

1 Introduction : les états de la matière

- Quels sont les différents états de la matière ?
Solide, liquide, gaz. Ici, on ne parle que de corps purs. L'eau dans le ballon est liquide. A quoi ressemblent les autres états de l'eau ?
 - Attention avec le terme d'eau gazeuse, que les plus petits peuvent prendre pour de l'eau type Perrier.
 - En profiter pour dire que la vapeur d'eau est invisible. La preuve : quand un verre d'eau s'évapore, il n'y a pas un nuage dans la pièce. Quand on souffle sur une vitre, il n'y a pas forcément de la "fumée" qui sort de la bouche.
- A quoi est ce que l'eau liquide ressemble si on regarde de très près ?
L'eau est faite de molécules reliées entre elles. Formule H_2O , trouvée par Antoine de Lavoisier en 1767. Qu'est ce qui change entre les molécules d'eau liquide, d'eau solide ou d'eau vapeur ? Si ces molécules sont reliées très fermement les unes par rapport aux autres, elles forment un ensemble assez rigide ; un solide. Si les molécules sont reliées plus faiblement les unes aux autres, elles peuvent bouger plus facilement et se répartir partout ; elles forment un liquide. Si les molécules sont presque sans liaisons entre elles, elles peuvent partir dans tous les sens ; elles forment un gaz.

2 Les changements d'états de l'eau

- Ebullition à P_{atm}

Question : Comment faire pour transformer l'eau liquide du ballon en vapeur d'eau ? Réponse immédiate : chauffer. Lancer le chauffage. Temps d'ébullition : environ 3 minutes

Question : Qu'est ce que ça veut dire, chauffer ?

- "Mettre sur une flamme". Non, on peut chauffer sans flamme, avec une plaque électrique par exemple.
- "Mettre sur quelque chose de (plus) chaud". Non, un micro-onde chauffe un bol de soupe, mais il n'est pas chaud
- "Augmenter la température". Mesurer la température pour voir son augmentation. Pas seulement : pour l'instant, la température de l'eau augmente. Est ce qu'elle va augmenter à jusqu'à $1000^\circ C$? Non, pourtant on continue de chauffer.

Bien différencier chaleur et température. On peut parler de la température d'un objet (le corps humain est à $37^\circ C$) mais ça n'a pas de sens de parler de la chaleur d'un corps. On a très long cru que la chaleur était un fluide que les corps s'échangeaient. On a appelé ce fluide phlogistique jusqu'en 1780, puis calorique jusqu'au XIXème. Mais ce fluide devait être plus léger que sans masse, traverser tous les objets mais pouvoir être absorber... Un physicien français, Sadi Carnot, a donné en 1831 une bien meilleure théorie : la chaleur est une énergie. Chauffer l'eau, c'est lui donner de l'énergie.

Quel est le lien avec la température ? La température, c'est la mesure de l'agitation des molécules : plus les molécules s'agitent, plus la température est élevée. A $-273.15^\circ C$ toutes les molécules sont figées ; on ne peut donc plus les ralentir et on parle du 0 absolu. Quand on chauffe, on apporte de l'énergie aux molécules. Imaginez un groupe de gens complètement amorphes qui, tout d'un coup, ont plein d'énergie. Que font ils ? Ils bougent dans tous les sens. Les molécules font pareil ; autrement dit, la température augmente. Et au bout d'un moment, elles s'agitent tellement qu'elles peuvent commencer à casser les liaisons qui les relient : c'est l'ébullition.

A l'ébullition : de quoi sont faites les bulles dans l'eau liquide ? De vapeur, pas d'air ! Mesurer la température : elle reste constante. La chaleur est utilisée pour autre chose : casser les liaisons. Dire que "chauffer, c'est augmenter la température", c'est la même chose que dire "l'argent, ça sert à acheter des livres". Ça ne décrit pas tout ce qu'on peut faire avec de l'argent.

Question : Pourquoi $100^\circ C$ et pas $3000^\circ C$? Pour répondre à ça, il faut regarder ce qui se trouve dans le ballon au départ. De l'eau et de l'air. L'air appuie sur l'eau liquide ; on appelle ça la pression atmosphérique. Le premier à comprendre la pression atmosphérique, c'est Blaise Pascal, en 1648. Expériences sur le vide, contre Aristote. Plus la pression appuie fort sur le liquide, plus c'est dur pour lui de bouillir et plus la température d'ébullition est élevée.

- **Ebullition à T_{atm}** Si on baisse assez la pression, la température d'ébullition devient plus basse que la température ambiante. Expérience sous vide
Faire toucher l'eau qui vient de bouillir. Mesurer sa température : plus basse qu'au départ. Pour casser les liaisons, l'eau a dû prendre de la chaleur. Qui la lui a donné? Elle même. Quand l'eau prend de la chaleur, elle augmente sa température. Ici, elle a baissé sa température pour libérer de la chaleur et utiliser cette chaleur pour casser les liaisons et bouillir. Remarquer que le phénomène apparaît aussi en retirant le thermomètre de l'eau, avec une évaporation et non une ébullition. Lien avec la sensation de froid en sortant de la douche.
- **Bouillant de Franklin** Utiliser ça plusieurs fois à la suite. Eau + vapeur. On verse de l'eau froide sur la vapeur. La vapeur donne de la chaleur à l'eau. Pour donner cette chaleur, elle se transforme en liquide. Or le liquide prend beaucoup moins de place que le gaz donc quand la vapeur se condense, la pression diminue. Si la pression diminue assez, l'eau est assez chaude pour bouillir. On fait donc bouillir l'eau dans le ballon en versant de l'eau froide dessus.
Expérience attribué à Benjamin Franklin, père fondateur des États Unis et grand amateur de cerf-volants.
On voudrait refroidir encore plus. Comment faire? Utiliser quelque chose d'encore plus froid. Azote liquide à $-196^{\circ}C$
Marteau d'eau : l'eau monte d'un bloc. Quand je soulève le ballon, l'eau monte avec. Quand j'arrête ma main, le ballon s'arrête aussi mais l'eau continue. Habituellement, il y a de l'air au dessus qui arrête l'eau. Mais là il n'y a pas d'air. Refaire l'expérience après avoir ouvert le bouchon pour vérifier.

3 Les changements d'états de l'azote

Qu'est ce que c'est que l'azote? Parler de la composition de l'air. Est ce que les règles qu'on vient de comprendre avec l'eau marchent aussi avec l'azote?

Azote liquide dans le cône L'azote est liquide et il bout. S'il bout, c'est qu'il est assez chaud pour changer d'état et qu'il prend de l'énergie quelque part pour casser les liaisons entre les molécules. Il prend de l'énergie au cône, qui lui même prend de l'énergie à l'air. On voit donc apparaître des cristaux de glace (due à la vapeur d'eau dans l'air) et de l'oxygène liquide ($T_{eb} = -182^{\circ}C$). Test de flamme. Faire remarquer que les gouttes "flottent". Création d'un coussin de gaz sous la goutte liquide qui l'isole du sol et supprime les frottements. Liens avec les plaques chauffantes.

Azote liquide dans le dewar Comment faire pour garder au chaud un liquide chaud ou au froid un liquide froid? Utiliser un thermos. L'azote prend de la chaleur à la paroi, mais la paroi ne peut pas prendre de la chaleur à qui que ce soit donc l'ébullition s'arrête.

4 Specs

Oxygène :

- Temp. d'ébullition $-182.95\text{ }^{\circ}\text{C} = 90\text{ K}$
- Enthalpie de vaporisation : 3.51 kJ.mol^{-1}
- Temp. de fusion $-218.79\text{ }^{\circ}\text{C} = 54\text{ K}$
- Enthalpie de fusion : 0.22 kJ.mol^{-1}
- Capacité thermique : $0.92\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Air :

- Enthalpie de vaporisation : 2.8 kJ.mol^{-1}
- Enthalpie de fusion : 0.36 kJ.mol^{-1}
- Capacité thermique : $4.18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Azote :

- Temp. d'ébullition $-195.798\text{ }^{\circ}\text{C} = 77\text{ K}$
- Enthalpie de vaporisation : 2.8 kJ.mol^{-1}
- Temp. de fusion $-210\text{ }^{\circ}\text{C} = 63\text{ K}$
- Enthalpie de fusion : 0.36 kJ.mol^{-1}
- Capacité thermique : $1.04\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Eau :

- Enthalpie de vaporisation : 2257 kJ.kg^{-1}
- Enthalpie de fusion : 333 kJ.kg^{-1}
- Capacité thermique : $4.18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

5 Dates

1591 Thermomètre de Galilée (1564 1642)

1668 Expérience de Blaise Pascal (1623 - 1662) sur la pression atmosphérique. Premier démenti de "La nature a horreur du vide" d'Aristote (-384, -322).

1767 Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) établit la formule H_2O de l'eau.

1772 Daniel Rutherford (1749 - 1819) montre l'existence de l'azote.

1779 Lavoisier montre que l'air est composé d'oxygène et d'azote.

1824 Sadi Carnot (1796 - 1842), dans ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* : "La puissance motrice est due, dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle de calories, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid. [...] Il ne suffit pas, pour donner naissance à la puissance motrice, de produire de la chaleur : il faut encore se procurer du froid ; sans lui, la chaleur serait inutile."

1831 Sadi Carnot :

1. "Lorsqu'une hypothèse ne suffit plus à l'explication des phénomènes, elle doit être abandonnée. C'est le cas où se trouve l'hypothèse par laquelle on considère le calorique comme une matière, comme un fluide subtil"
2. "La chaleur n'est autre que la puissance motrice [...], elle n'est jamais à proprement parler ni produite ni détruite. A la vérité, elle change de forme."

1843 Capacité thermique de l'eau par James Prescott Joule (1818 - 1889) à la cascade de Sallanche.