

# Corrigé exercice 5

## DIAGRAMME DE PHASES DE L'HÉLIUM

1) La température lors d'une fête foraine est voisine de 25°C, soit  $(25 + 273)K = 298 K$ .

Rappel : Vous devez impérativement savoir convertir les degrés celsius en kelvins !

$$\frac{T}{K} = \frac{\theta}{^{\circ}C} + 273$$

Sur le diagramme, on voit que le point (298; 1,2) est situé largement à la droite du diagramme, dans le domaine du gaz, puisqu'on est en-dessous de la pression critique.

L'hélium est gazeux dans un ballon de fête foraine.

On peut estimer la masse volumique d'un gaz de masse molaire  $M$  dans des conditions où il se comporte comme un gaz parfait.

Soit une quantité de matière  $n$  de gaz occupant un volume  $V$  à la pression  $P$  et à la température  $T$ . La masse de gaz étant  $m = nM$ , on en déduit la masse volumique :

$$\rho = \frac{m}{V} = M \frac{n}{V}$$

D'après la loi des gaz parfaits  $PV = nRT$  donc :

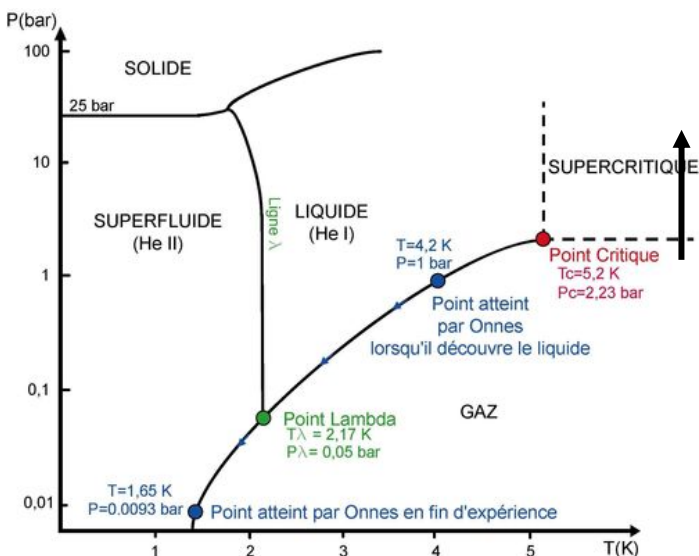
$$\rho = M \frac{P}{RT}$$

On voit donc que, à pression et température données, la masse volumique d'un gaz est proportionnelle à sa masse molaire. Or l'hélium a une masse molaire très faible, la plus faible de tous les gaz après le dihydrogène, puisque  $M(\text{He}) = 4,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Par comparaison, l'air a une masse molaire « moyenne » de  $M \approx 0,2 \times M(\text{O}_2) + 0,8 \times M(\text{N}_2) \approx 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

L'hélium est un gaz nettement moins dense que l'air.  
Un ballon gonflé à l'hélium s'élève dans l'air.  
De plus, c'est un gaz totalement inerte, sans aucune nocivité.

2) On montre avec une flèche l'effet d'une compression isotherme :



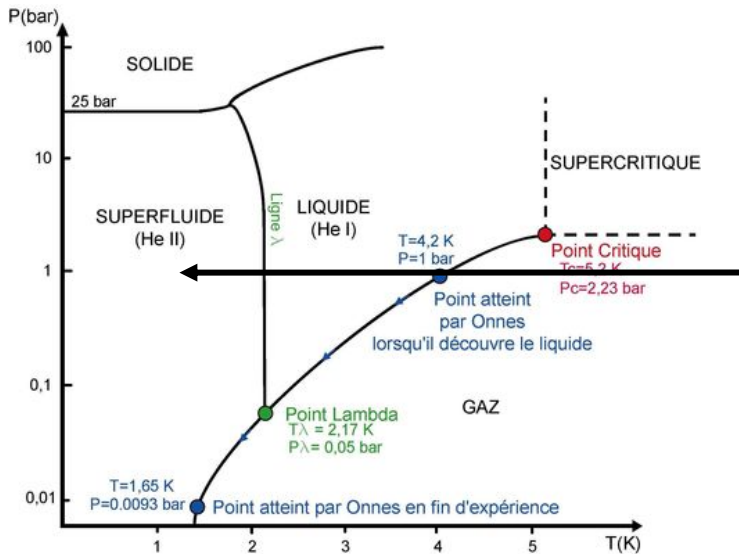
Comme on se situe largement au-delà de la température critique, l'état liquide n'existe pas. La compression va progressivement augmenter la densité du fluide, sans que l'on n'observe de transition de phase ni de palier de pression. Le fluide va venir de plus en plus dense, mais sans devenir un liquide :

### L'hélium deviendra supercritique.

En théorie, en continuant à augmenter la pression, on devrait finir par rencontrer la frontière avec l'état solide, mais cela se produit sans doute à une pression tellement élevée qu'elle est inatteignable en pratique.

Pour obtenir de l'hélium solide, il faut se situer dans le domaine indiqué dans le diagramme, c'est-à-dire à des températures très basses de l'ordre du kelvin et à des pressions de plusieurs dizaines de bars.

3)



On parcourt cette fois la flèche horizontale. Lors du refroidissement :

- la température du gaz baisse régulièrement ;
- lorsque l'on atteint  $T = 4,2 \text{ K}$ , la liquéfaction commence :  $\text{He}_{(g)} = \text{He}_{(\text{liq I})}$ . La température se fixe à  $T = 4,2 \text{ K}$  pendant toute la durée de cette transformation ;
- lorsque la dernière bulle de gaz disparaît, l'hélium est dans l'état liquide (I) ; la température se remet alors à baisser ;
- lorsque l'on atteint  $T \approx 2,2 \text{ K}$ , une nouvelle transition se produit. Mais à la différence des autres corps pur, l'hélium ne se solidifie pas. Il devient superfluide, c'est-à-dire qu'il passe dans un état liquide extrêmement particulier, ne présentant aucune viscosité. La température se fixe à  $T \approx 2,2 \text{ K}$  pendant toute la transition  $\text{He}_{(\text{liq I})} = \text{He}_{(\text{liq II})}$ .
- lorsque tout l'hélium est superfluide, la température peut reprendre sa baisse vers le zéro absolu.

L'hélium est le seul corps pur n'existant pas à l'état solide sous 1 bar au zéro absolu.