
Partie III - Thermodynamique

Le mot **thermodynamique** vient du grec et signifie « mouvement de la chaleur ». La thermodynamique est l'étude de l'énergie thermique et de sa transformation en énergie mécanique. Elle constitue la théorie de base des moteurs thermiques.



Table des matières

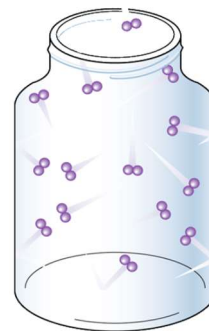
1	Température.....	2
1.1	Définition.....	2
1.2	Mesure de la température	2
1.3	Échelles de température	3
2	Energie thermique et chaleur.....	4
2.1	Définitions	4
2.2	Unités de la chaleur	5
2.3	Équilibre thermique.....	5
3	Capacité thermique massique.....	7
3.1	Étude expérimentale	7
3.2	Définition.....	7
3.3	Phénomènes naturels.....	8
4	Dilatation thermique	10
4.1	Dilatation et contraction	10
4.2	Coefficient de dilatation thermique	10
4.2.1	Solides de forme allongée	10
4.2.2	Liquides.....	11
4.2.3	Phénomène naturel : Les anomalies de l'eau	11
5	Modes de transferts thermiques.....	16
5.1	Conduction	16
5.2	Convection.....	17
5.3	Rayonnement	19
5.3.1	Emission.....	19
5.3.2	Absorption.....	21
5.3.3	Réflexion.....	21
5.3.4	Phénomène naturel : L'effet de serre	22
5.4	Isolation thermique	23

1 Température

1.1 Définition

Toute la matière (solides, liquides et gaz) est composée d'atomes et de molécules qui s'agitent en permanente. L'énergie cinétique moyenne de ces corpuscules microscopiques provoque un effet mesurable : la température du corps. Une augmentation de la température d'un corps équivaut à une augmentation de l'agitation microscopique de ses corpuscules.

La **température d'un corps** est une mesure pour l'énergie cinétique moyenne de ses corpuscules. Plus cette énergie cinétique moyenne est grande, plus la température du corps est élevée.



La température n'est pas une mesure pour l'énergie cinétique *totale* de tous les corpuscules dans une substance. Par exemple, l'énergie cinétique moléculaire totale dans deux litres d'eau en ébullition est deux fois plus grande que celle dans un seul litre d'eau en ébullition. Cependant, leurs températures sont les mêmes parce que l'énergie cinétique moyenne de leurs molécules est identique.

Similairement, il y a plus d'énergie cinétique moléculaire dans un seau rempli d'eau que dans une tasse de café de température plus élevée, parce que le nombre de molécules dans le seau est beaucoup plus grand. En revanche, le café est plus chaud parce que l'énergie cinétique moyenne de ses molécules est plus grande.

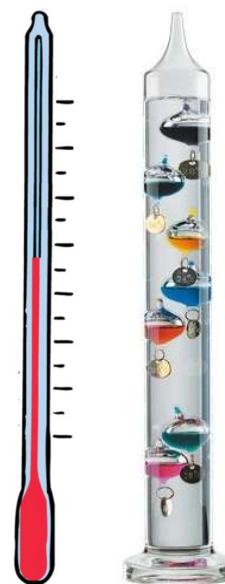


1.2 Mesure de la température

Notre peau n'est pas un indicateur précis de température. Notre sens du toucher nous permet de distinguer approximativement des températures entre 15°C et 45°C. C'est autour de la température corporelle (37°C) que notre peau est la plus sensible. En effet, on peut sentir avec la main si une personne a de la fièvre. Des températures hautes et basses ne sont ressenties que comme « chaud » ou « froid ». Lorsqu'on touche des corps solides dont les températures sont au-delà de 60°C ou en dessous de -30°C, la peau est endommagée et l'on ressent de la douleur.

Pour mesurer des températures de manière précise on utilise un **thermomètre**. Toute grandeur physique qui varie avec la température en peut servir de base :

- Dans un **thermomètre à dilatation**, le volume d'un liquide (du mercure ou de l'alcool coloré) dans le réservoir varie avec la température. Le liquide se dilate lorsque sa température augmente et se contracte lorsque sa température diminue. Une fois calibrée, l'échelle le long du tube de verre permet de lire la température correspondante.¹
- Le **thermomètre à résistance** utilise l'influence de la température sur la résistance électrique d'un fil métallique (ou d'un semi-conducteur).
- Le **thermomètre de Galilée** utilise l'influence de la température sur la masse volumique de substances.
- Le **thermomètre infrarouge** utilise l'influence de la température d'un corps sur le rayonnement thermique qu'il émet. (voir page 19)



¹ Le premier thermomètre à dilatation fut inventé par Galilée en 1602. Le liquide utilisé était le mercure.

1.3 Échelles de température

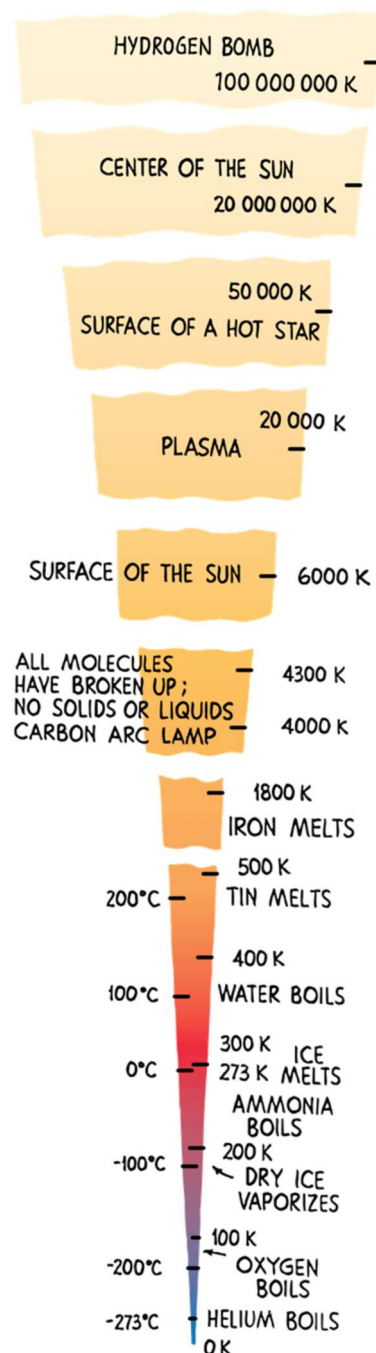
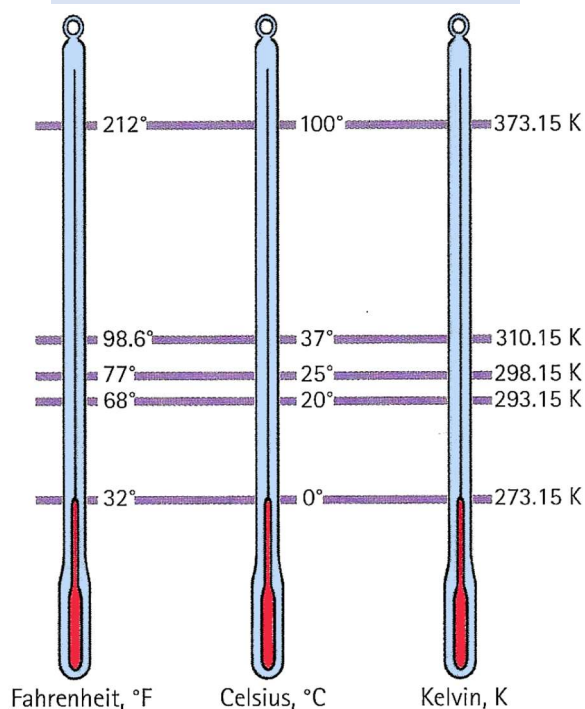
Échelle	Celsius ²	Fahrenheit ³	Kelvin ⁴
Symbole usuel	θ	t_F	T
Unité	°C	°F	K
Températures de solidification et d'ébullition de l'eau (à pression atmosphérique normale)	0 °C et 100 °C	32 °F et 212 °F	273 K et 373 K

L'échelle Kelvin est l'échelle de température absolue, utilisée dans le domaine scientifique. Alors qu'il ne semble pas y avoir de limite supérieure de la température, il existe bien une limite inférieure. Lorsque l'agitation thermique des corpuscules d'un corps diminue, sa température baisse. Dans l'échelle Kelvin, le nombre 0 est associé à la température la plus basse qui puisse exister – le **zéro absolu**. Au zéro absolu, les corpuscules d'une substance sont tous au repos. Il n'est alors plus possible de réduire davantage la température du corps. La température minimale de 0 K (zéro kelvin) correspond à - 273,15 °C. Contrairement à l'échelle Celsius, l'échelle Kelvin ne contient pas de nombres négatifs. Les intervalles entre les unités sur l'échelle Kelvin et l'échelle Celsius sont toutefois identiques. Ainsi, la glace fond à 0°C, soit 273 K, et l'eau bout à 100°C, soit 373 K.

Conversion des unités de température :

$$t_F = 1,8 \cdot \theta + 32 \Leftrightarrow \theta = \frac{t_F - 32}{1,8}$$

$$T = \theta + 273 \Leftrightarrow \theta = T - 273$$



² L'échelle Celsius, nommée en l'honneur de Anders Celsius (18^e siècle), est l'échelle de température la plus courante.

³ L'échelle Fahrenheit, nommée en l'honneur de Gabriel Daniel Fahrenheit (18^e siècle), est utilisée aux États-Unis.

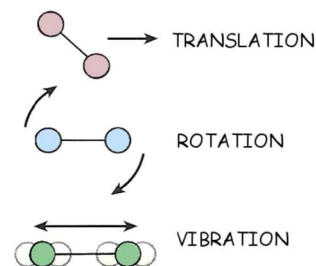
⁴ L'échelle Kelvin, nommée en l'honneur de William Thomson, appelé Lord Kelvin (19^e siècle), est utilisée en sciences.

2 Énergie thermique et chaleur

2.1 Définitions

L'énergie cinétique transmise par frottement aux corpuscules d'un système est souvent appelée **énergie thermique**, pour souligner son lien avec la température. L'énergie cinétique des corpuscules comprend

- l'énergie cinétique de translation
- l'énergie cinétique de rotation
- l'énergie cinétique de vibration



L'**énergie thermique** d'un système est l'énergie cinétique totale due à l'agitation désordonnée de ses corpuscules.

Outre cette énergie thermique, les corpuscules possèdent de l'énergie potentielle en raison des interactions entre les corpuscules (électrique, nucléaire, ...)

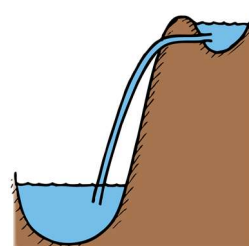
Au 18^e siècle, on pensait que la chaleur était un fluide invisible, appelé fluide calorique, qu'on imaginait couler du corps chaud vers le corps froid. Dans les années 1840, James Joule a découvert que la chaleur est en réalité un transfert d'énergie thermique.

La **chaleur Q** est l'énergie thermique transférée entre deux corps en contact thermique, à cause de leur différence de température. La chaleur se propage spontanément du corps plus chaud vers le corps plus froid.

- Lorsqu'on touche une tasse chaude, de l'énergie thermique est transférée de la tasse à la main parce que la tasse est plus chaude que la main.
- Lorsqu'on touche de la glace, de l'énergie thermique est transférée de la main à la glace parce que la glace est plus froide que la main.

Un corps ne contient pas de la chaleur. Si un corps cède de la chaleur, son énergie thermique diminue. En revanche, si un corps reçoit de la chaleur, son énergie thermique augmente⁵.

Tout comme l'eau ne coule pas spontanément vers le haut, la chaleur ne se propage jamais de manière spontanée vers une substance dont la température est plus élevée.



Remarque :

Il faut bien faire la distinction entre la température d'un corps et son énergie thermique. La température des étincelles d'un cerise magique est très grande, aux alentours de 1500°C. Cette température correspond à une grande énergie cinétique moyenne des corpuscules. Or, comme il y a peu de corpuscules dans une étincelle, son énergie thermique reste assez faible. Voilà pourquoi les étincelles ne provoquent pas de graves brûlures lorsque l'énergie thermique de l'étincelle est absorbée par notre peau.



⁵ Le travail est également un mode de transfert d'énergie. Un corps ne contient pas de travail ; il peut seulement fournir ou recevoir du travail.

2.2 Unités de la chaleur

Puisque la chaleur est de l'énergie thermique transférée, elle est exprimée en **joules (J)**. Une autre unité courante de la chaleur (et de l'énergie en général) est la **calorie**.

Une **calorie** est la chaleur qu'il faut fournir à 1 g d'eau pour augmenter sa température de 1°C.

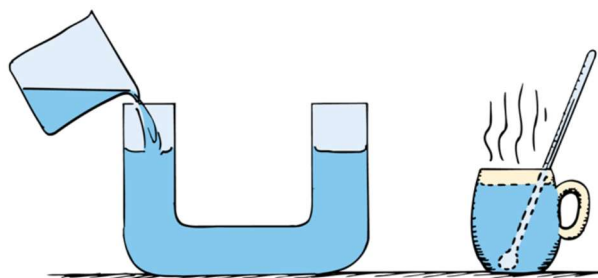
$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Les données énergétiques des aliments et des carburants sont déterminées en mesurant l'énergie libérée lorsqu'ils sont brûlés. Lors de la digestion, notre corps « brûle » les aliments, ce qui libère l'énergie chimique qu'ils contiennent. L'unité de chaleur indiquée sur les paquets des aliments est en général la **kilocalorie** (1 kcal = 1000 cal = 4186 J). C'est la chaleur nécessaire pour chauffer la température de 1 kg d'eau de 1°C. Par exemple, une cacahuète qui « contient » 10 kcal libère 10000 cal (ou 41860 J) d'énergie lorsqu'elle est digérée.



2.3 Équilibre thermique

Lorsque l'eau dans des vases communicants a atteint le même niveau, il n'y a plus de flux d'eau entre eux. Similairement, lorsque des corps en contact thermique ont atteint la même température, il n'y a plus de propagation de chaleur entre eux. On dit qu'ils sont en équilibre thermique.



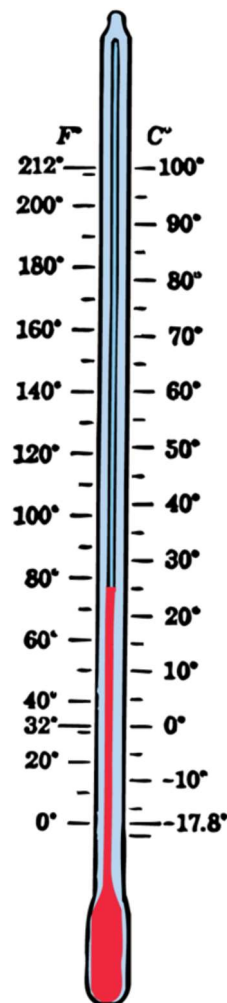
Des corps en contact sont en **équilibre thermique** lorsqu'ils ont la même température.

Pour lire un thermomètre, il faut attendre qu'il soit en équilibre thermique avec la substance dont il mesure la température. La température du thermomètre est alors identique à celle de la substance. Un thermomètre doit être mince pour qu'il ne change pas (de manière significative) la température que l'on veut mesurer.

■ As-tu compris ?

- 1) Dans une salle se trouvent une table, des chaises et des personnes. Lesquels de ces corps ont une température inférieure /supérieure / égale à la température de l'air ?
- 2) Pourquoi ne peut-on pas déterminer si on est fiévreux en touchant son propre front ?
- 3) Pourquoi la pression des pneus d'une voiture augmente-t-elle lors d'un long voyage ?
- 4) Quelles sont les températures de solidification et d'ébullition de l'eau dans
 - a. l'échelle Celsius ?
 - b. l'échelle Kelvin ?
- 5) Qu'est-ce qui représente la plus grande variation de température ?
 - ☐ Une augmentation d'un degré Celsius.
 - ☐ Une augmentation d'un degré Fahrenheit.
 - ☐ Identique pour les deux.

- 6) Qu'est-ce qui représente la plus grande variation de température ?
- ☐ Une augmentation d'un degré Celsius.
 - ☐ Une augmentation d'un kelvin.
 - ☐ Identique pour les deux.
- 7) Qui possède plus d'énergie cinétique en moyenne ? Justifier
- ☐ Une molécule H_2O dans un gramme d'eau glacée.
 - ☐ Une molécule H_2O dans un gramme de vapeur d'eau.
- 8) Convertir les unités de température en utilisant les formules :
- $30^{\circ}C = \dots\dots\dots^{\circ}F$; $451^{\circ}F = \dots\dots\dots^{\circ}C$; $0^{\circ}C = \dots\dots\dots^{\circ}F$
 $300\text{ K} = \dots\dots\dots^{\circ}C$; $90^{\circ}F = \dots\dots\dots\text{ K}$; $500,3\text{ K} = \dots\dots\dots^{\circ}C$
- 9) Vrai ou faux ? Justifier.
« Dans un verre d'eau, toutes les molécules d'eau ont la même vitesse. »
- 10) Une amie affirme que les molécules dans un mélange de gaz en équilibre thermique ont toutes la même énergie cinétique moyenne. Es-tu d'accord ? Justifier.
- 11) Un autre ami affirme que les molécules de dihydrogène et d'azote dans un gaz en équilibre thermique ont la même vitesse moyenne.
Es-tu d'accord ? Justifier.
- 12) Les atomes de quel isotope se déplacent plus rapidement en moyenne dans un mélange gazeux ? Justifier.
A. U-238 B. U-235
- 13) Lorsque tu touches une surface froide,
- ☐ le froid se propage de la surface vers ta main.
 - ☐ la chaleur se propage de ta main vers la surface froide.
- 14) Quelle unité d'énergie est la plus petite ?
A. le joule B. la cal C. la kcal
- 15) Une bille très rapide heurte un amas de billes lentes.
- a. La bille rapide a-t-elle tendance à gagner ou perdre de la vitesse lors des chocs ?
 - b. Qui gagne en énergie cinétique lors des chocs - la bille rapide ou les billes lentes ?
 - c. Quel est le lien entre ces questions et la propagation de la chaleur ?
- 16) Lorsqu'on lance une pierre chaude dans une flaque d'eau, les températures de la pierre et de l'eau vont varier jusqu'à ce que le système soit en équilibre thermique. Est-ce que ceci reste valable si on lance la pierre chaude dans l'océan Atlantique ? Expliquer.
- 17) Deux chocolats chauds, l'un à $50^{\circ}C$ et l'autre à $60^{\circ}C$, sont mélangés dans un bol. Que peut-on dire de la température du mélange ? Justifier.
- 18) Vrai ou faux ? Justifier.
La température se propage du corps chaud vers le corps froid.
- 19) Pourquoi peut-on dire qu'un thermomètre mesure sa propre température ?



3 Capacité thermique massique

Certaines substances gardent mieux leur température d'autres. Cuite, une tomate est souvent encore trop chaude pour manger, alors que la purée ne l'est plus. Une feuille d'aluminium peut être retirée d'un plat qui sort du four, mais on se brûle les doigts en touchant le plat. Inversement, un objet métallique chauffe plus vite au soleil qu'un morceau de bois.

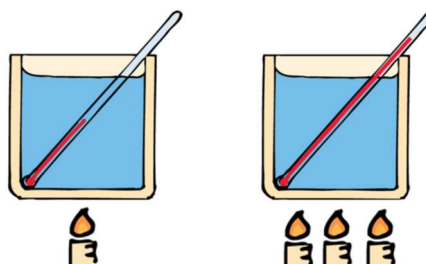


La **calorimétrie** est l'étude de la relation entre la quantité de chaleur reçue ou cédée par un corps et sa variation de température.

3.1 Étude expérimentale

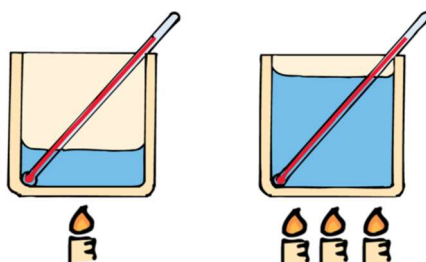
- a) La variation de température d'une substance donnée (p.ex. 1 kg d'eau) est proportionnelle à la quantité de chaleur reçue ou cédée :

$$\Delta T \sim Q \quad (m = \text{const})$$



- b) Pour une variation de température donnée (p.ex. 10 °C), la quantité de chaleur qu'une substance doit recevoir ou céder est proportionnelle à sa masse :

$$Q \sim m \quad (\Delta T = \text{const})$$



En résumé : $Q \sim m \cdot \Delta T$ et donc $Q = \text{constante} \cdot m \cdot \Delta T$

La constante de proportionnalité, notée c , est appelée capacité thermique massique de la substance. Elle dépend de la composition chimique de la substance et de son état d'agrégation.

3.2 Définition

La **capacité thermique massique** c d'une substance indique la quantité de chaleur reçue ou cédée par 1 kg de cette substance lors d'une variation de sa température de 1 K (ou 1°C) :

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

L'unité SI de la capacité thermique massique est le $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.⁶

En mécanique, l'inertie d'un corps est sa tendance à s'opposer à un changement de son état de mouvement. En thermodynamique, la capacité thermique massique d'une substance est son inertie thermique, c'est-à-dire sa tendance à s'opposer à un changement de température.

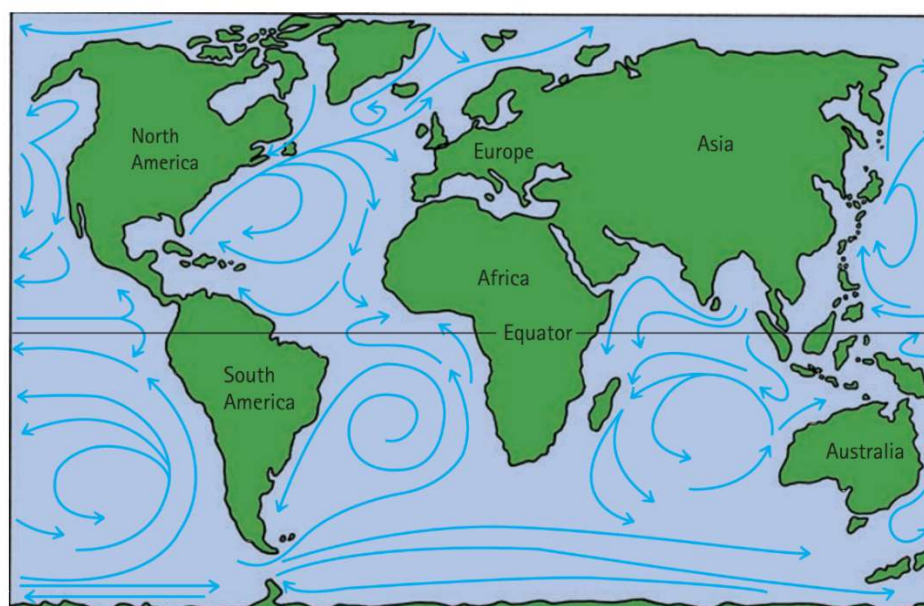
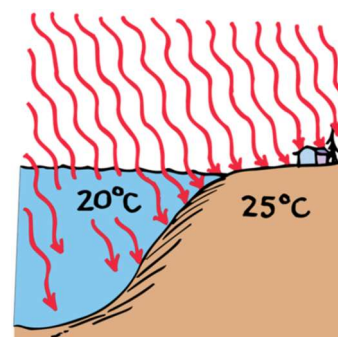
L'eau absorbe plus de chaleur par unité de masse que le fer pour une même variation de température. À cause de sa très grande capacité thermique massique ($4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$), l'eau est utilisée dans les systèmes de refroidissement des voitures et des machines.

⁶ Puisqu'une variation de température de 1 K est identique à une variation de 1°C, on peut également utiliser l'unité $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Substance	$c \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \text{ à } 20^\circ\text{C}$	Substance	$c \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \text{ à } 20^\circ\text{C}$
Or	130	Aluminium	890
Plomb	130	Air	1010
Argent	240	Polystyrène	1500
Cuivre	380	Huile d'olive	1970
Fer	450	Ethanol	2460
Diamant	520	Lait	3900
Sable	840	Eau	4186
Verre	800	Dihydrogène	14320

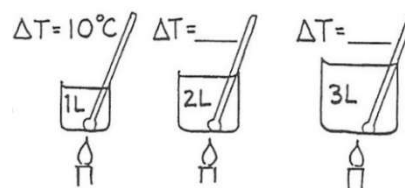
3.3 Phénomènes naturels

- Il faut considérablement plus d'énergie solaire pour chauffer l'eau de mer que le sable sur la plage. En effet, due à la transparence de l'eau, l'énergie solaire reçue est diluée sur une couche d'eau de plusieurs mètres, alors qu'elle est concentrée en une fine couche de sable. La masse d'eau chauffée est donc beaucoup plus grande que la masse de sable. En outre, l'eau a une capacité thermique massique plus grande que le sable. Voilà pourquoi la température du sable augmente rapidement lors d'une journée ensoleillée en été, alors que l'eau garde une température quasiment constante.
- La grande capacité thermique massique de l'eau a une forte influence sur le climat. Situés à une latitude similaire, l'Europe et le Canada reçoivent à peu près la même quantité d'énergie solaire par kilomètre-carré. Or, la température moyenne au Canada est nettement plus basse que celle en Europe. Le Gulf Stream apporte de l'eau chaude en direction nord-est depuis les Caraïbes. Grâce à sa grande capacité thermique massique, l'eau conserve une grande partie de son énergie thermique avant de se refroidir aux côtes atlantiques de l'Europe. L'énergie thermique transférée de l'eau à l'air est transportée par les vents d'ouest dominants vers le continent européen.



■ As-tu compris ?

- 20) On fournit de la chaleur à 1 L d'eau et sa température augmente de 10°C . On fournit la même quantité de chaleur à 2 L, puis à 3 L d'eau. Indiquer les températures finales sur la figure.



- 21) Une même quantité de chaleur est fournie à un kilogramme d'eau et un kilogramme de fer. Lequel des deux va montrer la plus grande variation de température ? Justifier.
- 22) Si l'eau avait une capacité thermique massique plus petite, les lacs gèleraient-ils plus vite ou moins vite ? Expliquer.
- 23) Si la capacité thermique massique de l'eau était plus petite, pourrait-on profiter plus ou moins longtemps d'un bain chaud ?
- 24) Selon le principe de la conservation de l'énergie, si l'eau de l'océan refroidit, quelque chose d'autre devient plus chaud. De quoi s'agit-il ?
- 25) Pourquoi la température sur les îles entourées par de grandes quantités d'eau (p.ex. Hawaï) est-elle plus ou moins constante tout au long de l'année ?
- 26) Si les vents dominants à la latitude de San Francisco et de New York venaient de l'est au lieu de l'ouest, pourquoi les palmiers se trouveraient-ils à New York et les sapins de Noël à San Francisco ?
- 27) Une poêle d'une masse de 1 kg remplie d'une masse de 1 kg d'eau est sortie du réfrigérateur et posée sur une table pendant quelques heures. Qui va absorber la plus grande quantité de chaleur - la poêle ou l'eau ?
- 28) Un clou et une poêle en fer sont retirés d'un même four chaud et sont immédiatement plongés dans des récipients contenant un volume identique d'eau (à la même température). Lequel des deux objets va augmenter davantage la température de l'eau ? Justifier.
- 29) Pourquoi un melon reste-t-il frais longtemps lorsqu'il est sorti d'une glacière en été ?
- 30) Pour garder les pieds chauds, on peut glisser un objet chaud sous la couverture du lit. Qu'est-ce qui procure plus de chaleur ?
- ☐ une brique en fer de 10 kg
- ☐ une bouteille de 10 kg d'eau chaude à la même température ?
- 31) Dans quel cas l'affirmation suivante est-elle correcte ?
- « Si un corps chaud est en contact avec un corps froid, l'augmentation de la température du corps froid est égale à la diminution de la température du corps chaud. »
- 32) Une masse de 1 kg de fer incandescent est plongée dans 1 L d'eau froide. Vrai ou faux ? Justifier. [Ne pas tenir compte de l'énergie thermique transférée au récipient et à l'air.]
- L'augmentation de la température de l'eau est égale à la diminution de la température du fer.
 - La quantité de chaleur reçue par l'eau est égale à la quantité de chaleur perdue par le fer.
 - Le fer et l'eau vont avoir la même température finale.
 - La température finale du fer et de l'eau est comprise entre les températures initiales des deux.
- 33) Un seau contient 1 L d'eau à 20°C .
- Quelle va être la température finale du mélange si on ajoute 1 L d'eau à 40°C ?
 - Si on ajoute 2 L d'eau à 40°C , la température du mélange sera-t-elle plus grande ou plus petite que 30°C ?



4 Dilatation thermique

4.1 Dilatation et contraction

Lorsque la température d'une substance augmente, l'augmentation de l'agitation thermique de ses corpuscules tend à les écarter davantage. Hormis quelques rares exceptions, les substances se dilatent lorsqu'elles sont chauffées et se contractent lorsqu'elles sont refroidies. En général :

Les gaz se dilatent et se contractent beaucoup plus que les liquides.

Les liquides se dilatent et se contractent plus que les solides.

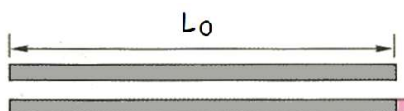
Par exemple, le liquide dans un thermomètre à dilatation se dilate davantage que le verre du tube et du réservoir. Voilà pourquoi le liquide monte dans le tube lorsque le thermomètre est chauffé.

4.2 Coefficient de dilatation thermique

4.2.1 Solides de forme allongée

La dilatation de **solides** de forme allongée se manifeste principalement par une variation de leur longueur. Lorsque la température d'un solide augmente, son allongement ΔL est proportionnel à sa variation de température ΔT et proportionnelle à sa longueur initiale L_0 . La constante de proportionnalité, notée α , est appelée **coefficient de dilatation linéaire**.

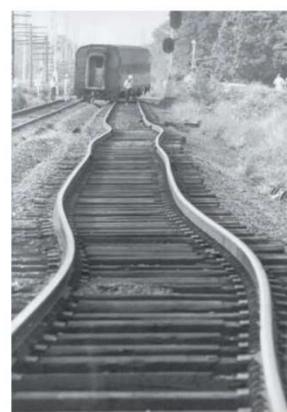
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$



L'unité du coefficient de dilatation linéaire est le K^{-1} . Une unité plus pratique est le $\frac{mm}{m \cdot K}$ (ou $\frac{mm}{m \cdot ^\circ C}$).

Pour le cuivre, $\alpha = 0,017 \frac{mm}{m \cdot K}$. Une barre de cuivre de longueur 1 m dont la température augmente de 1 K s'allonge donc de 0,017 mm.

<i>Matériau</i>	α (en $\frac{mm}{m \cdot K}$)	<i>Matériau</i>	α (en $\frac{mm}{m \cdot K}$)
Verre usuel	0,009	Cuivre	0,017
Acier	0,012	Laiton	0,018
Béton	0,012	Argent	0,020
Fer	0,012	Aluminium	0,024
Nickel	0,013	Etain	0,027
Or	0,014	Plomb	0,029



Exemples :

- Des températures extrêmes en été font dilater les rails de chemin de fer. Pour éviter la déformation des rails (voir photo), il faut les poser pendant les jours d'été les plus chauds. De même, des températures très froides en hiver font contracter les rails.
- Les ponts en acier ont des joints de dilatation aux extrémités qui permettent au pont de se dilater en été et de se contracter en hiver.

- Un bilame est formé de deux lames de métaux différents (p. ex. du fer et du laiton) soudées sur toute la longueur. Lorsque le bilame est chauffé, la lame en laiton se dilate davantage que la lame en fer parce que le coefficient de dilatation du laiton est supérieur à celui du fer. Le bilame se courbe vers le côté du fer. Lorsque le bilame est refroidi, sa courbure est dans l'autre sens car le laiton se contracte davantage que le fer.



Le principe d'un bilame peut être utilisé pour faire tourner une aiguille d'un thermomètre ou pour opérer un thermostat (système qui permet de régler la température. On les trouve par exemple dans les fours, les réfrigérateurs, les grille-pains ou les fers à repasser).

- Lorsqu'on veut assembler différents matériaux, il est important de connaître leur comportement face à des variations de température. Des dilatations différentes donnent lieu à des forces qui peuvent détruire l'assemblage. Ainsi, les dentistes utilisent des matériaux de plombage dont le coefficient de dilatation est similaire à celui des dents. Le béton armé (béton coulé autour d'une armature en acier) peut être utilisé comme matériau de construction parce que l'acier a le même coefficient de dilatation que le béton.

4.2.2 Liquides

La variation de volume ΔV d'un liquide est proportionnelle à la variation de température ΔT et proportionnelle au volume initial V_0 . La constante de proportionnalité, notée γ , est appelée coefficient de dilatation volumique.

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$$

L'unité du coefficient de dilatation volumique est le K^{-1} . Une unité plus pratique est le $\frac{cm^3}{L \cdot K}$ (ou $\frac{cm^3}{L \cdot ^\circ C}$).

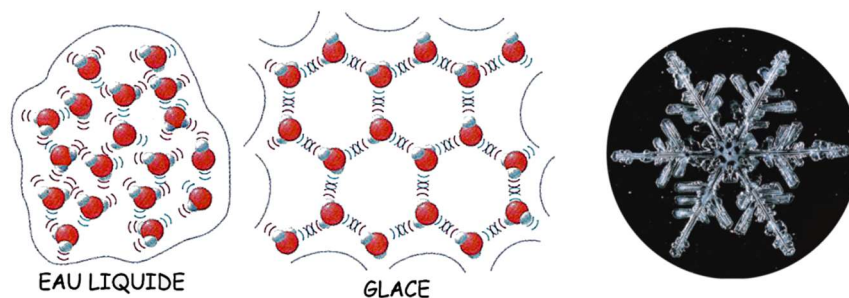
Pour l'alcool, $\gamma = 1,1 \frac{cm^3}{L \cdot K}$. Un litre d'alcool chauffée de 1 K se dilate donc de 1,1 ml.

Liquide	γ (en $\frac{cm^3}{L \cdot K}$)
Mercure	0,18
Eau	0,21
Alcool	1,1
Essence	1,06

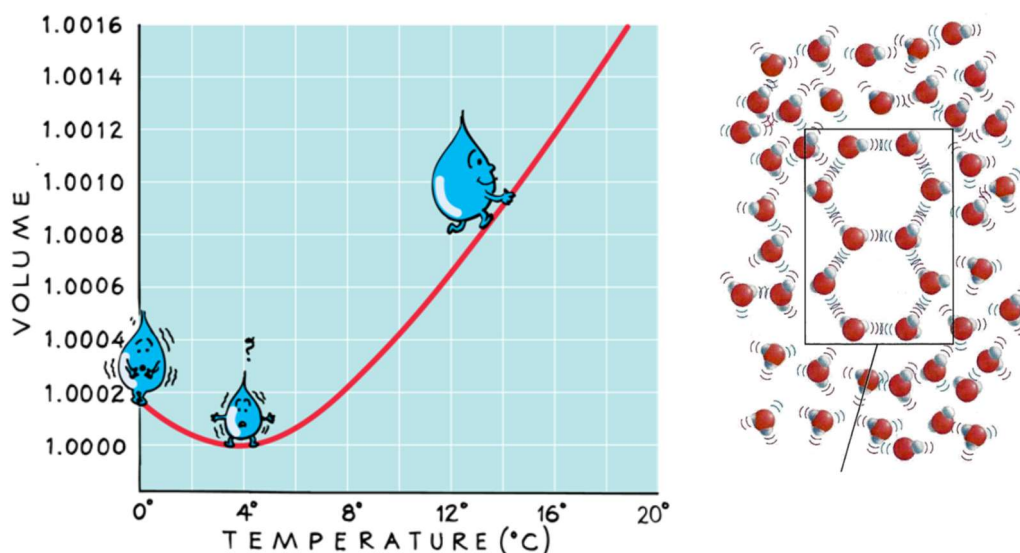
4.2.3 Phénomène naturel : Les anomalies de l'eau

- Contrairement aux autres liquides qui se contractent en se solidifiant, l'eau se dilate en devenant de la glace. 1 L d'eau à 0°C devient en effet 1,1 L de glace de 0°C. La glace a donc une masse volumique plus petite que l'eau liquide. Voilà pourquoi la glace flotte à la surface de l'eau. Cette anomalie de l'eau est due à la structure microscopique de la glace. À cause de la forme des molécules H_2O et de la forte cohésion entre ces molécules à certains angles (ponts H), la glace est

constituée de structures hexagonales où les molécules H_2O occupent un volume plus grand que dans l'eau liquide⁷.

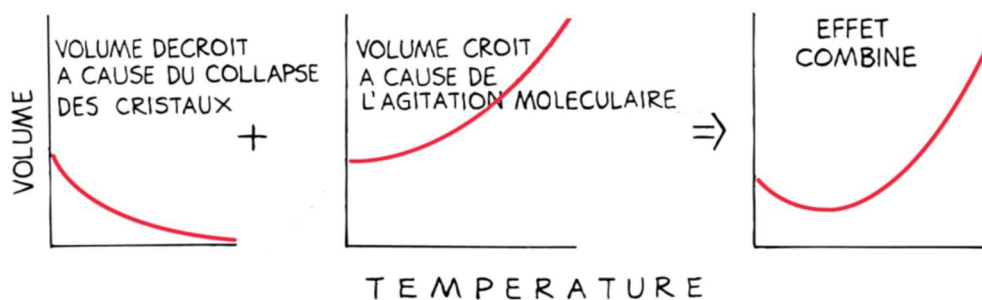


- Comme la grande majorité des substances, l'eau liquide se dilate en chauffant et se contracte en se refroidissant. Toutefois, entre $0^{\circ}C$ et $4^{\circ}C$, l'eau se contracte ! Ce n'est qu'à partir de $4^{\circ}C$ que l'eau chauffée commence à se dilater. L'eau a donc un volume minimal (et une masse volumique maximale) à $4^{\circ}C$. Ce comportement atypique de l'eau entre $0^{\circ}C$ et $4^{\circ}C$ est une deuxième anomalie.



Explication :

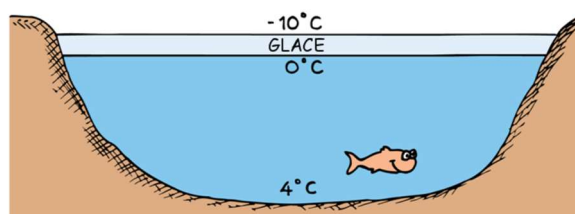
Dans l'eau glacée, certaines structures hexagonales persistent. À mesure que la température augmente, de plus en plus de structures s'effondrent ce qui provoque une diminution du volume de l'eau. En parallèle, l'augmentation de la température provoque une augmentation de l'agitation moléculaire et donc un effet de dilatation. Ces deux effets combinés font que la masse volumique de l'eau est maximale à $4^{\circ}C$.



⁷ La structure hexagonale d'un flacon de neige, formé à partir de la vapeur d'eau, est une conséquence des structures hexagonales des molécules H_2O dans la glace.

Les anomalies de l'eau jouent un rôle fondamental dans la nature :

- Le fait que l'eau se dilate en se solidifiant contribue à la désagrégation des roches. Chaque rocher est parsemé de minuscules crevasses dans lesquelles l'eau de pluie peut pénétrer. En hiver, lorsque l'eau gèle et se dilate, ces crevasses s'élargissent. Au cours des millénaires, les eaux pluviales ont ainsi contribué à casser les rochers en petites pierres.
- Le refroidissement des eaux stagnantes a lieu en surface. Même par temps très froid, l'eau des lacs reste liquide sous une couche de glace qui s'épaissit au cours de l'hiver. L'eau est disposée en couches de températures : au contact immédiat de la glace, l'eau a une température de 0°C . Au fur et à mesure que la profondeur augmente, la température augmente et atteint 4°C au bout de quelques mètres.

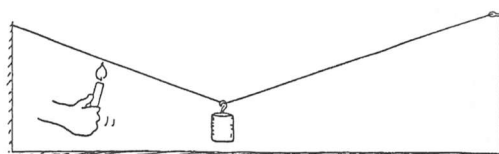


Les anomalies de l'eau permettent d'expliquer la formation de ces couches de températures. Lorsque la température de l'air chute en début d'hiver, l'eau superficielle des lacs se refroidit. Lorsqu'elle atteint une température inférieure à celle des couches plus profondes, elle descend vers le fond, tandis que l'eau du fond – plus chaude et de masse volumique plus petite – remonte en surface. Ce brassage de l'eau continue jusqu'à ce que la température de toute l'eau du lac est de 4°C . Si l'eau à la surface continue à refroidir, sa masse volumique diminue, et cette eau plus froide ne descend plus vers le fond. Elle flotte sur l'eau de 4°C . La température de l'eau diminue donc seulement à la surface et c'est ici, à 0°C , que se forme la glace. Un lac gèle donc toujours du haut vers le bas. Au fond du lac, la vie aquatique peut subsister dans l'eau liquide.

Des lacs très profonds ne sont jamais couverts de glace, même lors des hivers les plus rudes. Toute l'eau du lac doit être refroidie à 4°C avant qu'elle ne puisse atteindre des températures plus basses, et les hivers ne durent simplement pas assez longtemps. À cause de la grande capacité thermique massique et la mauvaise conductivité thermique de l'eau, la température au fond des lacs profonds dans les régions froides en hiver vaut 4°C durant toute l'année.

■ As-tu compris ?

- 34) Une masse est suspendue à un fil de cuivre. Que se passe-t-il avec la hauteur de suspension de la masse marquée lorsque le fil est chauffé ? Justifier.

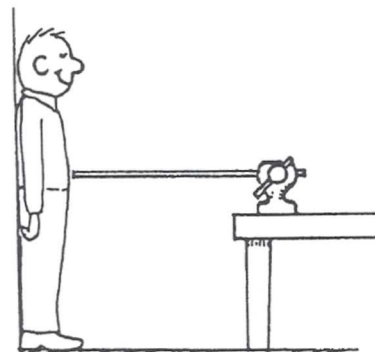


- 35) Pourquoi les matériaux se dilatent-ils si leur température augmente ?
- 36) Dans les greniers on peut souvent entendre le craquement des charpentes en bois lors d'une nuit froide. Pourquoi ?
- 37) Supposons qu'une tige en laiton de 1,0 m se dilate de 0,5 cm lorsque sa température est augmentée d'une certaine valeur. De combien va se dilater une tige en laiton de 100 m si elle subit la même variation de température ?
- 38) Un tube de chauffage en cuivre a une longueur de 6 m à 20°C . L'eau chaude fait augmenter sa température à 70°C . Calculer l'allongement du tube.

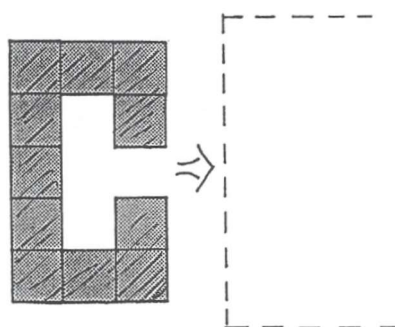
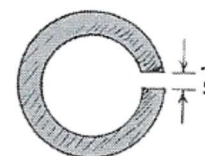
39) On mesure deux fois le joint de dilatation d'un pont en béton armé. La première mesure est prise en été, à 30°C (largeur du joint : 48 mm). La deuxième mesure est prise en hiver, à -10°C (largeur du joint : 72 mm). Calculer la longueur de ce pont.

40) Le coefficient de dilatation de l'acier vaut environ $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- De combien se dilate une tige en acier de 1 mètre lorsque sa température augmente de 10°C ?
- De combien se dilate une tige en acier de 1 kilomètre lorsque sa température augmente de 10°C ?
- La poutre principale en acier de la *Golden Gate Bridge* mesure 1,3 km. Calculer l'allongement de la poutre si la température augmente de 15°C .
- La Tour Eiffel a une hauteur de 298 m. Lors d'une nuit froide en hiver elle est plus petite que lors d'une chaude journée d'été. Calculer la différence de hauteur pour une variation de température de 30°C .



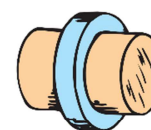
41) On coupe une petite fente dans un anneau métallique. Si l'anneau est chauffé, la fente devient-elle plus grande ou plus petite ? [Supposer que l'anneau est constitué de 11 blocs - si les blocs sont chauffés individuellement, chacun devient un peu plus grand. Faire un croquis des blocs chauffés.]



42) Une boule métallique passe tout juste à travers un anneau en métal. Lorsque la boule est chauffée, elle se dilate et ne passe plus à travers l'anneau. Est-ce que le fait de chauffer l'anneau permet à la boule de passer de nouveau à travers l'anneau ? Expliquer.

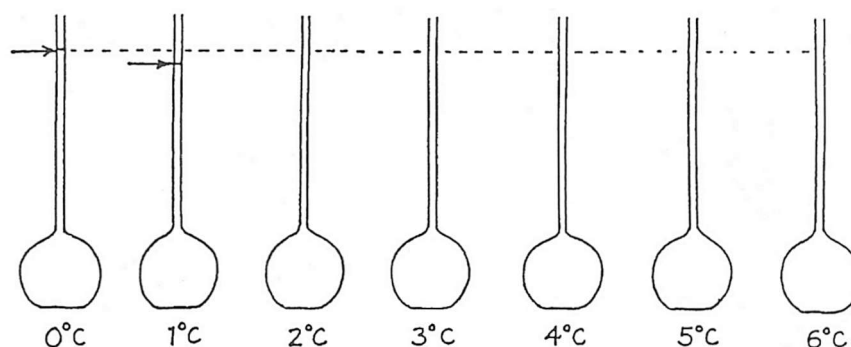


43) Lorsqu'un mécanicien glisse rapidement un anneau de fer très chaud au-dessus d'un cylindre de laiton très froid, on n'arrive plus à les séparer sans les endommager. Expliquer.

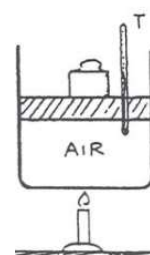
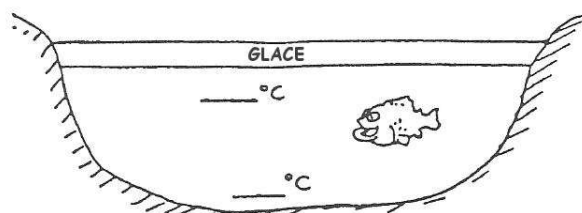


44) Une serrure et sa clé sont faites d'un même matériau ou d'un matériau de coefficient de dilatation identique. Pourquoi ?

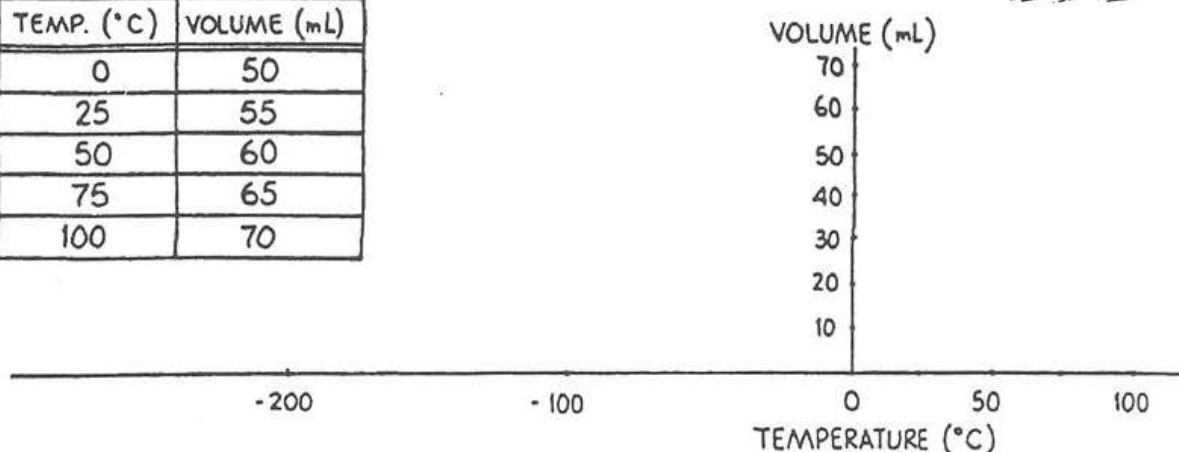
45) Le niveau d'eau dans les flacons est indiqué pour 0°C et 1°C . Représenter approximativement les niveaux pour les autres températures.



- 46) L'eau va-t-elle se dilater ou se contracter si elle est légèrement chauffée à partir des températures suivantes : 0°C ; 4°C ; 6°C .
- 47) Supposons que de l'eau est utilisée dans un thermomètre à dilatation et que la température vaut 4°C . Lors d'une petite variation de température, pourquoi ce thermomètre ne permet-il pas de déterminer si la température monte ou descend ?
- 48) Une pièce solide en fer coule dans du fer fondu. Une pièce solide en aluminium coule dans de l'aluminium fondu. Pourquoi une pièce solide d'eau (de la glace) ne coule-t-elle pas dans l'eau liquide ?
- 49) Pourquoi faut-il absolument éviter que les tuyaux d'eau ne gèlent en hiver ?
- 50) Quelle était la température au fond du Lac Léman, dont la profondeur vaut 300 m, lors du réveillon de Nouvel An en 1901 ?
- 51) Indiquer les températures probables de l'eau en haut et au fond d'un lac couvert de glace.
- 52) Si un lac était refroidi au fond et non pas à la surface, le lac gèlerait-il du fond vers la surface ? Justifier.
- 53) Dans des laboratoires, les physiciens utilisent souvent des thermomètres à gaz. Alors que dans un thermomètre contenant de l'alcool la température est indiquée par les variations de volume, quel type de variation est utilisé dans un thermomètre à gaz ?
- 54) Une masse d'air est enfermée dans un récipient de sorte que le volume puisse changer à pression constante. L'air est chauffé lentement. Le tableau ci-dessous donne le volume de l'air à différentes températures.
- a. Représenter les mesures dans un graphique $V(T)$, ainsi que la courbe de régression.



TEMP. ($^{\circ}\text{C}$)	VOLUME (mL)
0	50
25	55
50	60
75	65
100	70

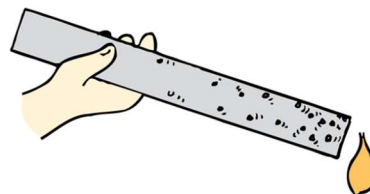


- b. Extrapoler la droite pour déterminer la température à laquelle le volume de l'air deviendrait nul. Combien vaut cette température en $^{\circ}\text{C}$?
- c. Bien que l'air devienne liquide avant d'atteindre cette température, la procédure suggère qu'il y a une limite inférieure de la température. Il s'agit du zéro absolu de l'échelle Kelvin. Des mesures précises ont montré que le zéro absolu (0 K) correspond à _____ $^{\circ}\text{C}$.
- d. Comment se présente le diagramme si l'unité de l'axe de température est le kelvin ?

5 Modes de transferts thermiques

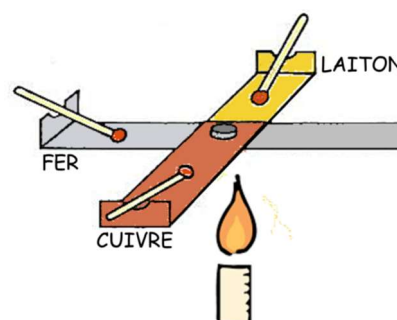
5.1 Conduction

Lorsqu'on chauffe l'extrémité d'une tige métallique, la chaleur se propage rapidement à travers la tige. À l'endroit où la flamme transfère la chaleur à la tige, l'agitation thermique des atomes et des électrons libres augmente. En heurtant les corpuscules voisins, ils leur cèdent une partie de leur énergie cinétique. Ainsi, par collisions successives, l'énergie se propage de proche en proche de la partie chaude vers la partie froide de la tige.



Un transfert thermique par **conduction** se fait à l'intérieur d'un corps (ou entre différents corps en contact), sans transfert global de matière.

La conductivité thermique dépend du matériau. Dans l'expérience illustrée, l'allumette posée sur la lamelle en cuivre s'allume la première, suivie de celle posée sur la lamelle en laiton, et finalement de celle posée sur la lamelle en fer.



Une colonne métallique conduit bien mieux la chaleur qu'une colonne d'eau de même dimension, tandis que la colonne d'eau conduit mieux la chaleur qu'une colonne d'air.

Un **conducteur thermique** est une substance qui conduit bien la chaleur.

Un **isolant thermique** est un mauvais conducteur thermique.

Tous les métaux sont d'excellents conducteurs thermiques grâce à leurs électrons libres, qui peuvent rapidement transmettre leur énergie cinétique aux corpuscules voisins. En revanche, le verre et le plastique sont des isolants thermiques car ils ne renferment pas d'électrons libres.

Les liquides et les gaz sont de mauvais conducteurs thermiques (c'est-à-dire de bons isolants thermiques). L'air est un excellent isolant thermique. Les bonnes propriétés isolantes de matériaux poreux tels que la laine, le bois, le liège, le foin, le papier, le polystyrène sont essentiellement dues aux espaces d'air qu'ils renferment.

Exemples :

- Au toucher, un carrelage paraît plus froid qu'un sol en bois de même température parce que la faïence est un meilleur conducteur thermique que le bois. Le transfert d'énergie de notre corps au carrelage se fait à un taux plus rapide, ce qui procure cette impression de fraîcheur.
- On peut tenir la main à l'intérieur d'un four très chaud pendant plusieurs secondes sans se brûler, mais on se brûle les doigts en touchant les faces métalliques à l'intérieur du four. Comme l'air est un isolant thermique, le transfert thermique de l'air chaud à la main est lent. En revanche, le métal des faces intérieures est un excellent conducteur thermique. Même lors d'un contact très bref, une grande quantité de chaleur est fournie à la main.



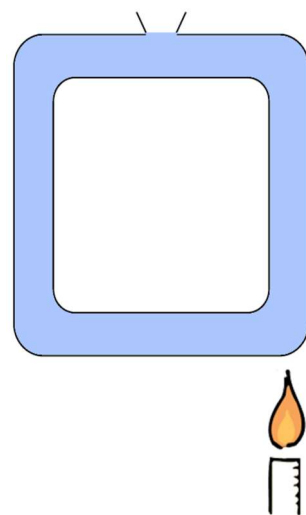
- En hiver, une couverture de lit ne fournit pas de chaleur, mais les espaces d'air entre les plumes ralentissent le transfert thermique de notre corps vers l'air ambiant. Pour se garder chaud en hiver, un oiseau gonfle son plumage. Cette technique lui permet d'augmenter le volume d'air entre la peau et les plumes. Cet espace d'air agit comme un isolant thermique en préservant au maximum l'énergie thermique du corps de l'oiseau.
- Les flocons de neige sont formés de cristaux qui se regroupent en renfermant beaucoup d'air. La neige est donc un bon isolant thermique qui garde le sol chaud en hiver. Les igloos ralentissent le transfert thermique des Inuits vers l'extérieur. Des animaux se protègent contre le froid en trouvant refuge dans des trous dans la neige.
- En hiver, l'isolation d'une maison ne garde pas le froid à l'extérieur, mais garde le chaud à l'intérieur. Or, aucun isolant ne peut totalement empêcher le transfert thermique. En hiver, sans apport de chaleur, même les maisons les mieux isolées refroidissent peu à peu.



5.2 Convection

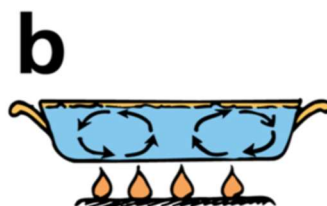
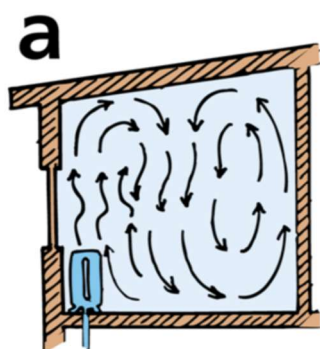
L'eau du tube chauffée par la flamme se dilate. Sa masse volumique diminue et devient plus petite que celle des couches d'eau supérieures. Par conséquent, l'eau chaude monte pour être remplacée par de l'eau plus froide. Le processus recommence et il se crée un courant d'eau, appelé **courant de convection**. L'eau est ainsi remuée pendant qu'elle est chauffée.

Un transfert thermique par **convection** se fait par la circulation d'un fluide (liquide ou gaz) et s'accompagne donc d'un transport de matière. Les courants de fluides sont appelés **courants de convection**.



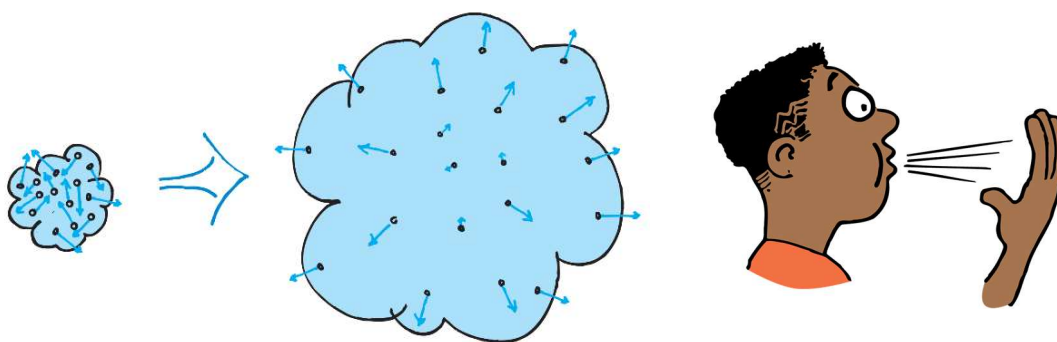
Applications :

- Les radiateurs créent des courants de convection dans une chambre : l'air froid chauffe au contact du radiateur et monte, laissant la place à de l'air froid. Voilà pourquoi un radiateur est aussi appelé un **convecteur**.
- Une plaque de cuisson crée des courants de convection dans l'eau d'une casserole. De l'eau chauffée au fond de la casserole monte et est remplacée par de l'eau plus froide. De même, l'eau chauffée dans une chaudière dans la cave d'une maison monte par convection et réchauffe les radiateurs dans les étages supérieurs.



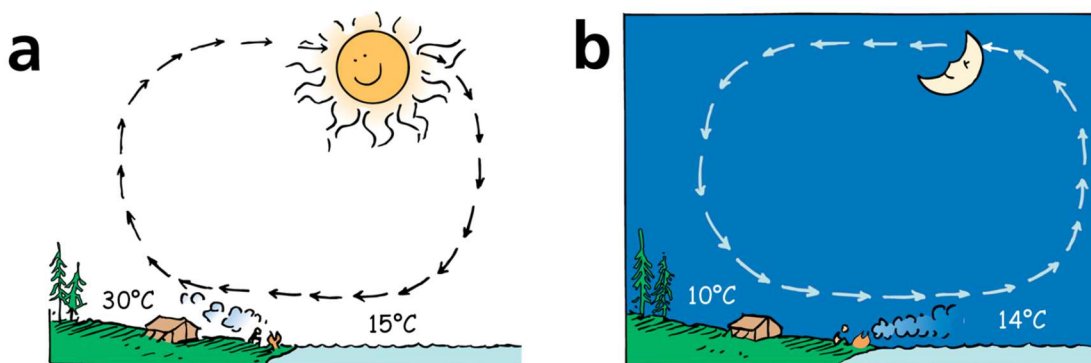
Phénomènes naturels :

- Le Soleil est à l'origine de courants de convection qui remuent l'atmosphère et créent des vents. Certaines régions absorbent la chaleur du Soleil plus rapidement que d'autres, ce qui provoque un réchauffement inégal de l'air proche de la surface. Ainsi, la température du sable, des champs de blé ou des rochers augmente plus rapidement que la température des prairies, des forêts et des nappes d'eau. L'air chaud qui monte est remplacé par de l'air frais. Les planeurs utilisent ces **courants thermiques** ascendants pour monter en altitude en décrivant des spirales étroites.
- Les courants de convection dans l'atmosphère influencent la température de l'air. L'air chaud ascendant se refroidit en se dilatant⁸. En effet, Les molécules de l'air en expansion entrent plus souvent en collision avec des molécules qui reculent qu'avec des molécules qui s'approchent. Leur énergie cinétique a tendance à diminuer lors des collisions et, par conséquent, l'air qui se dilate se refroidit⁹.



La température de l'air est plus faible en haute altitude (sauf pour des cas particuliers appelés inversions). Voilà pourquoi il fait plus froid au sommet des montagnes que dans les vallées.

- À la mer, il y a toujours une agréable brise. En voici l'explication :
 - a. Lors d'une journée estivale, le Soleil rayonne sur la terre ferme et sur la mer. La terre se réchauffe davantage que l'eau. L'air au-dessus de la surface de la terre monte et est remplacé par de l'air frais venant de la mer. C'est la **brise de mer**.
 - b. Pendant la nuit, le phénomène inverse a lieu : la terre chaude cède la chaleur beaucoup plus vite que l'eau. C'est la température de l'eau qui est alors plus élevée. L'air au-dessus de la mer monte, laissant place à de l'air plus frais venant de la Terre. C'est la **brise de Terre**.



⁸ Que devient cette énergie ? L'air en expansion effectue un travail en poussant l'air ambiant vers l'extérieur.

⁹ En baillant, l'air expiré est chaud. Lorsque tu souffles dans ta soupe bouillante, l'air soufflé est bien plus frais car l'air se dilate en quittant ta bouche. Au contraire, en comprimant l'air avec une pompe de vélo, on remarque que l'air devient chaud.

5.3 Rayonnement

Comment le Soleil chauffe-t-il l'atmosphère et la surface de la Terre ? Il ne peut s'agir ni d'un transfert thermique par conduction, ni par convection, car il n'y a pas de matière dans l'espace entre la Terre et le Soleil.

En allumant une ampoule électrique qui se trouve au foyer d'un miroir parabolique, les rayons lumineux émis par l'ampoule et réfléchis par le miroir se propagent parallèlement vers le second miroir parabolique placé en face du premier. Ils y sont réfléchis et convergent sur la tête de l'allumette placée dans son foyer. L'énergie thermique est transférée de l'ampoule à la tête de l'allumette par rayonnement électromagnétique.

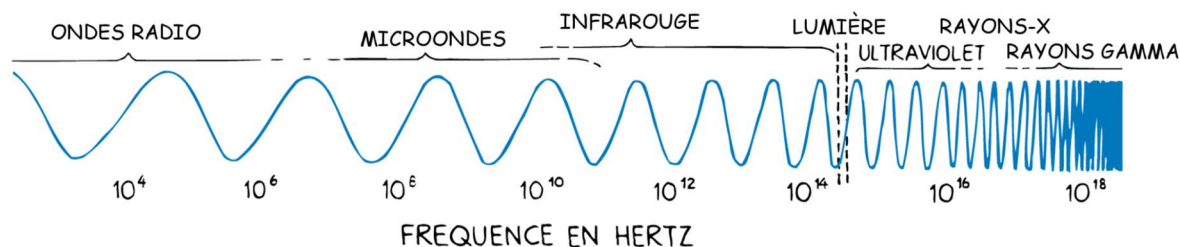


Un transfert thermique par **rayonnement** se fait sous forme d'ondes électromagnétiques.

5.3.1 Emission

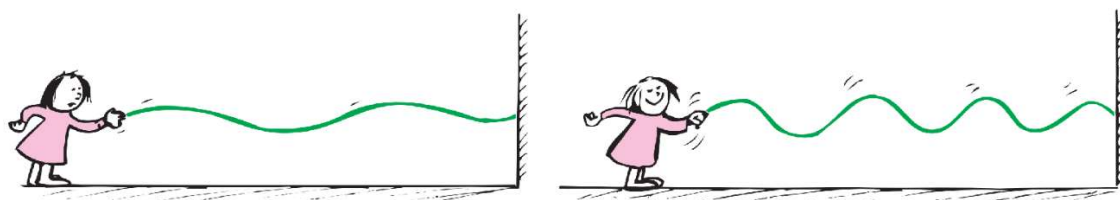
Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet continuellement du rayonnement électromagnétique. Le pic de fréquence du rayonnement émis est proportionnel à la température absolue du corps : $\bar{f} \sim T$

Le spectre du rayonnement électromagnétique s'étend sur un domaine de fréquences très large :



Puisque la température d'un corps est une mesure pour l'agitation thermique de ses corpuscules, il s'en suit que :

- Un corps froid émet un rayonnement de grande longueur d'onde (de petite fréquence).
- Un corps chaud émet un rayonnement de petite longueur d'onde (de grande fréquence).

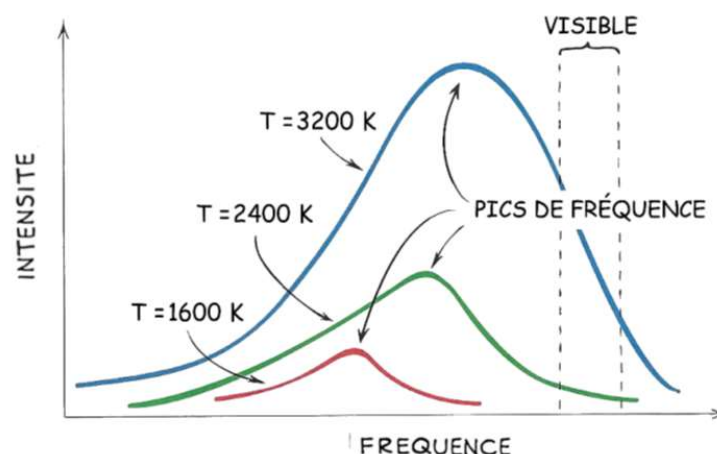


La plupart des objets qui nous entourent émettent un rayonnement infrarouge, de grande longueur d'onde. C'est le **rayonnement thermique**. Les ondes infrarouges sont absorbées par notre peau, créant une sensation de chaleur. Un thermomètre infrarouge mesure le rayonnement thermique émis par un corps et le convertit en température. La plupart des thermomètres infrarouges peuvent mesurer des températures entre -30°C et 200°C.

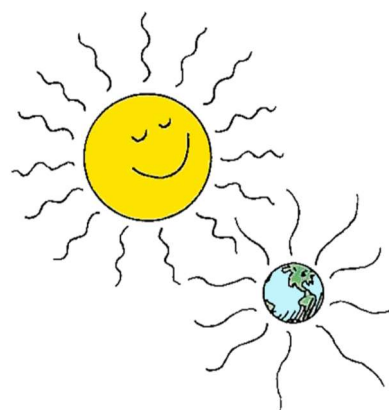
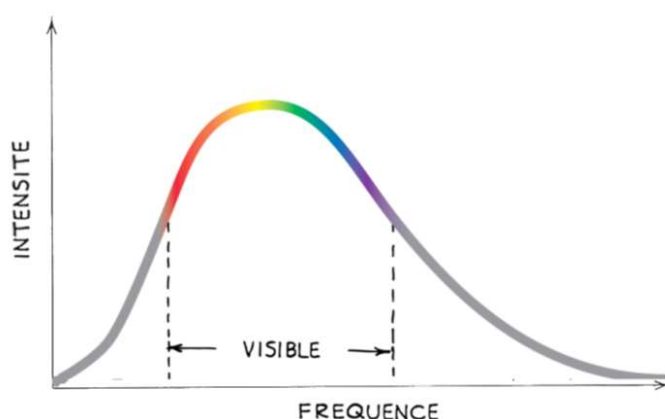


Les êtres humains, dont la peau a une température de 300 K, émettent également un rayonnement infrarouge. Des corps très chauds rayonnent de l'énergie dans le domaine visible.

- À 500°C, un corps commence à émettre de la lumière rouge sombre. C'est la fréquence minimale que nous pouvons voir.
- Des corps de température plus élevée émettent également de la lumière jaune de fréquence plus élevée.
- À environ 1500°C, toutes les fréquences du spectre de lumière visible sont émises et le corps est incandescent.



Le rayonnement émis par les étoiles est appelé **rayonnement stellaire**. La source de l'énergie rayonnée par les étoiles est la fusion thermonucléaire qui a lieu dans leur noyau. Une étoile bleue est plus chaude en surface qu'une étoile jaune, qui est plus chaude qu'une étoile rouge. Puisque la fréquence de la lumière bleue est presque deux fois plus grande que celle de la lumière rouge, la température de surface d'une étoile bleue est presque deux fois plus grande que celle d'une étoile rouge. La surface du Soleil a une température d'environ 5500°C. La lumière blanche du Soleil est composée de toutes les couleurs. L'intensité dans les différentes fréquences n'est cependant pas uniforme. La lumière du Soleil est la plus intense dans la partie jaune-vert du spectre. C'est pourquoi les yeux des êtres humains sont les plus sensibles à ces deux couleurs.



En comparaison, la Terre est froide et elle émet des fréquences dans l'infrarouge. Le rayonnement émis par la Terre est appelé **rayonnement terrestre**. Une bonne partie de l'énergie thermique de la Terre est générée par désintégration radioactive de noyaux atomiques à l'intérieur de la Terre. La Terre et le Soleil « brillent » tous les deux – le Soleil à des fréquences visibles et la Terre à des fréquences infrarouges.

5.3.2 Absorption

Tous les corps, chauds ou froids, émettent de l'énergie par rayonnement. Or, ils ne refroidissent pas en permanence parce qu'ils en absorbent en même temps. Si la surface d'un corps absorbe plus d'énergie qu'elle n'en émet, c'est un net absorbeur et sa température augmente. Si le corps émet plus d'énergie qu'il n'en absorbe, c'est un net émetteur et sa température baisse.

De bons émetteurs d'énergie rayonnée sont également de bons absorbeurs.
De mauvais émetteurs d'énergie rayonnée sont également de mauvais absorbeurs.

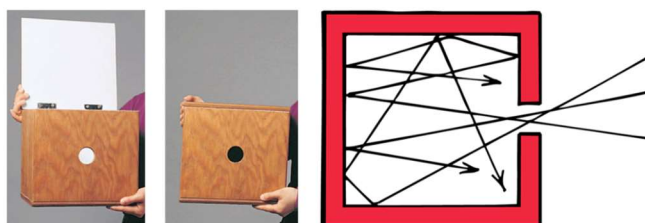
On peut le vérifier avec une paire de récipients métalliques de même taille et forme, l'un avec une surface réfléchissante et l'autre avec une surface mate et noircie. En remplissant les récipients d'une même quantité d'eau chaude, on peut mesurer que l'eau dans le récipient noir refroidit plus rapidement car la surface mate émet plus de rayonnement infrarouge. La même expérience peut être faite à l'envers : on remplit les récipients d'eau glacée et on les éclaire avec une lumière infrarouge intense. L'eau dans le récipient noir se réchauffe plus rapidement car la surface mate absorbe plus de rayonnement infrarouge.¹⁰



Lors d'une journée ensoleillée, la surface de la Terre est un net absorbeur. Pendant la nuit, elle est un net émetteur. Lors d'une nuit étoilée, l'environnement de la surface terrestre est la profondeur glaciale de l'espace et le refroidissement est plus rapide que lors d'une nuit nuageuse. C'est la raison pour laquelle les records de températures minimales sont atteints lors de nuits étoilées.

5.3.3 Réflexion

L'absorption et la réflexion sont des processus opposés. Un bon absorbeur d'énergie rayonnée en réfléchit très peu, notamment dans le domaine de la lumière visible. Des ouvertures (fenêtres ouvertes d'une maison éloignée, pupille, ouverture d'un long tuyau, ...) paraissent noires parce que tout rayonnement qui y entre est réfléchi de nombreuses fois par les parois intérieures. L'énergie rayonnée est partiellement absorbée à chaque réflexion et très peu ou aucune n'en ressort. Un absorbeur parfait ne réfléchit aucune énergie rayonnée et paraît parfaitement noir.¹¹



De bons réflecteurs sont de mauvais absorbeurs. Tous les corps avec une surface brillante réfléchissent la plupart de l'énergie rayonnée incidente, et sont donc de mauvais absorbeurs d'énergie rayonnée.

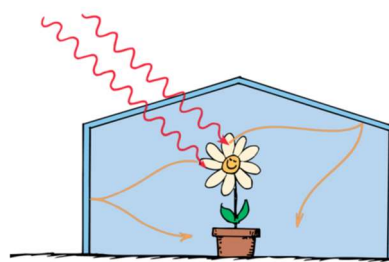
- En été, des habits clairs réfléchissent une grande partie du rayonnement solaire.
- La neige fraîche est un bon réflecteur et ne fond donc pas rapidement dans la lumière du Soleil. Lorsque la neige est sale, elle absorbe plus d'énergie solaire et fond plus rapidement.
- Les panneaux solaires sont recouverts d'une surface antiréfléchissante pour absorber un maximum d'énergie solaire.
- La façade des maisons dans les pays chauds est souvent blanche.

¹⁰ L'absorption dans le domaine visible du spectre dépend surtout de la couleur, tandis que l'absorption dans le domaine de l'infrarouge dépend plus de la texture de la surface. Une surface mate émet et absorbe mieux dans l'infrarouge qu'une surface polie, quelle que soit sa couleur.

¹¹ Sur les photos avec flash, les pupilles peuvent être rouges. La lumière très intense du flash est réfléchie sur la rétine rouge de l'œil et ressort à travers la pupille.

5.3.4 Phénomène naturel : L'effet de serre

La transparence du verre dépend de la longueur d'onde du rayonnement. Ainsi, le verre est transparent pour la lumière visible (courte longueur d'onde), mais absorbe les ondes infrarouges (grande longueur d'onde). Les ondes du rayonnement solaire traversent donc le verre d'une serre (ou d'une voiture). De la chaleur est transférée à l'intérieur de la serre où, mise à part un peu de réflexion, elle est absorbée et chauffe l'intérieur. L'intérieur émet lui aussi du rayonnement, mais puisqu'il est moins chaud que la surface du soleil, les longueurs d'onde sont plus grandes, dans le domaine de l'infrarouge. Le vitrage de la serre bloque le passage d'une partie de ce rayonnement. La plupart de l'énergie rayonnée reste donc piégée à l'intérieur de la serre, ce qui fait augmenter la température.



Le même phénomène a lieu dans l'atmosphère de la Terre. L'air est transparent au rayonnement infrarouge et au rayonnement visible. Mais un excès de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , vapeur d'eau) fait augmenter le taux d'absorption des ondes infrarouges. La température de la surface de la Terre dépend de l'équilibre entre le rayonnement solaire incident et le rayonnement terrestre émis.

- La surface de la Terre absorbe l'énergie solaire et réémet une partie de cette énergie à une longueur d'onde plus grande.
- Les gaz à effet de serre absorbent et réémettent le rayonnement terrestre vers la Terre.
- Le rayonnement infrarouge qui ne peut pas s'échapper de l'atmosphère réchauffe la Terre.



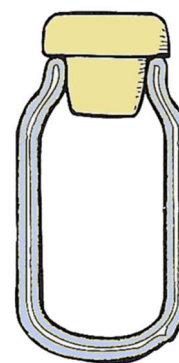
Sans l'effet de serre naturel, la température moyenne sur la Terre ne serait que de -18°C . Cependant, la concentration croissante de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère fait augmenter la température moyenne sur Terre de plus en plus vite.

En moyenne, sur une période de quelques années, le rayonnement solaire qui frappe la Terre équilibre exactement le rayonnement terrestre que la Terre émet vers l'espace. Cet équilibre résulte en une température moyenne de la Terre – une température qui permet la vie telle que nous la connaissons. Sur une période de décennies, la température moyenne de la Terre peut être altérée – par des causes naturelles mais également par l'activité humaine. Des substances qui proviennent de la combustion de carburants change le taux d'absorption et de réflexion du rayonnement solaire. Sauf si la source d'énergie est le Soleil, le vent ou l'eau, une consommation accrue d'énergie sur la Terre augmente l'énergie thermique de l'atmosphère. Ces activités peuvent changer l'équilibre de rayonnement et changer la température moyenne sur Terre. Bien que la vapeur d'eau soit le principal gaz à effet de serre, le taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente rapidement. De plus, l'échauffement dû au dioxyde de carbone peut produire plus de vapeur d'eau. La cause du réchauffement inquiétant de notre planète est donc l'émission croissante de ces deux gaz à effet de serre.

5.4 Isolation thermique

Si on veut qu'un système n'échange aucune énergie thermique avec son environnement, il faut l'isoler thermiquement. Cela veut dire qu'il faut éviter tout transfert thermique sous forme de conduction, de convection et de rayonnement. On entoure le système de **parois adiabatiques**. En pratique, une paroi adiabatique parfaite n'existe pas.

- Une bouteille isotherme réduit le transfert de chaleur entre l'environnement et le contenu de la bouteille. Une telle bouteille est constituée de doubles parois réfléchissantes séparées par de l'air ou un vide.
 - a. Le vide entre la double paroi, ainsi que le bouchon en plastique ou en verre limitent le transfert thermique par conduction.
 - b. Le vide n'est pas un fluide, donc il n'y a pas de transfert thermique par convection.
 - c. Le transfert thermique par rayonnement entre l'intérieur de la bouteille et l'environnement est réduit par les parois réfléchissantes.
- L'air enfermé dans les fenêtres à double ou triple vitrage limite le transfert thermique par conduction entre l'intérieur et l'extérieur d'une maison. Une partie du rayonnement solaire est également réfléchi aux surfaces des vitres.

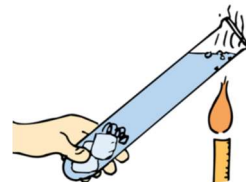


■ As-tu compris ?

- 55) Un transfert thermique dans un corps qui se fait sans déplacement de matière est appelé
 - A. convection
 - B. conduction
 - C. rayonnement
- 56) Un transfert thermique qui se fait par un déplacement de fluide est appelé
 - A. convection
 - B. conduction
 - C. rayonnement
- 57) Quelle forme de transfert thermique ne requiert pas de milieu matériel ?
- 58) Les extrémités de deux tiges métalliques identiques A et B sont placées dans une flamme. Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ?
 - a. La chaleur est uniquement conduite le long de la tige A.
 - b. La chaleur est uniquement conduite le long de la tige B.
 - c. La chaleur est conduite de la même manière le long de A et de B.
 - d. L'idée que la « chaleur monte » s'applique au transfert de chaleur par convection, et non par conduction.
- 59) Si tu tiens une extrémité d'un clou métallique contre de la glace, l'autre extrémité dans ta main refroidit rapidement. L'explication correcte est que
 - A. le froid circule de la glace à travers le clou vers ta main.
 - B. la chaleur circule de ta main à travers le clou vers la glace.
- 60) À mains nues, tu peux retirer une poêle par son manche en bois d'un four très chaud. Pourquoi serait-il une mauvaise idée de faire de même avec un manche en fer ?



- 61) Si on touche les plaques métalliques d'un four chaud, on subit de graves brûlures. En revanche, on peut tenir la main pendant un instant dans l'air à l'intérieur du four sans se brûler. Pourquoi ?
- 62) Nous ressentons l'air à 20°C comme agréablement chaud. Cependant, l'eau à 20°C dans une piscine nous paraît fraîche. Pourquoi ?
- 63) Pourquoi les substances telles que le bois, la fourrure, les plumes et la neige sont-ils de bons isolants thermiques ?
- 64) L'expérience illustrée ci-contre prouve que l'eau n'est pas un bon conducteur thermique. Expliquer pourquoi.



- 65) Lorsqu'on approche les doigts latéralement d'une flamme, on ne se brûle pas. En revanche, si on place la main directement au-dessus de la flamme, on se brûle. Pourquoi ?



- 66) Pourquoi l'isolation du toit d'une maison est-elle en général plus épaisse que l'isolation des murs ?

- 67) Des oiseaux et des planeurs peuvent parfois rester dans l'air pendant des heures sans dépenser d'énergie. De quel phénomène physique se servent-ils ?

- 68) Pourquoi il y a des trous dans la partie supérieure d'une lampe de bureau ?



- 69) Comment la vitesse des molécules d'air est-elle influencée lorsque l'air est comprimé par l'action d'une pompe ? Qu'est-ce qui se passe avec la température de l'air ?

- 70) Dans les stations de ski, les canons à neige propulsent un mélange d'air comprimé et d'eau à travers une buse de pulvérisation. Bien que la température initiale du mélange puisse être supérieure à la température de solidification de l'eau, des cristaux de neige se forment lorsque le mélange est éjecté. Expliquer pourquoi.

- 71) Quel lien existe-t-il entre la grande capacité thermique massique de l'eau et les courants d'air en bord de mer ?

- 72) Quelle est le rôle d'une cellule photovoltaïque ?

- 73) Quelle relation existe-t-il entre le pic de fréquence du rayonnement émis par un corps et sa température (en K) ?

- 74) Donner une différence fondamentale entre les ondes du rayonnement solaire et celles du rayonnement terrestre.

- 75) Tous les objets émettent du rayonnement. Pourquoi ne peut-on pas tous les voir dans le noir ?

- 76) Pourquoi la pupille d'un œil est-elle noire ?

- 77) Puisque tous les objets émettent de l'énergie par rayonnement à leur environnement, pourquoi leurs températures ne chutent-elles pas continuellement ?

- 78) Qu'arrive-t-il à la température d'un corps qui émet plus d'énergie rayonnée qu'il en absorbe ?

- 79) Si la composition de la haute atmosphère était modifiée de sorte qu'une plus grande quantité de rayonnement terrestre puisse s'échapper, quelle en serait la conséquence sur le climat ?

- 80) Une bouteille isotherme limite le transfert thermique

- A. par conduction
- B. par convection
- C. par rayonnement