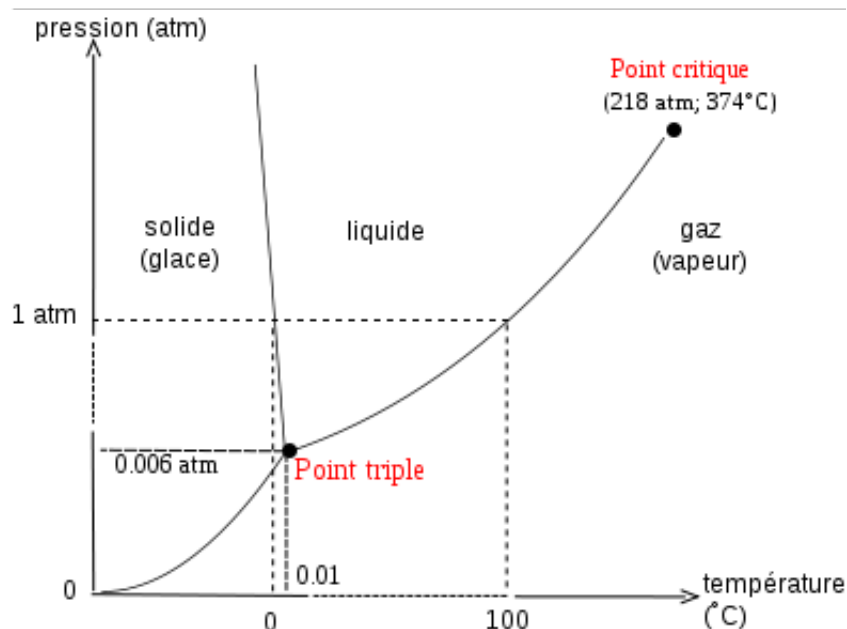
Exemples :

FIGURE 2 – Diagramme p, V, T quelconque



4. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Liquide>
 5. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz>
 6. http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_parfait
 7. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide>

FIGURE 3 – Diagramme p,T de l'eau



Digression : un point sur une droite indique que deux des états coexistent (trois dans le cas du point triple, qui est unique).

Comme on peut le voir sur les diagrammes, les transformations dans le sens solide \rightarrow liquide \rightarrow gaz sont endothermiques, c'est à dire qu'il faut apporter de la chaleur au système pour qu'elles aient lieu (la pression influe aussi). D'un point de vue thermodynamique encore, on peut considérer qu'il s'agit d'une augmentation de l'entropie⁸ du système (car les constituants ont plus de liberté, or l'entropie est une mesure de l'ordre d'un système). Au contraire, les réactions inverses sont exothermiques.

Les diagrammes dépendent des corps considérés. L'eau constitue un cas particulier car la pente de la courbe solide/liquide est négative. Avec ces diagrammes on peut retrouver l'explication de plein de phénomènes connus (cuisson à la vapeur, pourquoi le gel fait éclater les pierres...).

4 Fluide supercritique et cristal liquide

Les courbes font apparaître un point (le point critique) au-delà duquel le corps ne présente plus qu'une seule phase fluide (ni liquide, ni gaz). Il s'agit de l'état supercritique⁹, qui présente quelques propriétés, intermédiaires entre celle d'un gaz et d'un fluide, intéressantes (par exemple un solvant supercritique dissout bien mieux — on s'en sert par exemple, avec le dioxyde de carbone pour

8. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie>

9. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Supercritique>

extraire les impuretés du café ou encore les déchets radioactifs des cendres de matériels contaminés).

Le cristal liquide¹⁰ (ou mésophase) est un état qui combine les propriétés d'un liquide et d'un solide cristallisé. Ils sont très souvent utilisés (écrans à cristaux liquides...).

5 Plasma

L'état suivant, très popularisé par la science-fiction et par la fusion, est le plasma¹¹ : il s'agit d'un fluide constitué de particules chargées (ions, électrons) ou non (atomes...) obtenu, par exemple, après ionisation d'un gaz (par collision dans le cas d'un rayonnement α (noyaux d'hélium), par diffusion Compton¹² pour un rayonnement γ (photons) — je renvoie à la page des rayonnements ionisants¹³ pour plus d'informations). Un plasma ne se forme pas de la même manière que les états cités précédemment : il est possible, pour un même corps, d'obtenir un plasma à diverses températures (même ambiante) et pressions. Les plasmas sont présents partout autour de nous (éclaircs, ionosphère, les étoiles...).

Les plasmas sont utilisés dans de nombreux domaines : tube fluorescent, téléviseur¹⁴, etc, et ils le seront encore largement plus à l'avenir : propulsion spatiale¹⁵ (en gros, un plasma subit une force de Lorentz — encore de l'électromagnétisme — ce qui entraîne une forte poussée), fusion nucléaire (pour qu'elle ait lieu, il faut de nombreuses collisions entre les noyaux d'atomes, en limitant les répulsions : il faut donc une très haute température, température à laquelle on a un plasma — voir par exemple le Tokamak¹⁶), accélérateurs de particules¹⁷... Quelques autres exemples¹⁸ sont donnés sur la page de Wikipédia.

6 Superfluide

Ensuite vient l'état superfluide¹⁹ (l'hélium est l'élément de test par excellence) qui est un état qui présente une absence totale de viscosité : il glisse sans frottements contre ce qui l'entoure (tuyaux, etc), de même que les solides ne subissent aucun frottement visqueux ($\mathbf{F} = -h \cdot \mathbf{v}$, où h est un coefficient déterminé de manière empirique) lorsqu'ils se meuvent à l'intérieur. Il faut généralement abaisser le corps à une température très faible (proche du zéro absolu : environ 2.3K pour l'hélium 4, ce qui est infime — rappel : 0°C = 273,15K).

Un fluide, lorsqu'il s'écoule dans quelque chose, subit des frottements (qui est une force résistante), et il y a donc une dissipation d'énergie (avec réchauffement, etc, bref, divers problèmes). Au contraire, un superfluide ne subit aucun frottement, et donc il conserve son énergie. De plus, l'hélium superfluide est

-
10. http://fr.wikipedia.org/wiki/Cristal_liquide
 11. http://fr.wikipedia.org/wiki/Physique_des_plasmas
 12. http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Compton
 13. http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant
 14. http://fr.wikipedia.org/wiki/Écran_à_plasma
 15. http://fr.wikipedia.org/wiki/Propulseur_magnétoplasmodynamique
 16. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Tokamak>
 17. http://fr.wikipedia.org/wiki/Accélération_laser-plasma
 18. http://fr.wikipedia.org/wiki/Physique_des_plasmas#Exemples
 19. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Superfluide>

utilisé en cryogénie (refroidissement à de très basses températures). Par exemple, les énormes champs magnétiques des aimants d'ITER (plusieurs teslas) sont obtenus grâce à un champ électrique (car un champ électrique engendre un champ magnétique, en gros — ceux qui veulent aller plus loin peuvent se documenter sur l'électromagnétisme²⁰). Hélas, le champ électrique nécessaire est si important qu'il est nécessaire d'utiliser des matériaux supraconducteurs (à l'intérieur desquels les électrons se déplacent sans résistance — cela permet de réduire la taille du matériel, mais surtout, de limiter l'effet Joule qui serait très élevé). Toutefois, la supraconductivité ne peut être obtenue qu'à basse température et c'est ici qu'est utilisé l'hélium superfluide. Le LHC, comportant aussi de nombreux aimants, les utilise ainsi.

J'ai trouvé une présentation²¹ parlant de l'utilisation de l'hélium superfluide (et qui détaille aussi son obtention, mais il y a du quantique, ce n'est donc pas très accessible).

7 Autres états

Un condensat de Bose-Einstein²² est un autre état formé de bosons²³ (particules qui sont des vecteurs de force : photon pour l'électromagnétique, gluon pour l'interaction forte, bosons W^+ , W^- , Z^0 pour l'interaction faible). Ces bosons occupent le même état quantique. Je ne détaille pas plus (autant par manque de connaissances sur cet état, que pour l'heure).

Pour finir, le supersolide²⁴ est prédit par la théorie mais n'a pas encore été observé (du moins cela n'a pas été certifié et reproduit). Il semblerait qu'un corps dans cet état pourrait s'écouler (comprendre traverser) un autre solide (à la manière d'un superfluide).

20. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Électromagnétisme>

21. http://iramis.cea.fr/spcsi/cbarreteau/physique_du_solide/exposes/helium.pdf

22. http://fr.wikipedia.org/wiki/Condensat_de_Bose-Einstein

23. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Boson>

24. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Supersolide>