

# ÉNERGIE

## Chapitre 24. L'énergie à travers les âges

Le mot énergie est d'un usage quotidien très répandu. Pourtant, beaucoup seraient embarrassés pour en donner une définition précise. Ce mot suggère la force, le mouvement, la vitalité. Au sens populaire, on la confond avec la puissance. Invisible et intouchable, l'énergie ne peut être qu'imaginée par l'esprit humain. Comme elle a été utilisée progressivement dans notre vie de tous les jours, elle a une longue histoire, dont voici quelques éléments.



Portion du tunnel de l'accélérateur LEP du CERN.

Le mot énergie est sur toutes les lèvres, il fascine ou fait peur. L'énergie est à l'origine de tous les prodiges et de tous les maux que l'Homme a créés sur sa planète. Elle est l'enjeu de bien des débats politiques ou économiques. Elle fait partie intégrante de notre vie de tous les jours, elle a un rôle social et l'Homme ne pourra évoluer qu'en s'en préoccupant. Pourtant ce concept est en général mal connu.

### 1 Un peu d'histoire

#### Préhistoire

Dans les premiers temps de son évolution, l'Homme ne disposait que de sa seule énergie musculaire pour assurer sa survie. Afin d'améliorer les conditions d'utilisation de ses muscles, il fabriqua des outils de plus en plus élaborés. Il économisa ainsi ses efforts au fur et à mesure que les techniques se perfectionnèrent. La conquête du feu et l'évolution technique ont permis à l'Homme d'agir sur son environnement et de transformer les matériaux. Très tôt, l'Homme primitif utilisa l'énergie du vent pour se déplacer, ainsi que celle du courant des rivières pour effectuer certains travaux. D'autre part, l'utilisation d'animaux de trait le soulageait d'une partie de ses efforts.



#### Antiquité

Les Egyptiens, les Grecs, les Romains et les civilisations orientales firent preuve d'une grande ingéniosité dans l'invention de machines simples (treuil, poulie, levier, ...).

Cependant, certaines découvertes de l'Antiquité furent négligées, car la société disposait avec l'esclavage d'une importante source d'énergie.



### Moyen-Age et Renaissance

La première crise de l'énergie de l'histoire de l'Homme se situe au moment de l'abolition de l'esclavage. Celle-ci fut certainement à l'origine de la régression sur le plan des connaissances scientifiques et techniques que l'on a connue par la suite. L'énergie animale, du vent et des cours d'eau fut alors pendant des siècles la principale source d'énergie mécanique. Il semble que la première personne ayant utilisé le mot «énergie» soit Kepler en 1609 lors de raisonnements sur la nature et l'intensité de la lumière.

### Histoire moderne

Ce n'est que vers la fin du XVII<sup>e</sup> siècle que Savery, Papin et Newcomen présidèrent à la naissance de la machine à vapeur, optimisée en 1765 par James Watt. Cette invention fut le point de départ de la révolution industrielle, l'Homme put enfin utiliser la chaleur pour produire du travail. Pourtant, l'équivalence entre ces deux formes d'énergie ne fut établie qu'en 1848 par le physicien écossais James Prescott Joule.



Machine à vapeur.

Bien que déjà connues, les vertus du pétrole furent exploitées à partir du 27 août 1859, jour où le premier derrick fut construit. Ce fut la ruée vers l'or noir. Cependant, l'extraction du pétrole brut ne démarra qu'au tout début du XX<sup>e</sup> siècle et il remplaça progressivement le charbon.

Certaines manifestations de l'électricité étaient connues depuis l'Antiquité. Pourtant, elle demeura une curiosité de laboratoire jusque dans les premières années du XIX<sup>e</sup> siècle. Des expériences menées par deux professeurs italiens, Luigi Galvani et Alessandro Volta permirent l'invention de la pile électrique. Cette découverte déclencha toute une série d'études sur les effets du courant électrique. C'est ainsi que Michael Faraday réussit à fabriquer une machine produisant de l'électricité à partir du champ magnétique d'un aimant. Toutefois c'est à Zénobe-Théophile Gramme qu'on doit la première dynamo, qui permit l'utilisation de l'énergie électrique à grande échelle dès 1873. Thomas Edison en 1880 mit au point la lampe à incandescence et lors de l'inauguration aux Etats-Unis de la première centrale à dynamos, le 4 septembre 1880, cinq mille lampes s'allumèrent dans les rues et les magasins de Manhattan. Si le XIX<sup>e</sup> siècle fut le siècle de la vapeur, on peut considérer le XX<sup>e</sup> comme celui de l'électricité.



### Le XX<sup>e</sup> siècle

C'est en 1905 qu'Albert Einstein établit une équivalence entre la masse et l'énergie. En 1932, une expérience de Carl David Anderson confirma cette théorie. L'ère de l'énergie atomique venait de commencer. L'expérience décisive eut lieu en 1942 à Chicago, où Fermi démarra la première réaction en chaîne d'une véritable pile atomique, à base d'uranium. Ces travaux se situaient dans un considérable effort de recherche, lié à la Seconde Guerre mondiale, qui visait à la mise au point de la bombe atomique. La première explosa dans le désert d'Alamogordo le 16 juillet 1945. Le 6 août 1945, Hiroshima était détruite; le 9 août suivant, c'était Nagasaki.



Pile atomique de Fermi. (Photo Argonne National Laboratory/Science Photo Library).

Quant à la fusion nucléaire, son utilisation pacifique n'a pu encore être mise au point, en raison de difficultés technologiques.

En ce qui concerne les autres formes d'énergie, elles n'ont pas eu beaucoup d'influence d'un point de vue historique et commencent à peine d'être utilisées. Hormis l'histoire suspecte d'Archimède mettant le feu à la flotte ennemie dans le port de Syracuse ainsi que l'utilisation du Soleil pour recueillir le sel des marais salants, on ne trouve pas dans le cours de l'Histoire d'applications industrielles de l'énergie solaire.



Enrico Fermi.

### 2 Vers une définition de l'énergie

La première caractéristique de l'énergie qui ressort immédiatement de ce que nous venons de voir est son aspect multiforme: on ne peut mettre en évidence une forme d'énergie qu'en la transformant au cours d'un processus physique en une autre forme déjà connue.

L'intérêt du concept d'énergie en physique vient du fait qu'au cours des différentes transformations qu'elle peut subir, l'énergie se conserve. Ceci est un principe fondamental de la physique.

Cette conservation de l'énergie n'entraîne toutefois pas une conservation de l'énergie utilisable: en effet, lors d'une transformation, une partie de l'énergie se dégrade, en général sous forme de chaleur et n'est pas utilisée.



Le Soleil.



**La rapidité avec laquelle le transfert d'énergie s'effectue est caractérisée par une grandeur appelée puissance.**

On constate donc qu'il est difficile de définir l'énergie en soi, puisqu'on ne peut l'observer que par les effets qu'elle produit.

Selon le sens que l'on donne à ce mot, l'énergie peut être considérée avant tout comme une abstraction mathématique permettant de décrire les lois constatées expérimentalement dans l'Univers ou bien comme l'origine de toutes les forces dont nous observons les effets.

De célèbres scientifiques ont tenté de définir l'énergie :

**Poincaré :** «Il y a une quantité numérique qui ne change pas lorsque quelque chose se produit».

**Feynman :** «L'énergie se conserve, mais on ne sait pas ce que c'est!»

**Rankine :** «L'énergie, c'est la capacité d'effectuer des changements, c'est une caractéristique commune aux différents états de la matière auxquels se rapportent les branches de la physique».



**3 Energie et avenir**

Y a-t-il des formes d'énergie que nous ne connaissons pas? Si cette question avait été posée il y a un siècle, quelle aurait été la réponse? Il serait extrêmement présomptueux d'affirmer que nous connaissons actuellement toutes les formes d'énergie. Cependant, nous saurions la reconnaître car elle devrait être convertible en une autre forme d'énergie. Cela n'implique pas que nous serions capables de l'exploiter et de la plier à nos exigences!



**Corrigé des exercices**

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 1**

Il y a deux fois plus d'énergie dans deux tranches de gâteau identiques que dans une seule tranche.

Les corps gras sont des aliments plus énergétiques que les sucres ou les protéines. L'essence est un combustible plus énergétique que l'alcool à brûler.

Le terme «**énergique**» ne s'applique pas à une grandeur physique. Si une reprise en main **énergique** est parfois nécessaire dans des situations difficiles, elle ne se mesure pas en joules...

Le dictionnaire peut, selon sa qualité, donner des définitions fort peu claires comme «Energie: intensité d'action que possède un corps». Il faut, dans le domaine des sciences, ne tenir compte que des définitions qui sont données sous le label *physique*.

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 2**

Les mots énergie, énergétique et énergétique sont souvent utilisés dans les textes littéraires ou publicitaires avec un sens qui n'a que peu ou pas de rapport avec la notion physique d'énergie, par ailleurs difficile à définir (voir la page du livre qui précède la donnée de cet exercice). Savoir distinguer correctement la notion physique d'énergie des autres sens qu'on lui donne dans le vocabulaire courant est un objectif important de ce chapitre.

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 3**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 4**

Cet emballage de flocons pour le petit-déjeuner vante les mérites des éléments (vitamines, sels minéraux, protéines...) qui entrent dans sa composition. *L'énergie concentrée* de ce produit est essentiellement liée au sentiment d'être en forme qu'il est censé procurer à celui qui le mange mais n'a rien à voir avec son contenu énergétique au sens physique ou métabolique; de ce point de vue, les sels minéraux ne contiennent par exemple aucune énergie métabolisable.

**E XERCICES**

**1** Inventer des phrases contenant le mot: **énergie, énergétique** ou **énergique**. Expliquer pour chacune des phrases le sens dans lequel il est employé.

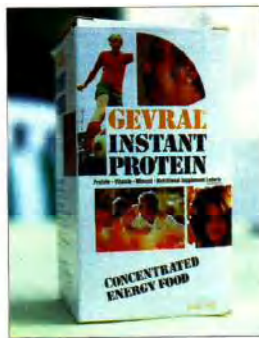
Comparer ce sens avec celui du dictionnaire.

**2** Chercher dans les journaux, revues, publicités les mots: **énergie, énergétique** ou **énergique**. Expliquer leur signification dans les phrases où on les trouve.

**3** Rechercher dans des textes les liens qui peuvent être faits entre énergie, force, travail, puissance, matière, ...

Noter les associations les plus fréquentes avec d'autres mots, comme par exemple: crise de l'énergie, économies d'énergie, sources d'énergie, ...

**4** Dans la publicité ci-dessous, quel est le sens donné au mot énergie?



**5** Expliquer les raisons de l'évolution de la consommation de combustibles fossiles depuis 1820.

Représenter sur un graphique l'évolution des vitesses auxquelles a pu accéder l'Homme au cours de l'histoire (marche à pied, utilisation des animaux, ...)

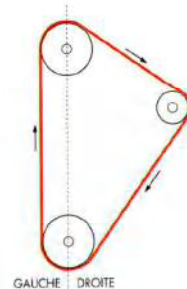
Trouver d'autres grandeurs représentatives qui ont évolué de façon semblable à l'emploi de nouvelles sources et techniques de transformation d'énergie.

**6** Rechercher des documents sur les appareils ayant permis d'utiliser l'énergie au cours du temps. Quels ont été les plus importants?

**7** On a longtemps essayé de construire un moteur dont le mouvement serait perpétuel, c'est-à-dire un mécanisme fonctionnant par lui-même et pouvant fournir en plus un certain travail.

En voici un exemple:

Une chaîne massive suit un circuit de poulies selon le schéma ci-dessous. La partie droite du système est toujours plus lourde que la partie gauche car la chaîne est plus longue à droite qu'à gauche. Donc la chaîne devrait toujours tourner sous l'effet de sa propre pesanteur.



- a) Pourquoi en réalité la chaîne ne tourne-t-elle pas?
- b) Pour quelle raison le fonctionnement de ce système serait-il en contradiction avec la loi de la conservation de l'énergie?

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 5**

La longueur d'un vol, la puissance de l'armement, la consommation d'électricité, l'information, (le confort) ... ont évolué parallèlement à la consommation d'énergie.

L'invention de machines capables de fournir du travail ou de produire de la chaleur ont été les éléments déclencheurs de l'évolution de la consommation de combustibles (machines à vapeur, moteurs à explosion, chaudières à gaz ou mazout, réacteurs, ...):

marche à pied	→ 35 km/h (Préhistoire, apparition de l'Homme → 5000 av. J.-C.)
cheval	→ 60 km/h (Antiquité, Moyen-Age, Renaissance → ~1800)
locomotive à vapeur	de 8 km/h (1802) à 100 km/h (1880)
locomotive électrique	de 200 km/h (1902) à plus de 500 km/h (de nos jours)
automobile	de 3,5 km/h (Cugnot : 1775) à plus de 350 km/h (de nos jours)
avions	de 12 km/h (1902) à 7300 km/h (1976)
navette spatiale	26700 km/h (de nos jours) ...

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 6**

On considérera qu'un appareil est un instrument construit par l'homme qui lui permet de transformer de l'énergie de manière contrôlée (fourneau, chaudière à vapeur, moteur thermique, moteur électrique...).

Les appareils les plus gourmands en énergie ont été (et sont encore) ceux qui permettent de nous chauffer (chaudières, fourneaux...), de nous déplacer (automobiles, motocyclettes, trains, avions...) et d'obtenir un travail mécanique pénible à faire à la main (machines industrielles et de chantier).

**L'énergie à travers les âges**

**Exercice 7**

- a) L'excès de force de pesanteur de la partie droite de la chaîne est supporté par la troisième poulie (à droite).
- b) Une mise en mouvement spontanée de ce système implique une création d'énergie cinétique à partir de rien. Ceci est en contradiction avec le principe de conservation de l'énergie: elle peut se transformer, mais ne peut être ni créée, ni détruite.



## Chapitre 25. Les différentes formes d'énergie

Quelle que soit notre conception de l'énergie, ce terme s'applique à un grand nombre de phénomènes en apparence totalement différents.

### 1 Exemples

D'après vous, pour chacune des situations ci-contre, sous quelle forme se trouve l'énergie ?

Dans chacun de ces exemples, l'énergie se manifeste sous différentes formes.

L'énergie thermique, chaleur ou énergie calorifique est liée aux mouvements des particules d'un corps. Elle se manifeste lors de l'élévation de la température, de la dilatation d'un corps...

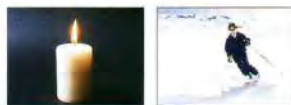
L'énergie électrique est liée aux différences de charge électrique entre deux corps. Elle est particulièrement commode à transformer et à transporter, mais difficile à stocker.

L'énergie mécanique est liée au mouvement des objets. à leur vitesse (énergie cinétique) ainsi qu'à leur altitude (énergie potentielle).

L'énergie chimique est liée à la structure de la matière, aux liaisons entre atomes ou entre molécules.

L'énergie nucléaire est liée à la cohésion entre particules constituant le noyau de l'atome. Elle se manifeste lorsque des noyaux lourds se cassent (fission nucléaire) ou lorsque des noyaux légers s'assemblent (fusion nucléaire). La radioactivité est liée à ce type d'énergie.

L'énergie rayonnante est liée aux radiations (photons) émises par des corps chauds. Celle du Soleil est la plus connue, car indispensable à la vie sur la Terre.



Bougie allumée. Skieur.



Explosion atomique. Lampe UV pour bronzage.



Locomotive à vapeur. Eclair.

## 2 Les transformations de l'énergie

**EXPERIENCE** Imaginer des expériences qui permettent de mettre une forme d'énergie en évidence à partir des objets suivants:

- morceau de charbon
- cellule photoélectrique
- pompe à essence
- pile électrique
- bonbonne de gaz.
- palan

L'énergie se manifeste lorsqu'elle se transforme. Elle ne peut surgir du néant. C'est le principe de la conservation de l'énergie:

**RIEN NE SE CRÉE, RIEN NE SE PERD. TOUT SE TRANSFORME.**

Cependant, au cours d'une transformation, si la quantité d'énergie est toujours conservée, la qualité de l'énergie obtenue est toujours inférieure à celle disponible au début. La qualité d'un type d'énergie est d'autant plus élevée qu'on peut la transformer en d'autres types d'énergie avec un bon rendement.

**EXPERIENCE** Comparer la qualité de l'énergie de départ à celle d'arrivée pour chacun des cas ci-contre.

Dans n'importe quel système, la qualité de l'énergie n'évolue que dans le sens d'une dégradation.



Palan.



Combustion du bois.



Tube fluorescent.



Frein de vélo.

A priori, toute forme d'énergie peut être transformée en une autre forme. L'Etre humain s'est ingénié, particulièrement durant ce dernier siècle, à inventer des appareils ou des processus transformant une énergie en une autre. En voici quelques exemples:

Energie	Energie mécanique	Energie électrique	Energie calorifique	Energie chimique	Energie rayonnante
Energie mécanique	levier / chaîne	dynamo / alternateur	pompe à chaleur		Van der Waals
Energie électrique	moteur électrique	transformateur	radiateur électrique	électrolyse	réseau
Energie calorifique	machine à vapeur	thermoscope	four / échangeur	refroidissement (cooling)	ampoule
Energie chimique	moteur	pile	brûleur	réactions chimiques	verre teinté
Energie rayonnante	radiomètre	cellule solaire	serre	photographie	laser
Energie nucléaire	bombe A		réacteur nucléaire		solaire

Le calcul de l'énergie grise est particulièrement intéressant lorsqu'on envisage de remplacer un vieux appareil par un neuf plus économe en énergie. Par exemple, pour un réfrigérateur de 800 fr, on peut établir le bilan énergétique suivant:

Energie grise (800 fr x 1,2 kWh/fr)	1 000 kWh
consommation de l'ancien appareil	1,8 kWh/jour
consommation du nouvel appareil	1,2 kWh/jour
économie réalisée	0,6 kWh/jour
temps pour amortir l'énergie grise dépensée pour l'achat du nouveau réfrigérateur (1 000 / 0,6)	1 666 jours = 4,5 ans

En règle générale, on peut dire qu'une mesure d'économie d'énergie rentable financièrement l'est aussi du point de vue énergétique.

Energie grise	
agriculture	1,7 kWh/fr
fer et acier	10,8 kWh/fr
aluminium	15,0 kWh/fr
ciment	5,6 kWh/fr
machines	1,6 kWh/fr
véhicules	2,2 kWh/fr
alimentation	1,7 kWh/fr
textiles	1,9 kWh/fr
papier	5,6 kWh/fr
imprimerie	1,9 kWh/fr
caoutchouc	2,5 kWh/fr
génie civil	1,9 kWh/fr
commerce	1,1 kWh/fr
prestations de services	0,6 kWh/fr

### 3 L'énergie grise

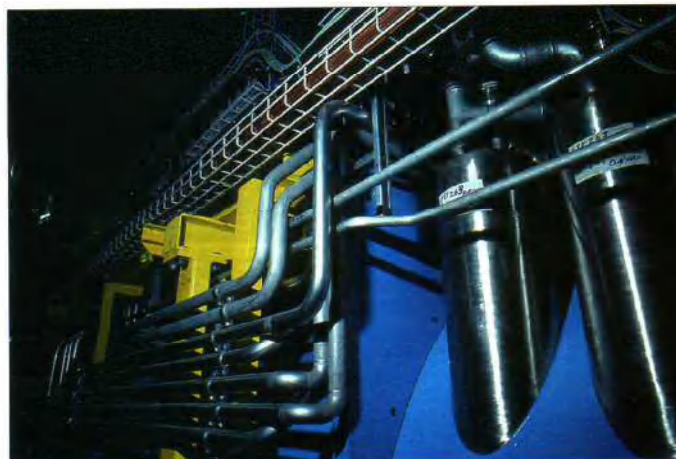
Si l'on est conscient du fait qu'une cuisinière branchée consomme de l'électricité ou du gaz, il n'est pas évident que cette cuisinière ait nécessité la dépense d'une certaine quantité d'énergie pour sa construction. Il ne s'agit pas seulement d'énergie pour la fabrication de l'objet, mais également pour sa conception, son emballage, son stockage, sa vente et son transport. On l'appelle **énergie grise**.

Pour comparer les différents produits, on calcule l'énergie grise par franc du prix d'achat. Par exemple, l'énergie grise nécessaire pour une voiture de 20000 francs est de 44000 kWh, c'est-à-dire la consommation en électricité d'un ménage moyen pendant 10 ans! (1kWh se lit «kilowatt-heures» et représente une énergie de 3 600 000 joules)

Etant donné qu'un produit peut comprendre de nombreux matériaux et avoir nécessité diverses prestations de services, il est difficile de calculer l'énergie grise. Suite à des études, les scientifiques s'accordent à estimer l'énergie grise à environ 1,2 kWh/fr pour tous les biens de consommation d'un ménage. Cela ne concerne pas uniquement l'électricité, mais l'énergie dans son ensemble.



Étalage d'un supermarché.





**EXERCICES**

- Pendant la nuit, on pompe de l'eau du lac Léman (alt: 372 m) pour remplir le lac de l'Hongrin (alt: 1 232 m). Cette eau produira de l'électricité pendant la journée. Discuter la raison de ce procédé.
- Énumérer des objets d'utilisation courante et qui ne consomment que de l'énergie mécanique produite par les muscles.
- Un train de marchandises franchit le Saint-Gothard. Sachant que l'énergie électrique consommée par la locomotive est fournie par une usine hydroélectrique, décrire les transformations d'énergie qui apparaissent dans cette chaîne.  
Est-il possible à un train descendant le Saint-Gothard de restituer l'énergie électrique au réseau ?
- Énumérer les différents types d'énergie consommée pour permettre la fabrication d'une boîte de conserve en fer.
- On mange une pomme.  
a) D'où provient l'énergie contenue dans cette pomme ?  
b) Sous quelle forme se trouve l'énergie dans cet aliment ?  
c) Sous quelle forme se transforme-t-elle dans l'organisme ?
- Expliquer la chaîne des transformations d'énergie réalisées depuis l'eau du Rhône qui passe dans l'usine de Verbois jusqu'au tube fluorescent qui éclaire la salle de cours.
- Pourquoi les nuits où le ciel est clair sont-elles plus fraîches que lorsqu'il y a une couverture nuageuse ?
- L'énergie ne peut pas disparaître, elle est seulement transformée sous une autre forme d'énergie. Chaque fois qu'il y a une transformation, une partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur inutilisée.  
Citer des exemples de transformations d'énergie où l'on obtient de la chaleur sans le vouloir.
- Pour les années futures, on craint un réchauffement du climat de la terre.  
a) Quelles en sont les causes ?  
b) Quelles en seraient les conséquences ?

- Est-il possible d'utiliser l'énergie éolienne pour se déplacer strictement face au vent ?
- Les appareils ou processus ci-dessous effectuent des transformations d'énergie. Compléter le tableau en mettant chaque appareil ou processus dans la bonne case (ne prendre comme énergie d'arrivée que celle qui est considérée comme utile).  
a) grille-pain  
b) se frotter les mains  
c) boîte à vitesse  
d) transformateur  
e) échangeur de chaleur  
f) muscle  
g) ver luisant  
h) thermocouple  
i) miroir  
j) moteur électrique  
k) haut-parleur  
l) cellule solaire  
m) serre  
n) électrolyse  
o) réaction chimique  
p) turbine à vapeur  
q) réacteur nucléaire  
r) lampe à incandescence  
s) bombe atomique  
t) flamme du Bec Bunsen  
u) pile  
v) ressort  
w) Soleil  
x) tube fluorescent  
y) feuille d'arbre  
z) dynamo

Appareil / Processus	Énergie électrique	Énergie mécanique	Énergie chimique	Énergie thermique	Énergie rayonnante	Énergie nucléaire
Énergie électrique	●					
Énergie mécanique		●				
Énergie chimique			●			
Énergie thermique				●		
Énergie rayonnante					●	
Énergie nucléaire						●

- Quelles sont les diverses formes d'énergie utilisées lors du fonctionnement d'une voiture ?
- Existe-t-il d'autres formes d'énergie que celles citées dans ce chapitre ?
- Existe-t-il des transformations d'énergie où les pertes ne sont pas sous forme de chaleur ? Si oui, les citer.
- Analyser les causes de pertes d'énergie lorsqu'on se déplace en vélo.

**Corrigé des exercices**

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 1**

Le réseau suisse de production d'électricité comprend des centrales nucléaires; ces dernières ne peuvent pas être mises en route ou arrêtées en quelques heures, il faut plusieurs jours pour une telle opération. La consommation d'électricité varie beaucoup en une journée (voir le graphique «Consommation d'énergie électrique» à la dernière page du chapitre ÉLECTRICITÉ). Le surplus d'énergie produit par les centrales nucléaires pendant les heures de faible consommation est stocké sous forme d'énergie potentielle de position en pompant de l'eau dans un barrage pour pouvoir la turbiner (fournir de l'électricité) pendant les heures de forte consommation électrique. Cette opération permet de récupérer une grande partie de l'énergie utilisée pour le pompage qui, sans cela, serait dissipée sous forme de chaleur.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 2**

Un vélo, un casse-noix, un store à manivelle, les rames d'un bateau, tous les outils courants dépourvus de moteur...

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 3**

- Énergie potentielle de l'eau transformée en énergie cinétique dans la conduite forcée.
- Énergie cinétique de l'eau transformée en énergie cinétique de l'alternateur par l'intermédiaire de la turbine.
- Énergie cinétique transformée en énergie électrique par l'alternateur; une partie de cette énergie est transmise au moteur par des fils électriques.
- L'énergie électrique est transformée en énergie mécanique (potentielle et cinétique) par le moteur de la locomotive.

Sur certaines lignes, les locomotives des trains utilisent leur moteur pour ralentir leur descente. Une partie de l'énergie électrique utilisée pour la montée peut ainsi être restituée sur le réseau par l'intermédiaire des fils électriques.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 4**

- Énergie mécanique pour extraire le minerai de la roche.
- Énergie thermique pour extraire le fer du minerai en présence d'un réducteur (voir «Les réactions chimiques» dans le chapitre CHIMIE).
- Énergie mécanique pour laminier le fer et donner sa forme à la boîte.
- Énergie chimique (carburant) ou électrique pour les divers transports de marchandise.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 9**

- Plusieurs études (notamment l'analyse des bulles d'air enfermées depuis des siècles dans les glaces des pôles) ont montré une corrélation entre la quantité de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) contenue dans l'atmosphère et la température moyenne de la surface de la Terre. La quantité de gaz carbonique atmosphérique augmente régulièrement à cause de plusieurs facteurs dont les plus importants sont les combustions dues aux activités humaines et l'activité volcanique. D'autres substances libérées dans l'air par les activités humaines (par exemple le méthane) favorisent l'effet de serre (voir «Transferts de chaleur: le rayonnement thermique» dans le chapitre ÉNERGIE). Cette constatation fait craindre un réchauffement global de la surface de la planète.
- Les conséquences d'un réchauffement de la planète sont des prévisions difficiles qui font l'objet de nombreuses controverses parmi les scientifiques. Ils sont cependant d'accord sur un point: une modification des équilibres thermiques peut modifier notablement le climat de nombreuses régions; certaines vont se réchauffer, d'autres pourraient se refroidir. Les changements les plus graves pourraient être localement liés aux augmentations ou diminutions des pluies (sécheresses, inondations).

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 10**

L'utilisation directe du vent pour se déplacer exactement en sens inverse n'est pas réalisable (un voilier ne peut pas naviguer strictement contre le vent).

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 11**

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 5**

- L'énergie provient du rayonnement solaire par l'intermédiaire de la photosynthèse.
- L'énergie contenue dans une pomme est de nature chimique.
- Dans l'organisme, l'énergie chimique des aliments se transforme en énergie thermique pour maintenir la température du corps à environ 37°C et en énergie mécanique par l'intermédiaire des muscles. Le corps peut mettre en réserve une partie de cette énergie sous forme chimique dans les graisses.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 6**

- Énergie cinétique de l'eau transformée en énergie mécanique pour faire tourner l'alternateur par l'intermédiaire de la turbine.
- Énergie mécanique transformée en énergie électrique par l'alternateur; une partie de cette énergie est transmise au tube fluorescent par des fils électriques.
- Énergie électrique transformée en rayonnement par le tube fluorescent.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 7**

L'énergie thermique accumulée dans la journée par le sol, l'eau et l'atmosphère de surface de la Terre tend à se dissiper sous forme de rayonnement thermique. Ce rayonnement s'échappe d'autant plus facilement que le ciel est clair, ce qui permet au sol de se refroidir plus rapidement.

**Les différentes formes de l'énergie**

**Exercice 8**

- Les ampoules à incandescence transforment l'énergie électrique en rayonnement lumineux (souhaité, environ 5%) et en chaleur (non souhaitée, environ 95%). Les nouvelles ampoules économiques, comme les tubes fluorescents, ne transforment «que» 80% environ de l'énergie électrique en chaleur.
- Les locomotives à vapeur les plus performantes ne réussissent à transformer qu'environ 10% de l'énergie chimique du combustible (bois ou charbon) en énergie mécanique, le reste est dissipé sous forme de chaleur.
- Les moteurs thermiques des voitures, des camions, des bateaux, des avions, ont des rendements qui se situent dans le meilleur des cas entre 30% et 40%; cela signifie que 60% à 70% de l'énergie chimique du combustible (essence, mazout, kérosène) est dissipée sous forme de chaleur non souhaitée. De nouveaux moteurs Diesel sont à l'étude, ils pourraient avoir un rendement de plus de 50%.
- Les moteurs électriques sont parmi les appareils qui peuvent avoir de bons rendements. Les meilleurs atteignent environ 85%; cela signifie qu'environ 15% de l'énergie électrique est dissipée sous forme de chaleur non souhaitée.

Arrivée / Départ	Énergie électrique	Énergie mécanique	Énergie chimique	Énergie thermique	Énergie rayonnante	Énergie nucléaire
Énergie électrique	transformateur	moteur électrique haut-parleur	électrolyse	grille-pain	lampe à incandescence tube fluorescent	●●●●● ●●●●● ●●●●●
Énergie mécanique	dynamo	boîte à vitesse ressort	●●●●● ●●●●● ●●●●●	se frotter les mains	Pierre à feu	●●●●● ●●●●● ●●●●●
Énergie chimique	pile	muscle	réaction chimique	flamme	ver luisant	●●●●● ●●●●● ●●●●●
Énergie thermique	thermocouple	turbine à vapeur	●●●●● ●●●●● ●●●●●	échangeur de chaleur	filament d'ampoule / Soleil / radiateur	●●●●● ●●●●● ●●●●●
Énergie rayonnante	cellule solaire	radiomètre de Crookes (moulin à lumière)	feuille d'arbre (photosynthèse)	serre	miroir	●●●●● ●●●●● ●●●●●
Énergie nucléaire	●●●●● ●●●●● ●●●●●	bombe atomique	●●●●● ●●●●● ●●●●●	réacteur nucléaire	Soleil	●●●●● ●●●●● ●●●●●



## Chapitre 26. Les sources d'énergie

Notre planète dispose d'une quantité énorme d'énergie principalement due au Soleil, à la formation de la Terre et de l'Univers. Le problème pour l'Homme est d'avoir des sources d'énergie en quantité suffisante.

### Les différentes formes de l'énergie

#### Exercice 12

L'énergie est fournie à la voiture sous forme chimique dans l'essence qu'on met dans le réservoir. Le moteur la transforme d'une part en énergie thermique (plus de 70%) qui est dissipée dans l'air ou partiellement utilisée pour chauffer l'habitacle et d'autre part en énergie mécanique pour faire avancer la voiture et produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un alternateur. L'énergie électrique (partiellement stockée dans la batterie) est utile pour le démarrage et toute la partie électrique et électronique du véhicule (éclairage, pompes, essuie-glaces, dégivreur, allumage, radio, assistance des freins et de la direction, ABS...).

### Les différentes formes de l'énergie

#### Exercice 13

Les principales catégories d'énergie connues à ce jour sont citées dans ce chapitre. Il est cependant possible qu'on en découvre une nouvelle dans le futur. Qui aurait pu prévoir la découverte de la radioactivité (donc de l'énergie nucléaire) avant 1896?

### Les différentes formes de l'énergie

#### Exercice 14

Dans la vie courante, toutes les transformations d'énergie sont accompagnées d'une production de chaleur, même si elle est faible comme sur un vélo. Il existe cependant des transformations non souhaitées (nommées couramment «pertes») sous d'autres formes que la chaleur:

- les vagues provoquées par un bateau;
- le vent provoqué par un avion ou un hélicoptère;
- le bruit des moteurs et des machines de chantier;
- le rayonnement électromagnétique (parasites) des moteurs électriques.

### Les différentes formes de l'énergie

#### Exercice 15

L'énergie «perdue» par le vélo lui-même est très faible; il s'agit d'énergie thermique produite par le frottement des pièces mécaniques entre elles et surtout par la déformation et le frottement des pneus sur la route.

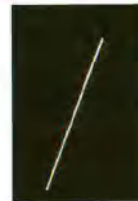
Quand on roule «au plat», à partir d'une certaine vitesse la plus grande partie de l'énergie est utilisée pour vaincre le frottement de l'air (voir «Le travail d'une force; la puissance», exercice 18, dans le chapitre MÉCANIQUE).

## 1 Les sources d'énergie

- Le Soleil est à la base des combustibles fossiles tels le **charbon**, le **pétrole** et le **gaz naturel**; en effet, ces produits résultent de la décomposition des végétaux et des organismes marins formés il y a quelque 300 millions d'années. Ils ne sont pas renouvelables à l'échelle humaine.
- L'**uranium** et le **thorium** ont pour origine l'époque de la formation de la Terre; il y a environ 4,5 milliards d'années. Leurs réserves sur Terre ne sont pas renouvelables à l'échelle humaine.
- L'**hydrogène** qui provient de la naissance de l'Univers est une des sources d'énergie en laquelle l'Homme fonde de grands espoirs. La réserve d'hydrogène dans l'eau des océans est gigantesque.



PARTOUT LES HOMMES UTILISENT L'ÉNERGIE.



Barre d'uranium.



Ancienne mine de charbon d'Aprac (VS).

Les sources d'énergie ci-dessus sont particulièrement intéressantes, car une faible masse de ces produits peut fournir beaucoup d'énergie utilisable (on parle de sources denses).

- Le **Soleil** constitue une source essentielle par sa production de chaleur ambiante et de lumière. Son rayonnement provient de réactions nucléaires. Cette source d'énergie ne varie pas à l'échelle humaine.

Le Soleil est aussi à l'origine du cycle de l'eau qui permet de remplir nos barrages, du vent qui fait avancer les voiliers, des vagues et de la foudre. La **biomasse** (le bois, la tourbe, les déchets végétaux) est une source d'énergie due à la photosynthèse (capable de transformer l'énergie rayonnante du Soleil en énergie chimique, dans les végétaux).

- La rotation de la Terre et la présence de la Lune produisent les **marées**. Lors de sa formation, la Terre a emmagasiné de la chaleur en profondeur. **Volcans** et **geysers** sont les manifestations de cette chaleur interne.

Ces deux derniers points décrivent les sources d'énergie généralement qualifiées de renouvelables. Leur exploitation présente l'avantage de n'être pas ou peu polluante. Cependant, leur utilisation se heurte à une série d'obstacles qui tiennent à la faible densité d'énergie disponible (on parle de sources diffusées et intermédiaires), aux fluctuations saisonnières du rayonnement ou à ses aspects aléatoires.



Geyser.

## 2 L'énergie et le Soleil

Le Soleil est l'une des cent milliards d'étoiles de notre galaxie, la Voie Lactée. Ce n'est qu'au XX<sup>e</sup> siècle que l'on a élucidé les mécanismes de production et de transfert d'énergie d'une étoile. Les étoiles rayonnent de l'énergie car elles sont le siège de transformations qui modifient leur structure interne. Cette évolution est si lente qu'on ne la perçoit pas à l'échelle humaine. Sous l'effet de la force gravitationnelle, le Soleil s'est formé et son centre a atteint une pression et une température (15 millions de degrés) telles que des réactions thermonucléaires se sont déclenchées. Celles-ci transforment quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium, par un processus appelé fusion nucléaire. Globalement, chaque seconde, le Soleil transforme 582 millions de tonnes d'hydrogène en 578 millions de tonnes d'hélium. La différence de masse devient de l'énergie rayonnée (625 milliards de joules par gramme d'hélium formé).



La galaxie d'Andromède.

Le temps approximatif que mettra le Soleil pour transformer ses réserves d'hydrogène est estimé à 5 milliards d'années. Les ordres de grandeur auxquels nous sommes habitués sur Terre ne conviennent pas pour évaluer l'ampleur et la complexité des processus énergétiques à l'œuvre dans l'Univers. Un des problèmes scientifiques et techniques de notre temps est celui du contrôle, à notre profit, d'une part infime de cette énergie dispensée par notre étoile, le Soleil.

## 3 La biomasse

Les plantes sont le moyen le plus important pour utiliser l'énergie du Soleil. Celles-ci, à l'aide de la chlorophylle, permettent de capter le rayonnement solaire dans le phénomène de la photosynthèse. A partir de molécules de gaz carbonique et d'eau, les plantes forment des sucres, dont dérivent ensuite tous les composants de la matière organique. Dans ces composants, l'énergie se trouve stockée sous forme chimique. Cette énergie peut être utilisée soit comme combustible, soit comme aliment par les animaux et l'Homme. La production annuelle est d'environ 230 milliards de tonnes de matière sèche. Cependant, cette énorme masse n'est disponible que dans les endroits où il y a de l'eau et il est nécessaire de la récolter, donc de dépenser de l'énergie. Par contre, cette ressource énergétique se renouvelle chaque année, si l'on prend le soin de ne pas déséquilibrer le système de production. La matière organique des cadavres et des déchets des animaux qui consomment ces plantes, à la suite de chaînes biologiques complexes, libère dans le milieu les éléments minéraux qu'utiliseront les plantes pour croître. On parle d'écosystème. Tous les êtres vivants participent à la libération de cette énergie solaire stockée dans les plantes, principalement sous forme de chaleur (température du corps).





## L'approvisionnement énergétique de la Suisse

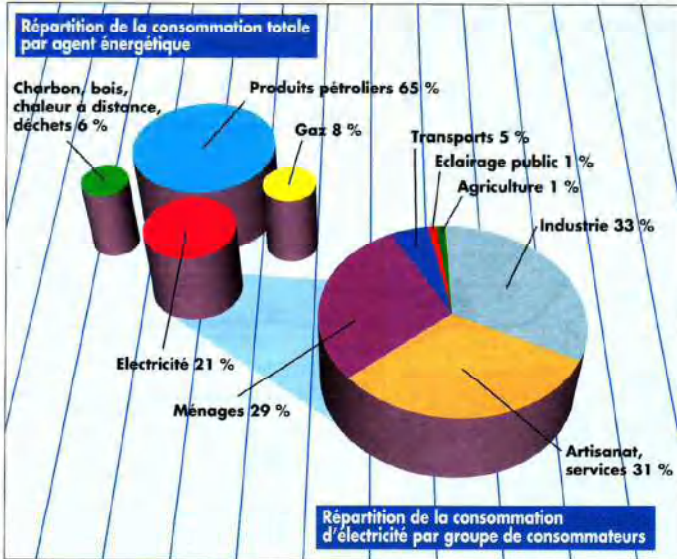
Près de 90% de l'énergie utilisée en Suisse doit être importée, la part la plus importante étant constituée des produits pétroliers, du gaz et de l'uranium. Seuls 12% de l'énergie globale sont indigènes, principalement d'origine hydraulique. Au plan mondial, seuls le Japon et le Danemark dépendent aussi fortement de l'étranger pour leurs achats d'énergie.

Les 60% du pétrole proviennent de la mer du Nord et le gaz naturel des pays de l'Est. En raison de cette forte dépendance, il est nécessaire d'avoir des stocks indigènes de gaz et de pétrole. Quant à l'électricité qui ne peut être stockée, un réseau d'interconnexion européen a été créé; il permet un échange d'énergie électrique par delà les frontières.



Pose d'un gazoduc dans le Léman (en face de Clarens). Le gaz naturel provient d'Italie.

Consommation d'énergie en Suisse: répartition approximative des années 80. (Source: OFEL, énergies renouvelables)



## Corrigé des exercices

### Les sources d'énergie

#### Exercice 1

Sources d'énergie non importées:

- Energie hydroélectrique (renouvelable).
- Energie solaire (renouvelable).
- Energie chimique: bois, productions végétales, aliments (renouvelable).
- Energie éolienne (renouvelable).
- Energie géothermique (renouvelable).

Sources d'énergie importées:

- Energie chimique: gaz et pétrole (non renouvelable).
- Energie nucléaire: uranium enrichi (non renouvelable).
- Energie chimique: aliments (renouvelable).

### Les sources d'énergie

#### Exercice 2

Il y a peu de ressources en énergie fossile en Suisse. Elles sont de faible importance du point de vue quantitatif et ne sont plus exploitées. Les mines de charbon de Belmont-sur-Lausanne en sont un exemple.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 3

L'énergie solaire nous parvient exclusivement sous forme de rayonnement (voir le document de la dernière page du chapitre ENERGIE). Cette énergie peut subir plusieurs transformations successives.

Première transformation:

- La presque totalité du rayonnement qui n'est pas réfléchi par l'atmosphère est absorbé et transformé en chaleur.
- Une infime partie est stockée sous forme chimique par la photosynthèse.
- Une partie encore plus petite est transformée en électricité par les cellules photovoltaïques installées par l'Homme.

Deuxième transformation:

- La plupart des objets chauffés par le rayonnement solaire se refroidissent pendant la nuit en rayonnant dans l'infrarouge. L'effet de serre de l'atmosphère est la retransformation en chaleur d'une partie de ce rayonnement avant sa sortie de l'atmosphère.
- Les produits de la photosynthèse sont soit des aliments, soit des combustibles. Ils représentent une énergie chimique qui peut être transformée dans toutes les autres sortes d'énergie sauf en énergie nucléaire.
- L'électricité représente une énergie qui peut être transformée dans toutes les autres sortes d'énergie sauf en énergie nucléaire.

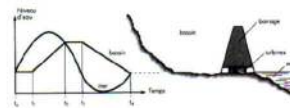
NB: L'énergie solaire est potentiellement une source considérable d'énergie renouvelable à l'échelle humaine, même si le Soleil n'est pas éternel à l'échelle du temps de l'Univers. Elle reste largement sous-employée essentiellement pour des raisons de difficultés techniques non résolues.

## EXERCICES

- 1 Identifier les sources d'énergie qui produisent de l'énergie en Suisse. Distinguer les sources renouvelables de celles qui s'épuisent.
- 2 Rechercher quelles sont les ressources en énergie fossile de la Suisse.
- 3 Dresser un tableau des diverses filières de conversion physique de l'énergie solaire.
- 4 Faire des projets ou des maquettes d'appareils permettant l'utilisation de l'énergie solaire.
- 5 Rechercher des documents sur l'exploitation faite de la chaleur de la Terre.
- 6 Pourquoi ne peut-on pas utiliser l'énergie des volcans?
- 7 Un naufragé débarque sur une île déserte. De quelles sources d'énergie pourra-t-il disposer pour satisfaire à ses besoins de confort?
- 8 Voici le graphique simplifié d'un cycle de marée et la coupe d'une usine marémotrice:
- 9 Mettre une croix dans les cases où les agents énergétiques suivants sont couramment utilisés.

	Electricité	Mazout	Essence	Gaz	Charbon	Soleil
Chauffage						
Transport						
Eclairage						
Industrie						
Agriculture						

- 10 Il existe différentes méthodes de chauffage d'une maison:
  - chaudière avec brûleur à mazout
  - chaudière avec brûleur à gaz
  - chauffage électrique
  - panneaux solaires
 Comparer ces systèmes du point de vue:
  - a) du stockage
  - b) de la pollution
  - c) du coût
- 11 Quelles sont les différentes sources d'énergie utilisées pour faire fonctionner un vélomoteur?
- 12 Rechercher des documents sur la fusion nucléaire. Pourquoi est-il si difficile de l'apprivoiser?
- 13 De quelles sources d'énergie un skieur dispose-t-il pour pratiquer son sport?
- 14 Rechercher des sources d'énergie qui n'ont pas été citées dans ce chapitre.
- 15 Donner des raisons pour lesquelles les Etats recherchent de nouvelles sources d'énergie.
- 16 Citer des exemples où l'eau peut être considérée comme une source d'énergie.
- 17 Citer des sources d'énergie disponibles pour une sonde spatiale pendant sa mission.



- a) Quelle est la source d'énergie de l'usine marémotrice?
- b) A quel moment le barrage est-il fermé?
- c) Quel est le sens du courant d'eau entre
  - $t_1$  et  $t_2$ ?
  - $t_3$  et  $t_4$ ?

### Les sources d'énergie

#### Exercice 4

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 5

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 6

Pour utiliser l'énergie des volcans, il faudrait d'une part être capable de prévoir correctement leur activité et d'autre part savoir construire des appareillages qui résistent à de telles températures. Nous ne savons pas encore maîtriser ces problèmes.

Des pays comme l'Islande utilisent une source d'énergie liée au volcanisme: la géothermie.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 7

Un naufragé sur une île déserte dispose de l'énergie rayonnante du Soleil; probablement de l'énergie chimique contenue dans les végétaux (aliments, combustibles); éventuellement de l'énergie mécanique d'un cours d'eau, d'une cascade ou du vent.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 8

- a) La source d'énergie d'une usine marémotrice est la même que celle d'un barrage: la variation de l'énergie potentielle de position de l'eau.
- b) Le barrage est fermé entre  $t_0$  et  $t_1$  et entre  $t_2$  et  $t_3$ .
  - On ferme le barrage pour attendre que la différence de niveau entre le bassin et la mer soit suffisant pour faire fonctionner les turbines avec un bon rendement.
- c) Entre  $t_1$  et  $t_2$  l'eau entre dans le bassin.  
Entre  $t_3$  et  $t_4$  l'eau sort du bassin.

### Les sources d'énergie

#### Exercice 9

Agents énergétiques les plus couramment utilisés:

	Electricité	Mazout	Essence	Gaz	Charbon	Soleil
Chauffage	X	X		X	X	X
Transport	X	X	X			
Eclairage	X			X		X
Industrie	X	X		X	X	
Agriculture	X	X	X	X		X



**Les sources d'énergie**

**Exercice 10**

- a) Le mazout est le seul moyen de stocker une grande quantité d'énergie pour le chauffage d'une habitation.
- b) Si on tient compte des atteintes indirectes à l'environnement (l'électricité n'est pas toujours produite par un barrage...) le moyen le moins polluant est le panneau solaire; viennent ensuite l'électricité et le gaz. Le chauffage à mazout est de loin le plus polluant.
- c) Actuellement, dans un pays comme la Suisse, le moyen le moins cher est le mazout, suivi du gaz et de l'électricité. Le coût de la chaleur fournie par des panneaux solaires est difficile à chiffrer car il dépend essentiellement de la «durée de vie» des panneaux, du coût d'installation et de l'ensoleillement de la région.

**Les sources d'énergie**

**Exercice 11**

L'énergie nécessaire au fonctionnement d'un vélo-moteur est fournie sous forme chimique par l'essence qu'on met dans le réservoir. Le moteur la transforme d'une part en énergie thermique (plus de 70%) qui est dissipée dans l'air et d'autre part en énergie mécanique pour faire avancer le vélo-moteur et produire de l'énergie électrique par l'intermédiaire d'un alternateur. L'énergie électrique est utilisée pour l'allumage et l'éclairage. Au démarrage, il faut fournir du travail musculaire.

**Les sources d'énergie**

**Exercice 12**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Les sources d'énergie**

**Exercice 13**

Si on exclut l'énergie nécessaire pour se rendre à la station de ski (transport) et l'énergie du remonte-pente (généralement mû par un moteur électrique), le skieur dispose essentiellement de son énergie potentielle de position dont il maîtrise le mieux possible la transformation en énergie cinétique avec le travail musculaire de son corps.

**Les sources d'énergie**

**Exercice 14**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Les sources d'énergie**

**Exercice 15**

La plupart des sources d'énergie utilisées massivement par les pays développés ne sont pas renouvelables. Sans de nouvelles sources d'énergie, leur épuisement est inévitable à moyen terme (quelques dizaines ou quelques centaines d'années selon les types de produits et les sources d'information).

**Les sources d'énergie**

**Exercice 16**

On peut récupérer de l'énergie mécanique à partir de l'eau si elle est en altitude (énergie potentielle de position) ou si elle est en mouvement (énergie cinétique). On peut aussi utiliser la chaleur de l'eau des sources thermales ou du sous-sol (géothermie). On tente de réaliser des centrales nucléaires à fusion qui utilisent comme matière première des isotopes de l'hydrogène (que l'on trouve dans les molécules d'eau).

**Les sources d'énergie**

**Exercice 17**

Une sonde spatiale dispose de l'énergie du rayonnement solaire, éventuellement de l'énergie d'une source radioactive embarquée dans la sonde.

# Chapitre 27. Travail et énergie en mécanique

## 1 Le travail

Porter un sac, escalader une montagne, déplacer un meuble sont des exemples de travail mécanique. Pour chaque exemple, on remarque le déplacement du point d'application d'une force.



### Définition

Le travail  $W$  (work en anglais) est proportionnel à l'intensité  $F$  de la force exercée dans la même direction que le déplacement  $d$ .

$$W = F \cdot d$$

Unités : 1 [joule] = 1 [newton] · 1 [mètre]

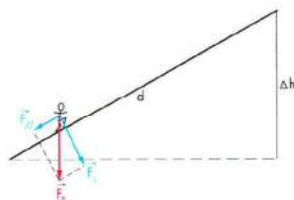
### Exemples

- a) Une pomme de 1 N tombant d'une hauteur de 1 m fournit un travail de 1 J.
- b) Pour soulever un sac (ayant une force de pesanteur  $F_p$ ) d'une hauteur  $\Delta h$ , il faut exercer une force  $F$  ( $F = F_p$ ).  
N.B. La force utile qui travaille est parallèle au déplacement.
- c) Max porte un sac en restant immobile. Malgré sa fatigue, on peut affirmer que son travail est nul! En effet, dans ce cas le déplacement de la force est nul, donc le travail aussi.

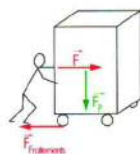


- d) Lorsqu'on escalade une pente, le travail peut se calculer de deux façons:

- soit on calcule le travail de la force de pesanteur:  $W = F_p \cdot \Delta h$
- soit on calcule le travail de la force utile parallèle au déplacement  $d$ :  $W = F_{//} \cdot d$



- e) Lorsqu'on déplace un meuble d'une distance  $d$ , la force qui intervient dans le calcul du travail n'est pas la force de pesanteur  $F_p$  du meuble, qui est perpendiculaire au déplacement  $d$ . Pour s'en convaincre, il suffit d'imaginer un sol parfait, sans frottement; même dans ce cas, la force de pesanteur ne provoque aucun mouvement du meuble.



En présence de frottements, si on déplace le meuble à vitesse constante, la force  $F$  qui travaille, parallèle au déplacement, est celle qui compense la force de frottement.

Le travail de cette force est alors:  $W = F_{//} \cdot d$

N.B. Une force perpendiculaire au déplacement fournit un travail nul.



## 2 L'énergie mécanique

### Définition

Pour effectuer un travail mécanique, il faut fournir (ou transformer) de l'énergie.

### L'énergie potentielle de gravitation

Un objet placé à une certaine hauteur est susceptible de tomber. Dans la bibliothèque, le livre posé sur le rayonnage supérieur possède plus d'énergie potentielle que celui placé en bas de la bibliothèque. Pour mettre cela en évidence, il suffit de faire tomber les livres sur la tête du lecteur.

En résumé, l'énergie potentielle de gravitation ( $E_{pot}$ ) d'un corps dépend de sa position par rapport à un niveau de référence. Cette énergie est proportionnelle à

- la masse  $m$  du corps
- la dénivellation  $\Delta h$
- la constante de gravitation  $g$

$$\Delta E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$$

Unités : 1 [joule] = 1 [kg] · 1 [N · kg<sup>-1</sup>] · 1 [m] = 1 [N] · 1 [m]

Reprenons la situation de la pomme qui tombe. On note que la diminution d'énergie potentielle est égale, en valeur absolue, au travail qu'il faut fournir pour élever la pomme.

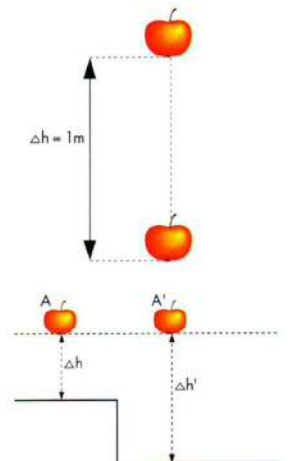
Perte d'énergie potentielle:

$$\Delta E_{pot} = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

Travail à fournir pour élever la pomme:

$$W = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

**Remarque:** la grandeur que nous mesurons sera toujours une variation (une différence) d'énergie potentielle.



### L'énergie potentielle de déformation élastique

Cette énergie est celle que possède un corps lorsqu'il est déformé de manière élastique. Cette énergie est restituée lorsque le corps reprend sa forme initiale.

#### Exemples:

- un arc tendu
- un ressort comprimé
- une balle qui rebondit

L'énergie emmagasinée dans un ressort de raideur  $k$  comprimé ou étiré sur une distance  $\Delta x$  vaut:

$$\Delta E_{pot \text{ élastique}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (\Delta x)^2$$

**Remarque:** Certains corps déformés ne reprennent pas leur forme initiale. Dans ce cas, ils ne possèdent pas d'énergie potentielle de déformation élastique. L'énergie qu'ils ont reçue a été transformée en chaleur.





### L'énergie cinétique

Cette énergie est celle que possède un corps qui se déplace. Un skieur, une voiture, un vélo ou tout corps lancé à une vitesse  $v$ . Cette énergie est proportionnelle à la masse du corps qui se déplace et au carré de sa vitesse.

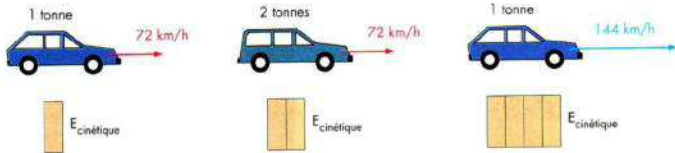
$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2$$

Unités:  $1 \text{ [J]} = 1 \text{ [kg]} \cdot (1 \text{ [m]} / 1 \text{ [s]})^2$

**Exemples:**

Une voiture roulant à  $72 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ayant une masse de 1 tonne a une énergie cinétique de:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2 = 200\,000 \text{ J}$$



À la même vitesse, une voiture de 2 tonnes a une énergie cinétique double.

À une vitesse double ( $144 \text{ km/h}$ ), la voiture de 1 tonne a une énergie cinétique 4 fois plus grande.

Lors d'un accident, l'énergie cinétique se transforme brutalement en d'autres formes d'énergie (travail de déformation, chaleur). C'est pourquoi, de nos jours, l'avant des véhicules est plutôt mou (facilement déformable) pour absorber cette énergie cinétique, alors que l'habitacle est relativement rigide.



**Remarque:** un objet en rotation possède aussi de l'énergie cinétique. Par exemple, l'énergie cinétique de rotation d'une meule permet d'aiguiser des lames.

### 4 Se fatiguer sans travailler

Lorsqu'un promeneur se déplace à plat ou, qu'immobile, il porte une valise, il ressent une fatigue.

Pourtant, en physique, dans ces cas on considère le travail mécanique effectué sur la valise comme nul. En effet, le déplacement est soit horizontal (donc perpendiculaire à la force de pesanteur), soit nul!

Si on regarde de près, on peut comprendre le paradoxe: pour marcher, la personne doit soulever un pied, puis un autre. Ses muscles travaillent pour soulever le poids des jambes. En théorie, le promeneur pourrait récupérer le travail fourni à la retombée des jambes. Cependant, il est impossible de se laisser aller ainsi. Au contraire, les muscles doivent toujours se contracter et lutter contre la pesanteur et contre les frottements.

Il en est de même lorsqu'il porte une charge. Les muscles étirés se contractent, raccourcissent et ainsi se fatiguent, bien qu'ils ne fournissent aucun travail mécanique.

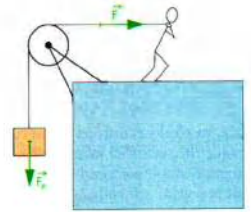
Globalement, il ne faut donc pas confondre travail mécanique et fatigue. Pour porter la valise, il suffirait de la poser sur un support et pour suppléer à la marche, on pourrait imaginer supprimer les frottements et glisser sur une surface parfaitement lisse, un lac gelé par exemple. Pour s'y déplacer de la même distance que notre promeneur, il n'y aurait nul besoin d'effectuer un travail mécanique.



### 3 Les poulies

#### Poulie simple

La force exercée par la personne est égale à la force de pesanteur de la masse. De plus, si la personne parcourt une certaine distance, la masse sera soulevée de la même distance. Le travail fourni par la personne sera égal à l'énergie potentielle acquise par la masse.

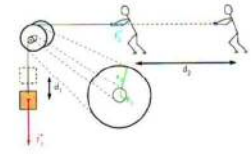


#### Poulie à deux gorges

Une poulie à deux gorges permet de démultiplier une force (pour soulever une masse par exemple). **Le travail ne peut pas être démultiplié.**

La poulie a deux rayons  $r_1$  et  $r_2$  où  $r_1 < r_2$ . La distance  $d_2$  parcourue par le bonhomme et celle  $d_1$  parcourue par la masse sont proportionnelles aux rayons. Aussi, comme le travail fourni par le bonhomme est égal à l'énergie potentielle acquise par la masse, la force nécessaire pour soulever la masse sera inversement proportionnelle au déplacement du bonhomme.

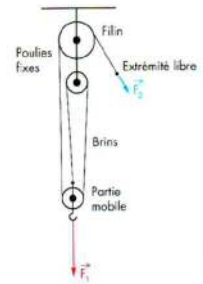
$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$



#### La poulie mobile

Un palan est un système de poulies comprenant une partie mobile reliée à des poulies fixes par un filin. On appelle brin chaque portion du filin qui soutient la partie mobile. Pour un palan à  $n$  brins, la force de traction exercée sur l'extrémité libre du filin est démultipliée par le nombre de brins.

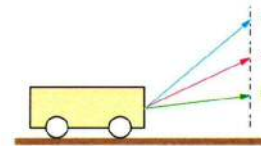
$$F_2 = \frac{F_1}{n}$$



**1** Discuter pour chaque cas si l'on doit fournir un travail:

- a) Monter une pente à pied.
- b) Descendre en parachute.
- c) Descendre une pente à vélo.
- d) Tordre un fil de fer.
- e) Tendre l'élastique d'une fronde.
- f) Monter la vitre d'une voiture.
- g) Comprimer le ressort d'un stylo.

**2** Pour un même déplacement, Bob peut tirer le chariot ci-dessous de trois façons différentes:



- a) Dans laquelle de ces trois façons Bob fournit-il le plus grand travail pour un même déplacement?
- b) Laquelle de ces façons est-elle la plus fatigante?

**3** Un homme tire sur un wagonnet de 800 kg avec une force de 500 N sur une distance de 40 m.

A partir du dessin, calculer le travail qu'il a effectué.



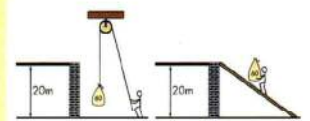
**4** Pour déplacer un char sur une route plane, il faut exercer une force de traction de 250 N.

- a) Pour quelle raison doit-on exercer une force?
- b) Quel est le travail de cette force pour un déplacement de 1 km?

### EXERCICES

**5** Un ouvrier de 70 kg veut monter un sac de 60 kg à 20 m de hauteur.

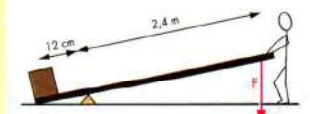
- Calculer en joules le travail qu'il effectue si:
  - a) Il monte le sac à l'aide d'une corde passant par une poulie.
  - b) Il monte le sac en le portant.



- c) Calculer l'énergie acquise par le sac dans chaque cas.
- d) Quelle est la façon de monter le sac la plus économique en énergie pour l'ouvrier?

**6** Une personne utilise un levier pour soulever une masse de 100 kg.

- a) Quelle force doit appliquer la personne pour soulever la masse?
- b) Cette personne abaisse son levier jusqu'au sol. Calculer le travail de la force qu'elle exerce si la hauteur de la planche est de 90 cm.
- c) À quelle hauteur s'élèvera la masse de 100 kg?



**7** Quelle sera votre énergie cinétique sur la ligne d'arrivée d'une course de 80 m?

**8** L'énergie potentielle d'une voiture de 1000 kg allant de Genève au sommet du Salève est de  $7 \cdot 10^8$  joules.

- a) Quelle est la dénivellation?
- b) Cette énergie potentielle dépend-elle du chemin choisi?
- c) L'énergie réellement dépensée dépend-elle du chemin choisi?



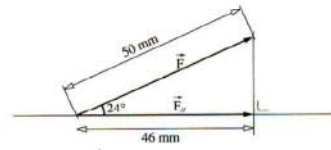
# Corrigé des exercices

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 3

Définition du travail (voir «Le travail d'une force. La puissance» dans le chapitre MÉCANIQUE):  
 $W = F \cdot d$  ou  $W = F_{//} \cdot d$  (si  $\vec{F}$  n'est pas déjà parallèle à  $d$ )

Si nous construisons un schéma à l'échelle qui tient compte de l'angle qui figure sur la donnée (24°), nous obtenons:



Cela nous permet de mesurer sur le dessin l'intensité de la force utile:  
 $F_{//} = \text{environ } 460 \text{ N}$ . (Par calcul:  $F_{//} = F \cdot \cos 24^\circ = 500 \text{ N} \cdot 0,914 = 457 \text{ N}$ )

$W = F_{//} \cdot d = 460 \text{ N} \cdot 40 \text{ m} = 18\,400 \text{ J}$   
 L'homme a effectué un travail de 18 400 joules environ.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 4

a) On doit exercer une force pour déplacer les objets à l'horizontale à cause des frottements qu'il faut vaincre.

b)  $W = F \cdot d = 250 \text{ N} \cdot 1000 \text{ m} = 250\,000 \text{ J}$

Le travail de cette force vaut 250 000 joules.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 5

Définition du travail (voir les pages précédentes du livre ainsi que «Le travail d'une force. La puissance» dans le chapitre MÉCANIQUE):  
 $W = F \cdot d$  ou  $W = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$  (quand il s'agit de soulever une masse)

a)  $W = m \cdot g \cdot h = 60 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 20 \text{ m} = 12\,000 \text{ J}$

L'ouvrier a effectué un travail de 12 000 joules environ.

b)  $W = m \cdot g \cdot h = (60+70) \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 20 \text{ m} = 26\,000 \text{ J}$

L'ouvrier a effectué un travail de 26 000 joules environ.

c)  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 60 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 20 \text{ m} = 12\,000 \text{ J}$

L'énergie potentielle du sac a augmenté dans les deux cas de 12 000 joules environ.

d) L'ouvrier a avantage à utiliser la poulie pour monter le sac sinon il doit élever sa propre masse avec celle du sac.

# Chapitre 28. Puissance. Transformations de l'énergie mécanique

## 1 La puissance mécanique

Lorsqu'une machine doit effectuer un travail, il peut être utile d'évaluer sa capacité à le réaliser. Il s'agit de connaître le travail fourni par unité de temps. Cette grandeur est la puissance mécanique P.

$$P = \frac{W}{t}$$

Comme le travail est  $W = F \cdot d$ , par substitution, on obtient si la vitesse est constante:

$$P = F \cdot \frac{d}{t} = F \cdot v, \text{ car } v = \frac{d}{t}$$

$$\text{Unités: } 1 [\text{W}] = \frac{1 [\text{J}]}{1 [\text{s}]}$$

## 2 Les transformations d'énergie mécanique

Lors d'une transformation d'énergie, l'énergie totale du système est conservée.

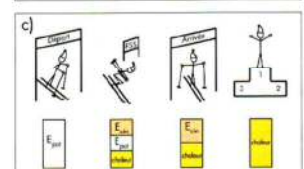
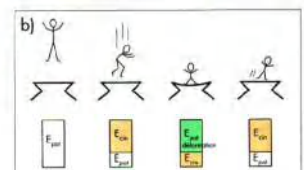
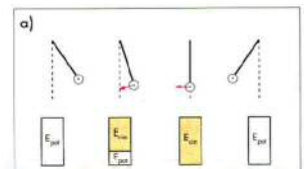
### Exemples:

- a) le pendule
- b) le trampoline

Dans cet exemple, on suppose que les frottements sont nuls et que le sauteur n'absorbe pas le choc avec ses jambes. Si l'on veut prendre en considération les frottements, ceux-ci s'opposent au déplacement du mobile. Le bilan énergétique doit tenir compte de la chaleur qui en résulte.

- c) le skieur

Exemples de puissances mécaniques usuelles	
Micromoteur d'une machine à coudre	11 000 W
Homme	700 W
Grue	15 kW
Automobile	10 à 200 kW
Éolienne	30 à 300 kW
Locomotive	1 000 à 8 000 kW
Moteur d'un train	30 000 kW
Centrale hydro-électrique de Verbiers	82 000 kW
Chateaubriant	147 000 kW
Centrale marémotrice de la Rance	240 000 kW
Centrale hydro-électrique de la Grande Dixence	840 000 kW



## Travail et énergie mécanique

### Exercice 1

Un travail est fourni lorsqu'on exerce une force sur une distance non nulle (mesurée dans la même direction que celle de la force).

- a) Pour monter une pente, on doit fournir un travail musculaire pour vaincre la force de pesanteur sur une certaine hauteur.
- b) Aucun travail ne doit être fourni pendant une descente en parachute. L'énergie potentielle de position du parachutiste se transforme spontanément en énergie cinétique et en chaleur par frottement entre le parachute et l'air.
- c) Aucun travail ne doit être fourni pendant une descente à vélo. L'énergie potentielle de position du cycliste et du vélo se transforme spontanément en énergie cinétique et en chaleur par frottement au niveau de l'air, du sol et des freins.
- d) Il faut agir avec une force sur une certaine distance pour tordre un fil de fer. Il faut donc fournir un travail.
- e) Il faut agir avec une force sur une certaine distance pour tendre un élastique. Il faut donc fournir un travail.
- f) Il faut agir avec une force sur une certaine distance pour tourner la manivelle d'une vitre de voiture. Il faut donc fournir un travail.
- g) Il faut agir avec une force sur une certaine distance pour comprimer le ressort d'un stylo. Il faut donc fournir un travail.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 2

- a) Le déplacement étant horizontal, la force qui travaille est la composante horizontale de la force de traction. Nous voyons sur le schéma de la donnée que cette composante sera la même pour les trois forces. Le travail accompli (au sens de la physique) sera donc le même dans les trois cas.
- b) La notion de fatigue est subjective. Elle n'est pas liée à la mesure d'un travail de nature physique (on peut se fatiguer sans travailler en portant une valise sur une route horizontale par exemple). La façon la moins fatigante sera donc la plus confortable; elle dépendra de celle ou celui qui tire le chariot. On remarque tout de même que la force  $F_3$  est celle qui a l'intensité la plus faible.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 6

En observant le dessin de la donnée, on constate que le rapport des bras du levier vaut 20 (voir «La rotation des solides autour d'un axe. Le moment d'une force» dans le chapitre MÉCANIQUE).

La personne doit exercer une force 20 fois moins grande mais sur une distance 20 fois plus grande.

a) Force de pesanteur de la masse:  $F_p = m \cdot g$

$$\text{Force que doit exercer la personne: } F = \frac{F_p}{20} = \frac{m \cdot g}{20} = \frac{100 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg}}{20} = \frac{1000 \text{ N}}{20} = 50 \text{ N}$$

La personne doit appliquer une force d'environ 50 N pour soulever la masse.

b)  $W = F \cdot d = 50 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} = 45 \text{ J}$

Le travail de cette force vaut 45 joules environ.

c) La masse s'élève de:  $0,9 \text{ m} + 20 = 0,045 \text{ m}$

La masse s'élèvera de 4,5 centimètres environ.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 7

Cette énergie dépend de la vitesse sur la ligne d'arrivée (voir «Cinématique et dynamique: la vitesse» dans le chapitre MÉCANIQUE).

On admet, pour simplifier et pour une personne de 50 kg, que le temps mesuré pour parcourir 80 m vaut 12 secondes et que la vitesse est constante.

$$\text{Calcul de la vitesse: } v = \frac{d}{t} = \frac{80 \text{ m}}{12 \text{ s}} = 6,67 \text{ m/s}$$

La vitesse sur la ligne d'arrivée vaut au moins 6.67 m/s (probablement un peu plus puisque la vitesse est nulle au départ).

Calcul de l'énergie cinétique:

$$E_{\text{cin}} = 1/2 m \cdot v^2 = 0,5 \cdot 50 \text{ kg} \cdot (6,67 \text{ m/s})^2 = 1\,110 \text{ J}$$

L'énergie cinétique d'une personne de 50 kg qui court 80 mètres en 12 secondes vaut 1 110 joules sur la ligne d'arrivée.

## Travail et énergie mécanique

### Exercice 8

a)  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

$$h = \frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g} = \frac{7 \cdot 10^6 \text{ J}}{1000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg}} = 700 \text{ m}$$

La dénivellation vaut environ 700 mètres.

b) L'énergie potentielle acquise par la voiture ne dépend pas du trajet mais uniquement de la dénivellation.

c) L'énergie réellement dépensée dépend du trajet. Elle augmente avec la distance parcourue (frottements) et avec le nombre d'arrêts et d'accéléérations.



### L'énergie hydraulique

Le rayonnement solaire évapore l'eau et il se forme des nuages. L'eau se trouve alors en altitude et possède de l'énergie potentielle et cinétique.

L'eau tombe sous forme de pluies et elle peut être récupérée dans des bassins de retenue. L'eau est dirigée à l'aide de conduites forcées vers des centrales hydrauliques situées plus bas. Elle fait tourner des turbines qui produisent de l'électricité.

Une autre partie de la pluie ruisselle et forme des rivières. L'eau possède alors de l'énergie cinétique que l'on exploite dans des centrales au fil de l'eau à l'aide de turbines.

La mer, en raison des vents, des marées, des courants, est en mouvement constant. Aussi plusieurs procédés ont été imaginés pour en retirer l'énergie.

L'usine marémotrice de la Rance est le prototype de l'utilisation de l'énergie des marées. Elle est située près de St-Malo en Bretagne, car les différences de hauteur entre les marées sont suffisantes pour en récupérer l'énergie potentielle.

Un autre système consiste à utiliser la différence de hauteur entre les vagues, énergie appelée houlomotrice. Ce type d'installation n'a qu'une faible puissance mais pourrait servir d'appont pour les régions côtières.



Barrage de montagne : l'Hommein.



Principe d'une centrale hydroélectrique (tiré de «On a volé l'électricité»).



Eolienne de Martigny.

### 3 Energie et voiture

Une voiture tire son énergie de la combustion de l'essence dans son moteur. Malheureusement, seuls 20% à 30% de cette énergie sont transformés en énergie mécanique. Le reste est dissipé sous forme de chaleur (énergie thermique).

L'énergie mécanique fournie par le moteur sert :

- à augmenter l'énergie cinétique de la voiture lors de chaque accélération;
- à augmenter l'énergie potentielle de la voiture lorsqu'elle monte;
- à vaincre les frottements (air, pneus sur la route, transmissions mécaniques).

La plus grande partie du frottement est aérodynamique, c'est-à-dire dû à l'air qui s'oppose au mouvement.

La force de frottement aérodynamique est donnée par

$$F = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot \rho \cdot v^2$$

- où  $C_x$  : coefficient de forme (habituellement 0,3 - 0,5)
- $S$  : surface projetée de la voiture sur un plan perpendiculaire au déplacement en  $m^2$
- $\rho$  : masse volumique de l'air (environ  $1,3 \text{ kg} \cdot m^{-3}$ )
- $v$  : vitesse de la voiture en  $m \cdot s^{-1}$

Il faut remarquer que cette force varie avec le carré de la vitesse, ce qui explique une consommation d'essence beaucoup plus élevée à grande vitesse.

Norons qu'aucune de ces énergies n'est récupérable. Lorsque les énergies cinétique et potentielle diminuent, elles se transforment en chaleur dans les freins. L'énergie pour vaincre les frottements se trouve dissipée directement dans l'atmosphère.

Toute l'énergie produite par la combustion du carburant se retrouve sous forme de chaleur dissipée dans l'atmosphère.



Voiture dans une soufflerie : la Spirit of Biel.



La puissance des voitures...

### La puissance des voitures

La puissance, c'est-à-dire le travail que peut produire un moteur chaque seconde, dépend de sa cylindrée, de son rapport de compression et du carburant utilisé. Dans la vie courante, on utilise encore le cheval-vapeur (ch) pour exprimer la puissance des moteurs. Un cheval-vapeur correspond à une puissance de 735 watts. **S'il est utile de connaître leur valeur, il faut cependant éviter d'utiliser les unités qui ne font pas partie du système international (SI).**

La puissance d'une voiture usuelle varie entre 10 kW (13 ch) et 200 kW (270 ch).

Les voitures de course atteignent des puissances supérieures à 800 kW.

La fameuse Citroën 2 CV tire son nom de sa puissance fiscale. Les chevaux fiscaux sont en relation avec la cylindrée du moteur et ne sont pas directement proportionnels à la puissance mécanique.



Formule 3.



Citroën 2 CV.

### Performances de divers moyens de transport

Distance parcourue avec 1 litre de carburant ou son équivalent énergétique

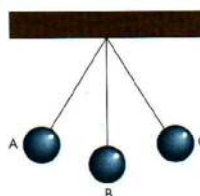
Auto	→	10 km
Bus	→	2,3 km
Avion	→	0,1 km
Traîn	→	0,8 km

Distance parcourue en moyenne par litre et par passager

	nombre moyen de passagers	
Auto	1,5	→ 15 km
Bus	40	→ 92 km
Avion	54	→ 5,4 km
Traîn	300	→ 240 km

### EXERCICES

1 Voici un pendule.



On lâche la bille en position A et elle se met à osciller.

- a) A quel endroit la bille va-t-elle le plus vite ?
- b) A quels endroits la bille est-elle arrêtée ?

Sous quelle forme se trouve l'énergie de la bille en :

- c) Position A ?
- d) Position B ?
- e) Position C ?
- f) Pourquoi l'amplitude de l'oscillation diminue-t-elle progressivement ?

2 Pendant un cours de gymnastique, un élève de 50 kg grimpe à une poutre de 4 m de haut en 5 s. Quelle est la puissance moyenne de l'élève lors de cet exercice ?



3 L'usine hydraulique de Verbois est alimentée par le Rhône dont le débit est de 26400 tonnes d'eau à la minute. L'eau tombe verticalement sur les turbines d'une hauteur de 20 m.

- a) Calculer la puissance théorique de ces turbines (en kW).
- b) Calculer l'énergie fournie en 1 heure.

4 La station de départ du téléphérique du Salève est à une altitude de 430 m, la station d'arrivée à 1097 m. La distance horizontale franchie est de 910 m. Le câble fait un angle moyen de 46,5° avec l'horizontale. La masse de la cabine à vide est de 4950 kg et elle supporte une charge de 4270 kg.

- a) Pourquoi est-il moins pénible de monter en téléphérique qu'à pied ?
- b) Calculer le travail à fournir pour une montée de la cabine chargée.
- c) Calculer le travail fourni par la cabine vide qui descend.
- d) Calculer la puissance du moteur si le trajet s'effectue en 4 minutes (tenir compte de la cabine qui descend).
- e) Comparer cette puissance avec la puissance réelle de 440 kW et expliquer la différence.

5 Pour maintenir sa vitesse à 126 km·h<sup>-1</sup>, un train développe une puissance de 3000 kW.

Calculer l'intensité des forces qui s'opposent au mouvement du train.

6 Tristan joue avec un yo-yo.

- a) Le yo-yo tourne-t-il plus vite lorsqu'il est en haut ou en bas de sa course ?
- b) Décrire la transformation d'énergie qui a lieu lorsque le yo-yo descend, puis lors de sa montée.
- c) Tristan arrive à faire durer le mouvement plusieurs minutes. Cela est-il dû à l'absence de frottements ? Expliquer.

7 Lorsque vous sautez d'un mur de 2 mètres de haut, votre énergie potentielle se transforme en énergie cinétique.

- a) Quelle est votre énergie potentielle sur le mur ?
- b) Quelle est votre vitesse en arrivant au sol ?
- c) Vos camarades ont-ils les mêmes résultats ?



- 8**
- Quelle est la vitesse de l'eau à la sortie du jet d'eau de Genève qui s'élève à 130 m de hauteur si on néglige les frottements ?
  - En réalité, la vitesse à la sortie de la tuyère est de 200 km·h<sup>-1</sup> et le débit de 500 l·s<sup>-1</sup>. Calculer la hauteur théorique (sans frottements) du jet.

- 9** Une bille de 200 g est animée d'une vitesse de 9 m·s<sup>-1</sup>.



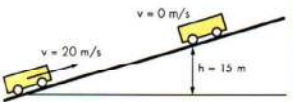
(On néglige les frottements)

- Quelle vitesse aura-t-elle en haut de la boucle ?
- Quelle sera sa vitesse après la boucle ?

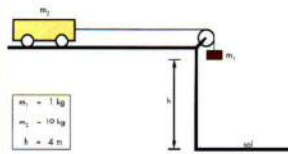
- 10** Un cycliste et son vélo ont une masse de 80 kg. La route qu'il gravit a une longueur de 5 km et une dénivellation de 300 m. Les frottements (vent, route) opposent une force de 100 N à son déplacement.

Quelle énergie aura-t-il dépensée pour atteindre le haut de la pente ? (Le départ et l'arrivée sont à l'arrêt.)

- 11** Un wagonnet de 1 tonne lancé à la vitesse de 20 m·s<sup>-1</sup> sur un rail en pente s'arrête après avoir parcouru une distance de 500 m et gravi une dénivellation de 15 mètres. Calculer la valeur des forces de frottement.



- 12** Calculer la vitesse du système lorsque la masse m<sub>1</sub> touche le sol. (On néglige les frottements)



## Corrigé des exercices

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 1

En tirant la bille dans la position A, on lui fournit de l'énergie potentielle de position. La bille lâchée en position A transforme cette énergie potentielle de position en énergie cinétique tant qu'elle peut descendre. Elle retransforme son énergie cinétique en énergie potentielle lorsqu'elle remonte de l'autre côté (jusqu'à l'arrêt) et ainsi de suite.

- La vitesse de la bille est maximale en B.
- La bille s'arrête en A et en C.
- Dans la position A, l'énergie fournie à la bille est sous la forme d'énergie potentielle de position.
- Dans la position B, l'énergie fournie à la bille est sous la forme d'énergie cinétique.
- Dans la position C, l'énergie fournie à la bille est sous la forme d'énergie potentielle de position.
- La torsion du fil et le frottement de l'air transforment une partie de l'énergie en chaleur qui se dissipe; la bille ralentit et finit par s'arrêter.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 2

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{50 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 400 \text{ W}$$

La puissance moyenne de l'élève vaut environ 400 watts.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 3

$$a) P = \frac{E}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{26,4 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 20 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 88 \cdot 10^6 \text{ W}$$

La puissance des turbines vaut environ 88 mégawatts.

$$b) E = P \cdot t = 88 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 3 \text{ 600 s} = 317 \cdot 10^9 \text{ J}$$

L'énergie fournie en 1 heure vaut environ 300 gigajoules (environ 83 000 kWh).

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 7

Les calculs sont faits pour une personne de 50 kg.

$$a) E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 50 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ m} = 1000 \text{ J}$$

L'énergie potentielle sur le mur (par rapport au sol) vaut 1000 joules.

- b) L'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique ( $E_{\text{pot}} = E_{\text{cin}}$ ).

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ m}} = 6,32 \text{ m/s}$$

On arrive au sol avec une vitesse de 6,32 m/s (=22,8 km/h).

- c) Bien que l'énergie potentielle avant la chute ne soit pas la même, on constate que la masse n'intervient pas dans le calcul de la vitesse. N'importe quel objet lâché d'une hauteur de 2 mètres arrivera au sol avec la même vitesse pour autant que les frottements restent négligeables (ce ne serait pas le cas pour une feuille de papier par exemple).

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 8

$$a) m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 130 \text{ m}} = 51 \text{ m/s}$$

L'eau doit sortir à une vitesse minimale de 51 m/s (=184 km/h).

$$b) m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow h = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{[(200 + 3,6) \frac{\text{m}}{\text{h}}]^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 154 \text{ m}$$

Sans frottements, le jet monterait à 154 mètres.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 9

La bille transforme une partie de son énergie cinétique en énergie potentielle de position pour atteindre le haut de la boucle. La transformation inverse aura lieu à la descente.

- a)

$$E_{\text{cin, initiale}} = \frac{m \cdot v_{\text{initiale}}^2}{2}$$

$$E_{\text{haut de la boucle}} = m \cdot g \cdot h + \frac{m \cdot v_{\text{haut de la boucle}}^2}{2}$$

$$\text{L'énergie est conservée} \Rightarrow \frac{m \cdot v_{\text{initiale}}^2}{2} = m \cdot g \cdot h + \frac{m \cdot v_{\text{haut de la boucle}}^2}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{v_{\text{initiale}}^2}{2} = g \cdot h + \frac{v_{\text{haut de la boucle}}^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_{\text{haut de la boucle}} = \sqrt{v_{\text{initiale}}^2 - 2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{(9 \text{ m/s})^2 - 2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 2,8 \text{ m}} = 5 \text{ m/s}$$

La vitesse de la bille au haut de la boucle vaut 5 m/s.

- b) A la sortie de la boucle, la bille a la même vitesse qu'au départ.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 4

- a) Le travail pour augmenter notre énergie potentielle de position est fourni par le moteur du téléphérique et non par nos muscles.

$$b) W = F \cdot d = m \cdot g \cdot h = (4950 + 4270) \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (1097 - 430) \text{ m} = 61 \text{ 500 000 J}$$

Une montée de la cabine chargée nécessite au minimum un travail de 61,5 mégajoules.

$$c) W = F \cdot d = m \cdot g \cdot h = 4950 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (1097 - 430) \text{ m} = 33 \text{ 000 000 J}$$

Une descente de la cabine vide restitue un travail de 33 mégajoules.

$$d) P = \frac{E}{t} = \frac{61,5 \cdot 10^6 \text{ J} - 33 \cdot 10^6 \text{ J}}{240 \text{ s}} = 119 \text{ 000 W}$$

La puissance minimale (sans frottements) nécessaire pour une montée de la cabine chargée vaut environ 120 kilowatts.

- e) La puissance réelle du moteur (440 kW) est bien plus grande car les frottements des poulies, des câbles, de l'air et de toute la machinerie sont loin d'être négligeables; d'autre part, il faut une marge de puissance pour des raisons de sécurité.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 5

Lorsqu'il roule horizontalement à vitesse constante, un véhicule ne fournit de l'énergie que pour vaincre les frottements.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{F \cdot d}{t} \Rightarrow F = \frac{P \cdot t}{d} = \frac{3 \text{ 000 000 W} \cdot 3 \text{ 600 s}}{126 \text{ 000 m}} = 85 \text{ 700 N}$$

L'intensité des forces de frottements vaut environ 85 700 newtons.

### Puissance Transformations de l'énergie mécanique

#### Exercice 6

- Le Yo-Yo tourne le plus vite lorsqu'il est au bas de la course.
- L'énergie potentielle de position du Yo-Yo se transforme en énergie cinétique (mouvement vertical + rotation) pendant la descente. La transformation est inverse pendant la montée.
- Pour faire durer le mouvement, il faut à chaque montée exercer une traction pour fournir au Yo-Yo l'énergie perdue dans les frottements de la ficelle et de l'air. Si Tristan ne bouge pas, le Yo-Yo s'arrête rapidement.



# Chapitre 29. Energie et puissance électriques

Dans notre vie quotidienne, l'énergie électrique est présente partout : éclairage - appareils ménagers - transports (train) - ordinateurs... Elle est devenue indispensable à notre style de vie et sa consommation augmente avec nos exigences de confort dans toutes nos activités. L'énergie électrique n'est pas directement disponible dans la nature ou pas exploitable (foudre); on ne peut l'obtenir qu'à partir d'une autre forme d'énergie. Tout ménage s'intéresse à sa consommation d'énergie électrique, au moins pour ses conséquences sur le montant des factures. Chacun est conscient du fait que les performances d'un appareil dépendent de sa puissance. Par exemple, une lampe plus puissante qu'une autre éclaire mieux. La connaissance de la puissance électrique est importante pour l'utilisateur.

## Puissance Transformations de l'énergie mécanique

### Exercice 10

Le cycliste doit fournir de l'énergie d'une part pour s'élever (augmentation de son énergie potentielle de position) et d'autre part pour vaincre les frottements (travail pour avancer).

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{pot}} + W = (m \cdot g \cdot h) + (F \cdot d) = (80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 300 \text{ m}) + (100 \text{ N} \cdot 5\,000 \text{ m}) = 240\,000 \text{ J} + 500\,000 \text{ J} = 740\,000 \text{ J}$$

Le cycliste doit dépenser environ 740 kilojoules pour gravir cette pente.

## Puissance Transformations de l'énergie mécanique

### Exercice 11

Le wagonnet doit transformer son énergie cinétique d'une part pour s'élever (augmentation de son énergie potentielle de position) et d'autre part pour vaincre les frottements (travail pour avancer).

$$E_{\text{cin}} = E_{\text{pot}} + W = (m \cdot g \cdot h) + (F \cdot d)$$

$$F = \frac{E_{\text{cin}} - E_{\text{pot}}}{d} = \frac{\frac{1}{2} m \cdot v^2 - m \cdot g \cdot h}{d}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} \cdot 1\,000 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/s})^2 - 1\,000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 15 \text{ m}}{500 \text{ m}} = 100 \text{ N}$$

L'intensité des forces de frottement vaut environ 100 N.

## Puissance Transformations de l'énergie mécanique

### Exercice 12

L'énergie potentielle ( $E_{\text{pot}}$ ) cédée par la descente de  $m_1$  se transforme en énergie cinétique ( $E_{\text{cin}}$ ) pour le système ( $m_1+m_2$ );  $m_1$  et  $m_2$  ont la même vitesse  $v$  au moment où  $m_1$  touche le sol.

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{cin}}$$

$$m_1 \cdot g \cdot h = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v^2}{2}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot m_1 \cdot g \cdot h}{(m_1 + m_2)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 4 \text{ m}}{(1 + 19) \text{ kg}}} = 2 \text{ m/s}$$

Autre manière de résoudre le problème (basée sur la deuxième loi de Newton):

$$F_{\text{traction}} = m_{\text{tot}} \cdot a_{\text{systeme}} \Rightarrow a_{\text{systeme}} = \frac{F_{\text{traction}}}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \cdot g}{m_1 + m_2} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{1 \text{ kg} + 19 \text{ kg}} = 0,5 \text{ m/s}^2$$

Tout se passe comme si le système était en chute libre ( $E_{\text{pot}}$  se transformant en  $E_{\text{cin}}$ ) avec une gravitation  $a$  valant  $0,5 \text{ m/s}^2$ :

$$m \cdot a \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot a \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 0,5 \text{ m/s}^2 \cdot 4 \text{ m}} = 2 \text{ m/s}$$

Les deux méthodes donnent le même résultat. Le système a une vitesse de  $2 \text{ m/s}$  ( $=7,2 \text{ km/h}$ ) lorsque la masse  $m_1$  touche le sol.

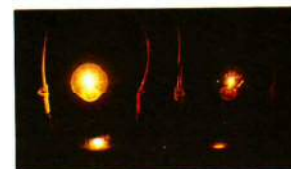
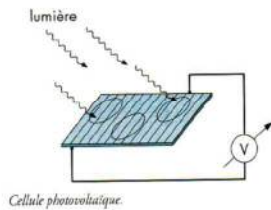
## EXPERIENCE A partir de rayonnement

La lumière produit une différence de potentiel aux bornes de la cellule.

- Application:
- Cellules photovoltaïques.

### Remarques:

- 1) L'énergie électrique se transporte facilement (lignes à haute tension, réseau électrique).
- 2) Le stockage de l'énergie électrique est presque impossible, sauf de manière indirecte (barrage, pile, accumulateur); elle doit donc être produite en fonction de sa consommation.



## 2 Puissance d'un appareil

Sur le culot d'une ampoule figurent les indications suivantes: 220 V - 40 W.

La première valeur (220 V) indique la tension électrique sous laquelle cette ampoule doit être branchée pour fonctionner normalement. On l'appelle la **tension nominale**.

La seconde (40 W) indique la puissance de cette ampoule branchée sous une tension de 220 V. On l'appelle la **puissance nominale**.

Il en va de même pour tous les appareils électriques.

### EXPERIENCE

Brancher une ampoule de laboratoire et faire varier la tension aux bornes de l'ampoule.

Que peut-on dire de la lumière émise par l'ampoule en fonction de la tension appliquée?

## 1 Production de l'électricité

### EXPERIENCE A partir d'énergie mécanique

Pendant le déplacement d'un aimant devant une bobine, on peut mesurer un courant dans la bobine.

#### Application

- dynamo de bicyclette;
- alternateur: dans ce cas, c'est la bobine qui tourne et l'aimant est fixe;
- centrales électriques: elles peuvent être de différentes natures.

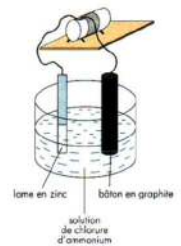
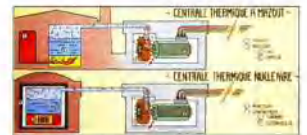
### EXPERIENCE A partir d'énergie chimique

Fabrication d'une pile.

La réaction chimique (oxydation du zinc) produit une différence de potentiel entre les plaques et actionne le moteur.

#### Application

- Piles et accumulateurs.



L'expérience précédente montre qu'il existe une relation entre la tension appliquée à un récepteur et sa puissance. Afin de la préciser, on réalise l'expérience suivante:

### EXPERIENCE

On applique successivement aux bornes de divers récepteurs leur tension nominale et on mesure pour chacun d'eux l'intensité du courant qui le traverse.

Trouver une relation entre les valeurs mesurées et la puissance nominale du récepteur.

L'expérience montre que le produit de la tension aux bornes du récepteur par l'intensité du courant est proche de la puissance nominale  $P$  du récepteur. On peut écrire:

$$P = U \cdot I$$

Cette relation permet de mesurer la puissance d'un appareil électrique et reste valable si la tension appliquée n'est pas la tension nominale. La puissance apparaît comme la grandeur traduisant la performance d'un appareil. On peut le vérifier en déterminant la puissance électrique d'une ampoule en fonction de la tension appliquée à ses bornes.

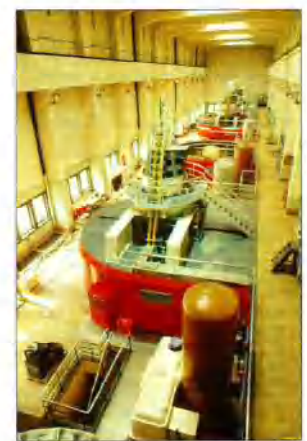
## Les unités de la puissance

Le **watt** est l'unité de puissance. On le symbolise par la lettre **W**. Un **watt** correspond à la puissance d'un appareil traversé par une intensité de courant de **1 ampère** sous une tension de **1 volt**.

Les multiples et sous-multiples suivants sont également utilisés:

- le **gigawatt** [GW] qui correspond à une puissance de  $10^9 \text{ W}$
- le **mégawatt** [MW] qui correspond à une puissance de  $10^6 \text{ W}$
- le **kilowatt** [kW] qui correspond à une puissance de  $10^3 \text{ W}$
- le **milliwatt** [mW] qui correspond à une puissance de  $10^{-3} \text{ W}$

Les centrales électriques mesurent leur puissance en gigawatt ou en mégawatt, alors qu'on utilise les milliwatts pour les circuits électroniques.





### 3 L'énergie électrique

L'énergie transformée par un appareil de puissance P pendant la durée Δt vaut:

$$E = P \cdot \Delta t$$

L'unité d'énergie dépend évidemment des unités de puissance et de temps:

- si la puissance est exprimée en **watts** et le temps en **secondes**, l'énergie est exprimée en **joules [J]**;
- si la puissance est exprimée en **watts** et le temps en **heures**, l'énergie est exprimée en **wattheures [Wh]**.

On utilise quelquefois les **kilojoules [kJ]** et les **kilowattheures [kWh]**:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$$

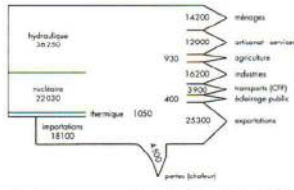
$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$$

Il est facile de transformer des kilowattheures en kilojoules en utilisant la relation précédente:

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J} = 3600 \text{ kJ}$$



Production et consommation suisse d'électricité en 1993 en millions de kWh. (Source: UCS, Electricité Romande)



Schéma de la production de l'énergie électrique.

CONSUMMATION	PUISANCE	TEMPS MOYEN D'UTILISATION PAR JOUR	ÉNERGIE ANNUELLE
montre	1 mW = 10 <sup>-3</sup> W	24 h	0,009 kWh
moteur train électrique (gare)	20 W	2 h	15 kWh
réveil	40 W	8 h	170 kWh
lampe ménagère	25 - 100 W	8 h	70 - 300 kWh
ordinateur	50 W	8 h	150 kWh
rasoir électrique	80 W	0,1 h	3 kWh
chaîne Hi-Fi	100 W	4 h	150 kWh
réfrigérateur	120 W	11 h	500 kWh
TV	200 W	3 h	220 kWh
réchauffe-plats	500 W	0,5 h	90 kWh
lampe infra-rouge	400 W	1 h	220 kWh
radiateur électrique	2000 W	3 h	2000 kWh
machine à laver	3400 W	1 h	1300 kWh
cuisinière + four	8400 W	1 h	3000 kWh
locomotive CF	400000 W	6 h	900000 kWh
<b>PRODUCTION</b>			
pile	1 W	2 h	0,7 kWh
cellules photovoltaïques (1m <sup>2</sup> )	100 W	5 h	180 kWh
panneau solaire 1m <sup>2</sup>	800 W	5 h	1400 kWh
centrale	500 - 1000 MW	24 h	7200 GWh
éclair	100000 MW	0,1 s	3000 GWh par éclair

## Corrigé des exercices

#### Energie et puissance électriques

Exercice 1

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 2

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 3

James Watt (mécanicien et ingénieur écossais, 1736-1819), fabricant d'instruments de précision, s'était vu confier la réparation d'une machine à vapeur (de Newcomen): cela lui permit d'en comprendre le principe. Ses recherches et inventions (machine à double effet, enveloppe de chaleur, régulateur centrifuge) lui permirent d'en améliorer le rendement et de la généraliser dans l'industrie.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 4

La tension du réseau n'étant pas suffisante, le fer ne deviendra pas assez chaud pour être utilisé correctement.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 5

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{88 \cdot 10^6 \text{ W}}{220 \cdot 10^3 \text{ V}} = 400 \text{ A}$$

L'intensité dans cette ligne vaut environ 400 A.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 6

$$P = U \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 880 \text{ W}$$

La puissance électrique du radiateur vaut 880 watts.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 7

Branchées en parallèle, deux ampoules de 100 W ont une puissance totale de 200 W.

Branchées en série, (si on admet pour simplifier que leur résistance ne varie pas avec la température) deux ampoules de 100 W offrent une résistance valant le double d'une ampoule de 100 W seule; l'intensité qui les traverse est divisée par deux et la puissance totale vaut environ 50 W. En réalité, la température du filament étant moins élevée, la résistance est plus grande, la puissance encore plus faible.

### EXERCICES

- Noter les puissances des appareils électriques dans votre salle de séjour.  
Quelle sera la puissance totale s'ils sont tous utilisés simultanément?
- Estimer la puissance que devra fournir le réseau électrique pour subvenir aux besoins de tous les ménages d'une ville ou d'un village un soir vers 8 heures.
- Faire une recherche sur le scientifique Watt qui a donné son nom à l'unité de puissance.
- On se rend aux Etats-Unis muni d'un fer à repasser (220 V - 900 W). Là-bas, la tension du réseau est de 117 V.  
Que va-t-il se passer lorsqu'on branchera l'appareil?

- Que vaut l'intensité du courant électrique dans la ligne quittant la centrale de Verbois fournissant une puissance de 88 MW si la tension à la sortie est de 220 kV?
- Un radiateur électrique est branché sur le réseau et le courant qui le parcourt est de 4 A.  
Quelle est la puissance électrique du radiateur?
- On branche deux ampoules (220 V - 100 W) en parallèle sur le réseau (220 V). Quelle est la puissance totale des deux ampoules.  
On branche ces mêmes ampoules en série sur le réseau. Quelle est la puissance totale des deux ampoules?
- Sachant que le fusible qui protège les circuits électriques d'un appartement supporte un courant de 6 ampères, de quelle puissance maximale peut-on disposer?  
Faire un inventaire des appareils qu'il serait possible de faire fonctionner simultanément.
- Déterminer la puissance d'un éclair si son intensité est de 10<sup>4</sup> ampères et la différence de potentiel entre la terre et le ciel est de 10<sup>6</sup> volts.  
Comparer cette puissance avec celle d'une centrale électrique.

10 Voici un relevé des Services Industriels de Genève concernant la consommation d'électricité et de gaz d'un particulier.

DATE	HEURE	TEMPERATURE	INDICATEUR	INDICATEUR	INDICATEUR	INDICATEUR	INDICATEUR
1993-01-15	08:00	10°C	1234	5678	9012	3456	7890
1993-01-15	18:00	12°C	1234	5678	9012	3456	7890
1993-01-16	08:00	10°C	1234	5678	9012	3456	7890
1993-01-16	18:00	12°C	1234	5678	9012	3456	7890
TOTAL							

Déterminer:

- Le volume de gaz utilisé.
  - Ce que représente le nombre 126.
  - La consommation totale d'énergie en kWh.
  - Le pourcentage des taxes fixes par rapport au total de la facture.
  - Le prix réel d'un kWh pour cette facture.
  - Le prix réel d'un kWh si le particulier avait doublé sa consommation.
- 11 Pour griller un toast, un grille-pain a fonctionné durant 1 minute et a consommé une énergie de 150000 J.  
Quelle est la puissance du grille-pain?
- 12 Dans un coup de foudre, l'énergie échangée entre le nuage et la terre est d'environ un milliard (10<sup>9</sup>) de joules.
- Calculer la tension électrique (on dit aussi différence de potentiel) entre le nuage et la terre, si l'intensité du courant est de 10<sup>4</sup> ampères et la durée de l'éclair de 10<sup>-3</sup> seconde.
  - Transformer 10<sup>5</sup> joules en kWh.
  - Comparer cette énergie à la consommation mensuelle d'électricité d'un particulier (voir exercice 10).
- 13 En 1982, la consommation en électricité du canton de Genève a été de 1600 millions de kWh. Les centrales de Verbois et de Chancy-Pougny ont produit 800 millions de kWh, le reste venant de la Suisse par deux lignes à haute tension de 220 kV et 130 kV.
- Quelle quantité d'énergie ces lignes à haute tension ont-elles fournies?
  - Quelle puissance moyenne cela représente-t-il? (on ne tient pas compte des pointes de consommation).

#### Energie et puissance électriques

Exercice 8

$$P = U \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 1320 \text{ W}$$

Avec un tel fusible, on ne peut pas utiliser simultanément des appareils dont la puissance totale dépasse 1320 watts.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 9

$$P = U \cdot I = 10^6 \text{ V} \cdot 10^4 \text{ A} = 10^{10} \text{ W} = 10 \text{ gigawatts}$$

Les grandes centrales électriques ont une puissance de l'ordre du gigawatt, c'est-à-dire 10 fois moins.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 10

- Volume de gaz utilisé: 307 m<sup>3</sup> - 295 m<sup>3</sup> = 12 m<sup>3</sup>.
- Chaque mètre cube de gaz libère par combustion une énergie de 10,5 kWh.  
12 m<sup>3</sup> de gaz correspondent à: 12 · 10,5 = 126 kWh
- Consommation totale d'énergie: 428 + 126 = 554 kWh.
- Taxes fixes (primes de puissance + redevance): 16 + 16 + 48 = 80 Fr.  
Part des taxes fixes:  $\frac{80 \text{ Fr}}{150 \text{ Fr}} = 0,533$  soit environ 53%.
- 150.- Fr. pour 554 kWh correspond à environ 27 centimes par kilowattheure.
- Deux fois la part de l'énergie + une fois la part des taxes fixes: 70 + 70 + 80 = 220 Fr.  
220 Fr. pour 1108 kWh correspond à environ 20 centimes par kilowattheure.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 11

$$P = \frac{E}{t} = \frac{150000 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 2500 \text{ W}$$

Le grille-pain a une puissance de 2500 watts.

#### Energie et puissance électriques

Exercice 12

$$a) P = \frac{E}{t} = U \cdot I \Rightarrow U = \frac{E}{I \cdot t} = \frac{10^9 \text{ J}}{10^4 \text{ A} \cdot 10^{-1} \text{ s}} = 10^6 \text{ V}$$

La tension entre le nuage et la Terre est de l'ordre du million de volts.

$$b) \frac{10^9 \text{ J}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ kWh}} = 278 \text{ kWh}$$

- L'énergie d'un seul éclair est environ 2,6 fois plus importante que la consommation d'énergie mensuelle d'un particulier pour son appartement en été (voir exercice 10).



a) Elles ont fourni une énergie de  $1\,600 \cdot 10^6 \text{ kWh} - 800 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 800 \cdot 10^6 \text{ kWh}$ .

b) 
$$P = \frac{E}{t} = \frac{800 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Wh}}{\text{kWh}}}{(365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \text{ s}} = 91,3 \cdot 10^6 \text{ W}$$

Cela représente une puissance moyenne de plus de 90 mégawatts.

## Chapitre 30. Notion de température

### 1 Le chaud, le froid, subjectivité de la sensation

Chacun peut dire si une matière est chaude ou froide en recourant au sens du toucher. Cependant cette sensation, comme le montre l'expérience ci-dessous, varie selon les circonstances; elle est subjective.

**EXPERIENCE** On plonge la main gauche dans l'eau froide (10 à 15°C) et la main droite dans l'eau chaude (40 à 45°C) pendant au moins 10 secondes. On plonge ensuite simultanément les deux mains dans l'eau tiède (25 à 30°C).



Les deux mains sont à la même température, pourtant la sensation de chaque main est différente.

### 2 Interprétation microscopique de la température

Imaginons que nous puissions observer la matière avec un grossissement de 100 millions (100 000 000).

#### Représentation schématique de la matière

##### Etat solide

Les particules (ici des molécules d'eau) ont un mouvement propre, mais elles ne se déplacent pas les unes par rapport aux autres.

Leur position forme une structure ordonnée.



Exemple: la glace. Toutes les molécules vibrent sur place.

##### Etat liquide

Les particules (ici des molécules d'eau) ont un mouvement propre. Elles peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres.

Il n'y a pas de structure ordonnée.

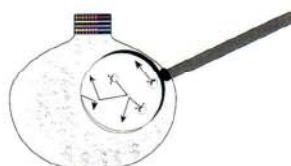


Exemple: l'eau. Les molécules ont un mouvement d'abordant.

##### Etat gazeux

Les particules (ici des molécules d'eau) ont un mouvement désordonné.

Elles sont très éloignées les unes des autres.



Exemple: vapeur d'eau. Les molécules se déplacent à grande vitesse.

La température est une mesure de l'agitation des particules des corps, donc de leur énergie cinétique moyenne.

Lorsque l'agitation de ses molécules augmente, la température d'un corps s'élève.

Au zéro absolu (-273°C ou 0K) l'agitation moléculaire est minimale.

### 3 Mesure objective de la température, thermomètre

Le sens du toucher n'est pas suffisant pour apprécier la température. On utilise un instrument.

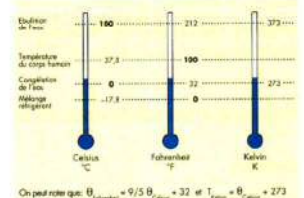
Lors des changements d'état, deux états de la matière coexistent. On constate dans ces cas que la température ne varie pas (même si on chauffe!). Ces températures sont des points fixes.

Pour définir l'échelle Celsius, les repères suivants ont été choisis:

- température de fusion de la glace: 0°C;
- température d'ébullition de l'eau à pression normale (1013 hPa): 100°C.

L'intervalle entre ces deux points fixes est divisé en 100 parties égales, chaque partie représente un **degré Celsius**.

- La lettre  $\theta$  (thêta) symbolise la température en [°C].
- La lettre T symbolise la température en kelvin [K].



Autres échelles thermométriques.

Objet	Température	Instrument de mesure
Soleil (milieu)	15 000 000 °C	calorimètre
Soleil (surface)	5600 °C	spectromètre
four, ampoule	2500 °C	pyromètre
flamme	1000-2000 °C	pyromètre
feu de bois	800 °C	thermocouple
température "médée" la plus élevée	58 °C	thermomètre à mercure
température "médée" la plus basse	37 °C	thermomètre médical
azote liquide	-196 °C	thermocouple
azote liquide	-219 °C	thermomètre à résistance
zéro absolu	-273 °C	thermomètre à résistance

Exemples de températures.

### 4 Instruments de mesure de la température

De nombreuses méthodes permettent de repérer la température d'un milieu, puisque tout paramètre physique variant avec la température peut être à la base d'une méthode de mesure.

Il existe deux groupes de thermomètres:

#### Ceux qui nécessitent un contact direct

- **Thermomètre à résistance:** une résistance électrique varie avec la température. Un montage électronique affiche la température.

Plage d'utilisation: -273 °C à 3000 °C

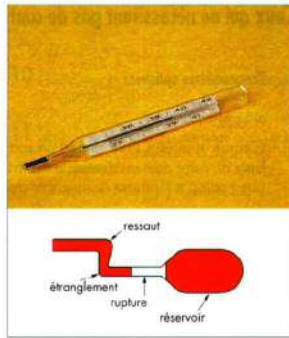


— **Thermomètre à dilatation:** thermomètre à liquide (mercure ou alcool par exemple), à gaz ou à solide.  
Plage d'utilisation: -250°C à 1 000°C.

**Exemple 1:**

*Thermomètre médical (à maxima).*

Lorsque la température augmente, le mercure se dilate et le niveau monte. Si la température diminue, l'étranglement empêche le mercure de descendre malgré sa contraction; il faut secouer le thermomètre pour permettre au mercure de passer l'étranglement.

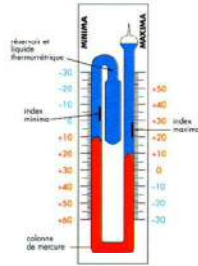


Thermomètre médical

**Exemple 2:**

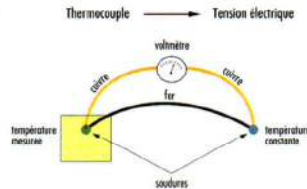
*Thermomètre à minimum et maximum.*

Il indique, grâce à deux index, la température la plus basse et la température la plus élevée entre deux relevés.



Thermomètre à minimum et maximum.

— **Thermomètre à couple thermoélectrique:** l'instrument est un thermocouple. On mesure la différence de potentiel entre deux fils métalliques de nature différente.  
Plage d'utilisation: -250 °C à 3000 °C



**Ceux qui ne nécessitent pas de contact direct**

— **Thermomètres optiques:**

a) *Le pyromètre.*

C'est un appareil à l'aide duquel on compare la brillance du corps dont on aimerait connaître la température à celle d'un filament de tungstène chauffé.

Plage d'utilisation: 500°C à 3 000°C

b) *Le spectromètre.*

Il est essentiellement utilisé pour mesurer la température des étoiles. Celles-ci présentent des couleurs diverses. Cela tient au fait que leur température superficielle est différente. De même qu'une barre chauffée passe successivement du rouge sombre, à l'orange, au jaune et au bleu lorsque la température augmente, une étoile bleue est plus chaude qu'une étoile jaune. La décomposition de la lumière d'une étoile par un prisme donne le spectre de l'étoile. L'étude de ce spectre est à la base de l'astrophysique et permet de connaître les caractéristiques physiques des couches externes de l'étoile, dont en particulier la température.

Plage d'utilisation: 1 000°C à 20 000°C

**Remarque**

La température interne des étoiles est calculée à l'aide de modèles théoriques sur la constitution des étoiles. On ne l'a jamais mesurée!

**EXERCICES**

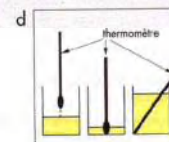
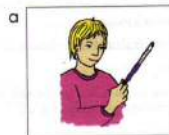
- Quelle est l'unité de température?
- «Un thermomètre indique sa propre température». Vrai ou faux?
- Fonctionnement du thermomètre.**  
Lorsque la température s'élève, la longueur de la colonne de liquide augmente-t-elle ou diminue-t-elle?
- Un thermomètre à liquide doit-il posséder obligatoirement un réservoir?  
Quel est son rôle?
- Copier et compléter les phrases suivantes par les mots «chaleur» ou «température».  
a) Marc a eu de la fièvre, sa ..... est très élevée.  
b) Un feu dégage de la .....  
c) Le cuivre est un bon conducteur de .....  
d) On élève la ..... d'un corps en lui fournissant de la .....  
e) Sarah s'est ébouillantée en manipulant une casserole. La différence de ..... entre sa main et la casserole devait être importante.  
f) La ..... libérée par la combustion de 1 kg de charbon est de 33000 kJ  
g) La ..... se mesure avec un thermomètre.  
h) La ..... à la surface du Soleil est de 5600°C.
- Le film Fahrenheit 431 correspond à la température à laquelle le papier prend feu.  
A quelle température en degrés Celsius correspond-elle?
- Quel instrument de mesure peut-on utiliser pour mesurer la température de la flamme d'une cuisinière à gaz?
- Deux objets, l'un en métal et l'autre en plastique, sont sur une table depuis assez longtemps. On en prend un dans chaque main; que ressent-on?  
Que dire de leurs températures?
- Plonger un thermomètre dans de l'eau bouillante. Observer et expliquer ce qui se passe.



14 Rechercher dans un dictionnaire qui était Celsius, qui était Fahrenheit.  
Qu'est-ce que le degré Fahrenheit? La température du corps humain est-elle 37°F?

**EXERCICES**

15 Expliquer les fautes commises dans la façon de prendre la température de l'air ou d'un liquide.



16 Plonger le réservoir du thermomètre dans de l'eau froide; le sortir et observer la colonne de liquide. Essayer d'expliquer ce qui se passe.

Pourquoi, en météorologie, indique-t-on «température relevée sous abri»?  
Quel est le rôle d'un abri météorologique?



Station météo en plein air.

17 Comment s'appelle le phénomène physique utilisé dans les thermomètres à liquide?

Il existe d'autres types de thermomètres, sans liquide. Essayer de trouver une explication à leur fonctionnement.





# Corrigé des exercices

## Notion de température

### Exercice 1

L'unité de température la plus utilisée dans les pays francophones est le degré celsius [°C] tandis que le degré fahrenheit [°F] est le plus utilisé dans les pays anglo-saxons.

L'unité physique de la température est le kelvin[K]; la température en kelvins s'obtient en ajoutant 273 à la valeur de la température en [°C].

## Notion de température

### Exercice 2

Un thermomètre indique effectivement sa propre température; c'est pour cette raison qu'il faut le laisser s'équilibrer avec son environnement pour connaître la température de ce dernier.

## Notion de température

### Exercice 3

Lorsque la température s'élève, le liquide se dilate plus que le verre et la colonne de liquide augmente de longueur.

## Notion de température

### Exercice 4

Un thermomètre à liquide doit posséder un réservoir d'autant plus grand que la sensibilité du thermomètre est grande. On a pu diminuer le volume du réservoir en diminuant la section des tubes où monte le liquide.

## Notion de température

### Exercice 5

- température
- chaleur
- chaleur
- température - chaleur
- température
- chaleur
- température
- température

## Notion de température

### Exercice 6

$$\theta_{\text{Fahrenheit}} = \frac{9 \cdot \theta_{\text{Celsius}}}{5} + 32 \Rightarrow \theta_{\text{Celsius}} = \frac{(\theta_{\text{Fahrenheit}} - 32) \cdot 5}{9} = \frac{(431 - 32) \cdot 5}{9} = 222 \text{ } ^\circ\text{C}$$

431 °F correspond à 222 °C.

## Notion de température

### Exercice 14

$$\theta_{\text{Fahrenheit}} = \frac{9 \cdot \theta_{\text{Celsius}}}{5} + 32 = \frac{9 \cdot 37}{5} + 32 = 98,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

La température du corps vaut environ 100 °F.

C'est d'ailleurs la température du corps que Daniel FAHRENHEIT (voir «Quelques éléments biographiques» dans le chapitre ANNEXES) avait choisi comme repère pour la valeur 100 de son échelle de température.

## Notion de température

### Exercice 15

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

## Notion de température

### Exercice 16

Un thermomètre mouillé indique généralement une température inférieure à la température de l'air (en particulier s'il y a du vent). En effet, l'eau prend de l'énergie au thermomètre pour s'évaporer, ce qui abaisse sa température.

## Notion de température

### Exercice 17

Les thermomètres ont un fonctionnement qui est presque toujours basé sur le phénomène de la dilatation des matières liée à une augmentation de la température (voir «La dilatation des solides» et «La dilatation des liquides» dans le chapitre EFFETS DE LA CHALEUR).

Le thermomètre qui figure sur l'illustration de la donnée est un thermomètre à bilame. Un bilame est constitué de deux lames de matière fixées l'une à l'autre sur toute leur longueur et dont le coefficient de dilatation est différent (l'une se dilate plus que l'autre pour un même écart de température). Cette différence se traduit par une courbure du bilame lorsque la température varie. Ce mouvement peut être observé directement ou amplifié. Chaque position du bilame correspond à une valeur de la température.

## Notion de température

### Exercice 7

Les thermocouples permettent de mesurer des températures très élevées comme celle des flammes.

## Notion de température

### Exercice 8

La sensation est différente même si leur température est la même (ils sont en équilibre thermique avec la table et l'environnement).

Le métal étant un bon conducteur de chaleur, il échangera de l'énergie thermique avec la main beaucoup plus rapidement que le plastique qui est un isolant thermique. Cela aura pour conséquence qu'à basse température le métal paraît plus froid que le plastique (il prend plus rapidement de la chaleur à la main) et qu'à haute température ce même métal paraît plus chaud que le plastique (il cède plus rapidement de la chaleur à la main).

Cette expérience nous montre que notre peau ne nous renseigne pas sur la température mais sur les échanges thermiques: une perte de chaleur donne une sensation de froid et un gain de chaleur donne une sensation de chaud.

## Notion de température

### Exercice 9

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

## Notion de température

### Exercice 10

Pour mesurer la température de l'air, il faut protéger le thermomètre du rayonnement solaire (apport d'énergie qui élève la température du thermomètre) et du vent (qui abaisse la température du thermomètre s'il est humide à cause de la rosée par exemple).

## Notion de température

### Exercice 11

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

## Notion de température

### Exercice 12

On considère que la température est la mesure de l'agitation des atomes qui forment la matière.

La température de -273 °C correspond à zéro kelvin, température à laquelle on a calculé que les atomes ont une agitation minimale; on ne peut donc pas aller plus bas.

## Notion de température

### Exercice 13

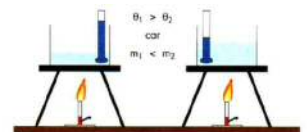
Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

- 236 -

## Chapitre 31. Mesure de la chaleur

### 1 Distinction entre chaleur et température

- a) On chauffe deux récipients qui contiennent des quantités d'eau différentes. Avec des corps de chauffe et des temps de fonctionnement identiques, on apporte la même quantité d'énergie thermique à chaque récipient.



On constate que les températures atteintes sont différentes.

On constate que les températures finales sont différentes.

#### Explication au niveau microscopique

Dans le second récipient, la quantité d'énergie se distribue sur un plus grand nombre de molécules; l'agitation moyenne des molécules sera plus faible, ce qui se traduit par une température inférieure.

- b) Pour maintenir la température d'un appartement à 20°C en hiver, on est obligé de chauffer (fournir de la chaleur) continuellement pour compenser la chaleur dissipée par les murs, les fenêtres, etc ...

- c) Attention, l'usage courant confond les termes **chaleur** (énergie) et **température**.

Les termes **chaleur**, **énergie calorifique** ou **énergie thermique** sont équivalents.

Expression usuelle	Signification
une tasse de thé chaude	sa température est élevée
«quelle chaleur aujourd'hui !»	la température est élevée
«chauffer» une pièce	il faut fournir de la chaleur (énergie) pour augmenter la température de la pièce ou du moins la maintenir
un vêtement chaud	il isole bien, mais il ne fournit pas d'énergie thermique



## 2 La température d'équilibre d'un mélange

Si on mélange plusieurs corps à des températures différentes, les plus chauds vont céder de la chaleur aux plus froids; tous vont donc se retrouver après un certain temps à la même température: c'est la **température d'équilibre**.

Prenons comme exemple la préparation d'un café crème.



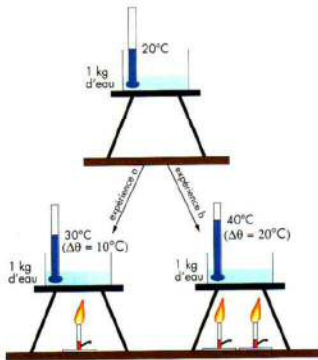
Préparation d'un café crème.

Des corps en contact prolongé atteignent l'équilibre thermique; ils ont alors la même température.

## 3 Calorimétrie

On veut chauffer de l'eau. De quoi va dépendre la chaleur utilisée pour la chauffer?

### Expérience I



La différence de température  $\Delta\theta$  est proportionnelle à l'énergie thermique reçue par l'eau.

### La chaleur massique

La chaleur massique  $c$  mesure la capacité d'une substance à échanger de la chaleur.

Sa valeur est exprimée en  $[J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}]$  (ou en  $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ ) et représente la quantité de chaleur échangée par 1 kg de substance lors d'une variation de température de 1°C (ou 1K).

L'eau ayant une chaleur massique particulièrement élevée, elle est couramment utilisée pour transporter la chaleur dans les installations de chauffage.

### Conclusions des expériences I, II et III

On peut résumer ces observations sous la forme d'une relation permettant de calculer la chaleur utilisée en fonction de la masse, de la nature et de l'élévation de température du liquide.

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta - \theta_0)$$

où

- Q = énergie calorifique [J]
- m = masse [kg]
- c = chaleur massique  $[J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}]$  ou  $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
- $\theta$  = température finale [ $^\circ C$ ]
- $\theta_0$  = température initiale [ $^\circ C$ ]

### La capacité calorifique

Un récipient, même bien isolé, échange de la chaleur avec les corps qu'on y introduit.

Pour en tenir compte, on définit sa capacité calorifique. Cette grandeur exprime la chaleur nécessaire pour élever la température d'un objet de 1°C; elle est symbolisée par la lettre grecque  $\mu$  (qui se lit «mu») et s'exprime en  $[J \cdot K^{-1}]$  ou en  $[J \cdot ^\circ C^{-1}]$ .

Lors d'une variation  $\Delta\theta$  de température, la chaleur échangée s'exprime par

$$Q = \mu \cdot \Delta\theta$$

### Bilan des chaleurs

Dans un récipient bien isolé, on mélange des corps pris à des températures différentes qui n'interagissent pas chimiquement.

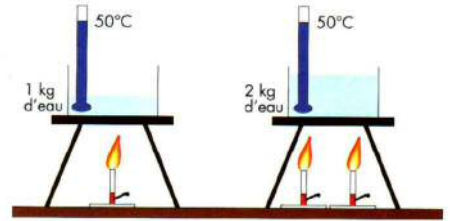
Les températures vont spontanément s'équilibrer.

matières choisies par ordre croissant de leur chaleur massique	valeur de c en $[J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}]$
mercure	139
cuivre	389
fer	456
laiton	800 à 1000
aluminium	900
air	1000
sodium	1256
huile d'olive	2000
pétrole	2093
eau	4186
hydrogène	14300

Exemples de chaleurs massiques.

## EXPERIENCE

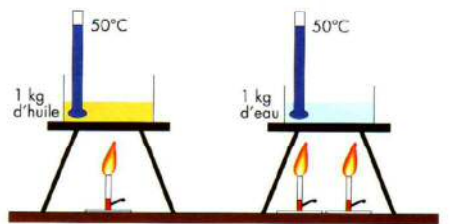
### Expérience II



Pour une même différence de température, la chaleur reçue est proportionnelle à la masse  $m$  de liquide.

## EXPERIENCE

### Expérience III



La chaleur reçue dépend de la nature de la substance. C'est une caractéristique de la matière représentée par sa chaleur massique et symbolisée par la lettre  $c$ .

Le principe de la conservation de l'énergie permet d'affirmer que la chaleur cédée par les corps dont la température a baissé a été reçue par les corps dont la température a augmenté.

$$Q_{cède} + Q_{reçue} = 0$$

### Exemple

On dispose d'un calorimètre à la température de 20°C ( $\theta_{cal}$ ) dont la capacité calorifique ( $\mu_{cal}$ ) vaut 200 J.°C<sup>-1</sup>.

On y mélange 0,1 kg d'eau ( $m_{eau}$ ) à 50°C ( $\theta_{eau}$ ) et 0,2 kg d'aluminium ( $m_{alu}$ ) à -18°C ( $\theta_{alu}$ ).

La température s'équilibre à 27,2°C ( $\theta_{eq}$ ).

L'équation du bilan des chaleurs s'écrit:

$$Q_{reçue\ eau} + Q_{reçue\ calo} + Q_{reçue\ alu} = 0$$

### Attribution des signes

Imaginez trois personnes qui ne peuvent échanger de l'argent qu'entre elles. Si elles notent avec un signe négatif (-) ce qu'elles donnent et avec un signe positif (+) ce qu'elles reçoivent, la somme de tous ces nombres sera toujours nulle.

Il en va de même avec l'énergie thermique: on compte négativement (avec un signe -) la chaleur cédée et positivement (avec un signe +) la chaleur reçue.

Ces signes apparaissent automatiquement dans le calcul de  $\Delta\theta$  à condition de toujours soustraire de la température finale la valeur de la température initiale ( $\Delta\theta = \theta_{finale} - \theta_{initiale}$ ).

$$Q_{reçue\ eau} + Q_{reçue\ calo} + Q_{reçue\ alu} = 0$$

$$m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta\theta_{eau} + \mu_{cal} \cdot \Delta\theta_{cal} + m_{alu} \cdot c_{alu} \cdot \Delta\theta_{alu} = 0$$

$$0,1 \cdot 4200 \cdot (27,2 - 50) + 200 \cdot (27,2 - 20) + 0,2 \cdot 900 \cdot (27,2 - (-18)) = 0$$

$$0,1 \cdot 4200 \cdot (-22,8) + 200 \cdot (7,2) + 0,2 \cdot 900 \cdot (45,2) = 0$$

### Remarques sur les unités

La chaleur, comme toute forme d'énergie, doit se mesurer en **joules**. On utilise pourtant encore trop souvent la **calorie**; celle-ci correspond à 4,18 J, c'est-à-dire à la chaleur nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau de 1°C. La **Calorie** (avec un C majuscule), ou grande calorie, bien connue des personnes attentives à leur alimentation, correspond à 1000 calories, soit 4180 joules. **Il est utile de connaître ces unités qui ne font pas partie du système international, mais il ne faut pas les utiliser.**



**E**  
**EXERCICES**

- 1 Un thermomètre mesure-t-il la chaleur d'un corps ? Expliquer.
- 2 Pourquoi ne peut-on pas utiliser la chaleur fournie par les volcans ?



- 3 A votre avis, faudrait-il plus de chaleur pour augmenter la température du lac Léman de 0,1°C (volume du lac: 89 km<sup>3</sup>) ou augmenter de 50°C la température de 10 000 litres d'eau sanitaire d'un immeuble ?

Calculer à chaque fois l'énergie nécessaire.



- 4 On mélange 20 litres d'eau à 20°C avec 30 litres d'eau à 70°C.
- a) Quelle est la température d'équilibre du mélange ?
- b) Quelle chaleur a-t-il fallu fournir aux 30 litres d'eau pour la chauffer de 20°C à 70°C ?
- c) On utilise cette même chaleur pour chauffer 50 litres d'eau à 20°C. Quelle température atteindra-t-elle ?

- 5 On prend des cubes de béton, de fer et d'aluminium ayant tous une même masse de 1 kg et une même température de 20°C.
- Afin de chauffer l'un de ces cubes, on dispose d'une énergie de 22 000 J.
- a) Quel cube choisir pour obtenir la température la plus élevée ?
- b) Calculer la température obtenue pour le cube choisi.
- 6 Pour chauffer 3 litres d'eau contenus dans une casserole en cuivre de 400 grammes de 17°C à 97°C, on utilise 3600 000 joules (1 kWh).
- a) Déterminer l'énergie nécessaire à chauffer l'eau.
- b) Déterminer l'énergie nécessaire à chauffer la casserole.
- c) Expliquer où est passé le reste de l'énergie.

**Corrigé des exercices**

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 1**

Un thermomètre ne peut pas mesurer une énergie, il témoigne d'un état d'agitation de ses atomes qui sont eux-mêmes en équilibre thermique avec son environnement immédiat.

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 2**

Pour utiliser l'énergie des volcans, il faudrait d'une part être capable de prévoir correctement leur activité et d'autre part savoir construire des appareillages qui résistent à de telles températures. Nous ne savons pas encore maîtriser ces problèmes.

Des pays comme l'Islande utilisent une source d'énergie liée au volcanisme: la géothermie.

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 3**

Energie nécessaire pour élever la température du lac Léman de 0,1 °C:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta = 1000 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}] \cdot 89 \cdot 10^9 \text{ [m}^3] \cdot 4180 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 0,1 \text{ [°C]} = 37,2 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

Energie nécessaire pour élever la température de 10 000 litres d'eau de 50 °C:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta = 1000 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}] \cdot 10 \text{ [m}^3] \cdot 4180 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 50 \text{ [°C]} = 2,09 \cdot 10^9 \text{ J (environ 10 millions de fois moins que pour le lac...)}$$

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 4**

a)  $Q_{\text{reçue par l'eau froide}} + Q_{\text{cédée par l'eau chaude}} = 0$   
 $m_{\text{eau froide}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{eau froide}}) + m_{\text{eau chaude}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{eau chaude}}) = 0$

On peut diviser par  $c_{\text{eau}}$  tous les membres de l'équation:

$$m_{\text{eau froide}} \cdot (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{eau froide}}) + m_{\text{eau chaude}} \cdot (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{eau chaude}}) = 0$$

$$m_{\text{eau froide}} \cdot \theta_{\text{finale}} - m_{\text{eau froide}} \cdot \theta_{\text{eau froide}} + m_{\text{eau chaude}} \cdot \theta_{\text{finale}} - m_{\text{eau chaude}} \cdot \theta_{\text{eau chaude}} = 0$$

$$\theta_{\text{finale}} = \frac{m_{\text{froide}} \cdot \theta_{\text{froide}} + m_{\text{chaude}} \cdot \theta_{\text{chaude}}}{m_{\text{froide}} + m_{\text{chaude}}} = 50 \text{ °C}$$

- b) Energie nécessaire pour élever la température de 30 litres d'eau de 50 °C:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 30 \text{ [kg]} \cdot 4180 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 50 \text{ [°C]} = 6,27 \cdot 10^6 \text{ J}$$

- c) Avec la même énergie mais les 5/3 de masse (50 kg au lieu de 30 kg), la différence de température vaudra les 3/5 de 50 °C, c'est-à-dire 30 °C au lieu de 50 °C.

L'eau atteindra une température de : 20°C + 30 °C = 50 °C.

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 5**

- a) Il faut choisir le fer car sa chaleur massique est la plus faible (456 [J·kg<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>])

b)  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{22\,000 \text{ J}}{1 \text{ kg} \cdot 456 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}} = 48 \text{ °C}$

La température du cube de fer peut être élevée de 48 °C, c'est-à-dire jusqu'à 68 °C.

**Mesure de la chaleur**

**Exercice 6**

- a) Energie nécessaire pour élever la température de 3 litres d'eau de 80 °C:  
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 3 \text{ [kg]} \cdot 4180 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 80 \text{ [°C]} = 10^6 \text{ J}$
- b) Energie nécessaire pour élever la température de 0,4 kg de cuivre de 80 °C:  
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 0,4 \text{ [kg]} \cdot 389 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 80 \text{ [°C]} = 12,4 \cdot 10^3 \text{ J}$
- c) Le reste de l'énergie (environ 2,6·10<sup>6</sup> J) a été dissipé dans l'environnement.

**Chapitre 32. Production de la chaleur**

**1 Production de la chaleur**

**Energie chimique → Chaleur**

Exemple: La combustion du charbon de bois, du mazout, du gaz produit une quantité importante de chaleur.

**Energie nucléaire → Chaleur**

Exemple: La fission des atomes d'uranium dégage une très importante quantité de chaleur.

**Energie électrique → Chaleur**

Exemple: Dans un radiateur électrique, le filament traversé par un courant électrique dégage de la chaleur.

**Energie rayonnante → Chaleur**

Exemple: Une bouteille peinte en noir capte le rayonnement solaire et chauffe l'eau se trouvant à l'intérieur.

**Remarque**

Les transformations énergétiques s'accompagnent de pertes, en général sous forme de chaleur non souhaitée.

Exemples: freins, scies, moteurs, frottements divers, ampoules, transformateurs, etc...





## 2 Pouvoir calorifique

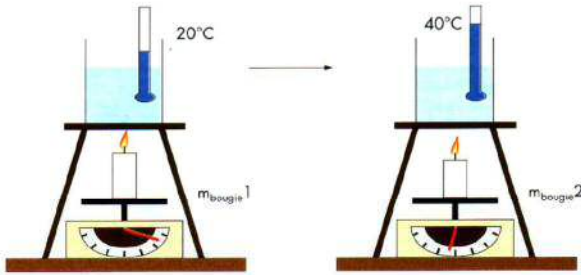
### EXPERIENCE

On veut chauffer de l'eau. Quelle quantité de combustible faut-il utiliser ?

Les expériences suivantes vont donner la réponse :

#### Expérience I

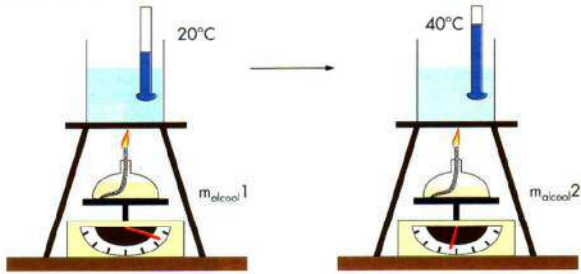
Prenons de l'eau à 20°C et chauffons-la à l'aide d'une bougie.



### EXPERIENCE

#### Expérience II

Refaisons la même expérience mais en chauffant cette fois à l'aide d'une lampe à alcool.



On arrive à réduire ces indices de consommation d'énergie par :

- une utilisation plus rationnelle de l'énergie par les habitants;
- une amélioration de l'isolation thermique des bâtiments;
- une amélioration du rendement des installations de conversion d'énergie (par exemple: chauffage, climatisation).

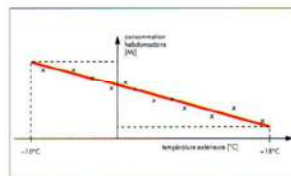
L'indice énergétique d'un immeuble devrait être inférieur à 750 MJ·m<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>.

### Signature énergétique

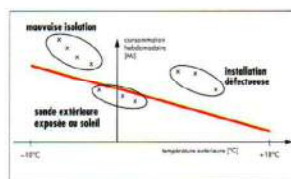
La consommation d'énergie d'un immeuble dépend de plusieurs facteurs. L'un d'entre eux est la température extérieure. On se rend compte de cette dépendance en mesurant la consommation d'énergie hebdomadaire en fonction de la température extérieure.

Sous notre climat, on a choisi arbitrairement -10°C comme température minimale. A partir de 18°C, l'énergie consommée sert uniquement à préparer l'eau chaude sanitaire.

La droite obtenue s'appelle la **signature énergétique**. Elle permet de détecter des défauts qui entraînent un mauvais chauffage ou une surconsommation d'énergie.



Consommation hebdomadaire en fonction de la température extérieure.



Exemples de défauts observés à partir de mesures.

Il est possible dans chaque cas de déterminer la chaleur transférée à l'eau ainsi que la masse **m** de combustible utilisé ( $m = m_1 - m_2$ ). Le rapport entre ces deux grandeurs définit le pouvoir calorifique d'un combustible.

$$H = \frac{Q}{m}$$

où

H = pouvoir calorifique [J·kg<sup>-1</sup>]

Q = chaleur [J]

m = masse de combustible brûlé [kg]

Le pouvoir calorifique est une caractéristique de chaque combustible. Il indique l'énergie que fournit la combustion de 1 kilogramme de ce combustible.

matière (solide et liquide)	valeur de H en [10 <sup>6</sup> J·kg <sup>-1</sup> ]
bois	14 600 à 15 200
charbon de bois	33 000
coke	28 500 à 29 700
alcool à brûler	27 000
essence/mazout	44 000
pétrole	40 000

matière (gaz)	valeur de H en [10 <sup>6</sup> J·kg <sup>-1</sup> ]
hydrogène	120 000
gaz naturel (méthane)	56 000
butane	50 000

Exemples de pouvoirs calorifiques.

## 3 Consommation d'énergie dans le bâtiment

Pour connaître la consommation d'énergie d'un bâtiment, on utilise l'indice de consommation d'énergie et la signature énergétique.

### Indice de consommation d'énergie

Cet indice mesure la dépense annuelle totale d'énergie pour 1 m<sup>2</sup> de surface de plancher. On obtient ainsi une grandeur appelée **indice de consommation d'énergie I<sub>E</sub>**.

$$I_E = \frac{\text{Consommation annuelle totale d'énergie}}{\text{Surface de plancher chauffée}}$$

exprimée en mégajoules par m<sup>2</sup> par an (10<sup>6</sup> J·m<sup>-2</sup>·an<sup>-1</sup>).

Cette grandeur permet de comparer la consommation d'énergie de bâtiments de même type.

type de bâtiment	indice de consommation d'énergie en [MJ·m <sup>-2</sup> ·an <sup>-1</sup> ]	consommation annuelle de gaz pour 100 m <sup>2</sup> de surface
maison individuelle	= 800	2 400 litres
immeuble appartements	= 920	2 500 litres
immeuble collectif	= 700 à 1 100	1 900 à 3 000 litres
école	= 730	2 000 litres

Ordres de grandeur pour divers bâtiments.

### Le chauffage central

On insiste souvent sur le thème de l'eau «source de vie». Moins connues sont les qualités de l'eau pour transporter de la chaleur. Sa chaleur massique élevée lui permet de stocker de grandes quantités de chaleur qu'elle est ensuite susceptible de restituer. Le fait que l'eau est facile à manipuler et à stocker a permis la réalisation de quantités de machines aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles (locomotive à vapeur, machines thermiques, chaudières, etc...).

Pour faire fonctionner ces machines, les hommes ont commencé par utiliser du bois, ensuite du charbon, aujourd'hui du mazout, du gaz ou de l'uranium.

L'appareil le plus connu pour produire de la chaleur est la chaudière. Le combustible est brûlé dans un foyer. La chaleur émise est récupérée par de l'eau circulant dans des tubes. La circulation de l'eau se fait par convection, c'est-à-dire que l'eau chaude monte et l'eau froide redescend.

Cependant cette circulation est lente. Les installations modernes comportent une pompe pour accroître la vitesse de circulation de l'eau. Différents appareils permettent de régler la température ambiante et d'assurer la sécurité du système.

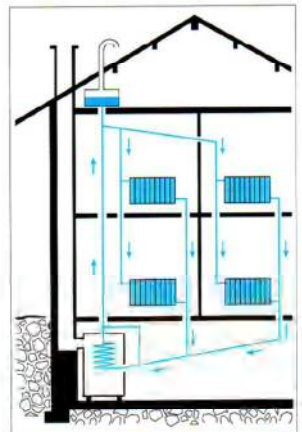


Schéma simplifié d'un chauffage central.



Une chaudière moderne: la pompe et le vase d'expansion sont intégrés.



**E**  
**EXERCICES**

- 1** Estimer la quantité d'eau utilisée lorsqu'on prend un bain.  
Calculer l'énergie nécessaire pour porter l'eau du bain de 17°C à 37°C.  
Calculer la masse de mazout, de charbon, de bois et le volume de gaz naturel qu'il faut brûler pour obtenir cette énergie.  
Si l'on prend une douche au lieu d'un bain, estimer en % l'économie d'énergie réalisée.
- 2** Pour chauffer un appartement de 100 m<sup>2</sup> durant une année, on a utilisé une énergie de 88 GJ. (1 GJ = 1 gigajoule = 10<sup>9</sup> joules)  
Déterminer:  
a) La masse de mazout consommée.  
b) Le volume de mazout que cela représente.
- 3** L'énergie dégagée par la fission nucléaire complète de 1 kg d'uranium est d'environ 10<sup>14</sup> joules.  
Quelle quantité de charbon faudrait-il brûler pour produire la même énergie ?

- 4** Les fenêtres isolent beaucoup moins bien que les parois des murs. Elles sont responsables en moyenne de 30% des pertes dans un immeuble locatif et 20% dans une maison familiale.  
Pour un vitrage simple, les pertes de chaleur correspondent à la combustion de 35 litres de mazout par m<sup>2</sup> et par année. Pour les vitrages doubles, il faut compter 20 litres par m<sup>2</sup> et par année.  
Déterminer la quantité de mazout utilisée par année pour compenser les pertes de chaleur dues aux fenêtres d'une salle de cours orientée au nord.
- 5** Quand obtient-on de la chaleur sans le vouloir ?

**Corrigé des exercices**

**Production de la chaleur**

**Exercice 1**

Si la baignoire n'est pas trop grande, 150 litres suffisent pour prendre un bain.  
Energie nécessaire pour élever la température de 150 litres d'eau de 20 °C:  
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta =$   
 $= 150 \text{ [kg]} \cdot 4180 \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}] \cdot 20 \text{ [°C]} = 12,5 \cdot 10^6 \text{ J}$

La masse **m** de combustible nécessaire pour produire une quantité **Q** de chaleur dépend de son pouvoir calorifique **H**:

$$H = \frac{Q}{m} \Rightarrow m = \frac{Q}{H}$$

Avec du mazout:  $m = 12,5 \cdot 10^6 \text{ J} + 44 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 0,284 \text{ kg}$  ou 284 grammes  
Avec du charbon:  $m = 12,5 \cdot 10^6 \text{ J} + 29 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 0,431 \text{ kg}$  ou 431 grammes  
Avec du bois:  $m = 12,5 \cdot 10^6 \text{ J} + 15 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 0,833 \text{ kg}$  ou 833 grammes  
Avec du gaz naturel:  $m = 12,5 \cdot 10^6 \text{ J} + 32 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 = 0,391 \text{ m}^3$  ou 391 litres  
Une douche permet d'économiser plus de la moitié de l'énergie.

**Production de la chaleur**

**Exercice 2**

La masse **m** de combustible nécessaire pour produire une quantité **Q** de chaleur dépend de son pouvoir calorifique **H**:

$$H = \frac{Q}{m} \Rightarrow m = \frac{Q}{H}$$

- a) Masse de mazout:  $m = 88 \cdot 10^9 \text{ J} + 44 \cdot 10^9 \text{ J/kg} = 2000 \text{ kg}$   
b)  $\rho = m/V$  ;  $V = m/\rho = 2000 \text{ kg} + 860 \text{ kg/m}^3 = 2,33 \text{ m}^3 = 2330 \text{ litres}$   
Il a fallu environ 2 300 litres de mazout pour chauffer cet appartement pendant une année.

**Production de la chaleur**

**Exercice 3**

La masse **m** de combustible nécessaire pour produire une quantité **Q** de chaleur dépend de son pouvoir calorifique **H**:

$$H = \frac{Q}{m} \Rightarrow m = \frac{Q}{H}$$

Masse de charbon:  $m = 10^{14} \text{ J} + 29 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 3,45 \cdot 10^6 \text{ kg}$  ou 3 450 tonnes  
Il faut brûler environ 3 450 tonnes de charbon pour obtenir la même énergie que par fission d'un kilogramme d'uranium.

**Production de la chaleur**

**Exercice 4**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Production de la chaleur**

**Exercice 5**

La plupart des transformations d'énergie dégagent de la chaleur non souhaitée. Parmi les exemples les plus courants on peut citer les ampoules à incandescence (environ 95% de l'énergie sous forme de chaleur) et les moteurs thermiques (plus de 70% de l'énergie sous forme de chaleur).

**Chapitre 33. Transferts de chaleur**

Les transferts de chaleur ont lieu entre des corps ayant des températures différentes. Chacun sait qu'une assiette de soupe bouillante se refroidit dans l'assiette alors que du lait sorti du réfrigérateur se réchauffe. La chaleur passe du corps ayant la température la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse.

En règle générale, on cherche à favoriser (chauffage) ou à contrarier (isolation) les transferts de chaleur.  
La chaleur peut se propager par convection, conduction ou rayonnement.

**1 La convection**

Le transfert de chaleur a lieu grâce au déplacement de la matière, dans des matières fluides (liquides, gazeuses). Les particules (atomes ou molécules), en bougeant, transportent avec elles la chaleur. Ces mouvements sont appelés courants de convection.

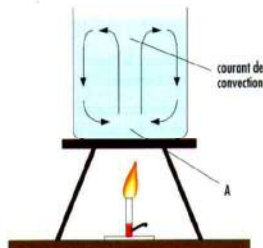


**EXPERIENCE Convection dans l'eau**

Imaginer des mesures qui mettent en évidence les courants de convection dans un bécber.

**Explication**

La partie du liquide proche de la flamme (zone A) chauffe en premier. L'augmentation de température crée localement une dilatation du liquide et donc une diminution de sa masse volumique. La poussée d'Archimède provoque alors un mouvement ascensionnel appelé courant de convection. (Pour mieux observer les courants, déposer du permanganate de potassium sur le fond du bécber).



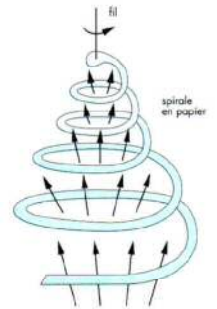
**EXPERIENCE Convection dans l'air**

Découper une spirale dans une feuille de papier et la fixer au-dessus (environ 10 cm) d'une bougie allumée.

Décrire les observations.

**Application**

Les planeurs, parapentes et ailes delta peuvent prendre de l'altitude grâce aux courants de convection d'air chaud. Ces courants sont appelés courants ascendants.



**2 La conduction**

La conduction est le transfert de chaleur à travers un corps dont la température n'est pas uniforme, sans déplacement de matière.



**EXPERIENCE Comparaison de conductions**

On plonge une cuillère en bois et une cuillère en acier dans de l'eau très chaude.

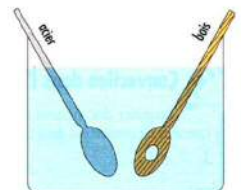
En gardant une cuillère dans chaque main, décrire les sensations.

**Explication**

L'agitation moléculaire se propage plus ou moins rapidement dans la matière.

**Applications**

- Bon conducteur: le cuivre utilisé dans la fabrication de certaines casseroles.
- Mauvais conducteur (isolant): le bois (poignée d'ustensiles de cuisine), l'amiante (habits de pompier), le liège (dessous de plat), l'air (vitres doubles).

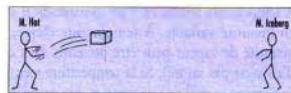




### 3 Le rayonnement thermique

Tous les corps émettent un rayonnement (ondes électromagnétiques). L'énergie rayonnée par la source dépend de sa température.

La chaleur du Soleil nous parvient par rayonnement à travers le vide.



#### EXPERIENCE Concentration de rayonnement

Réaliser le montage de l'expérience décrite ci-contre. Qu'observe-t-on lorsqu'on allume l'ampoule ?

#### Explication

Le miroir de droite concentre le rayonnement en un point. La température y est alors suffisante pour enflammer l'allumette.

#### Application

Les surfaces noires et rugueuses absorbent le rayonnement et s'échauffent davantage que des surfaces blanches et lisses. Les panneaux solaires sont peints en noir et les maisons dans les pays chauds sont souvent blanches.

Le verre est transparent à la lumière mais partiellement opaque au rayonnement infrarouge; aussi utilise-t-on ce phénomène pour augmenter la température des serres et favoriser la pousse des cultures: c'est l'effet de serre.



### 4 Eléments de météorologie

A température ambiante, l'air contient de la vapeur d'eau, en quantité variable. A température élevée, une grande quantité de vapeur peut être présente, sans condensation (l'air n'est pas saturé). Si la température vient à diminuer, l'air atteint le seuil de saturation et une partie de la vapeur se condense ou se solidifie en donnant de l'eau ou de la glace.



Un nuage se forme...

#### Causes de refroidissement

De nuit, par exemple, la terre n'est plus réchauffée par le rayonnement solaire et la température diminue. Par un ciel dégagé, la chute de température est très sensible car, sans nuages protecteurs isolants, la chaleur de la terre s'échappe rapidement dans l'espace par rayonnement. On le remarque surtout en montagne ou dans le désert: où les nuits claires sont particulièrement froides.

Des vents venus de lieux plus froids refroidissent l'air ambiant.

Le seul mouvement des masses d'air vers le haut peut provoquer leur refroidissement. L'air chaud, par sa plus faible masse volumique, a tendance à s'élever. Il se refroidit en altitude.

#### Changements d'état

La présence de grains de poussière favorise la condensation ou la solidification de la vapeur d'eau en gouttes ou en glace.

##### — Condensation

Un air saturé en vapeur d'eau contient de fines gouttelettes en suspension: le **brouillard**. Dans la journée, la chaleur du Soleil vaporise ces gouttelettes et dissipe le brouillard.

En altitude, les gouttelettes s'accumulent en **nuages** et finissent par tomber en **pluie**.

En été, l'air est chaud et peut contenir beaucoup de vapeur d'eau. Il se refroidit la nuit et le matin, nous observons la **rosée**.

##### — Solidification

Si la température descend en dessous de 0°C, une partie de la vapeur d'eau se solidifie en glace. Ainsi, certains matins froids, on voit la **gelée blanche**, le **givre** ou le **brouillard givrant**.

La **neige** provient de la congélation des gouttelettes d'eau en altitude.

Un brusque refroidissement des nuages en été produit aussi la solidification: c'est la **grêle** si redoutée des cultivateurs, car les glaçons, qui n'ont pas eu le temps de fondre lors de leur chute, peuvent atteindre la taille d'un œuf et détruire les récoltes.

##### — Sublimation

A une température inférieure à 0°C, la **neige**, soumise à un fort rayonnement solaire, se sublime en **vapeur d'eau**.

#### Conséquences de la forte chaleur massique de l'eau: les brises

L'eau a une chaleur massique beaucoup plus grande que la terre. L'eau des mers et des lacs a donc une température qui varie peu et joue un effet modérateur sur les variations de température de l'air environnant (climat tempéré).

Au bord de l'eau, lors de l'insolation de jour, l'augmentation de température de la terre est grande, l'air se réchauffe, se dilate et monte. L'air au-dessus de l'eau, resté frais, se déplace alors vers la terre; c'est la **brise marine de jour**.

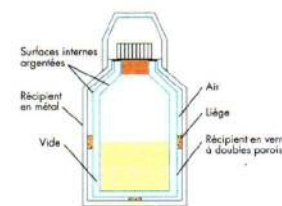


Au contraire, de nuit, la terre qui a cessé d'être réchauffée par le Soleil, voit sa température rapidement diminuer alors que l'eau se refroidit peu. L'air frais de la terre part vers l'étendue d'eau; c'est la **brise terrestre de nuit**.



### EXERCICES

1 En observant la coupe d'un thermos, expliquer comment on limite les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur.



2 Stéphanie agit un éventail face à son visage pour mieux supporter la chaleur. Pourquoi sent-elle de la fraîcheur en s'éventant ?

3 La glace fond-elle plus rapidement si on l'enveloppe dans une fourrure (la température de l'air est de 30°C) ?

4 Pour réchauffer un corps, on place la source de chaleur sous ce corps.

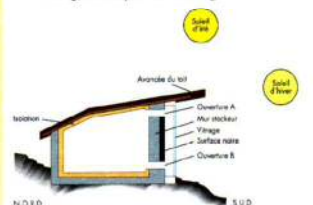
Si l'on veut refroidir un objet avec de la glace, à quel endroit la place-t-on pour avoir le meilleur effet possible ?

5 Pour isoler une maison contre les déperditions de chaleur, on utilise différents matériaux: 1 cm d'épaisseur de laine de verre isolant; 4 cm de bois. 10 cm de brique ou 40 cm de béton.

- a) Combien de fois un mur composé de 15 cm de brique et 1 cm de laine de verre sera-t-il plus isolant qu'un mur de 5 cm de bois ?
- b) Quelle épaisseur de laine de verre faudra-t-il ajouter à un mur de 20 cm de béton pour qu'il isole aussi bien qu'un mur de 20 cm de brique ?
- c) Quelle devrait être l'épaisseur d'un mur en béton isolant aussi bien qu'un mur en bois de 3 cm recouvert de 2 cm de laine de verre ?

6 Pour quelle raison les radiateurs sont-ils situés près du sol dans les appartements ?

7 Voici la coupe simplifiée d'une maison qui utilise l'énergie solaire pour son chauffage.



Expliquer l'utilité:

- a) de l'avancée du toit;
  - b) des ouvertures A et B;
  - c) du vitrage;
  - d) de la surface noire;
  - e) du mur stockeur;
  - f) de l'isolation.
- 8 Un pull-over tient chaud. Fournit-il de la chaleur ? (Expliquer)
- 9 Pour quelle raison dans les réfrigérateurs place-t-on le «freezer» en haut ?
- 10 Décrire les transferts de chaleur qui s'opèrent lorsqu'on se trouve devant un feu de bois.
- 11 Sur une table en bois et sur le métal de l'évier, disposer deux glaçons identiques. Quel est celui qui fond le plus vite et pour quelle raison ?
- 12 Pourquoi, lorsqu'on pose les pieds nus sur le carrelage de la salle de bain, a-t-on une sensation de froid ?
- 13 On verse la même quantité d'un même liquide dans deux récipients, l'un blanc et l'autre noir. Que peut-on dire des températures dans chaque récipient après un certain temps d'exposition au soleil ?
- 14 Comment les animaux se protègent-ils du froid ?



# Corrigé des exercices

## Transferts de chaleur

### Exercice 1

Ce type de récipient utilise deux principes d'isolation:

- Des surfaces argentées pour réfléchir le rayonnement thermique aussi bien de l'intérieur vers l'extérieur que de l'extérieur vers l'intérieur.
- Un espace vide pour éviter la conduction thermique.

## Transferts de chaleur

### Exercice 2

S'il fait chaud, il est probable que Stéphanie transpire. L'humidité qui se trouve sur la surface de sa peau s'évapore plus rapidement si l'air est agité. L'évaporation de la transpiration nécessite une énergie importante qui est prise dans la chaleur de l'environnement immédiat (ici la peau); ce phénomène entraîne un abaissement de la température de la peau et du sang qui y circule. Cet effet est accentué si on s'évente.

## Transferts de chaleur

### Exercice 3

La fourrure est un isolant, elle ralentit donc les échanges de chaleur. Pour fondre, la glace doit prendre de l'énergie dans son environnement. La fourrure va ralentir cet apport de chaleur et par conséquent la glace fondra plus lentement.

## Transferts de chaleur

### Exercice 4

La dilatation des corps a pour effet de diminuer leur masse volumique lorsqu'on les chauffe et de l'augmenter lorsqu'on les refroidit. Une conséquence de ce phénomène est que la chaleur «monte» tandis que le froid «descend».

Il faut donc placer la source froide au-dessus des objets qu'on veut refroidir. On peut constater dans une armoire frigorifique que les éléments qui absorbent la chaleur sont placés vers le haut de l'armoire.

## Transferts de chaleur

### Exercice 5

- 1 cm de laine de verre isole comme 4 cm de bois.  
15 cm de brique isole comme 6 cm de bois.  
Ce mur isole comme 10 cm de bois, donc 2 fois plus que 5 cm de bois.
- 20 cm de brique isole comme 2 cm de laine de verre.  
20 cm de béton isole comme 0,5 cm de laine de verre; il faut donc lui ajouter 1,5 cm de laine de verre pour qu'il isole comme 20 cm de brique.
- 3 cm de bois isole comme 0,75 cm de laine de verre.  
30 cm de béton isole comme 0,75 cm de laine de verre; il faut donc 110 cm de béton pour isoler comme 2 cm de laine de verre + 3 cm de bois.

## Transferts de chaleur

### Exercice 12

Le carrelage étant un assez bon conducteur de la chaleur, il échangera de l'énergie thermique avec les pieds beaucoup plus rapidement que le plastic ou le bois qui sont des isolants thermiques. Cela aura pour conséquence qu'à basse température un conducteur paraît plus froid qu'un isolant (il prend plus rapidement de la chaleur) et qu'à haute température un conducteur paraît plus chaud qu'un isolant (il cède plus rapidement de la chaleur).

## Transferts de chaleur

### Exercice 13

Un objet noir absorbe le rayonnement et le transforme en chaleur beaucoup plus qu'un objet blanc qui diffuse la grande majorité de la lumière qu'il reçoit (c'est cette lumière diffusée qui le rend clair à nos yeux).

Exposé au rayonnement du Soleil, le récipient noir sera plus rapidement chaud que le blanc.

## Transferts de chaleur

### Exercice 14

Nous parlons des animaux qui maintiennent une température élevée à l'intérieur de leur corps et qui vivent dans un environnement froid.

Il faut d'abord distinguer les petits animaux des grands. En effet, à partir d'une certaine taille, le rapport entre la surface d'échange avec l'extérieur et le volume de l'animal devient assez petit et les pertes de chaleur sont limitées. Une baleine a peu de surface de contact avec l'eau froide en regard de son volume.

Pour les animaux de taille réduite, des poils ou des plumes sont utilisés pour emprisonner de l'air (qui est un très bon isolant). L'épaisseur d'air emprisonné peut être réglée grâce aux muscles de la peau qui dressent plus ou moins les poils ou les plumes.

## Transferts de chaleur

### Exercice 6

Les radiateurs sont situés près du sol parce que la chaleur «monte» (voir l'exercice 4 dans la même série).

## Transferts de chaleur

### Exercice 7

L'avancée du toit permet d'éviter le rayonnement du Soleil sur le vitrage pendant l'été.

Les ouvertures A et B permettent aux courants de convection de s'établir. Ces courants répartissent la chaleur dans le volume de l'habitation.

Le vitrage permet l'effet de serre: le rayonnement lumineux qui le traverse est absorbé par la surface noire qui le transforme en chaleur; cette surface noire émet des rayons infrarouges qui, à cause de leur longueur d'onde plus grande, ne peuvent pas traverser la vitre.

Le mur stockeur se chauffe pendant la journée et restitue lentement cette chaleur quand le Soleil ne frappe plus le vitrage.

L'isolation permet de limiter les échanges thermiques qui refroidissent la maison en hiver et la chauffent en été.

## Transferts de chaleur

### Exercice 8

Les habits «chauds» ne fournissent pas de chaleur; ce sont des isolants qui évitent que la chaleur produite par le corps (grâce à la combustion lente des aliments) ne se dissipe trop rapidement dans l'air.

## Transferts de chaleur

### Exercice 9

Le freezer est situé en haut des armoires frigorifiques parce que le froid «descend» (voir l'exercice 4 dans la même série).

## Transferts de chaleur

### Exercice 10

Le feu de bois qu'on fait à l'air libre chauffe l'air et émet du rayonnement. Ceux qui sont autour du feu ne profitent que très peu de l'air chaud qui monte presque verticalement au-dessus du feu. Ils profitent par contre du rayonnement. C'est pour cette raison que, près d'un feu, on peut avoir chaud du côté tourné vers le feu et froid de l'autre.

Il n'est pas prudent de faire un feu à l'intérieur (ou de récupérer directement l'air chaud qui a participé à une combustion) car il dégage des produits toxiques comme le monoxyde de carbone (voir «Les combustions et les hydrocarbures» dans le chapitre CHIMIE).

## Transferts de chaleur

### Exercice 11

Le glaçon fond plus vite sur du métal car ce dernier est un meilleur conducteur de chaleur; il fournira plus rapidement au glaçon la chaleur qu'il lui faut pour fondre.

- 254 -

## Chapitre 34. Rendement d'une transformation d'énergie

### 1 La machine

Une machine est un dispositif qui transforme l'énergie. Du point de vue énergétique, une machine peut être représentée par le schéma ci-contre.

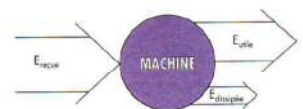
L'énergie reçue est toujours égale à la somme des énergies utiles et dissipées.

$$E_{\text{reçue}} = E_{\text{utile}} + E_{\text{dissipée}}$$

Cette dissipation d'énergie se manifeste essentiellement sous forme de chaleur.

Le rendement  $\eta$  d'une machine est le rapport de l'énergie utile sur l'énergie reçue. Ce rapport sans unité peut s'exprimer en %; sa valeur est toujours inférieure à 100%.

$$\eta = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie reçue}}$$

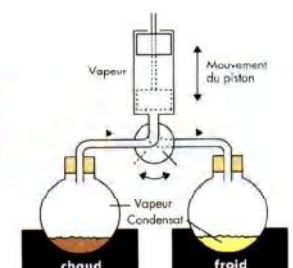


Rendement d'une transformation d'énergie.

### 2 La machine thermique

Une machine thermique permet de transformer de la chaleur en énergie mécanique. Plusieurs types de machines thermiques sont couramment utilisées: machines à vapeur, moteurs Diesel, turbines à vapeur, etc.

Pour permettre son fonctionnement, il est indispensable d'avoir une source chaude et une source froide, par exemple de la vapeur d'eau et de l'eau froide. La chaleur circule toujours du réservoir chaud vers le réservoir froid.



Fonctionnement d'une machine thermique simple.



La chaleur n'est transformée que partiellement en énergie mécanique; un rendement de 35% pouvant être considéré comme bon. Ce rendement sera d'autant plus élevé que la différence de température entre les deux sources est grande. Le rendement théorique maximum d'une machine thermique est:

$$\eta = \frac{T - T_0}{T}$$

où T et T<sub>0</sub> sont les températures des sources exprimées en kelvin [K].

**Exemples de rendements**

Machine, turbine à vapeur,	10 à 30%
Centrale thermique ou nucléaire	30%
Centrale hydroélectrique	85%
Moteur d'automobile, réacteur d'avion	20 à 30%
Moteur électrique	75 à 95%
Pile électrique	90%
Installation de chauffage	60 à 80%
Cellule solaire	15%
Lampe à incandescence	5%
Lampe à fluorescence	20%
Muscles	20 à 25%
Bicyclette	90%
Radiateur électrique	100%

**Remarque**

Le rendement peut également se calculer à partir de la puissance:

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{reque}}$$



Turbine à vapeur dans une centrale nucléaire.

**E**  
**EXERCICES**

- Une grue est équipée d'un moteur de 5 kW. Combien de temps lui faut-il pour soulever une charge de 1 tonne à une hauteur de 12 m si le rendement du moteur est de 80% ?
- La puissance fournie aux roues d'une voiture est de 40 kW. Sachant que le moteur a un rendement de 25%, calculer:
  - la puissance chimique consommée par le moteur;
  - le nombre de kg d'essence consommés par heure si 1 kilo d'essence fournit une énergie de 4,4 · 10<sup>7</sup> joules.
- L'énergie électrique utilisée par une lampe à incandescence provient d'une centrale thermique. De la chaleur produite à la centrale, à la lumière (rayonnement visible) produite par la lampe, indiquer les transformations d'énergie et le rendement global.
- Pour cuire une choucroute, en branchant la cuisinière sur la même puissance, il faut 60 minutes avec une marmite à vapeur et 150 minutes dans une casserole.
  - Quelle est l'économie de temps réalisée avec une marmite à vapeur ?
  - Quel pourcentage d'économie d'énergie est réalisée avec une marmite à vapeur ?
  - Pour quelle raison une marmite à vapeur cuit-elle plus vite les aliments ?
- Si l'homme pouvait s'alimenter avec du pétrole, quelle quantité en consommerait-il par jour ? (Besoin énergétique journalier de l'homme: 10000 kJ) (1 litre de pétrole fournit une énergie de 3,5 · 10<sup>7</sup> joules)
- Fabien mange une plaque de chocolat qui contient une énergie de 2,4 MJ. Quelle distance devrait-il parcourir à bicyclette s'il doit vaincre une force de frottement moyenne de 20 N pour dépenser la totalité de l'énergie contenue dans la plaque de chocolat ?
- Yvonne veut faire un régime et s'astreint à ne consommer que 8000 kJ par jour au lieu des 10000 kJ dont son organisme aurait besoin. Combien de jours lui faudra-t-il pour perdre 2 kg si on sait que 1 kg de graisse humaine libère une énergie de 38 MJ ?
- Lors d'une course d'école, Laure emporte dans son sac les aliments suivants:
 

Aliments	Energie glucides [kJ]	Energie protéines [kJ]	Energie lipides [kJ]
3 sandwiches	1200	525	2325
céris (100g)	830	15	1760
chocolat (100g)	890	125	1330
10 bonbons	600	—	—
gâteaux (100g)	800	100	800
craquelottes	155	245	940
1 banane	390	15	10
1 pomme	250	5	20
1 l de sirop	2500	—	—
Totaux			

 Comme elle va beaucoup marcher, elle a besoin d'un apport énergétique de 14000 kJ.
  - Aura-t-elle énergétiquement parlant assez à manger ?
  - Peut-on considérer que son alimentation est équilibrée si l'on sait que:
    - 60% de l'énergie devraient provenir des glucides.
    - 25% de l'énergie devraient provenir des lipides.
    - 15% de l'énergie devraient provenir des protéines.
- A Creil en France, on a creusé le sol sur 1650 m et on chauffe l'eau à 57°C. Cette installation permet de chauffer 4000 logements. Sachant que la géothermie permet de couvrir 90% des besoins en chauffage et qu'un appartement utilise une énergie de 80 GJ par an, quelle masse de mazout économise-t-on ainsi ? (1 kg de mazout donne 4,4 · 10<sup>7</sup> joules)

**E**  
**EXERCICES**

- D'après le tableau ci-dessous, déterminer vos besoins énergétiques lors d'une journée d'école, d'un dimanche où vous faites une excursion de 3 heures et d'une journée de maladie.

semer	300 kJ
rester assis	400 kJ
travail ménager	800 kJ
monter un escalier	3700 kJ
marcher	900 kJ
jouer	1700 kJ
faire du vélo	1300 kJ
jouer au tennis	1700 kJ
nager	1600 kJ
pista velo	2500 kJ
skier	2000 kJ
courir	2500 kJ

- A Melleray (France), on chauffe des serres à l'aide de la géothermie. L'économie réalisée est l'équivalent de 4000 tonnes de charbon par an. Comparer l'énergie utilisée à celle produite par la consommation de charbon et de bois à Genève, soit 1,5 · 10<sup>14</sup> J. (1 kg de charbon fournit une énergie de 32 MJ)
- Le contenu calorifique d'une tonne d'ordures est d'environ 2300 kWh. On arrive à en extraire 350 kWh.
  - Calculer le rendement de la combustion d'une tonne d'ordures.
  - Quelle quantité de pétrole l'Electricité de France économise-t-elle en brûlant les 2 millions de tonnes d'ordures que produit Paris chaque année ? (1 kg de pétrole brûlé fournit une énergie électrique de 3 kWh).

- Un tube de Witting long de 1m contient de la grenaille de plomb. Le retourner 40 fois de suite et mesurer la chaleur emmagasinée par 500g de grenaille de plomb. Déterminer le rendement de cette transformation d'énergie mécanique en chaleur.
- Faire chauffer une même quantité d'eau à l'aide d'une bougie et d'un réchaud à fondue. Déterminer le combustible qui a le meilleur rendement énergétique.
- On décide de préparer un bouillon à l'aide d'un chauffe-eau électrique. Effectuez les mesures qui permettent de déterminer le rendement de cette transformation d'énergie. Quelles conditions permettraient de réduire au mieux les pertes ?

**Corrigé des exercices**

**Rendement d'une transformation d'énergie**

**Exercice 1**

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{reque}} \Rightarrow P_{utile} = \eta \cdot P_{reque} = 0,8 \cdot 5\,000\text{ W} = 4\,000\text{ W}$$

$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow t = \frac{E}{P} = \frac{m \cdot g \cdot h}{P_{utile}} = \frac{1\,000\text{ kg} \cdot 10\frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 12\text{ m}}{4\,000\text{ W}} = 30\text{ s}$$

Il faut 30 secondes à cette grue pour soulever la charge.

**Rendement d'une transformation d'énergie**

**Exercice 2**

$$a) \eta = \frac{P_{utile}}{P_{reque}} \Rightarrow P_{reque} = \frac{P_{utile}}{\eta} = \frac{40\text{ kW}}{0,25} = 160\text{ kW}$$

La puissance consommée vaut environ 160 kW

$$b) P = \frac{E}{t} = \frac{m \cdot H}{t} \Rightarrow m = \frac{P \cdot t}{H} = \frac{160 \cdot 10^3\text{ W} \cdot 3\,600\text{ s}}{44 \cdot 10^6\frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 13,1\text{ kg}$$

La consommation d'essence dépasse les 13 kg par heure (environ 18 litres par heure!).

**Rendement d'une transformation d'énergie**

**Exercice 3**

Considérons 1 000 joules d'énergie chimique contenue dans le pétrole qui sera brûlé dans la centrale.

La centrale est capable de transformer environ 30% de cette énergie chimique en énergie électrique; si on considère que les pertes dans les câbles électriques sont faibles, c'est donc environ 300 joules d'énergie électrique qui parviennent à l'ampoule.

Une lampe à incandescence a un rendement d'environ 5%; l'énergie lumineuse émise par l'ampoule vaudra au mieux environ 15 joules.

Le rendement global se calcule en comparant l'énergie souhaitée (15 joules de rayonnement lumineux) avec l'énergie de départ (1 000 joules d'énergie chimique). On trouve un rendement de 1,5%.



**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 4**

- a) On gagne environ une heure et demie avec une marmite à vapeur (150 - 60 = 90 minutes).
- b) Si la puissance de la cuisinière est la même, l'énergie est proportionnelle au temps. On économise, dans ces conditions, environ 60% de l'énergie (90 + 150 = 0,6).  
En réalité, l'économie est plus importante car la puissance nécessaire pour une marmite à vapeur est plus faible que pour une casserole.
- c) La cuisson dans une marmite à vapeur est plus rapide car la température peut monter au-dessus de 100 °C grâce à l'augmentation de pression (voir «La vaporisation, la liquéfaction» dans le chapitre EFFETS DE LA CHALEUR). Selon les cas, une augmentation de 10 °C de température peut diviser par deux le temps de cuisson.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 5**

Si un litre de pétrole peut fournir  $3,5 \cdot 10^7$  joules et que les besoins journaliers d'un homme sont d'environ  $10^7$  joules, un tiers de litre de pétrole suffirait au besoins quotidiens d'un humain.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 6**

$$W = F \cdot d \Rightarrow d = \frac{W}{F} = \frac{2,4 \cdot 10^6 \text{ J}}{20 \text{ N}} = 120 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Il devrait, si le rendement musculaire était de 100%, parcourir 120 km pour transformer l'énergie contenue dans une plaque de chocolat.  
Le rendement musculaire étant en réalité de 25%, il lui faudra parcourir environ 30 km pour transformer cette énergie chimique.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 7**

Avec un tel régime, Yvonne a un déficit de 2 mégajoules par jour qu'elle doit puiser dans ses réserves. Il lui faudra donc 38 jours pour «brûler» les deux kilos de graisse qu'elle veut perdre ( $76 \text{ MJ} \div 2 \text{ MJ/jour} = 38 \text{ jours}$ ).

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 8**

- a) On trouve, en faisant les totaux, 7 615 kJ de glucides, 1 030 kJ de protéines et 7 225 kJ de lipides. Cela représente une énergie globale de 15 870 kJ; l'apport énergétique est suffisant.
- b) Les proportions sont les suivantes:  
48% de glucides (insuffisant)  
6,5% de protéines (très insuffisant, surtout pour un organisme en croissance)  
45,5% de lipides (proportion trop importante).

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 9**

Economie par an pour 4 000 logements:  $80 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot 0,9 \cdot 4\,000 = 288 \cdot 10^{12} \text{ J}$

$$E = m \cdot H \Rightarrow m = \frac{E}{H} = \frac{288 \cdot 10^{12} \text{ J}}{44 \cdot 10^6 \text{ J/kg}} = 6,55 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

Cette économie correspond à 6 550 tonnes de mazout.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 10**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 11**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 12**

- a) Le rendement de cette combustion vaut environ 15% ( $350 \div 2\,300 = 0,152$ ).
- b) Énergie produite par la combustion de 2000 tonnes d'ordures:  
 $2 \cdot 10^6 \cdot 350 \text{ kWh} = 700 \cdot 10^6 \text{ kWh}$   
Masse de pétrole économisée par année en brûlant les ordures de Paris:  
 $700 \cdot 10^6 \text{ kWh} \div 3 \text{ kWh/kg} = 233 \cdot 10^6 \text{ kg}$   
Cela représente environ 15 000 camions-citernes de pétrole.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 13**

La formule chimique détaillée n'est connue que pour les aliments simples (glucose, acides aminés, acides gras...). Elle permet de prévoir l'énergie que l'aliment pourra libérer en fonction du nombre d'atomes d'oxygène qui sera nécessaire pour l'oxyder; plus ce nombre est grand, plus l'énergie libérée par la combustion respiratoire de l'aliment sera importante.

Les lipides libèrent, à masse égale, environ deux fois plus d'énergie que les glucides ou les protéines.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 14**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 15**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

**Rendement d'une transformation d'énergie****Exercice 16**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

## Chapitre 35. La gestion de l'énergie par l'homme

*L'Homme pour vivre, pour se déplacer, pour assurer son confort, utilise de l'énergie. L'explosion des biens de consommation et des services implique une augmentation croissante de nos besoins énergétiques. L'avenir de l'Homme, ses choix éthiques, son bien-être, doivent le conduire à apprendre à gérer le «capital énergie» dont la Terre, notre planète, dispose. L'utilisation massive des ressources énergétiques a engendré des problèmes que l'Homme se doit de résoudre.*

### 1 L'Homme et son environnement

L'environnement est un système dont les parties dépendent les unes des autres. Il suffit qu'un élément se modifie pour que le système se dérègle. Parfois l'environnement est auto-régulateur car il dispose de mécanismes d'équilibre, parfois il n'y parvient pas. L'Homme vit dans cet environnement, il est partout. Il a dominé les éléments qui pouvaient le contraindre grâce à ses inventions et ses techniques. La présence de plus de cinq milliards d'Hommes sur le vaisseau spatial «Terre» occasionne des changements trop grands et trop rapides pour que la Nature puisse s'adapter. L'Homme met en danger les bases même de son existence en ne tenant pas compte des capacités d'autorégénération de la Nature.

L'utilisation de l'énergie laisse des traces, de la pollution. La combustion de pétrole, de charbon et de gaz représente les 85% de l'énergie utilisée par l'Homme. Cette combustion libère principalement dans l'atmosphère du gaz carbonique, des cendres, des fumées et des scories qui menacent notre climat (déforestation, effet de serre, pluies acides, etc...). D'autre part, l'utilisation de l'énergie nucléaire produit des déchets radioactifs, les barrages modifient la géographie et les équilibres hydriques, l'utilisation de cette énergie nécessite en outre toutes sortes d'installations et d'appareils qu'il faut éliminer une fois usés.



La société Consuar fait passer un gaspardo dans le Léman. Cela nécessite l'utilisation de turbines marines et une technologie moderne.

### 2 La dépendance énergétique

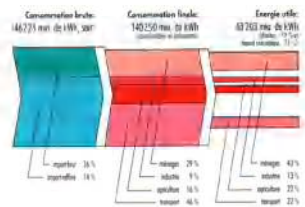
La Suisse importe près de 90% de son énergie de l'étranger. La production indigène provenant de nos barrages hydrauliques constitue une des rares ressources énergétiques de notre pays. Cette dépendance pourrait devenir problématique en cas de conflit international. Les produits pétroliers déjà raffinés (mazout, essence, kérosène, ...) sont acheminés par le Rhin (50%), par le rail (25%), par la route (13%) et par oléoducs (12%). Sa dépendance énergétique étant presque totale, la Suisse cherche des solutions pour réduire cet état de fait.

À l'heure actuelle, le prix de l'énergie, que ce soit du pétrole, du gaz ou de l'électricité, est relativement bas. En cas d'explosion des prix du pétrole, toute l'économie se trouverait dans une situation précaire. La première crise du pétrole de 1973 a montré la fragilité du système économique.

La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, notre dépendance s'accroît, alors que les réserves mondiales diminuent.



Guerre du Golfe: puits de pétrole en feu au Koweït.



Flux des produits pétroliers en Suisse en 1989.

### 3 Recherche de solutions

Dans les pays industrialisés, nous consommons beaucoup plus d'énergie par habitant que dans le tiers-monde. Pour que les pays pauvres puissent se développer, il faut qu'ils disposent de plus d'énergie. Aussi est-il indispensable que nous évitions de la gaspiller chez nous.

Ces problèmes nous concernent tous. L'Homme a besoin d'un environnement sain. Il doit se soucier des générations futures.



Pour résoudre ces problèmes, il n'y a pas de solution miracle. Celles qui sont actuellement envisagées peuvent être regroupées sous deux thèmes:

- l'économie et la gestion rationnelle de l'énergie;
- les énergies de substitution.

**Economies et gestion rationnelle de l'énergie**

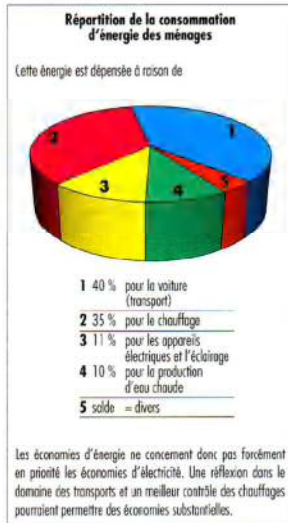
- Au niveau du chauffage des habitations, soit environ le tiers de l'énergie utilisée en Suisse, d'importantes économies sont possibles en appliquant les mesures suivantes:

- isolation correcte du toit (par exemple avec de la laine de verre...), des murs et des fenêtres (vitrages isolants...);
- installation de vannes thermostatiques permettant un réglage indépendant de la température dans les différentes pièces (par exemple 20°C pour un bureau, 16 à 18°C pour une chambre...);
- entretien et réglage soigneux des installations de chauffage;
- couplage de capteurs solaires d'appoint sur l'installation de chauffage.

Ces mesures permettent d'économiser jusqu'à 25% de l'énergie destinée au chauffage sans nuire à notre confort.

- Au niveau de l'eau chaude ménagère, quelques mesures simples peuvent permettre d'économiser l'énergie:

- ne pas laisser couler l'eau chaude sans l'utiliser;
- éviter de rincer la vaisselle à l'eau chaude courante;
- bien fermer les robinets et s'assurer de leur étanchéité;
- isoler les conduites d'eau chaude;
- équiper les boilers d'une vanne mélangeuse qui permet d'ajouter de l'eau froide à de l'eau très chaude;
- prendre une douche de préférence à un bain;
- régler la température de l'eau à 50°C (pour limiter les pertes);
- installer des capteurs solaires qui permettent d'arrêter en été les appareils de chauffage habituels.



- Au niveau des appareils électroménagers, une diminution de la consommation d'énergie est facilement réalisable:

- ne pas acheter un réfrigérateur trop grand, l'ouvrir le moins souvent possible, le dégeler régulièrement, régler sa température entre 2 et 8°C, ne pas le placer près d'une source de chaleur;
- utiliser les machines à laver à leur capacité maximale, éviter de prélever et choisir correctement la température convenant à chaque tissu;
- ne pas laisser enclenché le téléviseur, le radio si personne ne regarde ni n'écoute;
- lors de l'acquisition d'un nouvel appareil, se soucier de sa puissance;
- placer un couvercle sur les marmites et utiliser le plus souvent possible une marmite à pression;
- arrêter le chauffage avant la fin de la cuisson en utilisant la chaleur résiduelle;
- ne préchauffer le four que si c'est vraiment nécessaire, grouper les cuissons au four;
- acheter un four avec une vitre pour éviter de l'ouvrir et n'utiliser les systèmes autonettoyants qu'avec parcimonie;
- s'équiper de préférence de tubes fluorescents;
- éviter les abat-jour, les plafonds et les parois foncés;
- utiliser de préférence un éclairage direct à un éclairage indirect;
- on diminuera l'éclairage des couloirs, des caves;
- on prendra soin d'éteindre la lumière lorsqu'on quitte une pièce;
- l'utilisation de bougies n'apporte pas la moindre économie car il faut beaucoup d'énergie pour les fabriquer;
- éviter l'utilisation de piles à la place du courant électrique du secteur car elles nécessitent beaucoup plus d'énergie.

- Pour les transports, plusieurs efforts permettraient d'économiser le carburant:

- lors de l'achat du véhicule, choisir une voiture légère pour diminuer l'énergie qu'il faut lui fournir à chaque accélération ou lors de changements d'altitude;
- choisir une voiture ayant un bon coefficient aérodynamique pour diminuer les frottements;

La consommation d'électricité se répartit de la manière suivante:



Il faut donc veiller en particulier à améliorer les appareils qui produisent du chaud et du froid. (Source: INFEEL)

- essayer d'avoir une vitesse aussi régulière et réduite que possible. L'énergie varie en effet avec le carré de la vitesse;
- éviter de laisser sur le toit des porte-bagages inutilisés;
- rouler avec des pneus suffisamment gonflés;
- utiliser les transports en commun ou la bicyclette chaque fois que c'est possible;
- certaines voitures électriques peuvent être alimentées à partir de cellules solaires.

- Quant aux déchets, il vaut mieux les trier et les concentrer plutôt que de les diluer et les disperser. Pour ceux d'origine ménagère, on peut utiliser les endroits prévus pour récupérer les piles, le papier, les huiles usées, le verre. Les déchets d'origine végétale peuvent être récupérés pour en faire de l'engrais ou du biogaz. Pour les objets encombrants dont on veut se débarrasser, éviter les décharges publiques et les donner à des ferrailleurs ou à des organismes de charité.

L'ensemble de la gestion et des économies d'énergie proposé ci-dessus est à la portée de chacun. La responsabilisation de l'Homme face aux problèmes que pose l'énergie est devenue essentielle pour qu'il puisse assurer sa survie sur la planète.



Décharge

Il en va de même pour l'utilisation des vents, l'énergie éolienne. Les personnes vivant à la campagne peuvent exploiter le gaz issu du fumier et du compost. Ces solutions de substitution permettent aux individus de réduire leur dépendance énergétique.

En ce qui concerne la production d'énergie à une plus grande échelle, un certain nombre d'expériences ont déjà été réalisées. En effet, il existe des centrales solaires, éoliennes, marémotrices et géothermiques qui ont prouvé que l'Homme pouvait maîtriser des énergies renouvelables. Cependant, ces réalisations sont souvent restées à l'état de prototypes, le coût de l'énergie ne pouvant malheureusement concurrencer celui du marché.

Enfin, des recherches sont en cours quant à l'exploitation de l'hydrogène à un niveau industriel et donnent des pistes pour la domestication de l'énergie de demain.

La combustion de l'hydrogène est très énergétique et produit de l'eau au lieu de gaz carbonique.

D'autre part, la fusion de l'hydrogène en hélium permettrait à l'Homme d'utiliser le principe de fonctionnement du Soleil. Beaucoup d'espoirs sont fondés sur ces recherches qui n'ont pas encore abouti.

Enfin, l'Homme espère trouver de nouvelles sources d'énergie encore inconnues, notre Univers ayant certainement encore bien des mystères à nous dévoiler!



Panneau photovoltaïque.



Eolienne

**Les énergies de substitution**

Les principaux défauts des ressources énergétiques que l'Homme utilise aujourd'hui sont les nuisances qu'elles produisent et le fait d'être d'origine fossiles, donc non-renouvelables. Il faut que l'Homme moderne substitue progressivement à ces ressources d'autres, non-polluantes et renouvelables. Sans pour autant régler le problème, un certain nombre d'entre elles sont déjà en application.

L'utilisation de l'énergie solaire apparaît comme un appoint réaliste et efficace, tout particulièrement dans les domaines de la production de chaleur et de l'électricité. Pour les riverains des mers, l'utilisation de la force houlomotrice, c'est-à-dire des vagues, est également réalisable. Pour le chauffage des maisons, il est possible d'utiliser la géothermie, c'est-à-dire l'exploitation de la chaleur de la terre.



Capteur solaire thermique.



- 1 Chaque Suisse consomme 33000 kilowattheures d'énergie par an. Cette énergie équivaut à brûler 2,8 tonnes de pétrole qui dégagent 9 tonnes de gaz carbonique, 40 kilos d'anhydride sulfurique et 20 kilos d'oxydes d'azote.
- Quelles peuvent être les nuisances dues à ces produits de combustion ?
  - Comment expliquer le fait qu'il y ait plus de gaz carbonique que de mazout ?
  - Que deviennent l'anhydride sulfurique et les oxydes d'azote au contact de la vapeur d'eau présente dans l'air ?
- 2 La surabondance de gaz carbonique dans l'air provoque une augmentation de l'effet de serre, donc de la température globale.
- Quelles peuvent être les conséquences de cet accroissement de température ?
- 3 Quels sont les systèmes naturels qui permettent d'absorber ou de recycler le gaz carbonique ?
- 4 Une augmentation de la température moyenne de 1,3 à 3°C pourrait provoquer une élévation du niveau de la mer de 50 à 150 cm.
- Comment expliquer que la mer puisse s'élever ?
  - Quelles en seraient les conséquences ?
- 5 Quels efforts personnels envisagez-vous de faire pour économiser l'énergie ?
- 6 Une lampe à fluorescence de 18 watts dispense une énergie lumineuse identique à une lampe à incandescence de 75 watts.
- Calculer la quantité d'énergie économisée en une année si l'on utilise cette source lumineuse 3 heures par jour.
- 7 Pour cuire 1 kg de pommes de terre, il faut 10 minutes avec une marmite à vapeur et 30 minutes avec une marmite traditionnelle.
- Calculer l'énergie économisée si la plaque a une puissance de 400 watts et si l'on arrête la plaque 3 minutes avant la fin de la cuisson (la marmite restant fermée jusqu'à détente de la valve).
- 8 Lorsqu'on achète un produit fabriqué, de l'énergie a été consommée à de multiples stades.
- Énumérer les énergies utilisées pour obtenir une boîte de conserve ainsi que les économies d'énergie que l'on pourrait envisager à chaque étape.
- 9 Noter vos arguments pour améliorer le rendement d'une installation de chauffage.
- 10 Pourquoi conseille-t-on d'acheter un congélateur «bahut» plutôt qu'un congélateur «armoires» ?
- 11 Mesurer le refroidissement de la même masse d'eau chaude dans deux éprouvettes identiques, l'une peinte en noir, l'autre entourée d'un papier d'aluminium.
- Quelles constatations peut-on faire ?
- Dans quels domaines est-il possible d'utiliser ces constatations ?
- 12 Imaginer une expérience qui permette de comparer la conductibilité thermique de divers matériaux.
- 13 Bien que les données varient considérablement d'une maison à une autre, on a calculé qu'environ deux tiers de la chaleur nécessaire doivent être produits par le chauffage et un tiers provient de «chaleur gratuite».
- Citer quelques sources de «chaleur gratuite» et indiquer celles qui ne le sont pas en réalité.
- 14 Imaginer les plans d'une maison économe en énergie.

## Corrigé des exercices

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 1

- Les nuisances sont principalement les suivantes:
  - Gêne respiratoire dans les villes par temps calme (pollution atmosphérique).
  - Contribution à l'effet de serre (réchauffement de l'atmosphère).
  - Dépérissement des forêts (pluies acides, voir la suite de l'exercice).
- Dans le pétrole, chaque atome de carbone est «chargé» de deux atomes d'hydrogène. Ces deux atomes réagissent lors de la combustion avec un atome d'oxygène pour donner de l'eau (H<sub>2</sub>O) tandis que l'atome de carbone se lie avec deux atomes d'oxygène (16 fois plus massifs que l'hydrogène) pour donner du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Cette augmentation de masse est donc due à l'oxygène.
- Ils produisent des acides (voir «Solutions acides et hydroxydes» dans le chapitre CHIMIE).

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 2

Les conséquences d'un réchauffement de la planète sont des prévisions difficiles qui font l'objet de nombreuses controverses parmi les scientifiques. Ils sont cependant d'accord sur un point: une modification des équilibres thermiques peut modifier notablement le climat de nombreuses régions; certaines vont se réchauffer, d'autres pourraient se refroidir. Les changements les plus graves pourraient être localement liés aux augmentations ou diminutions des pluies (sécheresses, inondations).

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 3

Le système actif le plus efficace est la photosynthèse.

Le gaz carbonique se dissout dans l'eau. Les océans sont un grand réservoir de gaz carbonique.

Le gaz carbonique entre dans la composition des carbonates qui forment les roches calcaires. Tous les animaux à coquille calcaire fixent aussi du gaz carbonique sous forme solide. La quantité de gaz carbonique ainsi piégé dans les roches est gigantesque comparée à celle dissoute dans l'atmosphère.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 4

- Il faut être très prudent avec ces estimations. La communauté scientifique est loin d'être unanime sur ce sujet. Le phénomène invoqué pour expliquer une élévation du niveau des océans est la fonte des glaces du pôle Sud (les seules qui ne flottent pas déjà sur les océans). Cette prévision est contrée par le raisonnement suivant: si la température s'élève, l'évaporation des océans et par conséquent les précipitations devraient augmenter. La quantité d'eau piégée sous forme de neige et de glace aux pôles pourrait ainsi augmenter au lieu de diminuer...
- Si on admet qu'il est possible que le niveau des océans s'élève, des pays comme la Hollande pourraient être rayés de la carte!

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 5

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 6

La puissance économisée vaut 57 watts (75 - 18 = 57).

Énergie économisée à raison de trois heures par jour pendant un an:

$$E = P \cdot t = 57 \text{ W} \cdot 365 \cdot 3 \cdot 3600 \text{ s} = 225 \cdot 10^6 \text{ J} = 62,5 \text{ kWh.}$$

Cette économie représente environ 0,2% de la consommation annuelle d'énergie par personne en Suisse.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 7

On économise 23 minutes de cuisson avec une puissance de 400 watts:

$$E = P \cdot t = 400 \text{ W} \cdot 23 \cdot 60 \text{ s} = 552 \cdot 10^3 \text{ J}$$

L'économie réalisée vaut environ 0,5 million de joules (1/2 de kWh, c'est-à-dire entre 2 et 3 centimes).

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 8

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 9

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 10

L'air froid ayant une masse volumique plus importante que l'air chaud, il a tendance à descendre (voir «La dilatation des solides: masse et volume» dans le chapitre EFFETS DE LA CHALEUR).

À l'ouverture d'un congélateur «armoire», l'air froid qu'il contient va s'écouler sur le plancher et être remplacé par de l'air chaud, plus humide, qu'il faudra refroidir et dont l'humidité se déposera sous forme de givre.

À l'ouverture d'un congélateur «bahut», l'air froid ne s'écoule pas à l'extérieur. Ce type de congélateur consomme moins d'énergie et givre moins que l'autre, surtout s'il doit être ouvert fréquemment.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 11

Un objet noir absorbe le rayonnement et le transforme en chaleur beaucoup plus qu'un objet blanc qui diffuse la grande majorité de la lumière qu'il reçoit (c'est cette lumière diffusée qui le rend clair à nos yeux). La réciproque est vraie: un objet noir chaud dissipe plus de chaleur par rayonnement qu'un objet blanc.

L'éprouvette noire se refroidira plus rapidement que l'éprouvette blanche.

Un radiateur de chaleur devrait donc toujours être noir pour être efficace. C'est le cas des radiateurs de voiture, de ceux qui évacuent la chaleur derrière les armoires frigorifiques et des fourneaux à bois. Les radiateurs des habitations, pour des raisons esthétiques, sont rarement noirs et sont, de ce fait, moins efficaces.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 12

Coller (avec de la cire et à intervalles réguliers) des petites bougies le long de tiges de différentes matières.

Chauffer à la flamme et simultanément une extrémité de ces tiges.

La cire va fondre et les bougies vont tomber d'autant plus rapidement que la matière dont est constituée chaque tige est un bon conducteur de chaleur.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 13

Les ampoules à incandescence, la cuisinière électrique, la machine à laver, la télévision et tous les appareils électriques produisent de la chaleur mais elle n'est pas gratuite.

L'effet de serre à travers les vitres produit une chaleur gratuite.

Un humain dissipe de la chaleur avec une puissance de 100 watts environ. Une table de 12 personnes chauffe la pièce comme un radiateur électrique de 1200 watts. On peut considérer que cette chaleur est gratuite, même si elle provient des aliments qu'on a dû acheter.

### La gestion de l'énergie par l'Homme

#### Exercice 14

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.