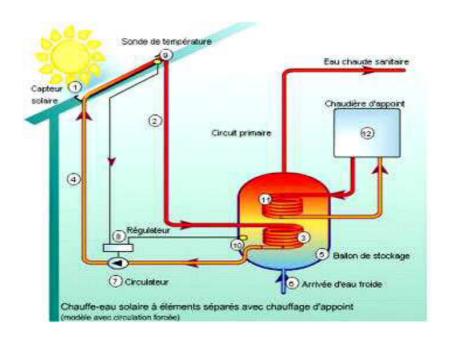
Athénée royal Jules Delot, Ciney

Energie Thermique

Physique 6ème Générale 3h/semaine

Ir Jacques COLLOT



Energie Thermique

1. Calorimétrie

1.1 Introduction

La calorimétrie est la partie de la physique où l'on mesure les quantités de chaleur perdues ou gagnées par un corps. La quantité de chaleur est souvent notée Q

Des expériences courantes de mises en contact de 2 corps ayant des températures différentes montrent que le corps chaud (en présence avec un corps froid) se refroidit et que le corps froid (en présence avec le corps chaud) se réchauffe.

On dit que le corps chaud a cédé de la chaleur au corps froid.

Apporter de la chaleur à un corps c'est lui donner de l'énergie. En effet :

lorsqu'une casserole remplie d'eau est chauffée, le couvercle se soulève lorsqu'on chauffe l'air d'une montgolfière, elle monte lorsqu'on chauffe l'eau dans un récipient, elle se déplace vers le haut de celui-ci.

Inversement, retirer de la chaleur à un corps, revient à lui ôter de l'énergie.

1.2 Mesure de la quantité de chaleur

Des expériences quotidiennes montrent que la quantité de chaleur à apporter à un corps pour augmenter sa température dépend :

De l'augmentation de température Δt que l'on désire lui communiquer

De la masse *m* du corps à chauffer De la **nature** du corps à chauffer

La quantité de chaleur Q (joules) qu'il faut apporter à un corps de masse m (kg) pour faire passer sa température de t_1 à t_2 ($^{\circ}C$) est donnée par la formule :

$$Q = C.m.\Delta t$$

où c est un coefficient qui dépend de la nature du corps C est la <u>chaleur massique</u> du corps (J / kg . °C).

d L'ancienne unité de chaleur est la calorie (cal) qui représente la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température de 1 gramme d'eau de 1 °C.

L'équivalence entre la calorie et le joule a été déterminé par Joule. Il a montré que le travail pouvait être transformé en chaleur.

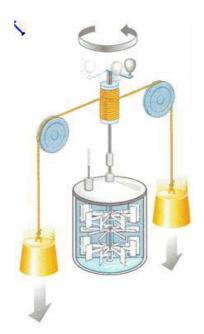


Figure 15.3 Dispositif de Joule pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. En tombant, les poids font tourner les palettes, ce qui accroît la température de l'eau. L'énergie potentielle gravitationnelle est transformée en énergie cinétique des palettes puis de l'eau. Cette énergie cinétique finit par être transformée en énergie thermique dans l'enceinte isolée.

1.2.1 Chaleur massique C d'un corps

La chaleur massique c d'un corps représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1 kg de ce corps (sans changement d'état physique de ce corps)

Substance	c (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	c (keal.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Solides		
Aluminium	0,90	0,21
Azgile (sèche)	0.92	0,22
Cuivre	0.39	0,093
Verre	0.84	0,20
Or	0,13	0,031
Corps humain (moyenne)	3,47	0,83
Glace (eau. – 5°C)	2,1	0,50
Her	0,47	0,11
Polyamides (comme le Nylon)	1,7	0.4
Polyéthylènes	2,3	0.55
Polytetrafluoréthylène	1,0	0,25
(comme le l'éflon)		
Plomb	0.13	0,031
Marbre	0.86	0,21
Platine	0.14	0,032
Protéine	1.7	0,4
Argent	0.23	0,056
Acier inoxydable (type 304)	0.50	0,12
Bois	1,8	0,42
Liquides		
Acétone	2.2	0.53
Alcool (éthylique)	2,4	0,57
Ammoniaque	4,71	1,13
Mercure	0,14	0.033
Azote (–200°C)	1,98	0,474
Oxygène (-200°C)	1,65	0,394
Acide sulfurique	1.4	0,34
Eau	4,186	1,000
행정 그는 이 사람들은 중요한 사람들이 되었다.		
Gaz		
Air (100°C)	1.0	0,21
Argon	0.52	0,13
Monoxide de carbone	1.0	0,25
Hydrogène	14.2	3,39
Méthane?	2,2	0,53
Vapeur d'eau (110°C)	2.03	0,481

1.2.2 Remarques

1. la chaleur massique des solides est généralement petite (sauf celle du bois, de la paraffine et de la glace) comparée à celle de l'eau liquide.

La chaleur massique de l'eau est relativement grande par rapport à celle de la croûte terrestre. Des apports ou pertes de chaleurs identiques à l'océan ou à la terre produisent des variations de température différentes, plus petites dans le premier cas. La présence d'une masse importante d'eau joue donc un rôle modérateur sur les variations de température. Comme les océans occupent environ 71 % de la surface du globe, ils constituent le régulateur thermique de la planète. Ceci explique aussi la différence entre un climat maritime et un climat continental.

D'autre part, les côtes de l'Europe occidentale sont baignées par le

Gulf Stream qui déplace plus de 50 millions de mètres cubes d'eau «chaude» par seconde et qui adoucit considérablement notre climat. Alors qu'aux mêmes latitudes, la côte Est des Etats-Unis et du Canada, baignée par le courant froid du Labrador, peut atteindre en hiver des températures très basses de l'ordre de - 30 °C.

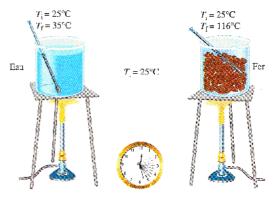


Figure 15.4 Considérons une quantité d'eau et une masse égale de fer, disons à 25°C. Si une quantité égale de chaleur est transférée aux deux masses, la température du fer augmente 9,1 fois plus que celle de l'eau. Si la température de l'eau s'élève jusqu'à 35°, la même masse de fer s'élève jusqu'à 116°C.

2. *L'eau est aussi un bon fluide caloporteur*. En effet, mise en contact avec une source chaude (chaudière), elle emmagasine énormément d'énergie; elle peut restituer cette énergie à

un autre endroit en se refroidissant (principe du fonctionnement du chauffage central et des circuits d'eau des centrales électriques).

3. La chaleur massique de l'hydrogène est particulièrement élevée. C'est pourquoi, ce gaz est utilisé pour refroidir les rotors d'alternateur des centrales nucléaires.

2 Changements d'état

2.1 Expérience

Lorsque l'on chauffe de l'eau, sa température augmente jusqu'au moment où celle-ci entre en ébullition à une température de l'ordre de 100 °C.

A cette température, appelé *température d'ébullition*, toute l'eau se transforme en vapeur sans que la température augmente. L'énergie apportée à cet instant, ne sert donc pas à augmenter la température du corps mais sert à détruire les liaisons entre les molécules d'eau afin de la libérer pour former la vapeur d'eau.

Ce phénomène est observé pour tous les changements d'états

Une fois atteinte la température de changement d'état, la chaleur nécessaire pour faire passer le corps d'un état à l'autre est appelée « chaleur de changement d'état ou chaleur latente ».

Si le corps fusionne, on parle de *chaleur* latente de fusion (C_f)

Phénomènes endothermiques

Fusion Vaporisation

Etat SOLIDE Etat LIQUIDE GAZEUX

Solidification Liquéfaction

Phénomènes exothermiques

Si le corps se vaporise, on parle de *chaleur latente de vaporisation.*(C_v)

Attention, un corps qui a besoin d'une quantité de chaleur C_f pour fusionner à sa température de fusion, restitue extérieurement cette même quantité de chaleur C_f lorsqu'il se solidifie à la même température.

On appelle chaleur latente de fusion C_f , la quantité de chaleur qu'il faut apporter à l'unité de masse (1kg) du corps, amené à sa température de fusion, pour le faire fondre sans élévation de température.

La chaleur de changement d'état ne dépend que de la matière et de la quantité de matière, son unité est donc le J / kg ou le kJ/kg

Substance	Point de fusion (°C)	Chaleur de l'usion (k.l.kg ⁻¹)	Point d'ébullition (°C)	Chaleur de vaporisation (kLkg ⁻¹)
Antimoine	630,5	165	1380	561
Alcool éthylique	-114	104	78	854
Cuivre	1083	205	2336	5069
Or	1063	66,6	2600	1578
Hélium	-269,65	5,23	-268,93	21
Hydrogène	259,31	58,6	-252,89	452
Plomb	327,4	22,9	1620	871
Метсите	-38,87	11,8	356,58	296
Azote	-209,86	25,5	-195,81	[99
Oxygène	-218,4	13,8	-182,86	213
Argent	960,8	109	1950	2336
Fian	0,0	333,7	100,0	2259

On notera que la chaleur de vaporisation de l'eau est particulièrement élevée. En été, à la surface des océans, l'eau s'évapore en absorbant une grande quantité d'énergie solaire. Lorsque cette vapeur se transforme en gouttelettes pour former des nuages, il y a libération d'énergie qui contribue au réchauffement de l'atmosphère.

Constatons aussi que la chaleur de vaporisation élevée de l'éthanol. D'où la sensation de froid lorsque la peau est frottée avec un petit morceau d'ouate imbibé de ce liquide en vue d'une désinfection.



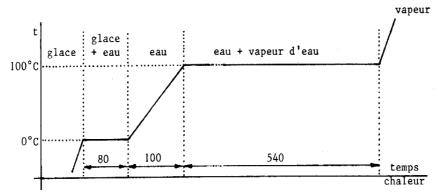
L'élément gallium a une chaleur de fusion de seulement 80 kJ.kg ¹ et une température de fusion de 29,8°C; il fond dans la main.

La quantité de chaleur nécessaire pour faire changer d'état un corps de masse *m* arrivé à sa température de changement d'état est donnée par la formule

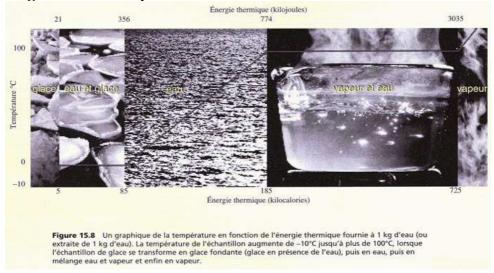
$$Q = C_f.m$$
 pour la fusion et $Q = C_V.m$ pour la vaporisation

avec C_v et $C_f(J/kg)$ et m(kg).

Graphique de l'évolution de la température en fonction de la chaleur reçue pour une certaine quantité d'eau



On remarque que chaque état de la matière nécessite des quantités de chaleurs différentes pour faire augmenter leur température



Exemple 15.8 Quelle est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer, sous la pression atmosphérique, 1,0 kg de glace à -10°C en vapeur surchauffée à 110°C? Comparer l'énergie associée à chaque étape du processus et confirmer la Fig. 15.8.

rifique. À l'aide des valeurs $L_{\rm f}$ =334 kJ/kg, $L_{\rm v}$ = 2,26 \times $10^3 \text{ kJ/kg}, c_e = 4.2 \text{ kJ/kg.K}, c_g = 2.1 \text{ kJ/kg.K}, c_v = 2.0 \text{ kJ/kg.K}$

$$Q_{\rm gv} = mc_{\rm g} \Delta T_{\rm g} + mL_{\rm f} + mc_{\rm e} \Delta T_{\rm e} + mL_{\rm v} + mc_{\rm v} T_{\rm v}$$

$$Q_{gv} = (1.0 \text{ kg})(2.1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})[(0^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})]$$
+ $(1.0 \text{ kg})(334 \text{ kJ/kg}) + (1.0 \text{ kg})$
× $(4.2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})[100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}]$
+ $(1.0 \text{ kg})(2.26 \times 10^{3} \text{ kJ/kg}) + (1.0 \text{ kg})$
× $(2.0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})[110^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}]$

D'où:

$$Q_{gy} = 21 \text{ kJ} + 334 \text{ kJ} + 420 \text{ kJ} + 2260 \text{ kJ} + 20 \text{ kJ} = 3055 \text{ kJ}$$

Solution : [Données : m = 1.0 kg, $T_i = -10^{\circ}\text{C}$ et $T_f = 110^{\circ}\text{C}$. À trouver: Qoyl. Nous devons élever la température de la glace à 0°C, la faire fondre, élever la température de l'eau à 100°C, la vaporiser et élever la température de la vapeur à 110°C. Rappelons que chaque état a sa propre capacité calo-

soit, avec deux chiffres significatifs, $Q_{gy} = 3.1 \times 10^3 \text{ kJ}$

Notons que la plus grande partie de cette énergie sert à transformer l'eau en vapeur.

Vérification rapide: Parce que la calorie a été définie à partir du comportement de l'eau, les problèmes qui concernent exclusivement l'eau sont plus faciles à traiter en utilisant cette ancienne unité:

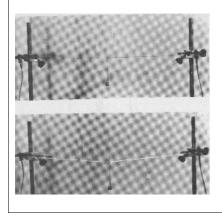
$$\begin{split} Q_{\rm gv} &= (1~{\rm kg})(0,\!50~{\rm kcal.kg^{-1}.K^{-1}})(+10~{\rm K}) + (1~{\rm kg}) \\ &\times (80~{\rm kcal/kg}) + (1~{\rm kg})(1,\!00~{\rm kcal.kg^{-1}.K^{-1}}) \\ &\times (+100~{\rm K}) + (1~{\rm kg})(540~{\rm kcal/kg}) \\ &+ (1~{\rm kg})(0,\!48~{\rm kcal.kg^{-1}.K^{-1}})(+10~{\rm K}) \\ Q_{\rm gv} &= 5,\!0~{\rm kcal} + 80~{\rm kcal} + 100~{\rm kcal} + 540~{\rm kcal} \end{split}$$

 $Q_{\rm ev} = 729.8 \text{ kcal} = 3.1 \times 10^3 \text{ kJ}$

3 Dilatation thermique

3.1 Expériences

Dilatation d'un fil chauffé par passage du courant



Anneau de Gravesande

+ 4,8 kcal

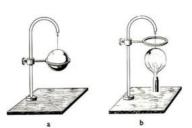




Fig. 3. a) La dilatation cubique d'un solide (Expérience de l'anneau de 'S Gravesande).
a) Une sphère de cuivre passe à frottement doux dans un anneau du *même*

b) La sphère, chauffée dans la flamme d'un brûleur à gaz, ne peut plus traverb) La spirete, chauties dais a hamme ser l'anneau; l'élévation de sa température s'est donc accompagnée d'une augmentation de son diamètre, donc d'un accroissement de son volume. c) Si l'anneau et la sphère sont chauffés simultanément dans la même flamme, la sphère peut de nouveau traverser l'anneau, preuve que le diamètre de l'anneau se dilate autant que celui de la sphère.

Conclusion

Lorsque la température d'un corps s'élève, le corps se dilate. Inversement, si le corps se refroidit, il se contracte.

3.2 Dilatation linéaire

Nous nous limitons pour le moment aux solides allongés ou étirés, de façon qu'une dimension prédomine : tige, tuyau, poutre, fil,...on parle de dilatation linéaire.

 L_1 la longueur de la tige à t_1 °C Appelons

 L_2 , la longueur de la tige à t_2 °C

 ΔL , l'allongement subi par la tige lorsque sa température passe de t_1 à t_2

L'expérience montre que cet allongement ΔL dépend

De l'accroissement de température $\Delta t = t_2 - t_1$ De, la longueur initiale L_1 de la tige

De la nature ou de la matière de cette tige

$$\Delta L = \lambda . L_1 . \Delta t$$

 λ : coefficient qui dépend de la nature du corps ; c'est le coefficient de dilatation linéaire du corps.

 $\lambda = \frac{\Delta L}{L_1 \cdot \Delta t}$ le coefficient linéaire d'une substance est

l'allongement que subit l'unité de longueur du corps pour une élévation de température de 1°C

 λ dépend de la nature du corps et s'exprime en /°C ou C^{-1}

Ce tableau montre que les coefficients de dilatation sont très faibles et pour les solides, l'ordre de grandeur de λ se situe autour du 10^{-5} /°C

La formule $\Delta L = \lambda . L_1 . \Delta t$ peut se transformer pour donner:

$$L_2 = L_1 \left[1 + \lambda \left(t_2 - t_1 \right) \right]$$

3.3 Dilatation cubique

Il est bien évident qu'un corps chauffé va se dilater dans tout l'espace, donc suivant les 3 dimensions ; on parle de dilatation cubique (ou volumique)

Par un raisonnement analogue à la dilatation linéaire, on aura :

 V_1 le volume du corps à t_1 °C

 V_2 , le volume du corps à t_2 °C

 ΔV , l'accroissement de volume subi par le corps lorsque sa température passe de t_1 à t_2

L'expérience montre que cet accroissement de volume dépend

De l'accroissement de température $\Delta t = t_2 - t_1$

Du volume initial V_1 du corps

De la nature ou de la matière du corps

$$\Delta V = \beta . V_1 . \Delta t$$

 β = coefficient de dilatation cubique du corps (en /°C)

 $\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \cdot \Delta t}$ le coefficient de dilatation cubique d'une substance est l'accroissement que subit l'unité de volume du corps pour une élévation de température de 1°C

Relation entre β et λ

Prenons un cube de volume V_1 et d'arête L_1 à la température $t_1: V_1 = L_1^3$

TABLEAU 14.2 Valeurs * approchées du coefficient de dilatation linéique a

Matériau	α(K ⁻¹)
Aluminium	25 × 10 ⁶
Laiton	18.9×10^{-6}
Brique	10×10^{-6}
Diamant	1 × 10 6
Ciment et béton	$10-14 \times 10^{-6}$
Cuivre	16.6×10^{-6}
Verre (ordinaire)	$9-12 \times 10^{-6}$
Verre (Pyrex)	3×10^{-6}
Verre (Vycor)	0.08×10^{-6}
Or	13×10^{-6}
Granite	8 × 10 ⁶
Caoutchouc dur	8×10^{-6}
Invar (64 % Fe. 36 % Ni]	1.54×10^{-6}
Fer (doux)	$9-12 \times 10^{-6}$
Plomb	29×10^{-6}
Nylon (moulé)	81 × 10 ⁻⁶
Paraffine	130×10^{-6}
Platine	$8,9 \times 10^{-6}$
Porcelaine	4×10^{-6}
Quartz (fondů)	0.55×10^{-6}
Acier (de construction)	12×10^{-6}
Acier (inoxydable)	17.3×10^{-6}

* Aux températures proches de 20°C.

Si on le chauffe à la température t_2 , son volume

devient
$$V_2 = L_2^3$$

$$V_2 = L_2^3 = [L_1(1 + \lambda \Delta t)]^3 = L_1^3 \cdot (1 + \lambda \Delta t)^3$$

= $L_1^3 \cdot (1 + 3\lambda \Delta t + 3\lambda^2 \Delta t^2 + \lambda^3 \Delta t^3)$

En négligeant les termes en λ^2 et en λ^3 , on arrive à la relation :

$$V_2 = V_1. (1+3\lambda\Delta t)$$

$$V_2 = V_1 + V_1 3 \lambda\Delta t$$

$$V_2 - V_1 = \Delta V = V_1 3\lambda\Delta t$$

En conclusion, on obtient : $\beta = 3\lambda$

3.3.1 Dilatation: applications

* Considérons un corps solide, plein, homogène et de forme quelconque. Isolons, par la pensée, une petite sphère de ce matériau à l'intérieur du corps.

Lorsque le corps est chauffé, il se dilate
uniformément; la petite sphère imaginaire se dilate
au même taux. Si on ôte la petite sphère, la cavité
résultante doit augmenter au même taux que la sphère elle-même.

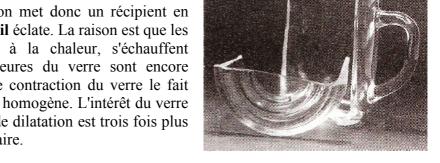
TABLEAU 14.3 Valeurs* approchées du coefficient de dilatation volumique, β

Matériaux	$\boldsymbol{\beta}$ (K ⁻¹)
Solides	
Aluminium	72×10^{-6}
Asphalte	≈600 × 10 ⁻⁶
Laiton	56×10^{-6}
Ciment et béton	≈36 × 10 ⁻⁶
Verre (ordinaire)	≈26 × 10 ⁻⁶
Verre (Pyrex)	9×10^{-6}
Invar	$2,7 \times 10^{-6}$
Fer	36×10^{-6}
Plomb	87 × 10 ⁻⁶
Paraffine	590 × 10 ⁻⁶
Porcelaine	11 × 10 ⁻⁶
Quartz (fondu)	$1,2 \times 10^{-6}$
Acier (de construction)	36 × 10 ⁻⁶
Liquides	
Acétone	1487×10^{-6}
Alcool éthylique	1120×10^{-6}
Essence	950×10^{-6}
Glycérine	505 × 10 ⁻⁶
Mercure	182×10^{-6}
Térébenthine	973 × 10⁻6
Fau	207×10^{-6}

Nous en concluons que, lorsqu'un corps se dilate ou se contracte sous l'effet d'une variation de température, des cavités qui peuvent être à son intérieur se dilatent ou se contractent dans le même rapport, comme si elles étaient pleines.

Ainsi, la cavité à l'intérieur du verre d'un thermomètre à mercure se dilate exactement comme si elle était pleine de verre. Une jante en fer chauffée se refroidit et serre le bois d'une roue de chariot.

- * Inversement, on fait couler de l'eau chaude sur le couvercle métallique d'un bocal en verre pour l'ouvrir, parce que le coefficient de dilatation de l'acier est plus grand que celui du verre; le couvercle se dilate alors plus que le verre et il se desserre plus facilement.
- * D'autre part, le verre ordinaire est un mauvais conducteur de la chaleur; si on met donc un récipient en verre dans un four déjà chaud, il éclate. La raison est que les faces du récipient exposées à la chaleur, s'échauffent pendant que le, zones intérieures du verre sont encore froides. Une dilatation ou une contraction du verre le fait éclater si elle n'est pas lente et homogène. L'intérêt du verre Pyrex est que son coefficient de dilatation est trois fois plus faible que celui du verre ordinaire.



* Chaque fois que des corps ou des structures sont exposés à de grandes variations de température, on doit se soucier

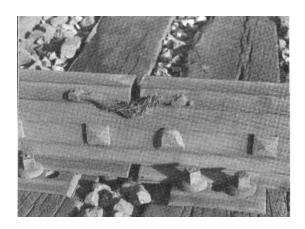
Cette chope en verre épais a éclaté en deux, quand on l'a remplie d'eau chaude.

des effets de la dilatation ou de la contraction. Si on ne laisse pas un espace entre les dalles de béton sur les routes, ils peuvent se courber ou craquer. La plupart des structures d'acier exposées aux variations de température (ponts par exemple) doivent avoir des «joints» qui permettent la dilatation et la contraction.

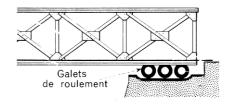
Un jour de grand froid, en 1937, le Bay Bridge de San Francisco s'est contracté de 1,35 m. Le plus souvent, les petits ponts ont une extrémité fixe et l'autre libre, sur des rouleaux pour permettre les variations de longueur.

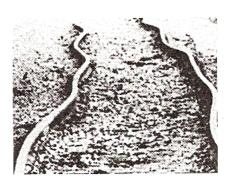


En concevant un pont, il faut prévoir sa dilatation ou sa contraction avec les variations de lempérature. La photo montre un joint de dilatation d'un pont ancien sur la Seine, à Paris.





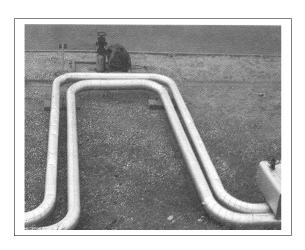


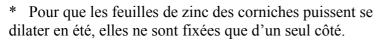


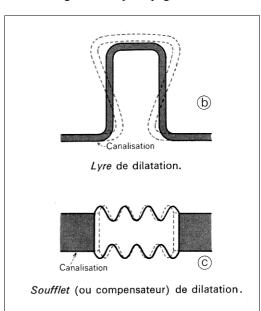
Dans le temps, les trains tressautaient en roulant, car on devait laisser entre deux tronçons de rails un espace suffisant pour qu'ils puissent se dilater par temps chaud (joints de dilatation). La photo montre ce qui risque de se produire si cette précaution n'est pas prise. De nos jours, de nouveaux alliages à faible dilatation permettent d'assembler les voies avec des morceaux de rails beaucoup plus longs avec des joints de dilatation semblables, ce qui augmente considérablement le confort des trains.

La figure de gauche montre un joint de dilatation dans la façade d'un bâtiment.

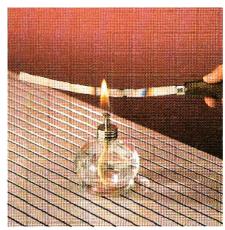
- * Les matériaux qu'on utilise pour le plombage et la couronne des dents doivent avoir le même coefficient de dilatation que les dents pour supporter les variations de température des aliments.
- * Les conduites d'eau chaude ou de vapeur doivent pouvoir se dilater. On utilise alors une partie déformable appelée « lyre de dilatation » ou des soufflets de dilatation.



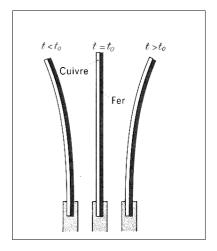




- * Pour assembler des plaques métalliques, on se sert de rivets à chaud. Ils sont portés au rouge, mis en place et façonnés à chaud ; au refroidissement, la contraction entraîne une application plus étroite des plaques l'une contre l'autre.
- * On se sert de la dilatation thermique dans les *bilames*. *Deux* lames métalliques, de coefficients de dilatation très différents, sont liées l'une contre l'autre. Lorsqu'on chauffe l'ensemble, il se courbe vers la lame dont le coefficient est le plus faible. Ces lames peuvent être utilisées comme thermomètres, capteurs et interrupteurs circuits électriques. ($\lambda_{Cu} = 16.10^{-6}$ λ_{Fe}

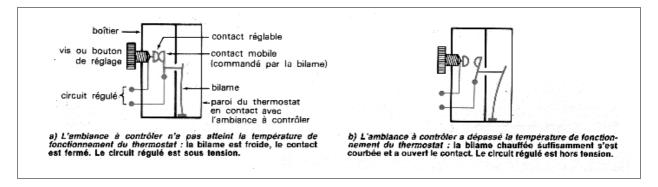


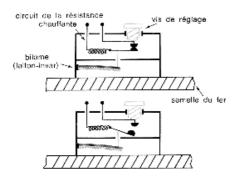
Un bilame se courbe, si on le chauffe.



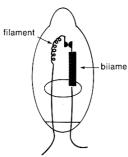
 $= 12.10^{-6}$)

* Le thermostat et le bilame





* L'ampoule et le bilame



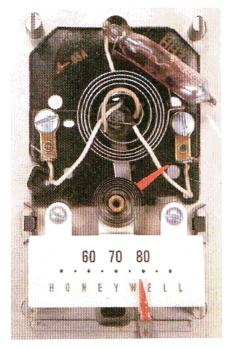
* Le robinet thermostatique

3.5 Dilatation des liquides

Comme les solides, les liquides sous l'action de la chaleur, se dilatent. Toutefois, les liquides ont un coefficient de dilatation nettement supérieur à ceux des solides. De la même façon que pour les solides, on aura :

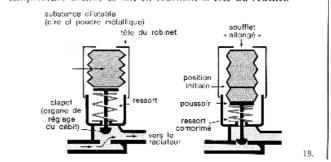
 V_1 , le volume de liquide à t_1 °C

 V_2 , le volume de liquide à t_2 °C



Un bilame enroulé en une spirale est utilisé ici dans un thermostat pour le contrôle de la température d'une pièce. En se dilatant, la bobine incline la fiole de mercure, ce qui coupe le courant électrique et donc le chauffage.

Le robinet thermostatique (fig. 19) est monté à la place du robinet manuel sur un radiateur à cau chaude. Il règle automatiquement la circulation de l'eau en fonction de la température ambiante de la pièce : ainsi, quand la température souhaitée est atteinte, il « ferme » le radiateur. Le réglage de la température désirée se lait en tournant la tête du robinet.



 ΔV , l'accroissement de volume subi par le liquide lorsque sa température passe de t_1 à t_2

L'expérience montre que cet accroissement de volume du liquide dépend

De l'accroissement de température $\Delta t = t_2 - t_1$

Du volume initial V_1 de liquide

De la nature ou de la matière du liquide

$$\Delta V = a.V_1.\Delta t$$

a = coefficient de dilatation absolu du liquide (en /°C)

$a=\frac{\Delta V}{V_{1}.\Delta t}$ le coefficient de dilatation absolu d'un liquide est l'accroissement que subit l'unité de volume du liquide pour une élévation de température de 1°

Valeurs de quelques coefficients a

Liquides	
Acétone	1487×10^{-6}
Alcool éthylique	1120×10^{-6}
Essence	950×10^{-6}
Glycérine	505×10^{-6}
Mercure	182×10^{-6}
Térébenthine	973×10^{-6}
Eau	207×10^{-6}

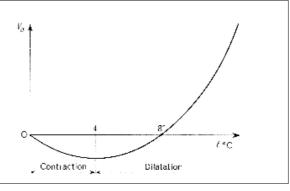
La formule $\Delta V = a.V_1.\Delta t$ peut se transformer pour donner :

$$V_2 = V_1 \left[1 + a(t_2 - t_1) \right]$$

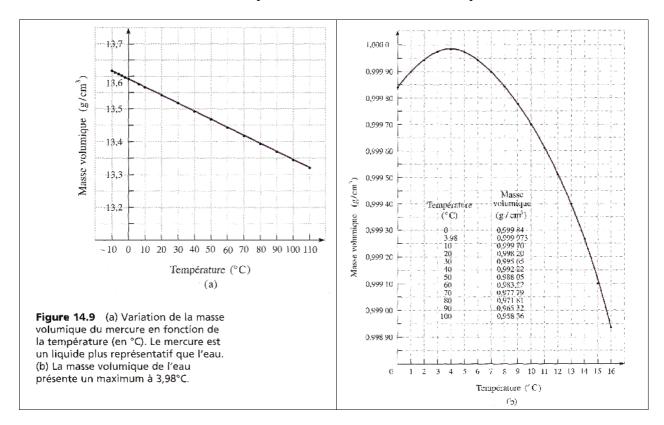
3.5.1 La dilatation particulière de l'eau

Voici quelques données expérimentales sur le volume d'une masse d'eau

to C	Volumes V (cm³)	Dilatations V - V ₀ (cm ³)
	()	
Oo	1 000,00	
20	999,90	0,10
4°	999,87	0,13
60	999,90	0,10
80	999,99	0,01
100	1 000,14	+ 0,14
120	I 000,32	+ 0,32
200	1 001,64	+ 1,64



Voici la courbe de la masse volumique de l'eau en fonction de la température

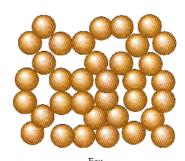


Le volume de l'eau diminue quand sa température passe de 0°C à 4°C. Ensuite l'eau se dilate mais cette dilatation n'est pas linéaire comme pour un liquide normal. L'eau présente une anomalie de dilatation.

Rappelons que la masse volumique ρ d'un liquide représente sa masse m sur le volume V

- $ρ = \frac{m}{V}$ et elle s'exprime en kg / m³ ou en g / cm³. Pour une masse m constante si le volume augmente, ρ diminue et inversement
- * L'eau se solidifie en augmentant de volume (ρ_{eau} 0°C = 999.8 kg/m³ et ρ_{glace} = 917 kg/m³), ce dont on doit tenir compte pour éviter que les canalisations d'eau ne se détériorent lors des de gelées. Il faut donc les vider en périodes de gel.
- * Le fait d'avoir une masse volumique maximale en t = 4°C est important pour l'Homme.

Les implications pour la vie sur Terre sont cruciales. Quand, à l'assaut de l'hiver, un lac ou un courant d'eau se refroidit progressivement à sa surface, l'eau plus froide et plus dense descend vers le fond qui a une température de l'ordre de 4°C. Mais si la température descend au-dessous de 4°C, l'eau plus froide devient de moins en moins dense et flotte à la surface. À 0°C, de la glace se forme à la surface et gagne de plus en plus en profondeur. Mais comme elle est une plus mauvaise conductrice de la chaleur que l'eau liquide, sa présence même ralentit la formation de la glace. Ainsi la couverture superficielle de glace protège les lacs et les cours d'eau du froid hivernal, permettant à la vie de continuer au-dessous de la surface où la température reste sensiblement à 4°C.



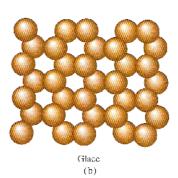


Figure 14.10 (a) Les molécules d'eau en phase liquide forment de petits groupements peu ordonnés. (b) Quand le solide se forme, les molécules se disposent en une structure cristalline hautement ordonnée.

3.6 Le gaz parfait

Parce qu'un gaz se répand pour remplir tout le récipient qui le contient, un gaz n'obéit pas à une simple loi de variation de volume avec la température.

3.6.1 Paramètres d'état d'un gaz

Expériences

• Enfoncer le piston d'une pompe de bicyclette tout en bouchant l'autre extrémité avec le doigt.

Le volume d'air diminue et sa pression augmente comme le prouve la force qu'il faut exercer pour maintenir le piston. Le doigt ressent une augmentation de température, le gaz s'est échauffé. Une diminution de volume entraîne une augmentation de température, la quantité de gaz restant constante.

• Une marmite à pression fermée hermétiquement contient de l'eau et de l'air à la pression atmosphérique. Si on élève la température de l'ensemble, l'eau produit de la vapeur d'eau. Le nombre de particules augmente ainsi que la pression dans l'enceinte.

- Pourquoi ne faut-il pas surgonfler les pneus de voiture avant un long trajet en été ? Car à cause des frottements du pneu sur la route et de la chaleur, la température du pneu augmente ainsi que sa pression.
- Pourquoi faut-il regonfler les pneus en hiver ? Car une diminution de température entraîne une diminution de pression.
- Il est dangereux de jeter une bombe d'aérosol dans le feu car elle contient toujours le gaz propulseur qui pourrait s'échauffer et augmenter de pression. Cette pression peut devenir tellement grande qu'une explosion se produit.

Conclusions

Quatre grandeurs physiques permettent de caractériser l'état d'un gaz.

- la pression P
- le volume V
- la température t
- le nombre de particules N

On les appelle « paramètres d'état ». Ces paramètres sont liés entre eux par une équation qu'on appelle équation d'état du gaz.

Expérimentalement, on ne peut étudier l'influence de tous les paramètres à la fois. Sur les 4 paramètres, on en garde 2 constants et on étudie la relation qui existe entre les 2 autres. Nous étudierons ainsi les transformations :

- à nombre de particules constant
 - à température constante ou transformation *isotherme*
 - à pression constante ou transformation *isobare*
 - à volume constant ou transformation isochore

3.6.2 Le modèle du gaz parfait

Le modèle le plus simple pour étudier le comportement d'un gaz est celui du *gaz parfait*. Les hypothèses de ce modèle sont les suivantes :

- Les molécules sont assimilées à des sphères (quasi ponctuelles) en agitation permanente.
- Chaque molécule est caractérisée par sa masse m.
- Les interactions entre ces molécules sont quasi nulles sauf lorsqu'elles s'entrechoquent.
- Entre 2 chocs, les molécules se meuvent sur une trajectoire rectiligne.
- Les particules ne possèdent que de l'énergie cinétique ($E_{mol} = m \cdot V^2/2$)

Le modèle du gaz parfait est évidemment théorique mais un grand nombre de gaz réels se comporte comme tel.

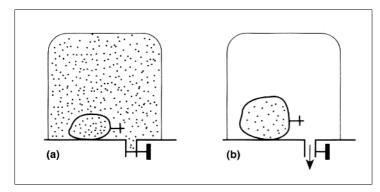
Pour qu'un gaz réel se comporte comme un gaz parfait, il faut qu'il soit à : une température assez élevée (pour avoir une vitesse de particule élevée) une pression assez basse (pour avoir des forces d'interactions entre molécules nulles)

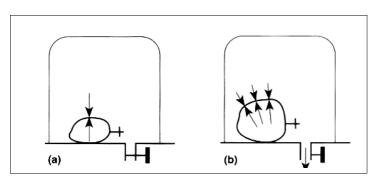
3.6.3 Notion de pression

La pression exercée par un gaz est un des effets les plus visibles de son agitation moléculaire.

3.6.3.1 Expérience

Ballon de baudruche dans une cloche à vide





Lorsque l'on retire l'air, le ballon se met à gonfler.

Lorsque le ballon est placé sous la cloche, la pression atmosphérique s'exerce aussi bien sur la paroi extérieure du ballon que sur la paroi intérieure.

Dès qu'une partie de l'air est retirée, la pression exercée sur la surface extérieure est plus faible que celle exercée sur la paroi intérieure par l'air enfermé dans celui-ci : le ballon gonfle.

Pour comprendre l'existence d'une pression exercée par un gaz, regardons ce qui se passe sur une petite surface du ballon.

Cette surface subit des collisions d'un grand nombre de molécules ce qui a un effet identique à celui produit par une force constante exercée sur cette surface.

On peut comparer cet effet à celui des coups répétés d'un boxeur dans un punching-ball : le ballon restant pratiquement immobile et écarté de sa position verticale comme s'il subissait une force constante.

La pression est due aux forces exercées par les molécules qui percutent la surface.

Comme on relie la notion de pression du gaz avec celle des chocs, on peut supposer que: la pression du gaz augmente avec <u>le nombre et la violence des chocs</u>.

Donc la pression P sera d'autant plus grande que :

- l'énergie cinétique des particules est grande

 plus la masse et la vitesse (donc la température) sont élevées.
- le nombre de particules par unité de volume est élevé.

3.6.3.2 Rappel sur les unités de pression

Patm normale = 76 cm de Hg = 760 mm Hg = 101396 Pa = 1014 hPa = 1,014 bar = 1014 mbar $\rightarrow \rho$.g.h = 13600 . 9,81 . 0,76 = 101396 Pa

(1 bar = $100000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$)

3.6.4 Théorie cinétique des gaz

La théorie cinétique des gaz permet d'établir une loi fondamentale qui permet de lier la pression d'un gaz, le nombre de particule et l'énergie cinétique de ses particules.

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot E_c$$

$$P \text{ Pression}$$

$$N \text{ Nombre de particules}$$

$$V \text{ Volume du gaz}$$

$$M \text{ Masse d'une particule de ce gaz}$$

$$E_c \text{ Energie cinétique moyenne des particules}$$

Cette relation confirme les faits expérimentaux à savoir que la pression P est d'autant plus grande que :

- La masse et la vitesse des molécules sont élevées
- Le nombre de particules par unité de volume est élevé.

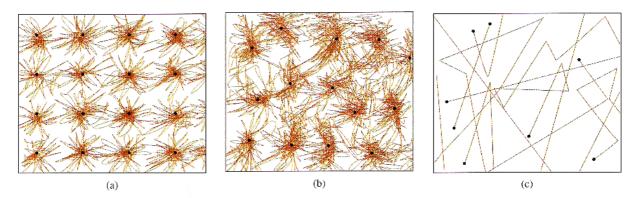


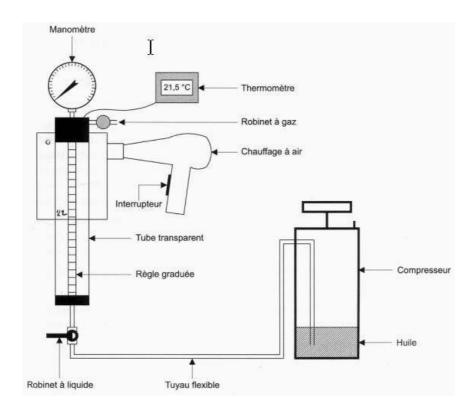
Figure 15.1 (a) Dans un solide, chaque atome oscille au voisinage de sa position d'équilibre et entre en collision (interagissant électromagnétiquement) avec ses proches voisins. (b) Dans un liquide, les positions d'équilibre se déplacent et chaque atome vibre avec une plus grande amplitude. (c) Dans les gaz, les oscillations disparaissent et le mouvement est essentiellement libre, jusqu'à ce que les atomes entrent en collision.

3.6.5 Etude expérimentale des gaz

Nous allons vérifier expérimentalement les différents paramètres contenus dans $P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot Ec$

L'appareil est constitué:

- d'un tube transparent dont le diamètre extérieur est de 50 mm; sa hauteur est d'environ 50 cm. Il est fixé sur un panneau maintenu verticalement à l'aide d'un support;
- d'un manomètre de classe 1,0 (voir § 7, page 16: incertitudes de mesure) monté sur la partie supérieure du tube;
- d'un robinet à gaz placé sous le manomètre; il permet d'amener la pression de l'air content dans le tube à la pression atmosphérique;
- d'un thermomètre électronique à affichage numérique permettant de déterminer la température du gaz contenu dans le tube;
- d'un manchon chauffant transparent sur lequel est fixé un système de chauffage à air se raccordant au secteur 230 V ~, avec deux puissances de chauffe (700 W et 1 400 W);
- d'un compresseur contenant de l'huile qui peut être envoyée, par un tuyau flexible, à l'intérieur du tube transparent;
- 7. d'un robinet à liquide permettant de modifier la hauteur d'huile dans le tube;
- 8. d'une règle graduée placée derrière le tube.



3.6.5.1 Etude du volume V en fonction de la pression P (loi de Boyle et Mariotte)

Si la masse du gaz (donc N) et la température (donc E_c) ne changent pas alors on doit avoir que

$$P = \frac{Cste}{V}$$
 ou $PV = Cste$

Vérifions cette propriété

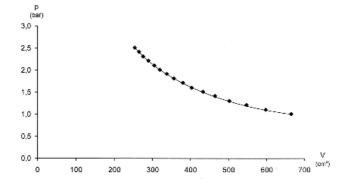
Lorsqu'on augmente la pression (lue au manomètre) du gaz, son volume se met à diminuer. Inversement, si sa pression diminue son volume augmente. La pression P et le volume V du gaz, évoluent en sens inverse.

Des mesures précises montrent que :

si *P* double, le volume est deux fois plus petit

si P triple, le volume est trois fois plus petit,...

Le graphique P = f(V) a l'allure d'une hyperbole

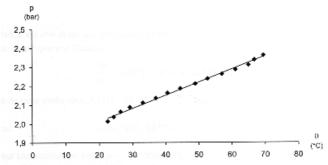


Pour une masse donnée de gaz, le produit de sa pression P par son volume V est constant

P.V = Constante

3.6.5.2 Etude de la pression en fonction de la température (à volume constant)

L'étude expérimentale montre que si la température t du gaz augmente, la pression P augmente aussi.



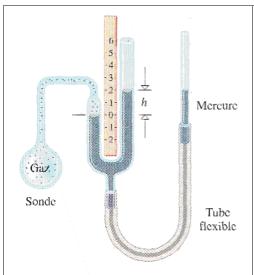


Figure 14.3 Thermomètre à gaz à volume constant. L'enceinte de gauche est la sonde. Si la température change, le volume du gaz varie. Les niveaux du mercure dans le tube en U se déplacent et la différence de hauteur h donne la pression dans la sonde. En déplaçant verticalement la colonne de mercure mobile de droite, on déplace les niveaux du mercure dans les deux autres colonnes, ce qui permet de garder le volume du gaz constant.

TABLEAU 14.1 Température de quelques phénomènes physiques		
°C	Phénomène	K
- 273,2	Zéro absolu	0
- 269	Ébullition de l'hélium	1,2
- 196	Ébullition de l'azote	77.2
- 183	Ébullition de l'oxygène	90,2
- 79	Congélation de la neige carbonique	194.2
- 39	Congélation du mercure	234,2
0	Congélation de l'eau	273,2
3,8	Congélation de l'eau lourde	277
≈20	Température ambiante	≈293 · ·
31	Fusion du beurre	304
≈37	Température du corps humain	≈310
≈54	Fusion de la paraffine	=327
78	Ébullition de l'alcool	351
100	Ébullition de l'eau	373.2
101,4	Ébullition de l'eau lourde	374,6
108	Ébullition de l'eau salée saturée	381
232	Fusion de l'étain	505
327	Fusion du plomb	600
445	Ébullition du souire	718
657	Fusion de l'aluminium	930
108	Fusion du sel (NaCl)	1074
961	Fusion de l'argent	1234
1063	Fusion de l'or	1336
1083	Fusion do cuivre	1356
1000-1400	Fusion du verre	1273-1673
1300-1400	Fusion de l'acter	1575-1673
1530	Fusion du fer	1803
1620	Ébuliition du plomb	1893
1774	Fusion du platine	2047
1870	Brûleur Bunsen	2143
2450	Ébullition du fer	2723
≈3410	Fusion du tungstène	≈3680
3500	Flamme du chalumeau oxyacétylénique	3780
5500	Arc de carbone	5780
6000	Surface du Soleil	6280
6020	Arc de soudure du fer	6300

3.6.5.3 Le zéro absolu – Température absolue (Echelle Kelvin)

Des mesures précises montrent que si on refroidit le gaz, sa pression diminue.

De ce fait, pour une température donnée, la pression du gaz deviendrait nulle (en supposant que le gaz ne se liquéfie pas).

Lord Kelvin, ne William Thomson (1824-1907), était l'un des plus grands scientifiques du dix-neuvième siècle.

Cette température est de l'ordre de - 273 °C

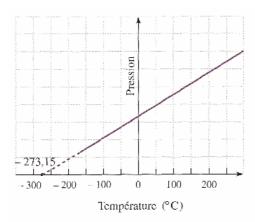


Figure 14.4 Variation de la pression d'un gaz, à volume constant, en fonction de la température. Si le gaz se refroidit, ses atomes perdent une partie de leur énergie thermique; ils se déplacent alors plus lentement et entrent en collision avec les parois de l'enceinte moins fréquemment et moins énergiquement. Par suite, la pression dans l'enceinte diminue. Tous les gaz se comportent essentiellement de la même façon. Leurs graphiques de P en fonction de T sont tous des droites de pentes différentes, mais qui coupent toutes l'axe de la température (P = 0) au même point, le zéro absolu –273,15°C.

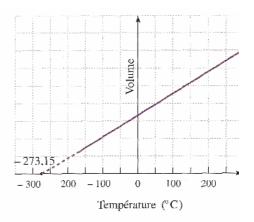


Figure 14.5 Variation du volume d'un gaz, à pression constante, en fonction de la température. Si le gaz se refroidit, ses atomes deviennent moins énergétiques. Pour conserver la pression constante, le volume doit diminuer, ce qui rend les collisions avec les parois de l'enceinte plus fréquentes. Tous les gaz se contractent et leur volume tend vers zéro quand la température tend vers le zéro absolu –273,15°C.

Au fur et à mesure que la température diminue, la vitesse des molécules diminue et par conséquent la pression du gaz.

Pour une température suffisamment basse, la pression serait nulle, les molécules seront immobiles et leur vitesse nulle.

Il n'est donc plus possible de retirer de l'énergie à un système qui n'en a plus et donc il est impossible de diminuer encore la température en dessous de cette limite.

Pour cette raison, la température ultime de – 273 °C est appelée « zéro absolu » Echelle Kelvin

Le « zéro absolu » est à l'origine d'une nouvelle échelle des températures appelée « échelle Kelvin » ou « échelle des températures absolues ».

On introduit l'échelle des températures absolues T, en utilisant la loi suivante

$$T(\circ K) = T(\circ C) + 273$$

T = température absolue liée à l'agitation thermique des particules

Son unité est le Kelvin *K* ou degré Kelvin

Le zéro absolu correspond à :

$$t = -273 \, ^{\circ}\text{C} \rightarrow T = 0 ^{\circ}\text{K}$$

 $t = 0 \, ^{\circ}\text{C} \rightarrow T = 273 \, ^{\circ}\text{K}$

3.6.6 Equation des gaz parfait

Le cours de chimie vous a appris que les paramètres d'état d'un gaz sont liés entre eux par la formule des gaz parfaits :

$$P. V = n. R. T$$

Avec P: la pression du gaz en Pa

V: le volume du gaz en m³n: le nombre de moles du gaz

T: la température du gaz exprimée en degré Kelvin

R: la constante des gaz parfait = 8,32 J / K.mole

Pour une masse donnée de gaz, le nombre de moles n est constant.

De ce fait, on a lors d'une transformation d'état du gaz :

$$\frac{PV}{T}$$
 = Constante

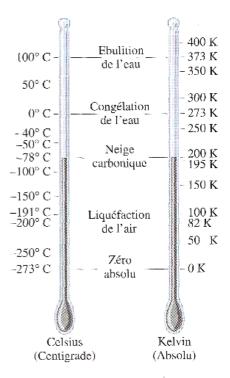


Figure 14.6 Comparaison des échelles de température Celsius et Kelvin. Actuellement tout travail scientifique est exprimé dans l'un de ces deux systèmes; l'échelle Kelvin est préférable.

Rappel sur les unités employées.

On sait qu'une <u>mole</u> de gaz occupe dans les conditions normales de température (0°C = 273 ° K) et de pression (1atm = 101326 Pa), un volume de 22,4 litre = 0,0224 m³

En chimie	En physique
$R = PV/T = \frac{1.22.4}{2.73} = 0.082$ litre. atm / °K	$R = PV/T = \frac{101396.0,0224}{273} = 8.32 \text{ J/} ^{\circ}\text{K}$







Un rameau de plante congelé dans un bain d'azote liquide. En plongeant la plante dans le liquide pendant environ une minute, on abaisse sa température jusqu'à –196°C. (a) Les feuilles sont alors aussi cassantes que le verre et elles se brisent en fragments tranchants, si on les presse. Le rameau est si froid qu'il est capable de condenser en panaches la vapeur d'eau de l'air. (b) La main ne risque aucun mal, car la masse du rameau est petite et sa capacité calorifique est également très faible

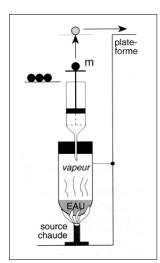
3.7 Les machines thermiques

3.7.1 Définition

Machine: transformateur d'énergie (dynamo, pile, moteur...)

Machine thermique: transforme l'énergie thermique (la chaleur) en travail (machine à vapeur, turbine, moteur à explosion, frigo, pompe à chaleur...)

3.7.2 Description simplifiée d'une machine thermique



Imaginions un système simple dans le but d'amener à une certaine hauteur, différents objets.

Premier temps

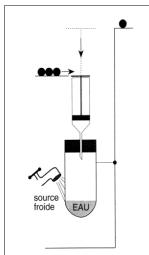
La flamme du bec Bunsen (*source chaude*) fait bouillir de l'eau, la vapeur soulève le piston qui soulève la masse à la hauteur souhaitée.

Deuxième temps

Pour que la machine puisse monter d'autres masses, il faut que le piston redescende.

Pour cela, il faut condenser la vapeur donc refroidir le système en le plaçant sous un robinet d'eau froide (*source froide*)

Un mouvement de va et vient du piston constitue un cycle



Pour qu'une machine puisse fonctionner d'une manière continue, elle doit agir de manière cyclique, c'est à dire revenir périodiquement à son état initial.

Pour qu'une machine puisse fonctionner d'une manière cyclique, il faut disposer de 2 sources : une source chaude et une source froide

3.7.3 Bilan des échanges d'énergie

La source chaude communique à la substance qui agit dans la machine thermique, une certaine quantité de chaleur Q_1 au début de chaque cycle.

Le moteur effectue un travail *W* et cède donc de l'énergie mécanique au monde extérieur.

Pour que le cycle se poursuive, il faut que la substance cède une certaine quantité de chaleur Q_2 à une source froide.

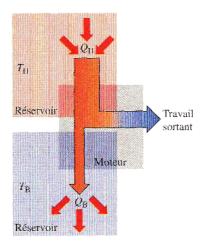


Figure 16.18 Représentation schématique d'un moteur thermique fonctionnant entre une source chaude et une source froide. Une quantité de chaleur Q_{ii} entre dans le moteur et une quantité inférieure Q_{g} en sort et il exécute un travail. L'énergie entrante est égale à l'énergie totale sortante.

Au cours d'un cycle, l'énergie doit se conserver et de ce fait $Q_1 = W + Q_2$

Le travail effectué par la machine est donc la différence entre la chaleur reçue de la source chaude et celle cédée à la source froide

$$W = Q_1 - Q_2$$

Comme il faut toujours une source froide, seulement une partie de la chaleur fournie par la source chaude est transformée en travail

3.7.4 Rendement d'une machine thermique

C'est le rapport entre le travail W fourni par la machine (ce que j'ai quand tout est fini) sur l'énergie fournie Q1 (ce que j'aurais du avoir si je n'avais rien perdu) TABLEAU 15.4 Valeurs approximatives

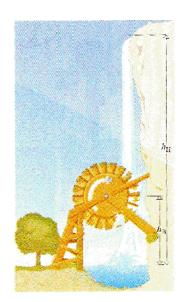


Figure 16.19 Une analogie entre une cascade d'eau et une machine

Rendement =
$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_2} < 1$$

Le rendement d'une machine thermique est toujours inférieur à 1 c'est à dire inférieur à 100 %



Remarque

Les études réalisées par Carnot montrèrent que le rendement maximum que peut avoir une machine thermique peut aussi s'écrire sous la forme suivante :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Où T_1 est la température (en ° *Kelvin*) de la source chaude et T_2 (en ° Kelvin), la température de la source froide

Cette formule montre que le rendement est d'autant plus grand que T_1 est élevé et que T_2 est petit

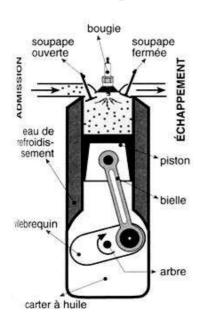
Exemples de rendement

Machine	T1 (K)	T2 (K)	Rdt max théorique en %	Rdt pratique en %
Locomotive à vapeur	450	300	33	10
Turbine d'une centrale nucléaire	540	300	45	33
Moteur à combustion	780	300	62	35

Le rendement pratique est toujours inférieur au rendement théorique à cause des nombreux frottements occasionnés par les pièces en mouvement, des pertes d'énergie à partir de la source chaude,

Matériau Chaleur	de combustion (MJ/kg)
Alcool méthylique	22
Alcool méthylique dénaturé	27
Anthracite (houille ou charbon dur	·) 33
Charbon bitumineux	30
Pain	10
Всите	33
Hydrates de carbone	17
Charbon de bois	28
Diesel	45
Fumier	17
Matières grasses	38
Essence	48
Méthane	56
Mazout	44
Propane	50
Protéines	17
Explosif	5

3.7.5 Description du moteur à combustion interne



Dispositif	Rendement (%)
Générateur électrique	70-90
Moteur électrique	50-93
Pile sèche	90
Four domestique à gaz	70-85
Batterie d'accumulateur	72
Pile à combustible hydrogène-oxygène	60
Fusée à carburant liquide	47
Turbine à vapeur	35-46
Centrale électrique thermique	30-40
Centrale électrique nucléaire	30-35
Réacteur nucléaire	- 39
Moteur d'avion	36
Laser à semi conducteurs	30
Moteur à combustion interne	20-30
Cellule solaire d'arséniure de gallium	> 20
Lampe fluorescente	.20
Cellule solaire de silicium	12-16
Locomotive à vapeur	8
Lampe à incandescence	.5
Machine à vapeur de Watt	1

TARIFAII 16.1 Rendement approximatif

Figure 4.5

a) Moteur à essence

Le premier moteur du belge Etienne LENOIR était trop peu puissant pour faire mouvoir un engin automobile. Par contre, le moteur de Nikolaus OTTO, à quatre temps, eut un succès immédiat. Il est basé sur la combustion dans un cylindre d'un mélange d'air et d'essence; la combustion est provoquée par l'étincelle qui jaillit aux bornes de la bougie (fig. 4.5). Dans la grande majorité des cas, un moteur de voiture possède 4 cylindres.

Un litre d'essence en brûlant avec l'air dégage une énergie considérable de 40 MJ. Comme toute machine thermique, le moteur doit être refroidi : le vilebrequin baigne dans l'huile du carter et de l'eau circule dans des conduits perforés dans le bloc moteur. L'eau est elle-même refroidie par l'air à travers le radiateur.

Chaque cylindre possède au moins deux soupapes (valve en anglais) : une soupape d'admission et une soupape d'échappement. Les soupapes règlent les échanges gazeux avec l'extérieur. Elles sont maintenues fermées par des ressorts. Elles s'ouvrent au moment opportun du cycle moteur à l'aide des cames (pièces arrondies non circulaires attachées) d'un arbre lui-même entraîné par le moteur (fig. 4.6 a et b).

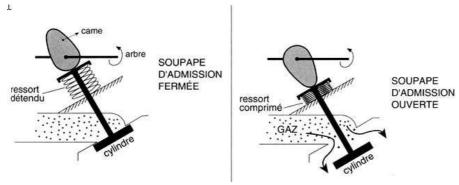


Figure 4.6 a

Figure 4.6 l

Le fonctionnement du moteur 4 temps est schématisé dans les figures suivantes (fig. 4.7 a, b et c). La description est faite pour un seul cylindre, le processus étant identique, quoique non simultané pour les autres cylindres.

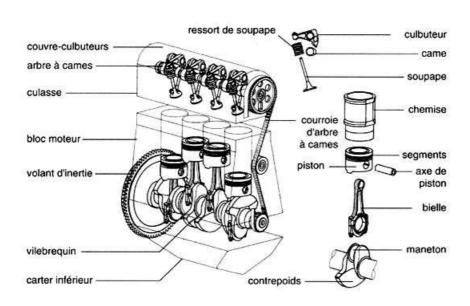
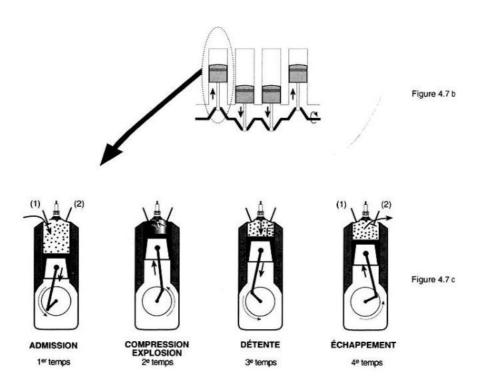


Figure 4.7 a



Premier temps: l'admission

La soupape d'admission (1) est ouverte, la soupape d'échappement (2) est fermée. Le piston, entraîné par la rotation de l'arbre moteur, descend et aspire un mélange d'air et d'essence.

Deuxième temps : la compression

Les deux soupapes sont fermées. Le piston remonte et comprime le mélange gazeux.

Quand le piston arrive au sommet de sa course, la bougie produit l'étincelle qui enflamme le carburant: c'est l'**explosion.** La **source chaude** est le mélange des gaz à haute température.

Troisième temps : la détente

Les soupapes sont toujours fermées. Le piston est repoussé violemment vers le bas; c'est la détente ou **temps moteur**. C'est en effet le seul moment du cycle où une force agit sur le piston. Au cours des temps suivants, le piston continuera son mouvement suite à l'inertie de l'arbre moteur.

Quatrième temps: l'échappement

La soupape d'échappement (2) est ouverte, la soupape d'admission (1) est fermée. Le piston remonte et les produits de la combustion sont expulsés à l'extérieur.

Notons que dans le cylindre, il y des variations de température assez importantes : la température est maximale lors de l'explosion du mélange air-essence et minimale lors de l'admission du mélange air-essence.

b) Moteur Diesel

Vers 1885, Rudolf DIESEL (1858-1913) commence ses recherches en vue d'obtenir un moteur plus performant et meilleur marché utilisant des produits pétroliers moins raffinés (huiles lourdes du pétrole). Son idée étant que « de très hautes pressions doivent être utilisées pour tirer l'avantage maximal du processus». Or, il n'est pas possible de comprimer fortement un mélange d'air et de mazout sans obtenir automatiquement une explosion; explosion qui aurait lieu à un moment inopportun, lors de la remontée du piston. Il faut donc dissocier l'admission d'air d'une part et l'admission de carburant d'autre part; c'est-à-dire provoquer :

- l'admission uniquement d'air au cours du premier temps
- une compression très élevée de l'air au cours du deuxième temps. Compression suivie d'une injection directe du combustible au moment où le piston atteint son point haut (fig. 4.8 a et b). La très grande pression, et l'échauffement qui en résulte, suffit à amorcer la combustion du mélange. Il n'y a donc plus besoin de bougies d'allumage.

Ce moteur a une très grande longévité (plus de 500 000 km pour les camions actuels); son fonctionnement est aussi très économique. Il fut développé pour la motorisation des camions, la propulsion des navires et fut adapté aux voitures de tourisme quelques années avant la seconde guerre mondiale par la firme Mercedes.

Le moteur est cependant plus lourd (coût supérieur de fabrication et donc d'achat) car il doit résister à des pressions très grandes; il est aussi plus bruyant.



Figure 4.8 a



Figure 4.8 b

Le rendement pratique des moteurs à essence avoisine les 35 %. Les 65 % économiquement perdus se retrouvent à peu près pour moitié dans la chaleur emportée par les gaz d'échappement et pour moitié dans la chaleur évacuée par le dispositif de refroidissement du moteur. Des 35 % qui représentent le travail W effectué par les pistons, une partie est déjà prélevée par le moteur lui-même pour son fonctionnement (pompe à essence, pompe à eau, ventilateur, alternateur...). Le reste est disponible pour les roues et, à vitesse constante en terrain horizontal, est consacré à vaincre les forces de frottements, dont les principales sont les frottements dans l'air, la déformation des pneus et les frottements dans les axes et la boîte de vitesse. Évidemment, en phase d'accélération, une partie du travail du moteur est converti - très provisoirement - en énergie cinétique.

3.7.6 Machine frigorifique

3.7.6.1 Expérience préliminaire

Lorsque l'on verse de l'éther sur sa main, il s'évapore c'est à dire qu'il passe de l'état liquide à l'état vapeur en laissant à la main une « sensation de froid ». Celle-ci provenant du fait que *pour s'évaporer*, le liquide à besoin d'énergie qu'il prend à la main qui se refroidit.

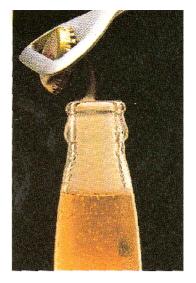
Ce passage de l'état liquide à l'état gazeux peut être accéléré en diminuant la pression au-dessus du liquide.

C'est sur ce principe que fonctionne une machine frigorifique

3.7.6.2 Principe

Un liquide fort volatil circule dans un circuit fermé. Une partie du circuit est dans le « freezer » et l'autre à l'extérieur, à l'arrière du frigo (Fig 5.7)

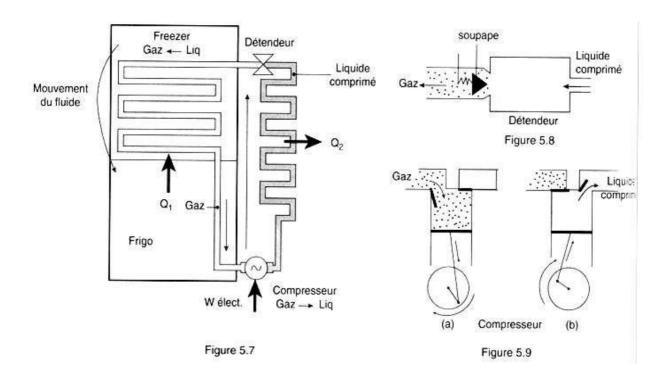
Le liquide, en traversant un **détenteur** (fig 5.8), s'évapore brusquement dans le circuit du freezer. Cette évaporation est endothermique et le milieu ambiant (aliments dans le frigo), en



Quand on ôte la capsule d'une canette de bière, le gaz dans le goulot se détend rapidement et adiabatiquement. Il effectue un travail sur l'air et perd ainsi de l'énergie thermique. Par suite, la température dans le goulot de la canette baisse brusquement, au point que la vapeur d'eau dans le goulot se condense en un brouillard de minuscules goutelettes.

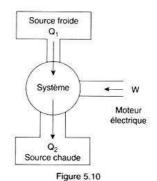
cédant de la chaleur (Q_1) , se refroidit. L'intérieur du frigo est appelé **source froide**. Le **compresseur** aspire ensuite le gaz (fig 5.9.a), le comprime et le refoule dans le circuit extérieur (fig 5.9.b) : le gaz se transforme en un liquide comprimé ; cette réaction est exothermique et la chaleur (Q_2) est évacuées vers l'extérieur du frigo appelé **source chaude**. C'est pourquoi l'arrière du frigo doit être bien aéré.

En repassant par le détenteur, le liquide se transforme en gaz et le cycle recommence.



Bilan énergétique

Un travail W est effectué par le moteur électrique du compresseur pour comprimer le fluide. Comme le fonctionnement du frigo est cyclique, en appliquant le principe de conservation de l'énergie, les échanges d'énergie doivent s'équilibrer et l'énergie reçue par le système (le fluide qui circule) sous forme d'énergie électrique et de chaleur est égale à l'énergie cédée sous forme de chaleur (fig 5.10) : $W + Q_1 = Q_2$



Les figures ci-dessous donnent une autre représentation du circuit frigorifique, du bilan d'énergie ainsi que le schéma d'un climatiseur.

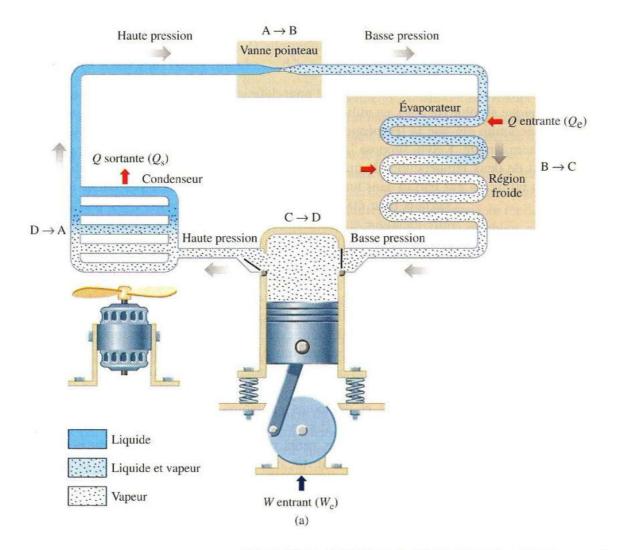


Figure 16.23 (a) Système de réfrigération d'un climatiseur ou d'un réfrigérateur domestique. L'évaporation de la vapeur froide et humide dans les bobines de l'évaporateur extrait la chaleur de la matière à refroidir.

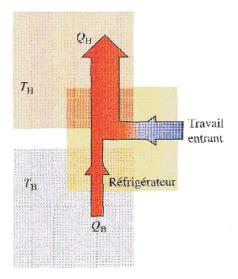


Figure 16.22 Représentation schématique d'une machine frigorifique. Elle prend une quantité de chaleur $Q_{\rm B}$ d'une région de basse température et expulse une quantité de chaleur $Q_{\rm H}$ vers une région de haute température, au prix d'une certaine quantité de travail absorbé.

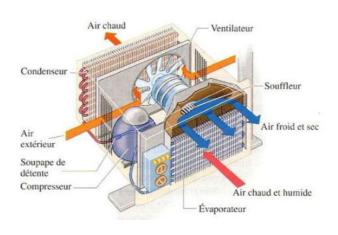


Figure 16.24 Un climatiseur monté sur une fenêtre. L'air humide et chaud de la pièce est attiré vers les serpentins froids d'évaporation, où il est refroidi. La vapeur d'eau se condense et coule vers un réservoir placé au-dessous.

3.7.7 La pompe à chaleur

Dans le circuit extérieur, le liquide est vaporisé; cette réaction étant endothermique, le liquide «pompe» la chaleur (Q_1) du milieu ambiant.

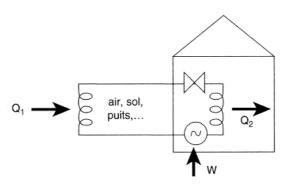


Figure 5.11

Dans le circuit intérieur, le gaz redevient liquide avec libération de chaleur (Q_2) .

Comme pour le frigo, nous pouvons écrire :

$$W + Q_1 = Q_2$$

Cette relation montre que Q_2 est supérieur à W.

Le rendement de cette installation est particulièrement intéressant puisque l'énergie thermique extérieure (Q_1) est illimitée et que l'on paie moins d'énergie (W) que l'on en reçoit (Q_2) .

$$Rendement = \frac{Q_2}{W} = \frac{W + Q_1}{W} > 1$$

La technique d'une mise en œuvre correcte est cependant plus délicate qu'un mode de chauffage classique.

3.8 Exercices sur l'énergie thermique

Echanges de chaleur

- 1. Quelle quantité de chaleur faut-il fournir pour chauffer 100 gr de cuivre de 10°C à 100°C ? Si on fournit cette chaleur à 100 gr d'aluminium à 10°C, à quelle température sera-t-il ? (Rép : 3,42 kJ et 48°C)
- 2. Quelle quantité de chaleur faut-il apporter à 3 kg d'eau pour faire passer sa température de 20° C à 80°C ? (Rép : 752,4 kJ)
- 3. Un bloc de glace de 25 kg est à la température de 5°C. On lui retire 210 kJ. Quelle est sa température finale ? (Rép : 9°C)
- 4. On apporte une quantité de chaleur de 41,85 kJ à 1 kg de bois qui voit sa température augmenter de 20°C à 44°C. Quelle est la chaleur massique du bois ? (Rép : 1,744 kJ/kg°C)
- 5. On apporte 2930 kJ à 100 kg de marbre initialement à 18°C. Quelle est sa température finale ? $C_{marbre} = 0.88 \text{ J/g}$ °C (Rép : 51.3 °C).
- 6. Si $C_{glace} = 2090 \text{ J/kg}^{\circ}\text{c}$, $C_{fglace} = 335.000 \text{ J/kg}$, $C_{eau} = 4180 \text{ J/kg}^{\circ}\text{c}$, $C_{veau} = 2255000 \text{ J/kg}$, $C_{vapeur\,eau} = 1880 \text{ J/kg}^{\circ}\text{c}$ alors calculer la quantité de chaleur à produire pour faire passer un bloc de glace de 2 kg de la température de -10°C à l'état de vapeur d'eau à 120°C . ((Rép: 6133000 J)
- 7. On apporte 2090 kJ à 2 kg d'eau à 80 °C. Quelle sera la quantité de vapeur produite à 100 °C ? $C_v = 2255 \text{ kJ/kg}, C_{eau} = 4180 \text{ J/kg}$ (Rép : 853g)
- 8. Quelle quantité de chaleur doit-on apporter à 100 kg de plomb à 20°C pour le faire fondre ($C_f = 25 \text{ kJ/kg}$, $t_{fusion} = 327$ °C, $C_{plomb} = 0.13 \text{ kJ/kg}$ °C) (Rép : 6491 kJ)
- 9. On verse 5 kg d'eau à 40°C sur un énorme bloc de glace à 0°C. Quelle est la masse de glace qui fond à 0°C ? (Rép : 2,5 kg)

Dilatation

10. On mesure à la température de 0°, un rail d'acier: on trouve 2m. On le porte à 40°. $(\lambda_{acier} = 10,7.10^{-6})$

. De combien s'allonge-t-il ? (Rép : 0,856 mm)

. Quelle est sa longueur a 60°? (Rép : 0,856 mm / 2,0013m)

- 11. Une barre de fer mesure 4 m à 25°. Quelle est sa longueur à 0° ? (λ_{fer} = 12.10⁻⁶) (Rép : 3, 9988m)
- 12. A quelle température faut-il porter une tige de cuivre de 2m à 0° pour qu'elle s'allonge de 3,34 mm? (Rép : 100°C)
- 13. Un pont d'acier mesure 500m à O°C. De combien se dilate-t-il quand la température passe à 35°C ? (Rép : 21 cm)
- 14. A quelle température faut-il porter une tige d'aluminium de 2m à 0°C pour qu'elle s'allonge de 9,2mm? (Rép : 184°C)

15. Une tige de laiton de 1,2 m de long se dilate de 1,5 mm quand elle est chauffée de 21°C à 93 °C. Trouver le coefficient de dilatation linéaire du laiton.

 $(Rép: 1,73.10^{-5} / {}^{\circ}C)$

16. Une roue en acier a un diamètre de 76,20 cm à 15 °C et une jante à la même température a un diamètre de 76,10 cm. A quelle température faut-il chauffer la jante pour qu'elle s'adapte à la roue ? ($\lambda_{acier} = 11.10^{-6}$ /°C)

(Rép: 134 °C)

17. Une sphère en fer à un volume de 50 cm³ à 20°C. Quel sera son volume si on la chauffe à 75 °C ($\lambda_{\text{fer}} = 12.10^{-6}$ /°C)

(Rép: 50,099 cm³)

- 18. De combien un récipient en pyrex déborde-t-il quand il est rempli à rasbord d'un litre d'eau à 0°C et qu'il est chauffé à 70 °C ($\lambda_{pyrex} = 3.10^{-6} / a_{eau} = 2,1.10^{-4}$) (Rép : 14,07 cm³)
- 19. Un récipient en verre est rempli complètement à 0 °C par 3 cm³ de mercure. On porte l'ensemble à 50 °C. Calculer le volume de mercure débordant.

 $(\chi_{\text{verre}} = 0.000024 \text{ , aHg} = 0.00018)$ (Rép : 0.0234 cm³)

Gaz parfait

20. La pression d'une quantité donnée de gaz à 27 °C est de 76 cm de Hg. Calculer la pression de ce gaz à 30 °C sachant que son volume est maintenu constant.

(Rép: 76,76 cm Hg)

21. Un gaz parfait à un volume de 5 litres à 17 °C sous la pression de 1 atm. Calculer son volume à 100 °C sous la même pression.

(Rép: 6,43 l)

22. Quel serait le volume occupé à 0 °C sous la pression de 760 mm Hg par une masse de gaz qui occupe le volume de 254 cm³ à 15 °C et sous la pression de 752 mm Hg.

(Rép : 238 cm³)

23. Un ballon de 100 cm³ à 17 °C contenant de l'air est muni d'un tube cylindrique horizontal dans lequel se trouve un index de Hg. On le porte à 37 °C. Calculer le déplacement de l'index de Hg sachant que le diamètre intérieur du tube est de 4 mm.

(Rép: 55,7 cm)

- 24. Dans la salle de réanimation des hôpitaux, on dispose de bonbonnes d'oxygène en acier, contenant 20 litres d'oxygène à une pression de 1,8 10⁷ Pa. Déterminer le volume disponible à la pression atmosphérique de 100000 Pa. On suppose que la température reste constante. (Rép : 3600 litres)
- 25. Déterminer la pression qu'il faut exercer sur une masse de gaz occupant un volume V à une pression de 100000 Pa et à une température de -20° C si on veut réduire son volume de moitié à une température de 40° C. (P = 247400 Pa)
- 26. Une masse gazeuse occupe un volume de 30 dm³ à 20°C et sous une pression de 74 cm de Hg. A quelle pression est-elle soumise si elle occupe un volume de 46 dm³ à la température de

5°C?

(Rép: 45.8 cm Hg)

Synthèses

1. Un train de 600 t animé d'une vitesse de 72 km/h s'arrête par application des freins. Calculer la quantité de chaleur dégagée par les freins.

Quelle quantité d'eau à 0°C peut-on porter à 100°C avec cette énergie calorifique ? (Rép : 1,2 . 10⁸ J /+- 287 litres)

- 2. Quelle doit être la vitesse d'une balle de plomb qui frappe un obstacle indéformable pour que le plomb qui avant le choc est à la température de 25°C soit porté à sa température de fusion de 325°C. On suppose que toute l'énergie de la balle sert à augmenter la température de cette même balle. On donne : chaleur massique du plomb = 0,13 J/g °C. (Rép : +- 1005 km/h)
- 3. Un cycliste aborde une descente longue de 300 m et de pente = 3 % avec une vitesse de 9km / h. A partir de cet instant, il cesse de pédaler. La masse totale (homme+machine) est de 80 kg. Quelle serait la vitesse en bas de la pente si les frottements étaient négligeables ? A cause des frottements, le cycliste arrive en bas avec une vitesse de 36 km/h. Evaluer la perte d'énergie mécanique due à ces frottements et la quantité de chaleur équivalente. (Rép : 13,5 m/s / 3313J)
- 4. Un patineur de 60 kg lancé à la vitesse de 5 m/s se laisse glisser sur une patinoire horizontale jusqu'au moment où sa vitesse est réduite à 1 m/s. Quelle est la quantité de chaleur dégagée au niveau des patins ? (Rép : 720 J)
- 5. Un moteur à explosion consomme en 1h, 410 g d'une essence dont la combustion complète dégage 50160 J/g. Sachant que la puissance du moteur est de 2 CV, calculer le rendement de celui-ci. (Rappel = 1CV = 736 W) (Rép : +- 26 %)
- 6. Pour monter 1500 kg d'eau à une hauteur de 33 m, un moteur consomme 1 kg de carburant dont le pouvoir calorifique est de 5.10^6 J/kg. Calculer le rendement de ce moteur. (Rép = 9,7 %)
- 7. Le moteur d'une grue mécanique a une puissance de 11 kW. A cause des pertes dues aux frottements, il n'a qu'un rendement de 20 %. Trouver la quantité de carburant dont le pouvoir calorifique est de 2,24.10⁴ J /litre pour monter une masse de 1500 kg d'une hauteur de 18 m. ((Rép : +/- 59 l)
- 8. Un moteur a une puissance de 300 W pour brasser 40 l d'eau. En supposant que tout le travail accompli sert à échauffer l'eau, combien de temps faudra-t-il pour élever la température de l'eau de 7 degrés ? (Rép: +/- 1h 05 min)
- 9. Trouver le rendement idéal d'un moteur thermique qui reçoit de la chaleur à 400 °C et en cède à la température de 100 °C. ((Rép : 44,6 %)

10. Une centrale électrique de 1 MW a un rendement global de 40 %.

Quelle quantité de mazout dont le pouvoir de combustion est de 46035 kJ / kg consomme-t-elle par jour ?

(rép: +-4,7 tonnes)

Exercices résolus

1) Un corps solide a une masse de 100 g. On l'immerge dans l'eau à 100°C. Lorsque l'équilibre est atteint, on le retire et on l'immerge dans 100 g d'eau à 20.00°C. Lorsque l'équilibre est atteint, on trouve que l'eau est à une température de 22.41°C. Quelle est la capacité calorifique de ce solide ?

Résolution

Le corps solide sera donc à 100°C avant qu'on ne le plonge dans les 100 g d'eau.

La loi à utiliser ici est la conservatio n de l'énergie. La chaleur perdue par le solide est transféréee à l'eau et les deux se retrouvent à la même tem pérature.

La chaleur perdue par le solide est : $Q_s = C_s m_s \Delta t_s$

La chaleur gagnée par l'eau est : $Q_e = C_e m_e \Delta t_e$

$$\rightarrow Q_s = Q_e \rightarrow C_s \ m_s \ \Delta t_s = C_e m_e \ \Delta t_e$$

$$\rightarrow C_s = \frac{C_e m_e \Delta t_e}{m_e \Delta t_e} = \frac{4180 \times 0.1 \times (22.41 - 20)}{0.1 \times (100 - 22.41)} = \frac{1007.4}{7.759} = 129.9 J/kg.^{\circ}C$$

2) Un train de 600 t animé d'une vitesse de 72 km/h s'arrête par applications des freins. Calculer la quantité de chaleur dégagée par les freins. Quelle quantité d'eau à 0°C peut-on porter à 100°C avec cette énergie calorifique ?

Résolution

Il suffit de considérer que l'énergie ci nétique du train est transformé en energ ie thermique.

$$Q = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 600 \, 10^3 \times \left(\frac{72}{3.6}\right)^2 = 120000 \, KJ$$

La quantité d'eau que l'on peut porter à ébullition est simplement

$$m_{eau} = \frac{Q}{c_{eau}(t_f - t_i)} = \frac{120 \, 10^6}{4180 \times (100 - 0)} = 287 \, \text{Kg}$$
 soit 287 litres

3) Si $C_{\rm glace} = 2090 \, \text{J/kg}^{\circ}\text{c}$, $C_{\rm fusion \, glace} = 335.000 \, \text{J/kg}$, $C_{\rm eau} = 4180 \, \text{J/kg}^{\circ}\text{c}$, $C_{\rm v \, eau} = 2255000 \, \text{J/kg}$, $C_{\rm vapeur \, eau} = 1880 \, \text{J/kg}^{\circ}\text{c}$ alors calculer la quantité de chaleur à produire pour faire passer un bloc de glace de 2 kg de la température de -10°C à l'état de vapeur d'eau à 120°C . (rep : $6133000 \, \text{J}$)

Résolution

On peut distinguer 5 étapes. A chaque ét ape correspond une certaine quantité de chaleur

- 1 Echauffement de la glace de $-10^{\circ}C$ à $0^{\circ}C$
- 2 Fusion de la glace à 0°C. On obtient de l'eau $\rightarrow O_{2}$
- 3 Echauffement de l'eau de $0^{\circ}C$ à $100^{\circ}C$ $\rightarrow Q_2$
- 4 Vaporsiation de l'eau à 100° C. On obtient de la vapeur $\rightarrow Q_4$
- 5 Echauffement de la vapeur de 100°C à 120°C $\rightarrow Q_5$

Calculons tous ces Q_i et faisons la somme

$$Q_1 = C_{glace} m.\Delta t$$
 = 2.09×2×(0-(-10)) = 41.8

$$Q_2 = C_f.m$$
 = 335×2 = 670.0

$$Q_3 = C_{eau}.m.\Delta t$$
 = 4.18×2×(100-0) = 836.0

$$Q_4 = C_V.m = 2255 \times 2 = 4510.0$$

$$Q_5 = C_{vapeur}.m.\Delta t = 1.88 \times 2 \times 20 = 75.2$$

$$\begin{array}{lll} Q_4 &= C_V.m &= 2255 \times 2 &= 4510.0 \\ Q_5 &= C_{vapeur}.m.\Delta t &= 1.88 \times 2 \times 20 &= 75.2 \\ \hline Q_T &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 &= 6133.0 \quad KJ \end{array}$$

4) On mélange 50 l d'eau à 40°C et 30 l d'éthanol à 60°C. Quelle est la température finale du mélange?

$$c_{equ} = 4.18 \, KJ / Kg \, ^{\circ}C$$

$$c_{eth} = 2.42 \, KJ / Kg \, ^{\circ}C$$

Densité de l'éthanol : $d_{eth} = 0.8$

Résolution

Soit t_f la température finale du mélange.

Chaleur gagnée par l'eau :
$$Q_{eau} = c_{eau} m_{eau} \Delta t_{eau}$$
 (1)

Chaleur perdue par l'éthanol :
$$Q_{eth} = -c_{eth} m_{eth} \Delta t_{eth}$$
 (2

La masse d'éthanol étant donnée par : $m_{eth} = d_{eth}V_{eth}$

On a bien sûr (1) = (2)
$$\rightarrow c_{eau} m_{eau} \Delta t_{eau} = -c_{ett} m_{ett} \Delta t_{eth}$$

$$\rightarrow 4.18 \times 50 \times \left(t_f - 40\right) = -2.42 \times 0.8 \times 30 \times \left(t_f - 60\right)$$

5) On met un bloc de 10 kg de glace à -10°C dans 100 l d'eau à 100°C. Toute la glace vat-elle fondre ? Si non, quelle quantité de glace fond ? Si oui, quelle est la température finale du mélange?

Résolution

Au maximum, si l'eau chaude se refoidit jusque 0°C, elle peut fournir une quanti té de chaleur égale à : $Q_{disponible} = c_{eau} m_{eau} \Delta t = 4.18 \times 100 \times (100 - 0) = 41800 \ KJ$

La quantité de chaleur nécessaire pour f ondre la glace est de

$$Q_{n\acute{e}cessaire} = c_{glac} m_{glac} \Delta t + c_{fusion de la glac} \times m_{glace}$$
$$= 2.09 \times 10 \times (0 - (-10)) + 334 \times 10 = 3549 \text{ KJ}$$

Conclusion $Q_{disponible} > Q_{n\acute{e}cessaire}$ et donc toute la glace va fondre.

Puique que toute la glace va fon dre 1) l'eau ne se refoidira pas jusque 0°C et

2) l'eau provenant de la glace fondue va se réchauffer.

Soit t_f la température finale du mélange

Chaleur perdue par l'eau chaude : $Q_{eau} = -c_{eau} m_{eau} \Delta t = -4.18 \times 100 \times (t_f - 100)$

Chaleur gagnée par la glace : $Q_{glace} = Q_{n\acute{e}cessaire} + c_{eal} m_{glac} \Delta t$

$$=3549+4.18\times10\times(t_f-0)$$

$$\rightarrow -4.18 \times 100 \times (t_f - 100) = 3549 + 4.18 \times 10 \times (t_f - 0)$$

$$\rightarrow t_f = \frac{4.18 \times 100 \times 100 - 3549}{4.18 \times 10 + 4.18 \times 100} = 83.19^{\circ} C$$

6) Quelle doit être la vitesse d'une balle de plomb qui frappe un obstacle indéformable pour que le plomb qui avant le choc est à la température de 25°C soit porté à sa température de fusion de 325°C. On suppose que toute l'énergie de la balle sert à augmenter la température de cette même balle. (Chaleur massique du plomb : 0,13 J/g°C)

Résolution

L'énergie cinétique va se transformer en chaleur.

Nous pouvons donc écrire directement

$$\frac{1}{2}mv^2 = c_{Pb}m\Delta t \to v = \sqrt{2c_{Pb}\Delta t} = \sqrt{2\times130\times300} = 279 \, m \, / \, s = 1005 \, km \, / \, h$$

7) Un cycliste aborde une descente longue de 300m et de pente = 3% avec une vitesse de 9 km/h. A partir de cet instant, il cesse de pédaler. La masse totale (homme + machine) est de 80 Kg. Quelle serait la vitesse en bas si les frottements étaient négligeables ? A cause des frottements, le cycliste arrive en bas avec une vitesse de 36 km/h. Evaluer la perte d'énergie mécanique due à ces frottements et la quantité de chaleur équivalente.

Résolution

Rappel : La pente désigne la tangente de l'angle α . La hauteur de dénivellation h est simplement $l\sin\alpha$ Cependant, quand l'angle est petit, on a $\tan\alpha \approx \sin\alpha$ $\rightarrow h = l\tan\alpha$

Energie potentielle Energie ci nétique Energie mécanique

En haut
$$E_p = mgh = mgL \tan \alpha$$
 $E_c = \frac{1}{2}mv_i^2$ $E_M = mgL \tan \alpha + \frac{1}{2}mv_i^2$

En bas
$$E_p = 0$$
 $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ $E_M = \frac{1}{2}mv^2$

Si il n'y a pas de frottements, il y a c onservation de l'énergie mécanique

$$\rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = mgL \tan \alpha + \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$\rightarrow v = \sqrt{2gL \tan \alpha + v_i^2} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 300 \times 0.03 + \left(\frac{9}{3.6}\right)^2} = 13.52 \ m/s$$

Tenons compte maintenant des frottements.

En bas, la vitesse réelle est de $v_r = \frac{36}{3.6} = 10 \text{ m/s}$

A laquelle il correspond une énergie de : $E_r = \frac{1}{2} m v_r^2$

Comme vu plus haut, dans le cas où les frottements sont nuls la vitesse est v = 13.52 m/s

A laquelle il correspond une énergie de : $E = \frac{1}{2}mv^2$

La différence entre ces deux énergies ci nétiques correspond à la perte d'énergie mécanique qui s'est dissipée sous forme de chaleur

$$Q = E - E_r = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_r^2 = \frac{m}{2}\left[v^2 - v_r^2\right]$$
$$= \frac{80}{2}\left[13.52^2 - 10^2\right] = 3312J$$

8) Un patineur de 60 kg lancé à la vitesse de 5 m/s se laisse glisser sur une patinoire horizontale jusqu'au moment où sa vitesse est réduite à 1 m/s. Quelle est la quantité de chaleur dégagée au niveau des patins ?

Résolution

La chaleur dégagée est égale à la variat ion d'énergie cinétique :

$$Q = \frac{1}{2} m \left(v_0^2 - v_1^2 \right) = \frac{1}{2} \times 60 \times \left(5^2 - 1^2 \right) = 720 J$$

9) Un moteur à explosion consomme en 1 h, 410 g d'une essence dont la combustion complète dégage 50160 J/g. Sachant que la puissance du moteur est de 2 CV, calculer le rendement de celui-ci. (1 CV = 736 W)

Résolution

La quantité d'énergie dégagée en 1h est : $Q = mH_c$ où H_c est la chaleur de combustion et m la quantité d'essence consommée.

La quantité d'énergie delivrée par le mo teur est : E = P.t où P est la puissance et t le temps. (1h = 3600s)

Le rendement est donc :

$$R = \frac{E}{Q} = \frac{Pt}{mH_c} = \frac{2 \times 736 \times 3600}{0.41 \times 50160 \times 10^3} = 25.8\%$$

10) Pour monter 1500 kg d'eau à une hauteur de 33 m, un moteur consomme 1 kg de carburant dont le pouvoir calorifique est de 5.10⁶ J/kg. Calculer le rendement de ce moteur.

Résolution

Energie nécessaire pour monter l'eau : $E_1 = m_{eau}gh$

Energie consommée par le moteur : $E_2 = m_{carb}H_c$

Rendement:
$$R = \frac{E_1}{E_2} = \frac{m_{eau}gh}{m_{carb}H_c} = \frac{1500 \times 9.81 \times 33}{1 \times 5.10^6} = 9.7\%$$

11) Le moteur d'une grue mécanique a une puissance de 11 kW. A cause des pertes dues aux frottements, il n'a qu'un rendement de 20%. Trouver la quantité de carburant dont le pouvoir calorifique est de 2,24.10⁴ J/litre pour monter une masse de 1500 kg à une hauteur de 18 m.

Résolution

Energie nécessaire pour monter la masse : $E_{masse} = mgh$

Cette énergie doit être délivrée par le moteur qui pour ce faire consomme

une énergie égale à :
$$E_{cons} = \frac{E_{masse}}{R}$$
 où R est le rendement.

La quantité de carburant nécessaire sera donc :

$$V = \frac{E_{cons}}{H_c} = \frac{E_{masse}}{H_c.R} = \frac{mgh}{H_c.R} = \frac{1500 \times 9.81 \times 18}{2.24 \times 10^4 \times 0.2} = 59.1 \text{ litres}$$

Note: l'information sur la puissance du moteur est inutile.

12) Un moteur a une puissance de 300 W pour brasser 40 l d'eau. En supposant que tout le travail accompli sert à échauffer l'eau, combien de temps faudra-t-il pour élever la température de l'eau de 7°C.

Résolution

Energie nécessaire pour élever la tempér ature de l'eau : $E = c_{eau} m_{eau} \Delta t$

Temps nécessaire : $t = \frac{E}{P}$ où P est la puissance du moteur

13) Trouver le rendement idéal d'un moteur thermique qui reçoit de la chaleur à 400°C et en cède à la température de 100°C

Résolution

Il suffit d'appliquer la formule :
$$R = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{100 + 273}{400 + 273} = 44.6 \%$$

14) Une centrale électrique de 1MW a un rendement global de 40%. Quelle quantité de mazout dont le pouvoir de combustion est 46035 KJ/Kg consomme-t-elle par jour ?

Résolution

La centrale délivre en une journée une é nergie de : E = P.t où t est le nombre de secondes en une journée.

La centrale consomme donc une énergie de : $E_{cons} = \frac{E}{R}$ où R est le rendement

La consommation de mazout est donc de :

$$m_{mazout} = \frac{E_{cons}}{H_c} = \frac{P.t}{R.H_c} = \frac{1 \times 10^6 \times 24 \times 3600}{0.4 \times 46035 \times 10^3} = 4692 \text{ kg}$$

Références

- 1) PHYSIQUE, Hecht, Edition de Boeck, ISBN 2-7778-0018-6
- 2) PHYSIQUE 5ème, Y Verbist, A Brobosia, P Materne, L Nachtergaele, M Vanderperren, Edition de Boeck, ISBN 2-8040-2962-4