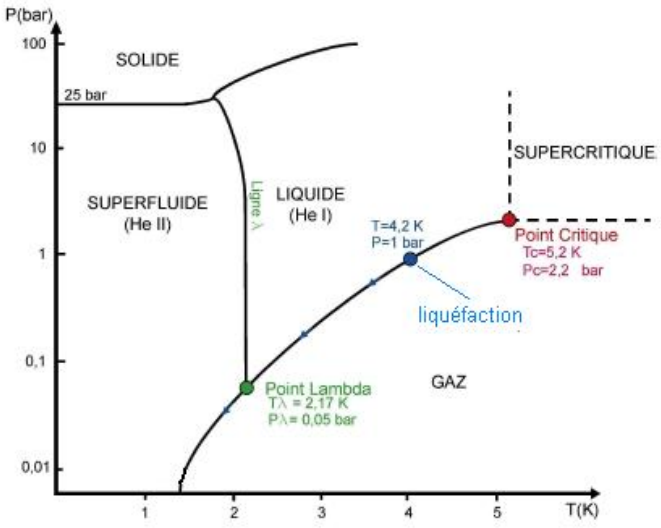
Exercice 3. Le diagramme de changement d'état de l'hélium

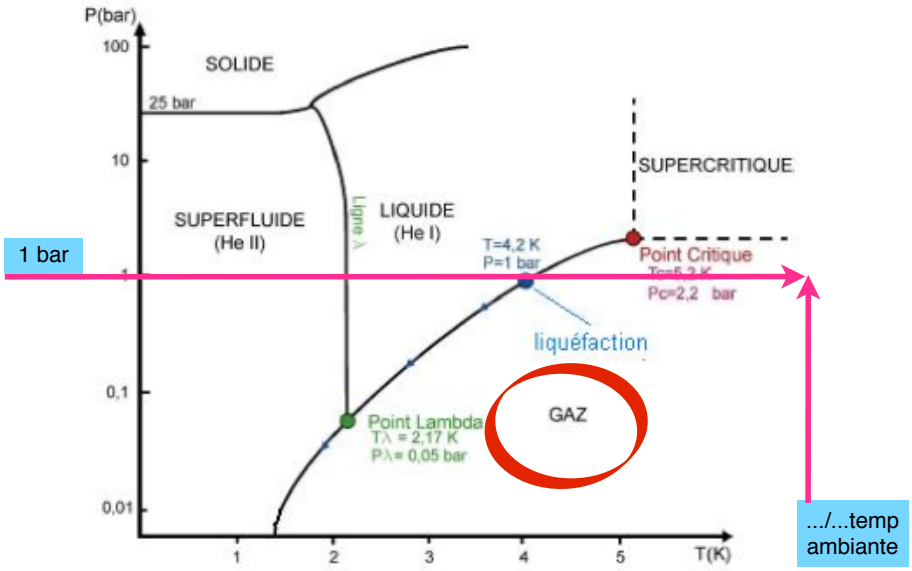
La liquéfaction de l'hélium :

*" Cet essai effleurait les limites du possible. Il a commencé à 6heures du matin et était terminé à 9heures 30 du soir. A 6h30 du soir, quand nous avons vu pour la première fois l'hélium liquéfié, chacun de nous était à bout de forces .... **Quand ce liquide presque immatériel s'est montré, ce fut un spectacle merveilleux**. Nous ne nous en sommes pas aperçus dès le début ; nous n'avons constaté sa présence qu'au moment où le verre se remplissait. Sa surface se détachait du verre comme un couteau".*

Dans le cours, vous trouvez le diagramme du corps pur de l'hélium :



1) Quel est l'état physique de l'hélium dans un ballon de fête foraine gonflé à 1,2 bar ?



L'hélium est gazeux sous la pression de 1,2 bar et à température ambiante.

2) Quel est l'intérêt d'un tel ballon gonflé à l'hélium ?

Il reste en l'air parce que l'hélium est un gaz plus léger que l'air

3) Que se passe-t-il si on comprime progressivement le ballon précédent, à température constante ? Peut-on observer la liquéfaction de l'hélium ? Sa solidification ?
En le comprimant, il va passer dans sa phase fluide supercritique. Mais il ne sera pas possible de le liquéfier, ni de le solidifier tout ceci à température constante.
Il faudra descendre à très très basse température pour le liquéfier et à température très proche du zéro absolu, on pourra l'observer solide sous une pression élevée, supérieur à 25 bar.

4) L'hélium solide et l'hélium gazeux peuvent-ils être en équilibre ?

Non, d'après le diagramme cet équilibre physique S=G est totalement impossible avec l'hélium. Il est absolument remarquable de noter que l'hélium possède 2 phases liquides différentes.

5) Quelle est la particularité de la ligne λ du diagramme ?

Cette ligne sépare deux phases liquides, He(I) et He(II).

6) De l'hélium est refroidi progressivement sous la pression constante de 1 bar. Décrire les phénomènes observés successifs.

Sous 1 bar, à partir de la température ambiante, si on refroidit, l'hélium va

se liquéfier à 4,2 K.
Vers 2 K, nous arriverons sur la ligne l, et l'hélium liquide passera dans sa phase superliquide.

A propos de la liquéfaction de l'hélium

L'hélium liquide

Auteur : Heike Kamerlingh Onnes (1853 –1926)

Auteur de l'analyse : *Benjamin Bradu - Étudiant en doctorat de physique appliquée au CERN*

Publication : *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 24 août 1908, «L'hélium liquide», pp 421-424
Année de publication : 1908
Nombre de Pages : 4
Résumé : Dans cette courte note adressée à l'Académie des sciences de 1908, Heike Kamerlingh Onnes ren compte de la première liquéfaction de l'hélium qui lui vaudra le prix Nobel en 1913. Il atteint alors un température d'environ –271,5°C, soit un peu plus de 1 degré au-dessus du zéro absolu.

Source de la numérisation : BnF (Gallica)

Source :
https://www.bibnum.education.fr/physique/thermodynamique/l-helium-liquide

« L'expérience a commencé le 10 juillet à 5h45 du matin (...) À 4h20, l'hélium commençait à circuler. À 7h30, l'hélium liquide est observé pour la première fois »

Dès 1901, **James Dewar** s'attaque au dernier gaz atmosphérique jamais liquéfié, l'hélium, mais il échoue, ce gaz semblant impossible à liquéfier. Heike Kamerlingh Onnes commence dès 1882 la course au froid à l'université de Leyde aux Pays-Bas. Pour liquéfier l'hélium, Onnes utilise le principe de Joule-Thomson (ou Joule-Kelvin) qui consiste à faire subir à un gaz une très forte détente adiabatique, c'est- à-dire abaisser la pression subitement sans échange de chaleur avec l'extérieur.

Onnes utilise un compresseur de Cailletet qu'il a lui-même modifié pour compresser l'hélium initialement à température ambiante et pression atmosphérique (**point A**), afin d'obtenir des pressions d'environ 100 bar (**point B**). L'hélium à haute pression subit ensuite une succession de refroidissements en cascade : il est tout d'abord refroidi avec de l'air liquide, puis avec du dihydrogène liquide jusqu'à environ 15 K (**point C**).

Une fois le liquide obtenu, le liquide et le gaz cohabitent dans la même enceinte, ils sont alors en équilibre thermodynamique. Le mélange se situe sur « **la ligne de saturation gaz/liquide dans le diagramme de phase** ». S'il n'y a pas d'échange de chaleur avec l'extérieur, cet équilibre est conservé, donc si la pression de l'enceinte diminue, alors le mélange gaz/liquide doit « suivre » la ligne de saturation, ce qui a pour effet de diminuer la température. Si cette pression baisse suffisamment, **on doit atteindre le point triple**. Onnes s'étonne de ne pas être arrivé au point triple de l'hélium mais pense qu'il est simplement plus loin que prévu : « *L'hélium ne s'est pas solidifié lorsque la pression de vapeur a été diminuée. La communication avec la grande pompe à vide n'était pas assez bonne cette fois, mais il est certain que je suis allé jusqu' à 1cm, peut être même jusqu'à 7mm. Le liquide, à cette température, était encore extrêmement mobile. S'il se comportait conne le pentane il ne deviendrait solide que vers 1°K.* ». Onnes dit avoir pompé à l'aide

d'une pompe à vide jusqu'à une pression de **10mm, voire 7mm (de mercure). Ceci correspond à des pressions de 13,3 mbar et 9,3 mbar**, soit des températures équivalentes pour un équilibre liquide/gaz de 1,74 K et 1,65 K. Il pensait légitimement atteindre le point triple de l'hélium en descendant encore en température…

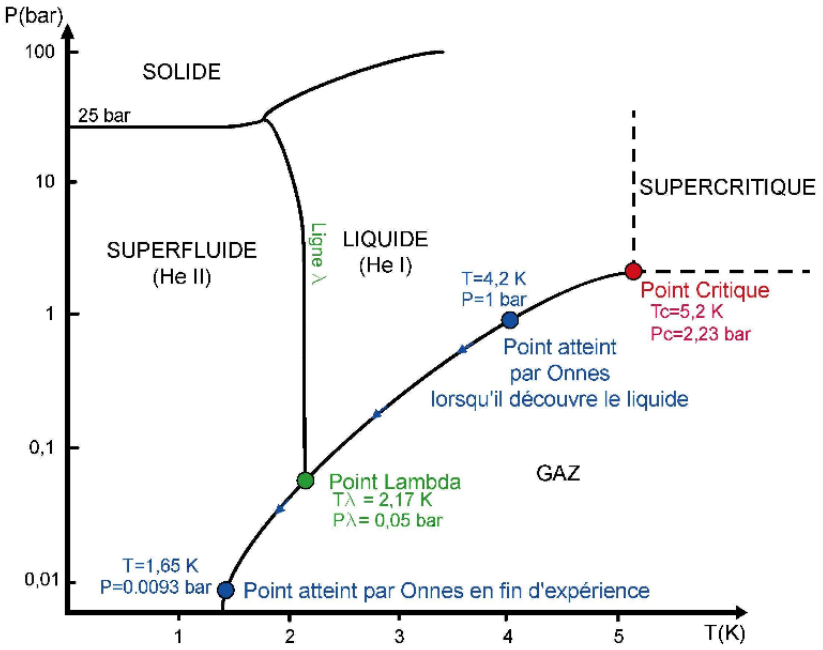


Figure 5 : Diagramme de phase de l'hélium.
L'originalité de l'hélium vient du fait qu'il possède deux phases liquides: une phase liquide normale (He I) et une phase liquide superfluide (He II). L'hélium ne possède

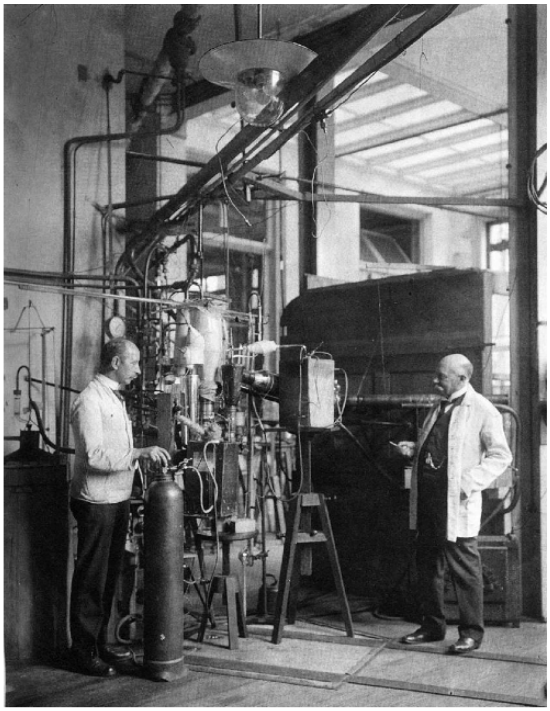


Figure 3 : *H.K. Onnes (à droite) et G.J. Flim (à gauche), chef du laboratoire de cryogénie, devant le liquéfacteur d'hélium à l'université de Leyde en 1908.*