

Chapitre 1

Introduction à la chaleur

1) Chaleur et température, quelle différence ?

Utilise trois récipients remplis d'eau :

Plonge les doigts de ta main droite dans de l'eau froide et les doigts de ta main gauche dans de l'eau chaude. Attends quelques instants.

Puis très rapidement, plonge tes deux mains dans l'eau à température ambiante.

Que ressens-tu au niveau de ta main droite ?

.....

Que ressens-tu au niveau de ta main gauche ?

.....



Quelle conclusion pouvons-nous tirer de cette expérience ?

.....

2) Définition de la chaleur

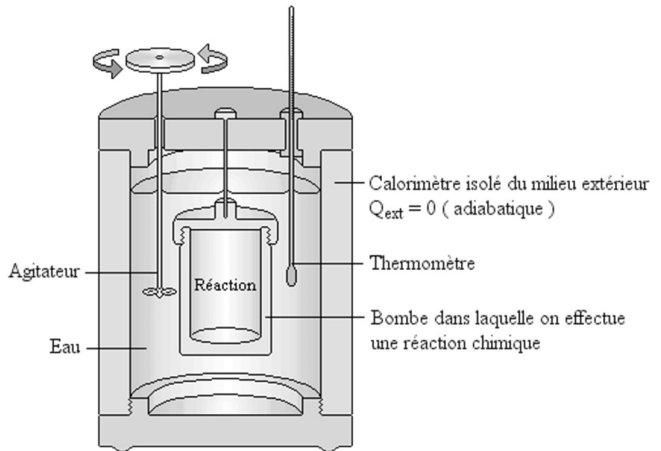
La chaleur correspond à une énergie thermique. Par conséquent, elle s'exprime en Joule (J). Un transfert de chaleur provoque généralement un changement de température. Lorsque deux corps sont mis en contact l'un de l'autre, le plus chaud cède de la chaleur au corps froid jusqu'à établir un équilibre.

3) Définition de la température

La température est une valeur numérique indiquée par un instrument de mesure : le thermomètre. Elle s'exprime en degré Celsius (°C), en degré Fahrenheit (°F) ou en Kelvin (K).

4) Mesure de la chaleur : le calorimètre

Le **calorimètre** est un appareil destiné à mesurer les échanges de chaleur. Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques. Le calorimètre constitue un système empêchant un échange de chaleur entre les milieux intérieur et extérieur. C'est un système **isolé** (calorimètre adiabatique). Néanmoins, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas des transferts de chaleur entre les différentes parties de l'ensemble calorimétrique (composés objets de l'étude, accessoires et paroi du calorimètre...).



5) Mesure de la température : le thermomètre

5.1) Fonctionnement d'un thermomètre (au mercure)

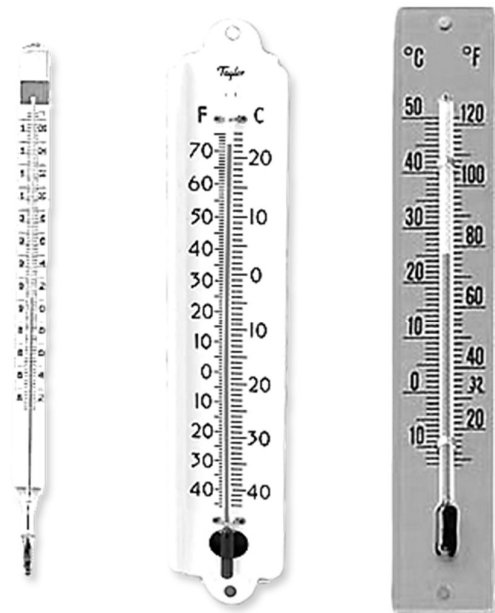
Le principe du thermomètre est un des plus simple. Un tube fin en verre est rempli par du mercure. **Le mercure se dilate en fonction de la température** : plus il fait chaud, plus il prend de la place (son volume augmente), plus le niveau du mercure augmente dans le tube (dilatation du liquide). Plus il fait froid, plus il perd de la place (son volume diminue), plus le niveau du mercure baisse dans le tube (contraction du liquide). Il est donc facile de repérer la température **en graduant le tube en verre de manière appropriée**.

Il y a deux valeurs critiques :

(à pression atmosphérique normale)

- 0°C correspond à la fusion de la glace.
- 100°C correspond à l'ébullition de l'eau.

Aujourd'hui, il est interdit de remplir un thermomètre avec du mercure, en raison de sa toxicité. Cependant, il est toujours possible d'utiliser un substituant qui a le même effet : L'alcool ou l'huile de colza.



5.2) Les autres sortes de thermomètre

- **Le thermomètre électronique**

Le thermomètre électronique permet d'effectuer la mesure à l'aide d'une **sonde de température**. **Le résultat est précis**, et il est possible de mesurer la température de n'importe quel milieu. Le résultat s'affiche sur un écran, ce qui permet d'éviter les erreurs de lecture et de **gagner en rapidité**. Il existe de nombreux modèles de thermomètres électroniques, chacun ayant des fonctionnalités différentes. Il peut par exemple être possible de garder en mémoire des mesures, de déclencher une sonnerie en cas de dépassement d'un seuil de température...



- **Thermomètre auriculaire (ou tympanique)**

L'oreille est le meilleur endroit pour prendre précisément la température tout en conservant le confort du patient. Le **thermomètre auriculaire (également appelé thermomètre tympanique)** va capter les rayons infrarouges dans l'oreille (la chaleur infrarouge émise par le tympan) et afficher le résultat instantanément. Cette température reflète parfaitement la température corporelle car le tympan est irrigué par les mêmes flux sanguins que l'hypothalamus (partie du cerveau qui gère la température du corps). Le thermomètre tympanique est un moyen très rapide de mesurer la température des patients (bébé, nourrisson, enfants ou adultes).



- **Thermomètre laser (infrarouge)**

Un **thermomètre infrarouge** est un instrument de mesure de la température de *surface* d'un objet. Un tel thermomètre est parfois appelé à tort *thermomètre laser* s'il est aidé d'un laser pour viser, ou encore *thermomètre sans contact* pour souligner sa capacité à mesurer la température à distance, à la différence des thermomètres à contact classiques.



- **Bandes de thermomètre frontal (à cristaux liquides)**

Le cristal liquide est défini par un état intermédiaire situé entre les phases liquide et solide. En principe, le cristal liquide se dilate sous l'effet de la chaleur. C'est de cette manière que l'on détecte une fièvre chez un patient. Le thermomètre frontal à cristaux liquides réagit à la chaleur et révèle une couleur en fonction de la température frontale. Le temps d'action dure près de 15 secondes. La lecture de la température se fait depuis une échelle sérigraphiée sur la bandelette. Il s'agit d'un mode d'emploi simple et sans danger pour déceler une fièvre éventuelle en cas de symptôme alertant. Cependant, il faut retirer 2,5 °C en moins de la valeur affichée pour avoir la température interne. Notons qu'il est à même de mesurer jusqu'à 40 °C.



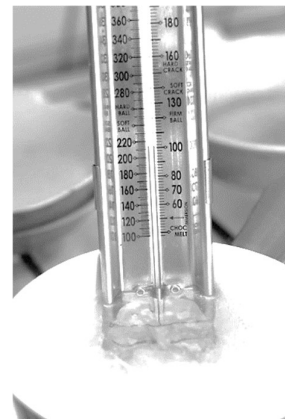
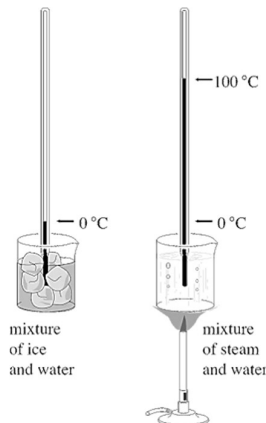
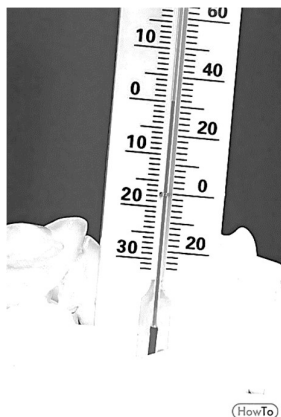
6) Vérification d'un thermomètre

- **Par mesure du point de congélation :**

On prépare un récipient contenant 0,5 litre de glace pilée et de l'eau que l'on ajoute jusqu'en dessous de la surface de la glace. Laisser ensuite reposer le bain pendant 10 minutes pour qu'il s'équilibre. Le thermomètre à contrôler est positionné au milieu du bain. La température lue correspond au **point de congélation : 0°C**.

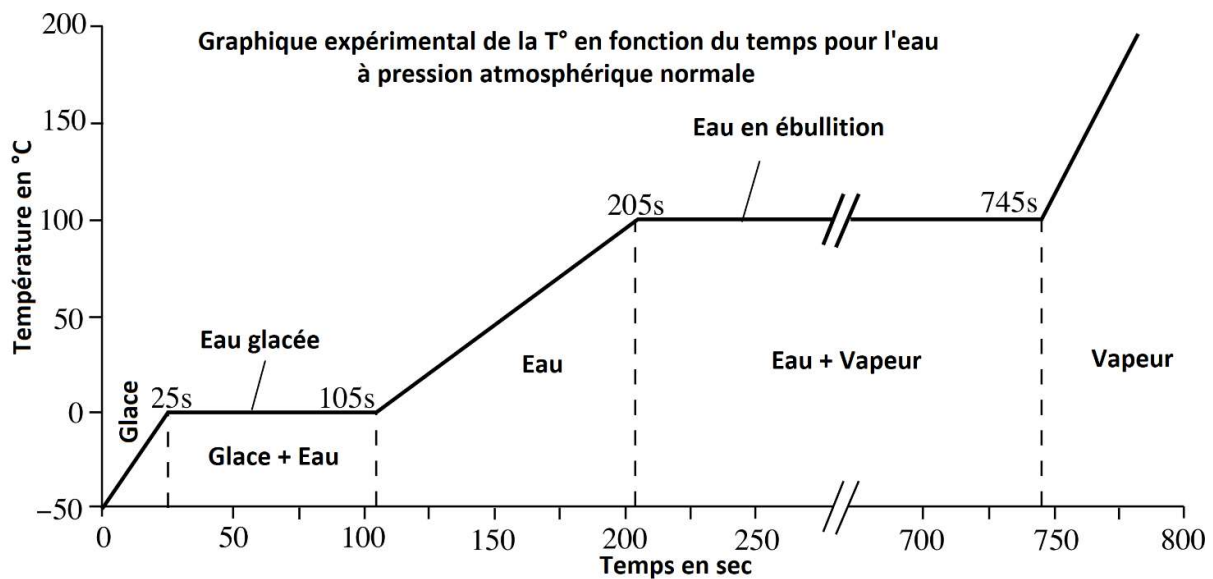
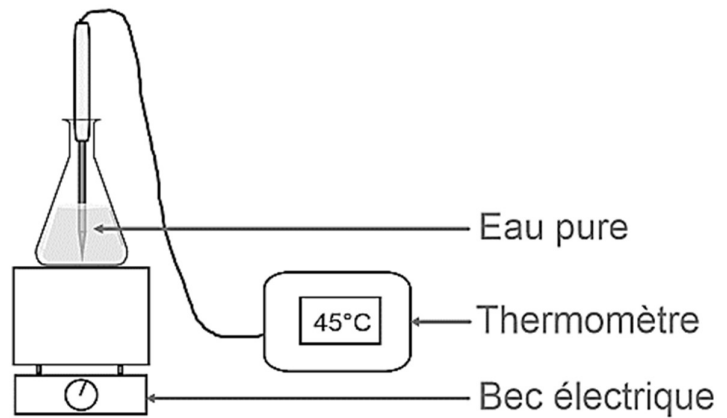
- **A l'aide de la vapeur :**

On porte quelques litres d'eau à ébullition. Mesurer la température de l'eau ne donne pas de bons résultats étant donné que la température de l'eau bouillante n'est pas uniforme. C'est pourquoi le thermomètre est placé dans l'atmosphère de vapeur juste au-dessus de la surface de l'eau. De manière idéale, on posera sur le récipient contenant l'eau un couvercle muni d'une petite ouverture au centre, au travers duquel on introduit le thermomètre. Par une pression de 1 atmosphère, la température s'élève précisément à **100°C (point d'ébullition)**.



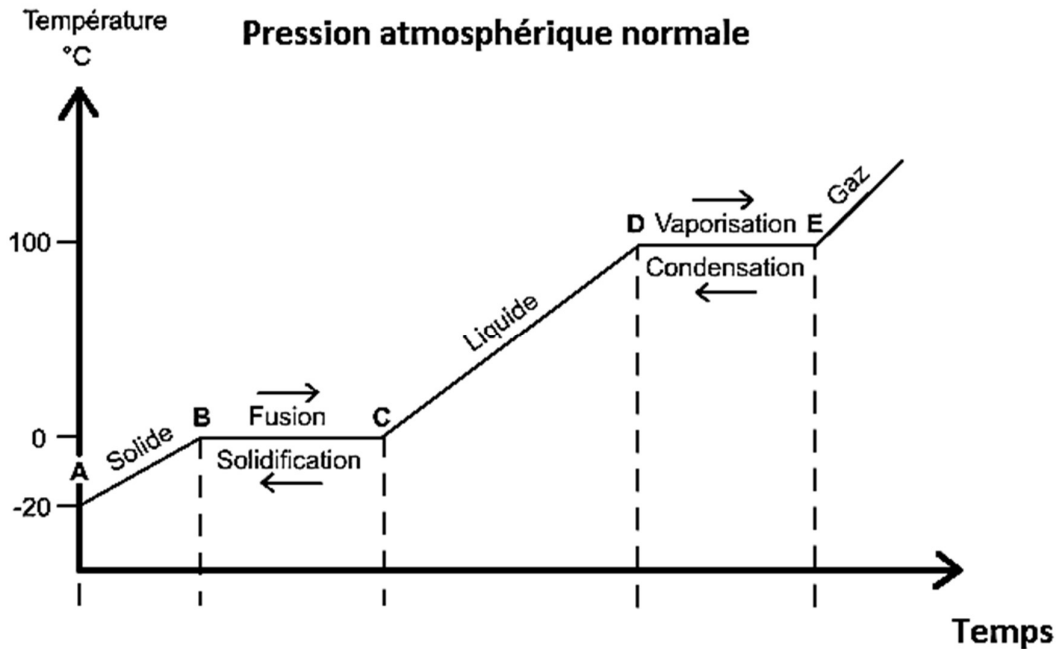
7) Evolution de la température en fonction du temps pour l'eau

Afin d'étudier la variation de la température en fonction du temps lorsqu'on chauffe de l'eau, de son état solide (glace) jusqu'à son état gazeux (vapeur), nous pouvons utiliser le dispositif ci-contre en laboratoire. En fonction que le temps s'écoule (chronomètre), il faut déterminer par simple lecture (thermomètre) la température du milieu. Il faut continuellement chauffer celui-ci sur une plaque chauffante.



Voici le graphique que nous sommes censés obtenir expérimentalement. Comme nous pouvons le remarquer, la température de la glace ($T^\circ < 0^\circ\text{C}$) s'élève lorsque le milieu est chauffé (plaque chauffante). La glace commence à fondre à 0°C et la température reste constante pendant toute la durée du changement d'état. La courbe d'évolution de la température au cours du temps présente un palier de température.

Lorsque la glace est entièrement transformée en eau liquide, la température augmente à nouveau. Durant la fusion (la fonte) de la glace, la température reste constante, égale à 0°C (température de fusion de l'eau). La fusion et la solidification de l'eau pure se produisent à la même température : 0°C . Après ce plateau de fusion, nous continuons à chauffer l'eau liquide. La température s'élève de 0 à 100°C . L'eau passe en ébullition à partir de 100°C . Pendant tout ce processus d'ébullition, la température du milieu reste constante et égale à 100°C . Le plateau de vaporisation est conservé jusqu'à ce que l'entièreté de l'eau liquide soit transformée vapeur. Notons que ces valeurs s'obtiennent à pression atmosphérique normale c'est-à-dire à 1 atm (1 atmosphère ou 760 mm de mercure).



8) Lien entre l'énergie cinétique moyenne des molécules et la température

Quand un corps est froid, les molécules sont animées de mouvements incessants. Si la température augmente, le mouvement des particules va augmenter et elles auront une plus grande énergie cinétique moyenne. L'énergie cinétique est une énergie due à la vitesse de déplacement des molécules.

$$E_{\text{cinétique}} = \frac{mv^2}{2}$$

m = masse en kg (kilogramme) et v = vitesse en m/s (mètre par seconde)

Vu que la masse des particules reste constante et que la vitesse moyenne des particules augmente avec la température, nous pouvons dire que l'énergie cinétique augmente avec la température. De la même manière, si nous abaissons la température d'un corps, nous diminuons la vitesse moyenne des particules de ce corps et par la même occasion nous diminuons l'énergie cinétique moyenne des particules.

Si deux corps ont des températures différentes, la vitesse de leurs particules est différente. Quand deux corps de température différente sont mis en contact, un équilibre s'établit entre les vitesses moyennes des particules. Les particules les plus rapides cèdent leur énergie aux molécules les plus lentes. Jusqu'à ce que toutes les molécules possèdent toutes la même vitesse moyenne et ainsi une même énergie cinétique moyenne. A ce moment, on dit que les deux corps sont en **équilibre thermique**.

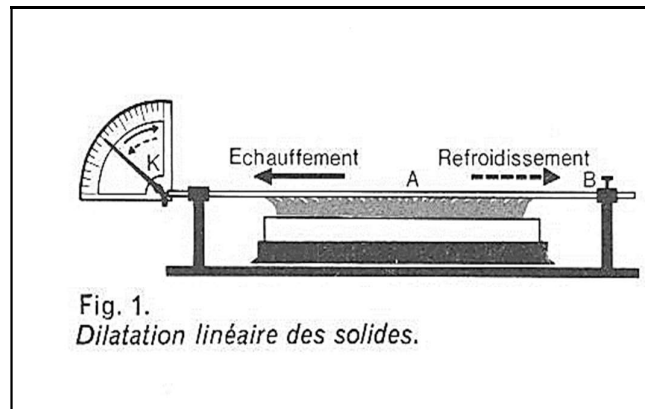
En d'autres termes, les molécules les plus chaudes cèdent leur chaleur aux molécules les plus froides jusqu'à obtenir une même température d'équilibre.

9) La dilatation des corps sous l'action de la chaleur

9.1 Expériences

9.1.1 Les solides

9.1.1.1 Dilatation linéaire



Une tige métallique A, fixée à son extrémité B par une vis de pression, est en contact par l'autre extrémité avec un petit bras d'un levier coudé dont le grand bras K constitue une aiguille (fig. 1). Chauffons fortement la tige à l'aide d'une rampe à l'alcool ; nous observons que la pointe de l'aiguille se déplace lentement le long du cadran gradué : la tige s'allonge.

Cessons de chauffer, la tige se refroidit ; nous observons que la pointe de l'aiguille se déplace en sens inverse le long du cadran : la tige se raccourcit.

Exemple :

- Les intervalles entre les rails de chemins de fer.
- Les joints de goudron entre les dalles d'une autoroute.
- Joints de dilatation d'un pont.

Equation de la dilatation linéaire :

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta T$$

Δl : variation de longueur en mètre ; α : coefficient de dilatation thermique ; l_0 : longueur initiale en mètre et ΔT : variation de la température en °C ou en K.

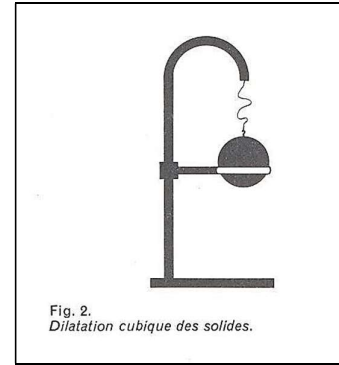
Application :

Soit un rail en acier de 30 m en hiver à -20 °C ; en été, la température est de 40 °C. Calculez la variation de longueur. Quelle est la longueur du rail en été ?

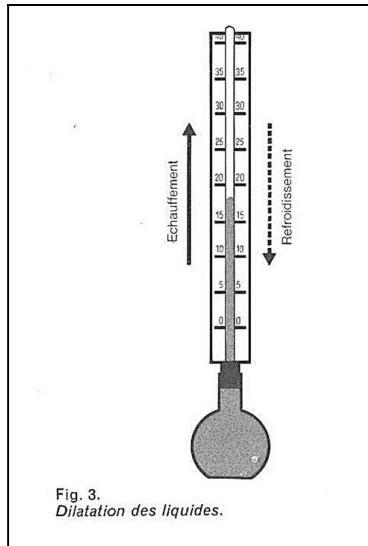
	Dilatation thermique/°C
Fer et fonte	0.000011
Aluminium	0.000238
Cuivre	0.0000165
Acier inoxydable	0.000016

9.1.1.2 Dilatation cubique

Une sphère métallique passe à frottement doux à travers un anneau de même métal (fig.2). Chauffons fortement la sphère au moyen d'un bec Bunsen ; nous constatons qu'elle ne traverse plus l'anneau : la sphère a augmenté de volume. Laissons-la refroidir ; nous remarquons qu'elle passe de nouveau à travers l'anneau : la sphère a diminué de volume.



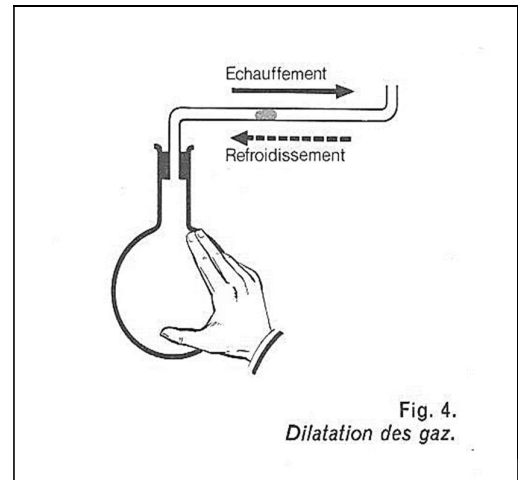
9.1.2 Les liquides



Un ballon, surmonté d'un long tube de verre, est plein d'eau colorée (fig.3). Repérons sur l'échelle le niveau de liquide dans le tube de verre. Chauffons progressivement le ballon dans un bain d'eau. Le niveau de liquide s'élève lentement dans le tube. Le liquide se dilate. Laissons le ballon refroidir progressivement. Le niveau du liquide descend lentement dans le tube. Le liquide se contracte.

9.1.3 Les gaz

Un ballon est fermé par un bouchon traversé par un tube étroit et coudé (fig.4). Isolons dans le ballon une certaine masse d'air au moyen d'une gouttelette de mercure placée dans la partie horizontale du tube. Chauffons très légèrement le ballon avec la main. L'index de mercure se déplace fortement vers l'extérieur. Le gaz se dilate. Refroidissons très faiblement le ballon. L'index de mercure se déplace vers l'intérieur. Le gaz se contracte.



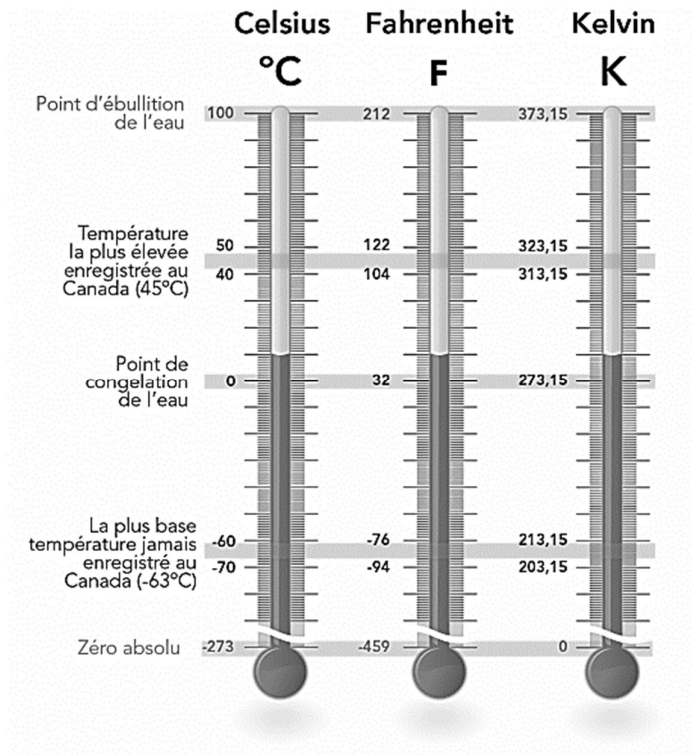
9.2 Conclusions

Les corps se dilatent ou se contractent selon que la température augmente ou diminue.

Les variations de volume, faibles pour les solides, assez accentuées pour les liquides, deviennent considérables pour les gaz. Les phénomènes de dilatations et de contractions vont servir à chiffrer la température ; l'appareil gradué dans ce but porte le nom de **thermomètre**.

10) Les échelles de température

Il existe différentes échelles de température. L'échelle de température la plus courante est le degré Celsius dans laquelle la glace (fusion) fond à 0 °C et l'eau bout à +100 °C dans les conditions normales de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit où la glace fond à +32 °F et l'eau bout à +212 °F. L'unité du Système international d'unités (SI), d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu (0 K = - 273°C), est le kelvin¹ dont la graduation est presque identique à celle des degrés centigrades.



Equations de conversion :

$$K = °C + 273$$

$$°C = \frac{°F - 32}{1,8}$$

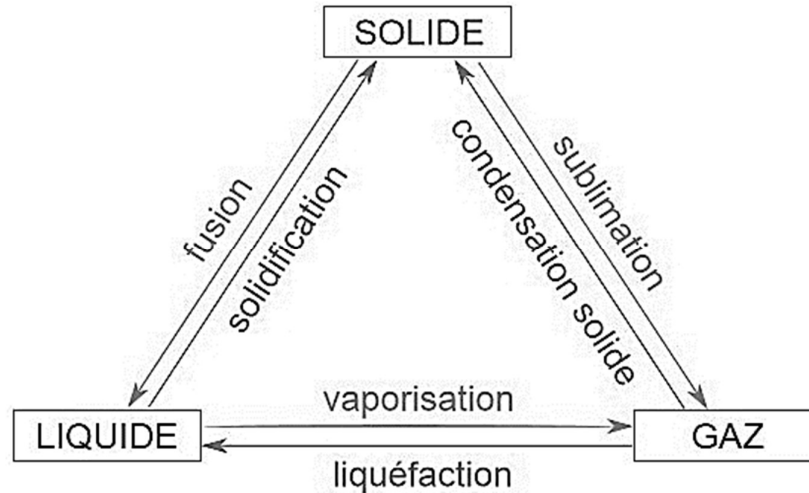
Applications :

Pour les valeurs de température suivantes, donnez leurs équivalences avec les trois **échelles principales de température** (°C ; °F et K) :

44°C	= ... K	= ... °F
... °C	= 107 K	= ... °F
... °C	= ... K	= 9°F

10) Les changements d'état

Un corps peut, en général, exister sous trois états : solide, liquide, gazeux. Lors d'un changement d'état d'un corps, la chaleur intervient comme facteur essentiel et la température comme caractéristique physique principale.



- **La fusion** : est le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide.
- **La solidification** : est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état solide.
- **La vaporisation** : est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux.
- **La liquéfaction** : est le passage d'un corps de l'état gazeux à l'état liquide.
- **La sublimation** : est le passage d'un corps de l'état solide à l'état gazeux ainsi que de l'état gazeux à l'état solide.

10.1 La vaporisation

10.1.1 Définition

C'est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux.

10.1.2 Types de vaporisation

- L'évaporation
- L'ébullition

10.1.2.1 L'évaporation

L'évaporation est une vaporisation lente d'un liquide dans une atmosphère gazeuse. Elle se produit à toute température et uniquement à la surface libre du liquide.

Exemples : évaporation de l'eau, de l'alcool, de l'éther...

Trois facteurs favorisent l'évaporation

- La température ambiante
- La présence de vent ou ventilation
- La surface libre du liquide

10.1.2.2 L'ébullition

L'ébullition est une vaporisation rapide d'un liquide dans une atmosphère gazeuse. Elle se produit à une température bien spécifique : La point d'ébullition (boiling point). La transformation d'état se réalise sur l'entièreté du volume de liquide.

Remarques :

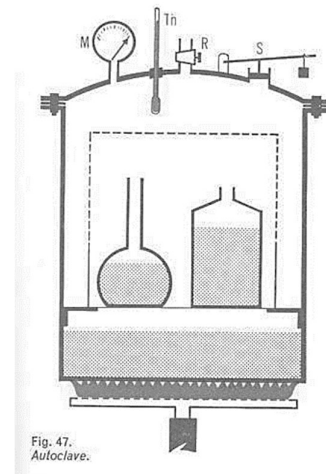
- Sous une pression constante, la température d'ébullition d'un corps reste constante pendant toute la durée de l'ébullition.
- Pour une pression déterminée, tout corps pur a une température d'ébullition déterminée qui est caractéristique du corps.
- **Une augmentation de pression élève la température d'ébullition d'un liquide et une diminution de pression abaisse la température d'ébullition d'un liquide.**

10.1.2.3 Applications

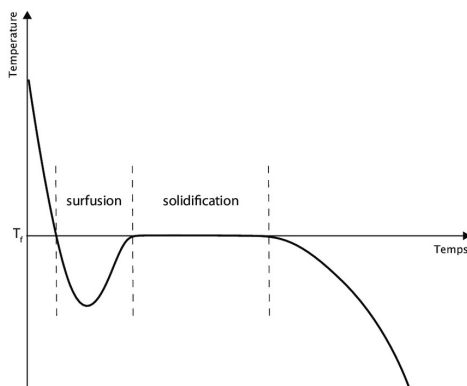
Autoclave ou autocuiseur

Si nous chauffons de l'eau en vase clos (marmite à pression), la pression exercée sur le liquide est égale à la somme de deux pressions :

La pression p de l'air enfermée dans le vase et la pression de vapeur F de l'eau à la température où elle se trouve. Dans ces conditions, la pression gazeuse vaut alors $(p + F)$ supportée par le liquide est toujours supérieure à la tension maximale de vapeur F du liquide. **Il n'y aura donc jamais d'ébullition.**



10.2 La surfusion



La surfusion est l'état d'une matière qui demeure en phase liquide alors que sa température est plus basse que son point de solidification. C'est un état dit instable, c'est-à-dire qu'une petite perturbation peut suffire pour déclencher brusquement le changement vers la phase solide : un choc, une vibration...

11) La propagation de la chaleur

Lorsque deux corps à des températures différentes sont mis en présence, il se produit entre eux des échanges thermiques tels qu'il s'établit un équilibre : le corps froid se réchauffe et le corps chaud se refroidit. L'équilibre se produit par :

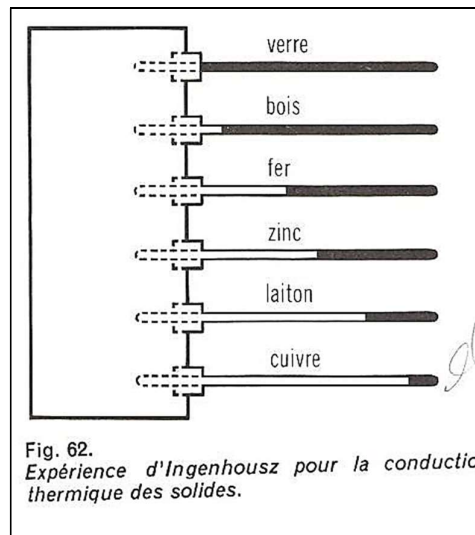
- **Conduction**
- **Convection**
- **Rayonnement**

11.1 Conduction

11.1.1 Définition

La conduction est la propagation de la chaleur par la matière sans déplacement de cette matière.

11.1.2 Conduction dans les solides



Des tiges de même longueur, de même section mais de substances différentes, pénètrent par leurs extrémités dans une cuve métallique (fig.62). Ces tiges sont recouvertes d'une couche uniforme de cire. Versons l'eau bouillante dans la cuve. Nous observons que le long des tiges, toutes placées dans les mêmes conditions, la cire fond sur des longueurs variables. Ces longueurs nous renseignent sur la conductivité relative des diverses substances expérimentées.

La conduction de la chaleur dans les solides dépend de la nature de ces solides.

Nous pouvons donc classer les solides en bon conducteur (les métaux) et en mauvais conducteur ou isolant thermique (verre, bois...).

11.1.3 Conduction dans les liquides

Les liquides, sauf le mercure, sont mauvais conducteurs de chaleurs.

11.1.4 Conduction dans les gaz

Les gaz, sauf l'hydrogène, sont mauvais conducteurs de chaleur.

11.1.5 Applications

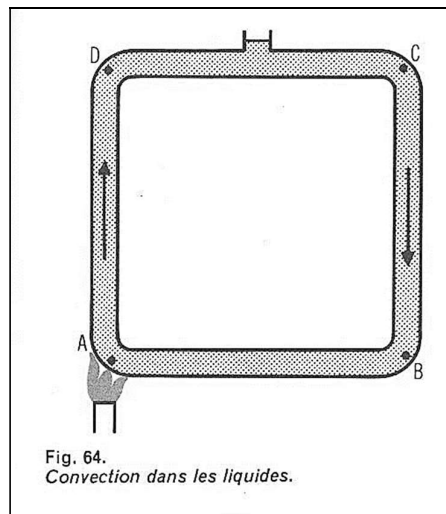
La bonne conductibilité des métaux est mise à profit dans la construction de chaudières et des casseroles.

Les mauvais conducteurs sont utilisés comme isolants.

11.2 Convection

11.2.1 Définition

La convection est la propagation de la chaleur par la matière mais avec déplacement de cette matière.



11.2.2 Applications

- Tirage d'une cheminée
- Les vents
- Chauffage central à eau chaude.

11.3 Rayonnement

11.3.1 Définition

Le rayonnement est la propagation de la chaleur sans l'intermédiaire de la matière.

11.3.2 Propriétés

11.3.2.1 Vitesse

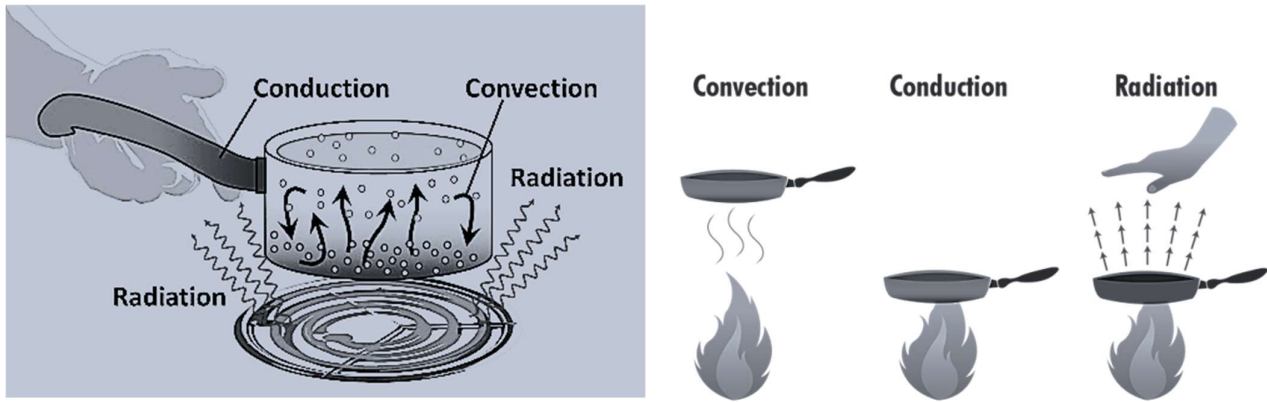
La vitesse est la même que la lumière $300\,000\text{ Km/s}$ alors que pour la conduction, la vitesse est de l'ordre du cm/s et pour la convection de l'ordre du m/s .

11.3.2.2 Intensité

L'intensité est inversement proportionnelle au carré de la distance qui nous sépare de la source de chaleur.

11.3.2.3 Trajectoire

En ligne droite dans un milieu homogène.



12) Notions de calorimétrie

12.1 Différence entre température et chaleur

L'observation courante nous montre que pour élever la température d'un corps, il faut l'exposer au soleil, le placer sur un foyer... : la cause qui provoque l'élévation de température est appelée chaleur.

La calorimétrie est le calcul des quantités de chaleur.

12.2 Principes de la calorimétrie

- Lorsqu'il y a transfert de chaleur entre deux corps à des températures différents, la quantité de chaleur cédée par le corps chaud est entièrement absorbée par le corps froid.**
- Si un corps absorbe de la chaleur lors d'un phénomène physique (fusion, élévation de température...), il la restitue dans son intégralité lors du phénomène inverse.

12.3 Unités

La calorie (« cal ») est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau d'un degré Celsius.

L'unité internationale est le joule.

$$1 \text{ J} = 0,2388 \text{ cal}$$

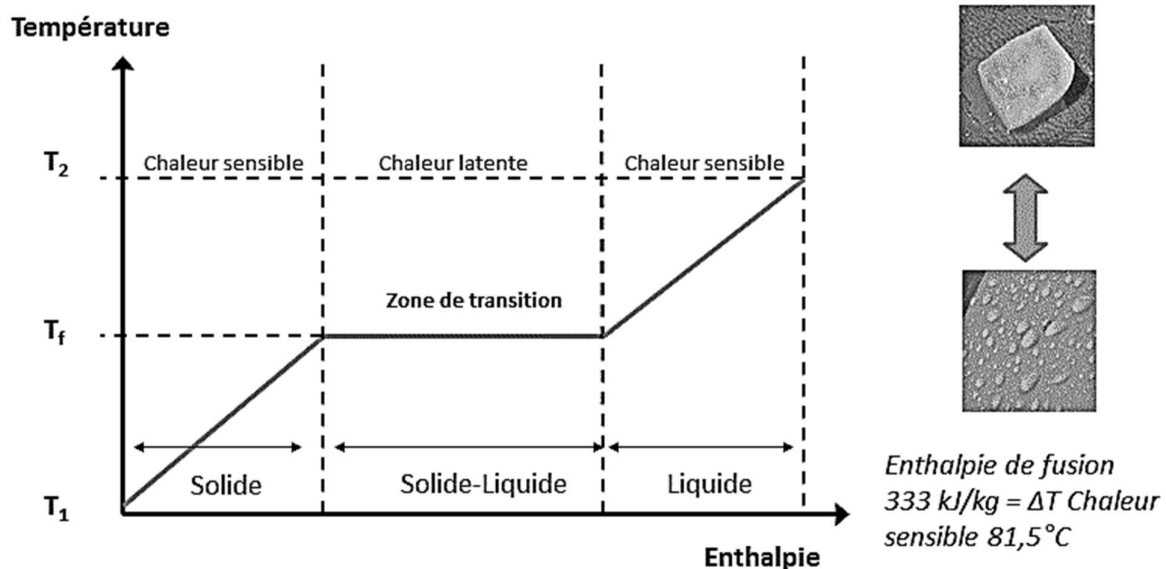
$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

12.5 Chaleur spécifique (C_p) – Lorsqu'il n'y a pas de transformation d'état !

La chaleur spécifique d'un corps est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme de ce corps d'un degré Celsius.

12.6 Chaleur spécifique (L) – Lorsqu'il y a une transformation d'état !

La chaleur latente est la quantité d'énergie échangée entre un objet et le milieu externe lors d'un changement d'état de l'objet c'est-à-dire lors d'une fusion, d'une solidification ou d'une ébullition.



La chaleur de fusion de la glace vaut **333 KJ/Kg** (c'est-à-dire qu'il faut une énergie de 333 KJ pour faire fondre 1 Kg de glace à 0°C afin d'obtenir 1 Kg d'eau à 0°C).

La chaleur de vaporisation de l'eau vaut **2257 KJ/Kg** (c'est-à-dire qu'il faut une énergie de 2257 KJ pour faire passer 1 Kg d'eau à 100°C à 1 Kg de vapeur à 100°C).

Applications en calorimétrie :

Matériau / Substance	Chaleur spécifique Cp en KJ/Kg.K
Aluminium	0,898
Acier	0,447
Plomb	0,130
Fer	0,443
Eau liquide	4,169
Glace (entre – 10°C et 0°C)	2,089
Vapeur (entre 100°C et 200°C)	1,963

Transformation	Chaleur latente L en KJ/Kg
Fusion de la glace	333
Vaporisation de l'eau	2257

- 1) Quelle quantité de chaleur faut-il pour faire fondre 5 Kg de glace à 0°C ?
- 2) Quelle quantité de chaleur faut-il pour faire fondre un bloc de glace de 10 Kg et de température valant – 10°C pour obtenir de l'eau à 25°C ?
- 3) Si 20 Kg d'eau à 95°C sont mélangés à 5 Kg de glace à 0°C, quelle sera la température finale du mélange ?
- 4) Un tube en cuivre ayant une masse de 0,5 Kg est à 20°C. Après y avoir versé 0,6 Kg d'eau à 98°C, on isole le tube pour éviter les pertes de chaleur. Quelle est la température finale du tube ?
- 5) On place 0,1 Kg de carbone à 15°C dans un calorimètre. Le récipient contenant ce carbone est en aluminium et pèse 0,02 Kg. Un apport de 0,892 KJ d'énergie thermique est nécessaire pour faire passer l'ensemble à 28°C. Déterminez la chaleur spécifique du carbone si celle de l'aluminium est de 0,9 KJ/Kg.K dans ce domaine de température.

Présentez un rapport à votre professeur !