

Thème 1 : Science climat et société

1.4 Energie, choix de développement

Utiliser les différentes unités d'énergie et les convertir en Joules. Comparer quelques ordres de grandeurs d'énergie et de puissance (voir les activités du livre page 70 et 71 + les exercices pages 80 jusqu'à 83)

Contenu maths : les grandeurs produits / les grandeurs quotients / les ordres de grandeur / conversion / proportionnalité

L'unité de mesure de l'énergie légalement en vigueur en France ainsi que dans la quasi-totalité des pays du monde est le joule (J). Celui-ci s'inscrit dans un système global appelé Système international d'unités (SI). Le joule est défini comme le travail d'une force d'un Newton dont le point d'application se déplace d'un mètre dans la direction de la force. Il représente une quantité d'énergie perçue comme petite dans l'activité courante d'un être humain, ce qui handicape son usage dans certaines circonstances. Aussi est-il parfois utilisé au travers de ses multiples en milliers : le kilojoule (1 kJ soit 10^3 J), le mégajoule (1 MJ = 10^6 J), le gigajoule (1 GJ = 10^9 J), le térajoule (1 TeJ = 10^{12} J).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}^2} \cdot 1 \text{ m} = \frac{1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2}{1 \text{ s}^2}$$

$$4,1867999409 \text{ J} = 1 \text{ cal}$$

Le joule se définit en référence à d'autres unités de masse, de longueur et de temps du Système international, il est une unité dite dérivée ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$). Dans la pratique, contrairement à la plupart des autres unités du Système international, l'énergie est fréquemment mesurée en utilisant d'autres unités que le joule. Celles-ci ont généralement un usage adapté à un domaine d'activité et/ou bénéficient d'un long historique d'utilisation : l'électron-volt (eV), la calorie (cal), le kilowattheure (kWh), la tonne d'équivalent pétrole (tep), etc...

L'électron-volt (eV) : énergie cinétique gagnée par un électron accéléré par une différence de potentiel d'un volt, utilisée principalement dans le monde scientifique des physiciens car elle correspond à l'ordre de grandeur de l'énergie d'un électron au sein d'un atome. $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$. C'est l'unité des bilans microscopiques d'énergie pour les réactions chimiques ou nucléaires. Dans le domaine des hautes énergies on emploie les unités dérivées avec les préfixes méga, giga ou téra, soit le MeV (10^6 eV), le GeV (10^9 eV) ou le TeV (10^{12} eV).

La calorie (cal) : unité historique de mesure de l'énergie définie initialement par Nicolas Clément en 1824 comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Celsius la température d'un kg d'eau. Cette définition imprécise a été par la suite spécifiée et déflatée d'un coefficient 1 000 en indiquant qu'il s'agissait de la quantité de chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau dégazée de 14,5°C à 15,5°C sous un bar de pression atmosphérique. $1 \text{ cal} = 4,1855 \text{ J}$. La notion de Grande calorie (Cal ou kcal) est utilisée principalement en diététique : $1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4\,185,5 \text{ J}$.

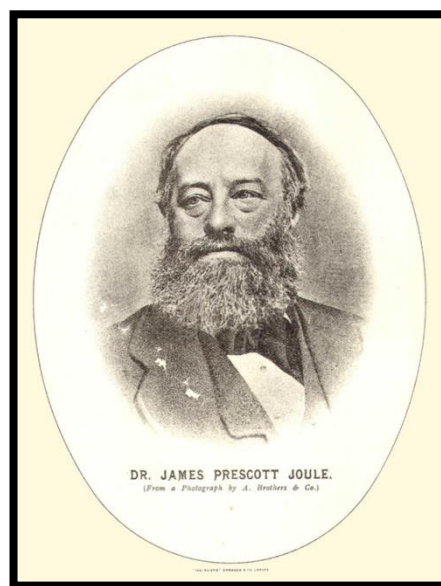
Le kilowatt-heure (kWh) : énergie consommée par un appareil de 1 000 watts pendant une durée d'une heure. Cette unité est particulièrement utilisée dans les industries électriques. Il est fait usage également du watt-heure (Wh) et des multiples par milliers du kWh que sont le mégawattheure (MWh) le gigawattheure (GWh). $1 \text{ kWh} = 3,6.10^6 \text{ J}$.

Attention ! Le kWh est défini en référence à une unité de puissance, le watt qui fait partie du Système international d'unités (SI). Il arrive fréquemment qu'il y ait confusion dans le langage courant entre énergie et puissance. Or, la puissance d'une machine est l'énergie qu'elle fournit pendant une unité de temps (on parle de débit d'énergie) : un watt est la puissance d'une machine qui fournit un joule toutes les secondes. A l'inverse un Wh est l'énergie fournie en une heure par une machine de un watt.

La tonne d'équivalent pétrole (tep) : elle correspond à l'énergie produite par combustion d'une tonne de pétrole brut. Cette unité est particulièrement utilisée par les économistes de l'énergie qui font fréquemment référence à certains de ses multiples par milliers : ktep (10^3 tep), Mtep (10^6 tep). $1 \text{ tep} = 4,18 \times 10^{10} \text{ J}$. Un baril de pétrole (159 litres) fournit environ 0,14 tep. La relation entre la quantité de combustible et l'énergie produite dépend de la qualité du carburant. La combustion d'une tonne de bois de chauffage fournit une quantité d'énergie comprise entre 0,3 et 0,5 tep.

Le joule, unité d'énergie, tire son nom d'un physicien anglais James Prescott Joule (1818-1889). Outre la direction d'une fabrique de bières, il se consacra à l'étude des sciences notamment dans les domaines électriques, magnétiques et thermiques. Il formula entre autres la loi régissant les dégagements de chaleur provoqués par le passage d'un courant électrique dans un conducteur.

La mesure des énergies concerne des phénomènes d'ordre de grandeur exceptionnellement différents. D'un électron-volt à une tonne d'équivalent pétrole, il y a ainsi 29 ordres de grandeur de différence. Autrement dit, il faut multiplier l'énergie d'un électron-volt par un nombre ayant 30 chiffres avant la virgule pour obtenir un ordre de grandeur équivalent à celui d'une tonne d'équivalent pétrole.



Cette disparité explique l'usage d'unités différentes. Malheureusement, elle crée fréquemment des confusions sur les ordres de grandeur, ce qui est nuisible à la compréhension des phénomènes...

- Énergie délivrée par un flash d'appareil photo : en dizaines de joules (10^1 J),
- Énergie cinétique d'une voiture d'1,5 tonne roulant à 125 km/h : en millions de joules (10^6 J),
- Énergie d'un kilomètre cube d'air se déplaçant à 250 km/h lors d'un ouragan : en milliers de milliards de joules (10^{12} J),
- Énergie totale du soleil qui atteint la terre en une seconde : en centaines de millions de milliards de joules (10^{17} J),
- Énergie consommée dans le monde au cours d'une année complète : en centaines de milliards de milliards de joules (10^{20} J).

Exercice 1

Appareil électrique	Radiateur	Télévision	Ordinateur	Four
Puissance	2,5 kW	400 W	300 W	2 kW
Durée d'utilisation (en h) par jour				

Minutes	5	10	20	30	40	50
Heures	0,08	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83

Vous disposez d'une allocation énergétique de 6 kWh par jour. Compléter la dernière ligne du tableau en estimant votre durée d'utilisation par jour en été, puis en hiver. Est-ce que l'allocation énergétique fournie est suffisante pour votre consommation ? Expliquer au préalable les données du deuxième tableau.

Exercice 2

Le propriétaire d'une maison part de chez lui le matin à 8h et relève la valeur proposée ci-contre. Quelle valeur sera affichée sur le compteur électrique le soir à 17h ?



	Réfrigérateur	Télévision en veille	Box Internet	Congélateur
Puissance nominale des appareils (en watt)	200	2	24	600

Exercice 3

Voici quelques définitions d'unités d'énergie ou de puissance. Séparer ces différentes unités dans un tableau à deux entrées (unités d'énergie et unités de puissance). Convertir toutes ces unités en joules ou en watts, en fonction de la grandeur qu'elles indiquent (énergie ou puissance).

- la **calorie** : ancienne unité de mesure de quantité de chaleur équivalant à 4,185 joules. Une calorie permet d'élever la température de 1 g d'eau d'environ 1 °C au voisinage de 15 °C et à la pression atmosphérique normale. C'est l'ancienne unité de mesure de la valeur énergétique des aliments.
- Le **cheval-vapeur** : ancienne unité qui exprime une équivalence entre la puissance fournie par un cheval tirant une charge et celle fournie par une machine à vapeur. 1 cheval vapeur correspond environ à 736 watts.
- Le **voltampère VA** : sur certains appareils électriques on peut lire cette unité.
- Le **kilowattheure** : permet d'indiquer la consommation d'électricité sur les factures EDF.
- le **joule** : c'est l'unité de l'énergie dans le système international.
- le **watt** : c'est l'unité de la puissance dans le système international.
- La **tonne d'équivalent pétrole (TEP)** représente la quantité d'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole brut, soit 41,868 gigajoules. Cette unité est utilisée pour comparer entre elles les diverses sources d'énergie (charbon, gaz, pétrole...).
- Le **poncelet** : ancienne unité de 1919 correspondant à la puissance nécessaire pour déplacer 100 kg sur une distance de 1 mètre pendant 1 seconde. 1 poncelet (p) correspond à 980,665 watts.
- L'**électronvolt** est l'énergie acquise par un électron accéléré par une tension électrique d'un volt. Un électronvolt correspond à une énergie en joules de $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$. Cette valeur est obtenue expérimentalement. Cette unité est très utilisée en physique des particules.

Exercice 4

1. Un élève passe un aspirateur de puissance 1300 W dans sa chambre, pendant 8 minutes. Calculer, en joules, l'énergie transférée à cet appareil pendant la durée du nettoyage. Exprimer ensuite ce résultat en kWh.
2. Ce même élève révise son chapitre de sciences physiques pour le prochain contrôle pendant 1 heure et 30 minutes. Pour cela, il s'éclaire avec une lampe de bureau de 60 W. Calculer, en kWh, l'énergie transférée à cette lampe pendant cette révision. Exprimer ensuite ce résultat en joules.
3. Calculer le prix de cette séance de nettoyage et de révisions sachant que le prix d'un kilowattheure est de 0,0926 €.

Exercice 5

Ce même élève fait fonctionner son téléviseur 275 jours par an à raison de 3 heures par jour. Il le laisse en veille le reste du temps, c'est à dire 21 heures par jour pendant 275 jours et 24 heures par jour pendant les 90 jours restant dans l'année. La puissance du téléviseur est de 100 W quand il fonctionne et de 20 W quand il est en veille.

1. Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en fonctionnement pendant une année.
2. Calculer la quantité d'énergie transformée par le téléviseur en veille pendant une année.
3. En déduire le coût de l'économie réalisée qu'il réaliserait chaque année en éteignant son téléviseur sachant que le prix du kilowattheure est de 0,0926 €.

Exercice 6

A partir du tableau de conversion des différentes unités d'énergie (voir document 5 proposé ci-contre), convertir les valeurs proposées en joule, les comparer et expliquer l'intérêt d'utiliser des unités différentes.

Exercice 7

A partir des deux documents proposés ci-après, estimer la durée de stocks restant pour les énergies non renouvelables, si les besoins restent les mêmes qu'en 2017...

5 Les unités d'énergie, un outil pour comparer

L'unité internationale de mesure de l'énergie est le **joule (J)**. Cependant, les énergies produites ou consommées par un humain, un four, une voiture ou une centrale nucléaire sont d'ordres de grandeur très différents. Utiliser une unique unité d'énergie n'est pas pertinent ; il en existe donc plusieurs.

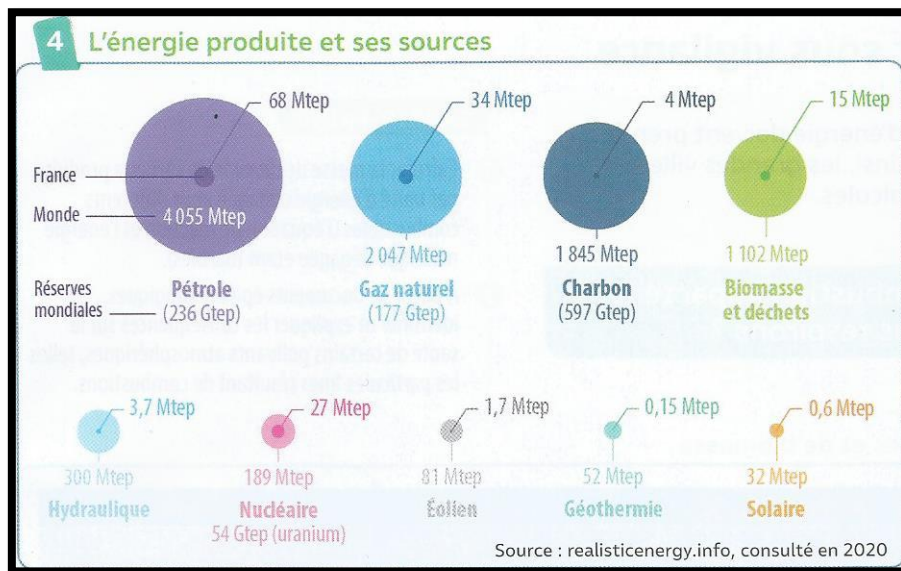
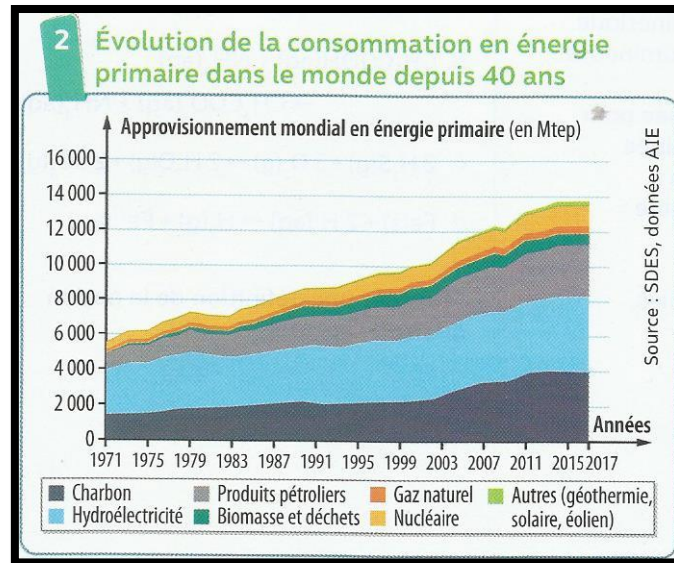
Quelques valeurs d'énergie

100 g de céréales muesli	390 kcal
Production énergétique annuelle du barrage de Serre Ponçon	$60,2 \times 10^3$ tep
Consommation électrique annuelle d'un réfrigérateur de 100 W	900 kWh
Énergie thermique du corps humain en 1 heure	360 kJ
Consommation d'énergie en France par les transports en 1 an	47 Mtep

Tableau de conversion des unités d'énergie

Unité donnée avant conversion		Unité souhaitée après conversion			
Nom de l'unité	Symbole	Joule	Calorie	Kilowatt heure	Tonne équivalent pétrole
Joule	J	1	0,239	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,39 \times 10^{-11}$
Calorie	cal	4,18	1	$1,16 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-10}$
Kilowatt-heure	kWh	$3,6 \times 10^6$	$8,6 \times 10^5$	1	$8,60 \times 10^{-5}$
Tonne équivalent pétrole	tep	$4,18 \times 10^{10}$	$1,0 \times 10^{10}$	11 620	1

Par exemple la conversion de 1 kWh est de $3,6 \times 10^6$ J ; 1 tep vaut 11 620 kWh.



Exercice 8

Calculer le nombre théorique de barrages (identiques à celui de Serre-Ponçon) et de parcs éoliens (identiques à celui de d'Ally-Mercoeur) nécessaires pour produire une énergie équivalente à celle fournie par la centrale de Cattenom.



Centrale nucléaire de Cattenom (Moselle)
7^e mondiale en terme de production :
36,73 TWh (2017) grâce à ses quatre réacteurs.



Barrage de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes)
Production énergétique :
 $60,2 \cdot 10^3$ tep par an.



Parc éolien d'Ally-Mercoeur (Haute-Loire)
Production durant 6 h de fonctionnement
par jour, à la capacité de production
maximale de 39 MW.

Exercice 9

Calculer le cout énergétique de chaque déplacement en joules. Comparer les déplacements des deux tableaux.

Indiquer le lien qui existe entre le cout énergétique et le cout carbone. Envisager un commentaire.

Indiquer les modes de déplacement à privilégier pour réduire les émissions de CO₂ liées au déplacements de personnes.



1 Trajet court domicile-travail de 2,5 km effectué sur une année, soit 215 jours : données par personne transportée

Moyen de transport utilisé	Coût énergétique (kg équivalents pétrole)	Coût carbone du déplacement (kg de CO ₂)
Marche à pied/vélo	négligeable	négligeable
Voiture moyenne	70,00	221,45
Moto	35,43	110,68
Bus	35,26	111,80
Métro	6,36	3,26
Tramway	5,16	2,66

2 Trajet long de 500 km : données par personne transportée

Moyen de transport utilisé	Coût énergétique (10^{10} J)	Coût carbone du déplacement (kg de CO ₂)
Avion	3,2	241,5
Voiture	2,3	170,6
Moto	1,8	136,2
Autocar	0,8	58,5
Train	0,3	11,8
TGV	0,1	3,2

Source : ADEME

➡ Test : calculer le coût de vos déplacements !

Exercice 10

Calculer l'énergie en joules développée par un cycliste professionnel de 70 kg pendant une heure à pleine allure. La surface corporelle pour un adulte est évaluée à 1,9 mètre carré. Calculer l'énergie solaire maximale en joules reçue par le cycliste durant cette heure à plein effort. Comparer les deux résultats obtenus. Estimer lequel a plus d'impact sur l'élévation de la température du corps du cycliste.



Certains athlètes succombent hélas chaque année à des « coups de chaleur » dus à la pratique du sport en pleine canicule. Leur température corporelle atteint parfois 42°C au moment où ils s'écroulent. Mais de l'énergie solaire ou de l'effort, lequel des deux joue le rôle prépondérant dans ce malaise ?

- La Terre reçoit en surface environ $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ sous des latitudes tempérées. L'insolation peut atteindre $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ un jour de plein été en France.
- Un cycliste professionnel peut développer jusqu'à $6,4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ sur un effort d'une heure minimum contre moins de $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ en moyenne pour un cycliste occasionnel. Un cycliste boit régulièrement de l'eau afin de compenser la perte due à la transpiration, unique moyen pour le corps de se refroidir.

Données : $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$