

Présentation d'expériences avec l'azote liquide

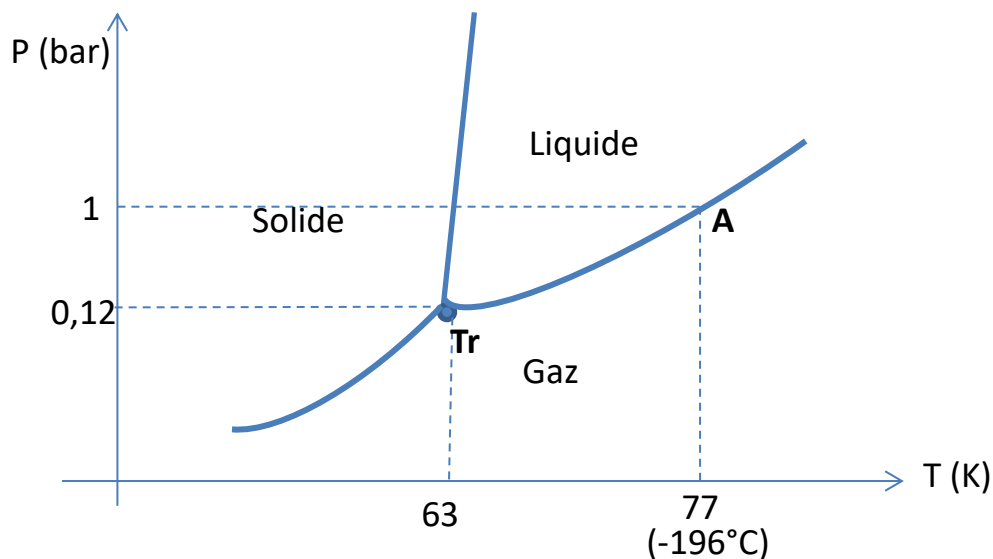
I. Introduction

I.1. Précautions à prendre

Les risques liés à l'azote liquide sont de deux types :

- **Risque de brûlure** : à la pression atmosphérique, la température de l'azote liquide est de -196°C . Manipuler avec des gants appropriés les objets en contact avec l'azote.
- **Risque d'asphyxie**. L'azote est le constituant majoritaire de l'air, non toxique. Toutefois, un excès de la proportion d'azote peut conduire à un manque d'oxygène ce qui est un risque majeur. La pièce doit être suffisamment grande et aérée. Ordre de grandeur : on manipule ici un volume de liquide de l'ordre du litre. Le passage à l'état gaz donne un volume de l'ordre du m^3 . Pour que ça représente moins de 1% du volume de la pièce, elle doit avoir un volume supérieur à 100 m^3 . (OK dans la salle de TP). Attention, l'azote gazeux dégagé à partir du liquide est très froid, il peut s'accumuler près du sol.

I.2. Diagramme d'équilibre (P,T) de l'azote :



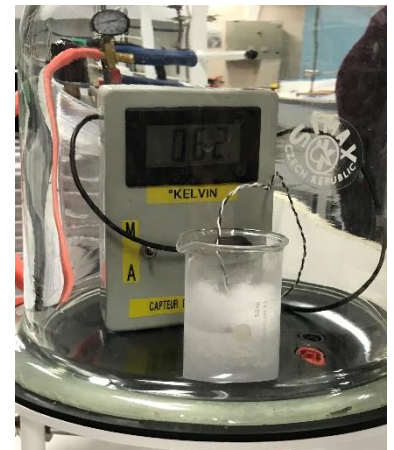
- A pression et température ambiante, N_2 est gazeux.
- A pression atmosphérique de 1 bar, l'équilibre liquide/gaz est à -196°C , c'est la température de l'azote liquide à l'air libre au cours des manipulations. C'est le point **A** du diagramme.
- Le point triple **Tr** correspond aux seules conditions de pression et température où on peut trouver N_2 sous 3 états simultanément.

II. Expériences

II.1. Expérience 1 - Courbe d'équilibre et point triple de N_2

Un bécher rempli d'azote liquide et muni d'un thermomètre est introduit sous une cloche à vide. A pression atmosphérique, on peut d'abord observer la température de l'équilibre liquide-gaz à -196°C ou 77K, point **A**. On fait ensuite baisser la pression en aspirant sous la cloche. La température baisse régulièrement pendant que l'équilibre liquide/gaz est maintenu, on suit la courbe A-Tr.

A la pression de 0,12 bar et à la température de 63 K, on atteint le point triple **Tr** pour lequel les trois états peuvent coexister. C'est un point invariant. On voit apparaître progressivement N_2 solide, la quantité de liquide diminue et il y a forcément du gaz (même si on ne le voit pas !). Quand tout le liquide a disparu, la pression et la température peuvent à nouveau baisser en suivant la courbe d'équilibre solide/gaz.



II.2. Expérience 2 – Cryodistillation de l'air

On verse de l'azote liquide dans un cône en papier aluminium. L'aluminium est un bon conducteur thermique, sa température atteint rapidement -196°C . On peut alors observer des gouttelettes de liquide se former à l'extérieur du cône. Si on récupère ce liquide et qu'on approche une buchette incandescente, on met en évidence que c'est de l'oxygène.

Explication : la température de liquéfaction de O_2 à pression atmosphérique (90K) est supérieure à celle de l'azote liquide.



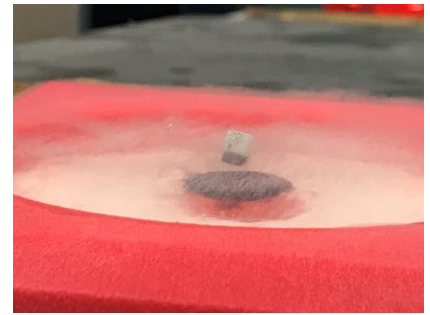
II.3. Expérience 3 – Transition vitreuse d'un polymère thermoplastique

Les « matières plastiques » sont souvent des thermoplastiques. Au-dessous d'une certaine température, un thermoplastique devient dur et cassant, comme du verre. C'est la transition vitreuse. On la met en évidence ici en refroidissant un morceau de caoutchouc (matériau souple à température ambiante) dans de l'azote liquide.

II.4. Expérience 4 – Supraconducteur et lévitation magnétique

Certains matériaux sont des supraconducteurs : en dessous d'une certaine température, leur résistance électrique devient nulle. Ces matériaux ont aussi la propriété de répondre de manière forte et opposée à un champ magnétique extérieur (effet Meissner). Si on approche un aimant d'un supraconducteur, le supraconducteur se transforme immédiatement en aimant exactement opposé et le repousse.

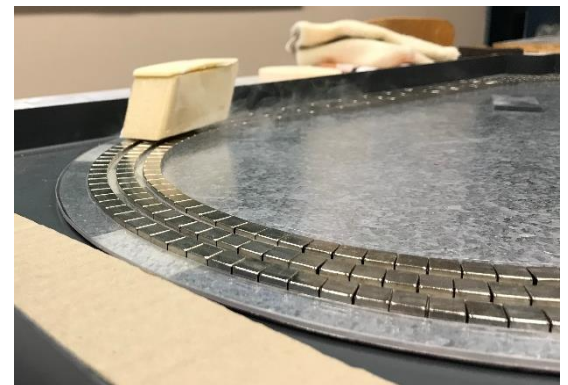
On dispose d'un petit aimant puissant (au néodyme) en forme de cube et d'une pastille de céramique YBaCuO. Plongée dans l'azote liquide, la pastille devient supraconductrice. On peut alors faire léviter l'aimant au-dessus de la pastille le mettre en rotation et voir à quel point l'aimant et le supraconducteur sont « accrochés » l'un à l'autre sans le moindre contact.



II.5. Expérience 5 – Train à lévitation magnétique

C'est le même principe que l'expérience précédente. Un petit circuit a été réalisé avec des aimants permanents, tous identiques et disposés dans le même sens. Le « train » est ici une petite boîte en polystyrène (bon isolant thermique) et contient une pastille supraconductrice dans de l'azote liquide. Il est installé en lévitation au-dessus du circuit. Une pichenette suffit à le mettre en mouvement et à lui faire faire plusieurs tours car il y a très peu de frottements. Bien qu'en lévitation, le train est bien maintenu sur le circuit.

A noter : de vrais trains existent ou sont en projet sur ce principe en Asie : Maglev (Magnetic Levitation) en Chine, Japon, Corée du Sud.



II.6. Expérience 6 – Chambre à brouillard

• Attention :

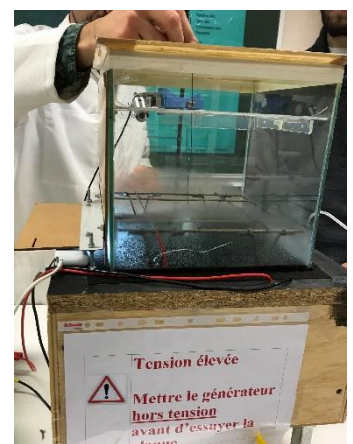
Risque électrique, haute tension, **NE PAS TOUCHER LA GRILLE !**

Ne pas toucher les sources radioactives

Eviter de respirer les vapeurs d'isopropanol

• Dispositif :

Un alcool volatil (isopropanol) est vaporisé dans une chambre en contact avec un réservoir d'azote liquide. Au bout de quelques minutes, à proximité du réservoir, l'alcool est dans un état de sur-saturation, c'est-à-dire qu'il reste gazeux dans l'air alors même que dans ces conditions, il devrait être liquide.



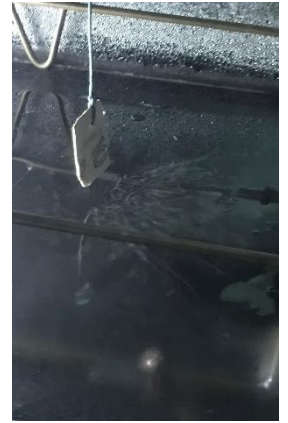
Il faut en effet un « déclencheur » pour amorcer un changement d'état. L'ensemble est maintenu dans une grille sous haute tension (400V) pour éviter la présence d'ions dans la chambre.

L'alcool gazeux est dans un état instable (métastable) et il suffit d'un choc avec une particule élémentaire pour déclencher sa condensation rapide. Cette condensation est clairement visible sous forme de trainées blanches

Rem : Les trainées blanches observées derrière les avions dans le ciel sont analogues : l'avion déclenche la condensation de l'eau atmosphérique (initialement gazeuse donc non visible).

En introduisant des sources radioactives dans la chambre, on peut alors visualiser les désintégrations une par une dans la chambre car une seule désintégration suffit à déclencher la condensation de l'alcool !

Sources radioactives : échantillon de minerai d'uranium, éléments de cadran de réveil ancien avec peinture au radium.



II.7. Expérience 7 – Générateur de brouillard et CO₂ atmosphérique

On verse simplement de l'azote liquide sur de l'eau chaude. L'eau chaude génère une importante quantité de vapeur d'eau. Au contact de l'azote liquide, ces vapeurs se condensent très rapidement.

Cerise sur le gâteau : le dioxyde de carbone atmosphérique se condense aussi sous forme solide (= carboglace) car la température de l'équilibre CO_{2solide}/CO_{2gaz} sous 1 bar est de -78°C. Le dioxyde de carbone solide peut s'accumuler brièvement à la surface de l'eau avant de redevenir gazeux quand la température remonte.



III. Conclusion

Ces expériences vous ont donc permis de voir de l'azote dans tous ces états, de l'oxygène liquide, du CO₂ solide, des particules alpha une par une, un train en lévitation, du caoutchouc cassant et un brouillard géant. Vidéos à regarder pour vous souvenir ou compléter :

Sur l'excellente chaîne Véritasium de Derek Muller (sur YouTube), en recherchant « solid nitrogen » ou <https://www.youtube.com/watch?v=rM04U5BO3Ug>

Pour vous familiariser avec la supraconductivité : un extrait d'une conférence très pédagogique « Expériences de supraconductivité » de Julien Bobroff, chercheur à l'Université Paris-Sud : <https://www.youtube.com/watch?v=QoPEIDvLZjA>