

# Qu'est-ce que la température ?

*Hélène Perrin, Laboratoire de physique des lasers, Paris 13 et CNRS*

## Résumé :

Nous avons tous l'expérience du chaud et du froid. Mais qu'est-ce qui fait la différence entre l'air glacial de la banquise et la chaleur de la forêt équatoriale ? Pourquoi doit-on se couvrir pour ne pas « attraper froid » quand on est en sueur après un 100 mètres ? Pourquoi les bédouins boivent-ils du thé brûlant pour se rafraîchir ? Peut-on fabriquer un frigo aussi froid que l'on veut ? Venez découvrir ce qui se cache derrière le mot « température »...

Niveau lycée

## 1 Introduction

Le sujet de cette conférence est la notion de température – et conjointement celle de chaleur. Tout cela fait partie du domaine de la physique que l'on appelle la thermodynamique. Cette conférence se veut interactive, donc n'hésitez pas à intervenir et à poser des questions ; je vous présenterai d'ailleurs quelques expériences simples, que vous pouvez reproduire chez vous, pour lesquelles je ferai appel à des volontaires.

Pour commencer, une première question : qu'est-ce que la température pour vous ?

## 2 Echelles de température

Comment définit-on la température ? Deux échelles de température usuelles sont utilisées dans le monde :

- l'échelle Celsius (18<sup>e</sup> siècle) impose le zéro à la température à laquelle l'eau gèle et la température de 100 degrés correspond à l'eau bouillante. On verra que cette définition doit être complétée par une autre information.
- l'échelle Fahrenheit (1724, promoteur du thermomètre à mercure) impose pour le zéro un mélange d'eau, de glace et de sel ; pour 30 degrés l'eau pure gelée ; et pour 96 degrés la température dans la bouche d'un homme sain.

La correspondance entre ces échelles est de nos jours la suivante :

-17,8°C	0°C	37,8°C	100°C
0°F	32°F	100°F	212°F

Actuellement, la définition de l'échelle de température est la donnée du *point triple de l'eau*<sup>1</sup> à 0,01°C.

<sup>1</sup>Le point triple de l'eau est la situation dans laquelle coexistent les phases solides, liquides et vapeur de l'eau. Il se produit à une température et une pression bien définies.

### 3 Peut-on toujours définir la température ?

Pour pouvoir définir la température d'un système, il faut qu'il soit « calme », qu'il n'évolue pas pendant la mesure. On dit que le système doit être à l'équilibre *thermodynamique*.

#### Expérience

---

Je fais chauffer de l'eau. La température s'élève et dépend du point précis où je la mesure.

---

Qu'ai-je fait ? J'ai chauffé, c'est-à-dire : j'ai apporté de la chaleur<sup>2</sup>, qui est une forme d'énergie. Quand deux corps échangent de la chaleur, leur température en est modifiée. Si l'on place deux corps en *contact thermique* l'un avec l'autre, (l'eau et la résistance chauffante, un bol d'eau chaude et un bol d'eau froide. . .) le corps dont la température est initialement la plus élevée (le plus chaud) cède de la chaleur au corps le plus froid, jusqu'à ce que les températures des deux corps s'égalisent. On a alors atteint l'équilibre. Si un corps *A* est à l'équilibre avec un corps *B* (ils n'échangent plus de chaleur une fois en contact) et que ce corps *B* est à l'équilibre avec un troisième corps *C*, alors nécessairement *A* est aussi à l'équilibre avec *C*. On se sert de ce principe pour mesurer la température avec un *thermomètre*. Un thermomètre fonctionne en se mettant à l'équilibre avec le corps dont on veut mesurer la température, tout en étant suffisamment petit pour ne pas modifier notablement la température du corps que l'on souhaite mesurer.

### 4 Comment fonctionne un thermomètre ?

La réponse dépend du thermomètre considéré : les thermistances par exemple sont des résistances électriques dont la valeur dépend de la température. Le plus célèbre reste cependant le thermomètre à *dilatation*, comme le thermomètre à mercure ou à alcool. Pour illustrer le fonctionnement d'un thermomètre à alcool, nous allons faire une expérience simple.

#### Expérience

---

Je prends une bouteille vide. Qu'y a-t-il dedans ? Je mets un ballon de baudruche sur le goulot et je plonge la bouteille dans l'eau bouillante. Le ballon se gonfle. C'est qu'il y avait de l'air dans la bouteille, et que cet air s'est *dilaté* lorsque sa température s'est élevée. Le gaz prend plus de place quand il est plus chaud ; la *pression* augmente et repousse les parois du ballon.

Si je plonge à présent la bouteille dans de la glace, le ballon se dégonfle et même se rétracte à l'intérieur de la bouteille : cette fois c'est la pression de l'air ambiant qui l'emporte sur celle qui règne dans la bouteille contenant l'air refroidi.

---

<sup>2</sup>Une autre façon d'apporter de la chaleur est de frotter vigoureusement : on parle de friction.

Pour les *gaz parfaits*, pression et température sont reliés par une relation de proportionnalité :  $P \propto T$ . Le facteur de proportionnalité ne dépend que de la densité du gaz, non de sa nature – c’est le même pour l’oxygène et pour l’azote par exemple.

---

### Expérience

Cette expérience reliée à la notion de dilatation est proposée tout au long de l’exposé, l’explication en étant donnée à la fin : on plonge dans un deware – récipient calorifugé – un grand nombre de ballons de baudruche, dont le volume total est manifestement beaucoup plus grand que le volume du deware. Comment est-ce possible ? C’est que le deware contient de l’azote liquide, à  $-196^{\circ}\text{C}$ . L’air contenu dans les ballons se liquéfie donc au contact avec l’azote et le volume de chaque ballon devient très faible : les ballons sont plats. Lorsqu’on les ressort du deware, ils se regonflent sans éclater et reprennent leur volume initial.

---

## 5 Aspect microscopique

Mais d’où vient la pression au juste ? Qu’est-ce qui pousse sur les parois du ballon pour le gonfler ? Ce sont les molécules qui composent le gaz qui rebondissent sur les parois et qui les repoussent à chaque choc. La température elle aussi est reliée à l’agitation des molécules, plus précisément à leur *agitation désordonnée* – contrairement à une translation ordonnée de toute la matière en bloc. On peut illustrer cette agitation désordonnée par le mouvement confus des balles de ping-pong colorées dans une boîte transparente que l’on agite en tous sens.

---

### Expérience

Pour mettre en évidence le mouvement microscopique des molécules, nous réalisons l’expérience suivante. Nous remplissons d’eau deux cristallisoirs, l’un avec de l’eau très chaude, l’autre avec de l’eau très froide. On fait tomber ensuite quelques gouttes de colorant au centre de chaque récipient. Les chocs des molécules d’eau avec celles du colorant causent la diffusion du colorant dans tout le cristallisoir, mais la vitesse de ce processus est bien plus grande pour l’eau chaude que pour l’eau froide. Cela illustre le lien entre l’agitation désordonnée des molécules et la température.

---

## 6 Le zéro absolu

Nous avons vu que pression et température d'un gaz sont reliées, ou encore que la température est reliée à l'agitation thermique, c'est-à-dire à la vitesse moyenne des molécules d'un gaz. Mais alors, la température ne peut pas être arbitrairement basse ! En effet, la pression est une grandeur positive, de même que la vitesse moyenne dans le gaz. Cela signifie qu'il existe un *zéro absolu*, température qui correspondrait à l'absence totale d'agitation thermique. Cette température est l'origine de l'échelle Kelvin, utilisée par les scientifiques. 0 K correspond à une température de  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Il est donc impossible de refroidir un corps en-deçà de cette température. La définition moderne de la température ne fait donc plus appel qu'à une valeur de référence : celle du point triple de l'eau, à 273,16 K. Mais au fait, qu'est-ce que le point triple ?

## 7 Changement d'état

Le point triple de l'eau correspond à la coexistence des trois états solide (glace), liquide et gaz (vapeur). L'eau peut exister sous ces trois formes alternativement, le plus souvent seules deux formes coexistent.

### Expérience

---

On fait chauffer de l'eau. Qu'observe-t-on ? Lorsque l'on atteint une certaine température –  $100^{\circ}\text{C}$  – l'eau bout. Mais si l'on continue de chauffer, la température n'augmente plus.

---

La température à laquelle l'eau bout dépend de la pression : elle vaut  $100^{\circ}\text{C}$  à pression atmosphérique (1013 hPa),  $80^{\circ}\text{C}$  en haut du Mont Blanc et  $140^{\circ}\text{C}$  dans un cocotte minute. Pourquoi la température reste-elle figée à cette température ? Pourtant, on apporte de la chaleur en chauffant... C'est que le changement d'état de liquide à vapeur consomme de l'énergie : la *chaleur latente de vaporisation* (2260 kJ/kg).

On peut à présent répondre aux questions suivantes : pourquoi frissonne-t-on lorsque l'on sort de la piscine en plein soleil, en pleine chaleur du mois de juillet ? C'est que l'eau sur notre corps s'évapore et nous rafraîchit en emportant avec elle la chaleur latente de vaporisation qu'elle a emprunté à notre peau.

De même, pourquoi les touaregs boivent-ils du thé brûlant dans le désert ? Cela leur apporte pourtant des calories de consommer de l'eau chaude ! Certes, mais ils se font ainsi transpirer et perdent bien plus de calories en évaporant la sueur à la surface de leur corps. C'est un moyen bien plus efficace pour perdre des calories que de boire un verre d'eau glacée!<sup>3</sup>

Comment accélérer le phénomène d'évaporation ? Nous allons tenter de le faire lors d'une petite expérience.

---

<sup>3</sup>Ordres de grandeur : 20 cl de thé à  $62^{\circ}$  apportent environ 5 kcal (soit 21 kJ) mais 5 cl d'eau évaporée font perdre 27 kcal ou 113 kJ, soit une perte globale de 22 kcal soit 92 kJ. En comparaison, 20 cl de boisson à  $7^{\circ}$  font perdre seulement 6 kcal soit 25 kJ.

## Expérience

---

Dans deux tasses semblables, on verse de l'eau chaude à la même température. On mesure la température dans les deux tasses simultanément. On laisse l'une des tasses se refroidir spontanément dans l'air ambiant, alors que l'on souffle de l'air sur l'autre à l'aide d'un ventilateur. En chassant la vapeur qui se forme au-dessus de cette tasse, on encourage de la vapeur à se reformer – pour maintenir la pression de vapeur saturante. Cela accélère le processus d'évaporation qui consomme de l'énergie – la chaleur latente de vaporisation étant puisée dans l'eau chaude directement. La tasse sur laquelle on souffle se refroidit donc plus vite.

---

## 8 Conclusion

Au laboratoire de physique des lasers de l'Université Paris 13, on utilise une variante de cette méthode du ventilateur pour refroidir un gaz à une température très proche du zéro absolu : seulement quelques milliardièmes de degré au-dessus ! A cette température, les atomes sont quasiment immobiles, leur vitesse étant de l'ordre du millimètre par seconde (voir figure).

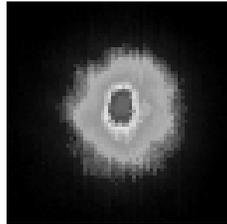


FIG. 1 – Des atomes quasi immobiles pris en photo au laboratoire. Au centre, la zone sombre ovale est un *condensat de Bose-Einstein*, un nouvel état de la matière qui n'apparaît qu'à très basse température (0,000 000 1 K!) et que nous étudions dans nos expériences. Taille de l'image : 0,4 mm×0,4 mm. ©Laboratoire de physique des lasers, Villetaneuse.