

L'énergie. Des carburants fossiles à la transition énergétique



Table des matières

Objectifs	3
Introduction	4
I - 1. Concepts-clés	5
1. 1.1 Transformer l'énergie.....	5
2. 1.2 Travail et chaleur.....	6
3. Exercice : 1.3 Rendement et puissance.....	6
4. 1.4 En résumé.....	7
5. Exercice : 1.5 Application.....	7
II - 2. Ordres de grandeur : les humains contre les machines	8
1. 2.1 Les humains.....	8
2. Exercice : 2.2 Manipulez ces grandeurs.....	9
3. 2.2 Manipulez ces grandeurs : correction.....	9
4. 2.3 La puissance des machines.....	10
III - 3. Consommation d'énergie dans le monde en chiffres	11
1. 3.1 Les sources d'énergie.....	11
2. Exercice : 3.2 Combien d'énergie utilise-t-on dans le monde ?.....	11
3. Exercice : 3.3 Consommation par région.....	12
4. Exercice : 3.4 De quelle source viennent les émissions de CO ₂ ?.....	13
5. 3.5 En résumé.....	14
IV - Conclusion	15
V - Bravo ! Vous avez terminé la leçon.	16
VI - Licence	17
Solutions des exercices	18
Glossaire	20

Objectifs



A l'issue de ce cours, vous serez capables de :

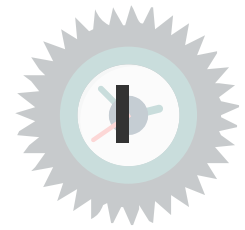
- Définir ce qu'est une puissance et un rendement énergétique
- Nommer les unités standard de l'énergie et de la puissance
- Connaître les ordres de grandeur de puissance pour différentes technologies
- Contraster la puissance humaine et la puissance d'une machine
- Nommer les différentes sources d'énergie utilisées
- Décrire l'évolution de la consommation énergétique mondiale sur les deux derniers siècles, par région et par source

Introduction



[cf. Lecon energie 1.mp4]

1. Concepts-clés



1. 1.1 Transformer l'énergie

Sans essence, les voitures ne roulent pas, sans proies, les prédateurs meurent, sans lumière, les végétaux meurent ! Les voitures transforment l'essence en mouvement, les prédateurs transforment de la matière organique en matière organique et en mouvements, les plantes transforment le rayonnement solaire en matière organique. L'énergie mesure cette capacité à faire les choses : plus les voitures sont grosses, plus elles consomment d'essence, plus les prédateurs sont gros, plus ils consomment de proies. Pour faire court, on dira que l'essence ou la matière organique « contiennent » de l'énergie, alors que c'est juste une manière de comptabiliser cette capacité à faire des choses. Ainsi, on dira que deux litres d'essence « contiennent » deux fois plus d'énergie qu'un seul.

L'énergie se mesure en **Joules**. Cette unité a été définie de sorte qu'avec 100 Joules, on peut soulever d'un mètre un poids de 10 kilogrammes, ou soulever de 10 mètres un poids de 1 kg. Pour soulever de h mètres un poids de p kg, il faut fournir une énergie de hp Joules.

Mais cette énergie : comment la produit-on ?

Malheureusement, on ne sait pas produire d'énergie à partir de rien ! C'est même une loi fondamentale de la physique (premier principe de la thermodynamique).



La quantité totale d'énergie présente dans l'univers est constante.

Si elle est constante, cela veut dire qu'on ne peut ni la produire, ni la détruire. On ne peut que la **transformer**, c'est-à-dire la faire passer d'une forme à une autre.

Donnons quelques exemples concrets pour fixer les idées :

- La *plante* fabrique des molécules organiques et de l'oxygène à partir de gaz carbonique et de rayonnement solaire. Les molécules organiques produites emmagasinent ainsi une partie de l'énergie solaire.
- L'*animal herbivore* transforme l'énergie contenue dans les molécules organiques des plantes en chaleur (c'est ce qui lui permet de maintenir constante la température de son corps) et en « *travail** » (c'est-à-dire en énergie qui lui permet de se déplacer). Ce travail restitue une partie, et une partie seulement, de l'énergie contenue dans les plantes.
- L'*automobile* transforme l'énergie contenue dans l'essence (donc, en définitive, dans les molécules organiques produites par les plantes il y a des millions d'années) sous forme de chaleur (évitez de toucher votre moteur après un trajet en voiture : il est brûlant ! et derrière, le pot d'échappement dégage des gaz chauds) et de travail (la voiture se déplace).

Observons à nouveau les deux derniers exemples, où le principe est le même. Une **énergie E** est transformée en **chaleur Q** et en **travail W**, via une **technologie T**. Cette technologie peut être naturelle (un être vivant) ou artificielle (une machine). Dans le cas de l'animal herbivore, la technologie est son système digestif et musculaire. Dans le cas de la voiture, la technologie est le moteur.

Nous représentons cette transformation par une flèche :

$$E \xrightarrow{T} W + Q$$

2. 1.2 Travail et chaleur

Ce qui distingue l'humain des autres animaux, c'est l'utilisation massive des **outils**, et ce qui distingue l'ère moderne des périodes historiques précédentes, c'est la généralisation des **machines**. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, l'essentiel du travail était fourni par des animaux de trait ou par des hommes. Il existait quelques machines pour transformer l'énergie du vent (voiliers, moulins) ou de l'eau courante (moulins) en travail, et on brûlait du bois pour se chauffer, mais les gros travaux (construction des pyramides, travaux des champs, extraction des minerais) étaient effectués par des animaux et des hommes.

Une machine est donc une invention humaine qui transforme une partie de l'énergie entrante E en travail W , en général un mouvement : soulever un poids, accélérer une voiture. Ce faisant, la machine dissipe de l'énergie en chaleur. Une machine ne peut pas éviter de chauffer, même un peu, et cette chaleur, si elle n'est pas captée, va en général se perdre dans l'environnement. Parfois, la chaleur est justement l'objectif recherché (comme quand vous vous frottez les mains vigoureusement en hiver pour qu'elles se réchauffent), mais pour la plupart des machines, c'est une perte (comme dans le cas du moteur brûlant de la voiture).

À cause de la loi de conservation de l'énergie, nous avons toujours :

$$E = W + Q$$

L'idéal serait d'avoir une machine qui transforme toute l'énergie en travail. Pour une voiture par exemple, ce qui nous intéresse, c'est de maximiser W à quantité d'énergie E constante, autrement dit d'avoir un moteur qui ne chauffe pas.

Ce n'est malheureusement pas possible : quelle que soit la machine, **une partie de l'énergie est toujours transformée en chaleur** : W est toujours plus petit que E !

3. Exercice : 1.3 Rendement et puissance

Une machine peut donc être caractérisée par son **rendement**, qui est le quotient de l'énergie restituée en travail par l'énergie utilisée, c'est-à-dire **W/E** .

Vous avez suivi ?

Question 1

[solution n°1 p. 18]

Quel est le rendement d'un moteur idéal ?

Question 2

[solution n°2 p. 18]

Quel est le rendement d'un radiateur idéal ?

Question 3

[solution n°3 p. 18]

Pour une machine réelle, entre quelles valeurs est compris le rendement ?

Le rendement est une première caractéristique des machines. Pour les moteurs de voiture, par exemple, il se situe autour de 40 %, un peu moins pour les véhicules à essence, un peu plus pour les diesels. Plus le rendement est élevé, moins la voiture consomme.

Le deuxième caractéristique est la **puissance***. Le lièvre et la tortue (en supposant qu'ils aient le même poids) font le même travail : aller du point de départ au point d'arrivée. La différence, c'est que le lièvre peut le faire plus vite. La puissance est la quantité de travail fournie par **unité de temps**. C'est donc un quotient : le travail divisé par le temps. La puissance est élevée soit parce que le numérateur est grand (ce serait une tortue très lourde), soit parce que le dénominateur est petit (c'est le lièvre qui court très vite).

La puissance se mesure en **Watts** (W). **1 Watt = 1 joule en 1 seconde**. Autrement dit, si vous avez fait le travail précédent en une seconde (monter d'un mètre un poids de 10 kg en 1 seconde), vous avez développé une puissance de 100 W.

4. 1.4 En résumé



Fondamental

- L'énergie ne se produit pas. Elle peut simplement être transformée, en travail et en chaleur.
- Il n'y a pas de machine idéale, qui transforme toute l'énergie en travail.
- Le rendement est le ratio travail fourni sur énergie totale, et il est donc strictement inférieur à 1.
- La puissance est la quantité de travail fournie par unité de temps.

5. Exercice : 1.5 Application

Dans une usine, il a deux monte-charges identiques, capables tous les deux de monter des charges de 200 kilos de 10 mètres. Le premier le fait en 10 secondes, le second est réglé pour le faire en 15 secondes car il se trouve dans une zone plus risquée en cas de chute.

Question 1

[solution n°4 p. 18]

Lequel des deux monte-charges est le plus puissant ?

Question 2

[solution n°5 p. 18]

Le travail W réalisé par les deux monte-charges est-il le même ?

Question 3

[solution n°6 p. 18]

En supposant que les rendements des deux monte-charges sont identiques, et qu'ils fonctionnent à l'essence, lequel consomme le plus par trajet ? Et par journée, s'ils fonctionnent en continu ?

Question 4

[solution n°7 p. 18]

Si les monte-charges fonctionnaient à l'électricité plutôt qu'à l'essence, lequel des deux risquerait de faire disjoncter l'installation ?

2. Ordres de grandeur : les humains contre les machines



1. 2.1 Les humains

Quelle puissance peut développer un corps humain ? Cela dépend bien entendu de son degré d'entraînement, mais voici quelques ordres de grandeur :

- un être humain qui se maintient au repos à sa température de 37 degrés développe une puissance de 100 W (dont 20 % pour l'activité cérébrale)
- une coureuse cycliste en plein effort dans la montée du col du *Galibier* : 450 W
- Usain Bolt au démarrage d'un sprint : 2600 W ! Remarquez, cela ne dure pas longtemps.

Pour décrire la puissance et l'énergie utilisée par les technologies de notre vie quotidienne, on mesure l'énergie en **Kilowatts par heure (kWh)*** plutôt qu'en joules.

1 kWh, c'est l'énergie fournie par une machine qui développe 1000 W pendant une heure. Combien 1 kWh représente-t-il en Joules ?

- 1000 W = élever de 10 mètres un poids de 10kg en 1 seconde = 1000 Joules par seconde.
- 1 kWh = 1000 W pendant une heure = 1000 Joules par seconde pendant 3600 secondes = $3,6 \times 10^6$ Joules.

Pour fournir 1kWh d'énergie, il faut déployer 1000 W pendant 1 heure, c'est donc être deux fois plus puissant qu'un cycliste professionnel en montagne, et tout ça pendant 1 heure... Alors soit, admettons que vous soyez dans une forme olympique ! Et imaginons que vous réussissiez grâce à une ingénieuse turbine à convertir cette énergie de 1 kWh pour chauffer l'eau de votre douche. D'après vous, combien de temps de douche chaude cette heure de remarquable effort vous permettra-t-elle ?

1. 3 heures
2. 1 heure
3. 30 minutes
4. 10 minutes
5. 3 minutes
6. 1 minute

L'ordre de grandeur de la durée d'une douche chaude permise par 1 kWh est ... 3 minutes ! Dans le même registre, ne manquez pas la vidéo d'un médaillé olympique, Robert Förstermann, déployant toute son énergie pour faire griller (à peine) une tranche de pain.

[cf. S4O5voOCqAQ]

En résumé



Fondamental

- **La puissance se mesure en Watt.**
- **L'énergie se mesure en Joule, ou alternativement en kiloWatt-heure (kWh).**
- **Usain Bolt déploie une puissance de 2600W au démarrage de son sprint.**

- Déployer 1000W pendant 1h permet de chauffer suffisamment d'eau pour environ 3 minutes de douche.

2. Exercice : 2.2 Manipulez ces grandeurs

[solution n°8 p. 19]

Vous commencez à le comprendre : la force humaine est largement dépassée par les besoins énergétiques quotidiens de notre vie moderne. Faisons quelques calculs pour mieux prendre la mesure de ce que ces ordres de grandeur signifient :

Question 1 : Reprenons notre coureuse cycliste dans le Galibier à 450 W. Combien de temps doit-elle prolonger son effort pour avoir produit suffisamment d'énergie pour prendre 3min de douche chaude à l'arrivée ? secondes

Question 2 : Un terrassier remonte de 1 mètre une pelletée de terre de 3 kg toutes les 5 secondes. Quel travail aura-t-il fourni en 8 heures ?

Indiquez votre réponse en notation scientifique avec 2 chiffres significatifs : x 10[^] kWh

Indice : vous pouvez commencer par calculer la puissance du terrassier en Watt.

Question 3 : Un chasseur alpin pesant 70 kg grimpe 2000 m de dénivelé dans la montagne, avec 30 kg sur le dos. Quel travail a-t-il fourni ?

Indiquez votre réponse en notation scientifique avec 2 chiffres significatifs : x 10[^] kWh

Indice : dans le calcul total de l'énergie fournie, n'oubliez pas de compter le poids du chasseur lui-même.

3. 2.2 Manipulez ces grandeurs : correction

Question 1

Reprenons notre coureuse cycliste dans le Galibier à 450 W. Combien de temps doit-elle prolonger son effort pour avoir produit suffisamment d'énergie pour prendre 3min de douche chaude à l'arrivée ?

Réponse 1



Méthode

- D'abord un calcul « à la louche » (toujours utile dans ces calculs pour vérifier qu'on a une réponse raisonnable) : elle déploie à peu près la moitié de 1kW et on a vu qu'1 kiloWatt pendant 1 heure permettait 3 minutes de douche. Il lui faudra donc à peu près deux fois plus de temps, soit environ 2 heures, pour apporter suffisamment d'énergie à l'eau pour qu'elle chauffe.
- Plus précisément, il faut que la durée à pédaler soit telle que multipliée par 450, elle atteigne la même quantité d'énergie que 1000 Watt x 3600 secondes = 3600000 Joules. Cette durée est donc égale à 3600000/450 = 8000 secondes = 2*3600 + 13*60 + 20 secondes = 2H 13min 20s. L'eau est dure à chauffer !

Question 2

Un terrassier remonte de 1 mètre une pelletée de terre de 3 kg toutes les 5 secondes. Quel travail aura-t-il fourni en 8 heures ? *Indice : vous pouvez commencer par calculer la puissance du terrassier en Watt.*

Réponse 2



Rappelez-vous : monter une charge de 1 kg sur 1 mètre en 1 seconde \equiv 10 joules en 1 seconde \equiv 10 Watt.

Donc :

- monter une charge de 3kg sur 1 mètre en 1 seconde \equiv 30 Watt
- monter une charge de 3kg sur 1 mètre en 5 secondes \equiv 30/5 Watt (on divise par 30 par 5 car on met 5 fois plus de temps à délivrer la même énergie, donc on est 5 fois moins puissant)

Développer 6 Watt pendant 8 heures \equiv fournir 48 Watt-heure d'énergie \equiv 0,048 kWh

Question 3

Un chasseur alpin pesant 70 kg grimpe 2000 m de dénivelé dans la montagne, avec 30 kg sur le dos. Quel travail a-t-il fourni ?

Indice : dans le calcul total de l'énergie fournie, n'oubliez pas de compter le poids du chasseur lui-même.

Réponse 3



- monter une charge de 100 kg sur 1 mètre \equiv 1000 Joules.
- monter une charge de 100 kg sur 2000 mètres \equiv 2×10^6 Joules
- l'équivalent en kWh est donc $2 \times 10^6 / 3,6 \times 10^6$ soit 0,56 kWh

4. 2.3 La puissance des machines

Passons maintenant aux machines !

A l'heure actuelle :

- un être humain peut développer 0,3 kW pendant une durée raisonnable de temps, comme dans les temps préhistoriques
- une éolienne en mer : 3 000 kW, ou 3 megaW, soit la puissance de 10 000 humains
- une petite centrale nucléaire : 300 mégaW, c'est-à-dire 100 éoliennes, soit la puissance d'1 million d'humains !

On voit le saut qualitatif que cela représente !

Encore faudrait-il tenir compte du temps pendant lequel on peut développer cette puissance (la machine, elle, ne fatigue pas), de l'utilisation possible de l'énergie qui en sort, et des rendements (10 000 hommes, il faut les nourrir !).

Un calcul plus détaillé a été fait par l'équipe de Jean-Marc Jancovici et il conclut qu'un seul litre d'essence représente autant de travail que la mise à disposition de 100 paires de bras ou de 10 paires de jambes pendant 24 heures non-stop.

Vous pouvez vous y reporter sur son site :

<https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/combien-suis-je-un-esclavagiste/>



Humain – éolienne – centrale nucléaire, 300 – 3 millions – 300 millions de Watts. La puissance de nos machines n'a rien à voir avec celle de nos bras !

3. Consommation d'énergie dans le monde en chiffres



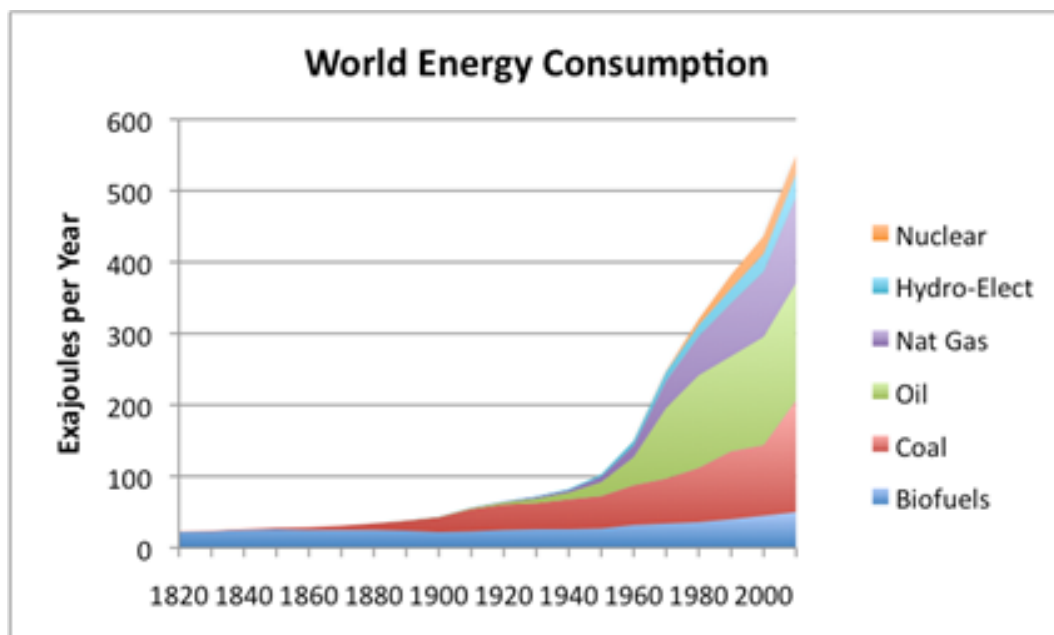
1. 3.1 Les sources d'énergie

Comme on l'a dit en introduction, on ne « produit » pas d'énergie. Il faut qu'on la trouve quelque part dans la nature, et il faut toujours qu'on la transforme pour l'usage désiré. La liste des sources où l'homme puise l'énergie sur notre planète, est vite faite. On peut les présenter par ordre chronologique d'utilisation :

- d'abord la biomasse, notamment le bois (utilisé pour se chauffer), les plantes (utilisées directement pour se nourrir, et indirectement, en mangeant ceux qui s'en nourrissent ou en les utilisant comme animaux de trait).
- le vent et l'eau courante, pour la propulsion et certains travaux (moudre ou scier)
- le charbon
- le pétrole
- le gaz
- l'uranium
- le rayonnement solaire, utilisé directement (photovoltaïque) et non indirectement (en exploitant les produits de la photosynthèse)

2. Exercice : 3.2 Combien d'énergie utilise-t-on dans le monde ?

Voici une figure représentant l'évolution de la consommation mondiale d'énergie depuis 1820.



Consommation annuelle d'énergie mondiale de 1820 à 2010

Question 1

[solution n°9 p. 19]

Vous pouvez vous y repérer en répondant à ces questions :

- Que représente l'axe horizontal ? Et vertical ? Quelles sont leurs unités ?
- Quelle est l'allure générale de la consommation mondiale d'énergie ?
- Par combien a-t-elle été multipliée entre 1820 et 1950 ? Et entre 1950 et 2000 ?

Question 2

[solution n°10 p. 19]

Observez ensuite les différentes sources d'énergie :

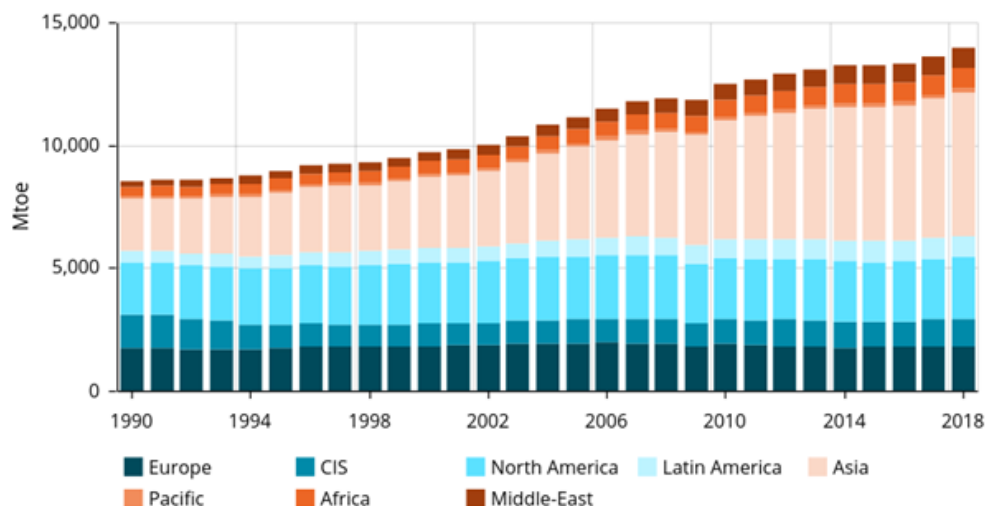
- En 1820, quelle était la principale source d'énergie ? Et en 2000 ?
- Prenez une source d'énergie de votre choix : comment évolue sa quantité consommée avec le temps ? Est-ce vrai des autres sources d'énergies ?
- Lorsqu'une nouvelle source d'énergie commence à être exploitée, est-ce que les anciennes sources sont moins utilisées ?

Vous vous dites peut-être : un graphique de plus, quelle importance ? Mais regardez les unités ! La consommation est évaluée en exajoules et un exajoule vaut 1018 joules, soit 278 milliards de kWh. La consommation annuelle mondiale de ces dernières années fait 500 exajoules. Cela représente 18000 centrales nucléaires de 900 MW chacune.

Cela ne vous dit rien ? Traduisons tout en pétrole. On convient qu'une tonne de pétrole contient 42 GigaJoules d'énergie : c'est encore une unité d'énergie, une de plus, qu'on appelle la tonne équivalent-pétrole, ou **tep**. 500 Exajoules, c'est 12 milliards de tep. En divisant par 365, et en comptant 7,4 barils par tonne, cela représente l'équivalent de 243 millions de barils de pétrole de 160 litres, chaque jour de l'année.

3. Exercice : 3.3 Consommation par région

Évidemment, cette consommation est très inégalement répartie de par le monde. Voici un tableau plus détaillé par continent, sur ces dernières années :



Consommation mondiale d'énergie par région de 1990 à 2018

Question

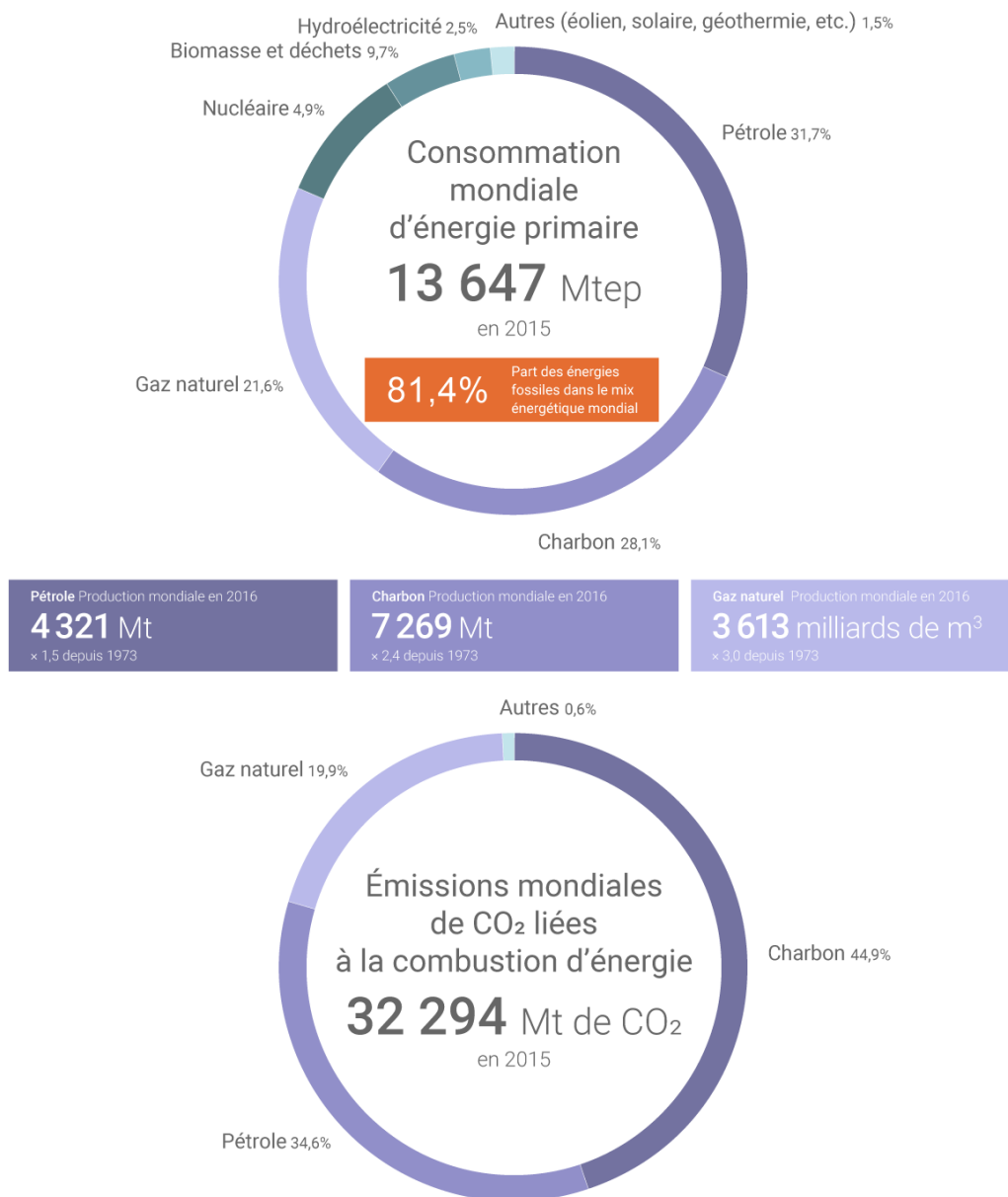
[solution n°11 p. 19]

Questions de lecture :

- Quelle est la période d'observation ?
- Quelle(s) zone(s) ont une consommation stable sur la période ?
- Quelle(s) zone(s) ont une consommation croissante ?

4. Exercice : 3.4 De quelle source viennent les émissions de CO₂ ?

Parmi les sources d'énergie, c'est la combustion des combustibles fossiles qui dégage du CO₂ et qui est responsable du réchauffement climatique. Voici les *chiffres de 2015* pour le voir directement. On notera que deux légendes ont été interverties sur le graphique (le nucléaire est bien à 4,9 % et la biomasse à 9,7 %)



Question

[solution n°12 p. 19]

Questions de lecture :

- Combien représentent les trois énergies fossiles dans la consommation mondiale totale en pourcentage ?
- Et en émissions ? Laquelle émet le plus par unité d'énergie ?

Pour diminuer les émissions de CO₂, il faut diminuer la consommation d'énergie fossile. Comment ? Bien évidemment, cela dépend des secteurs énergétiques : tout le monde n'utilise pas l'énergie de la même manière, et elle n'a pas partout la même importance. Dans la prochaine leçon, nous allons donc analyser les émissions par secteur et discuter des différentes options énergétiques qui s'offrent à nous.

5. 3.5 En résumé



Fondamental

- L'énergie que nous utilisons peut être tirée de différentes sources : biomasse (bois, etc.), vent, charbon, pétrole, nucléaire...
- L'énergie accessible grâce aux sources fossiles est considérablement plus importante que celle des sources qui avaient prévalu jusqu'au XIX^{ème} siècle.
- Cela s'est traduit par une multiplication de la consommation énergétique totale par 5 sur la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, notamment du fait de la consommation de pétrole.
- L'usage d'une nouvelle source d'énergie ne remplace pas les autres pour autant ! Elle s'y ajoute.
- Ce sont les énergies fossiles qui représentent l'essentiel des émissions de CO₂.

Conclusion



- **L'énergie ne se produit pas. Elle est transformée, soit en travail, soit en chaleur.**
- **Le rendement est le ratio travail sur énergie externe, et il est strictement inférieur à 1. À moins de chercher à chauffer, on souhaite le rendement le plus élevé possible.**
- **La puissance est la quantité de travail fournie par unité de temps. Elle se mesure en Watt.**
- **L'énergie se mesure en Joule, ou alternativement en kiloWatt-heure (KWH).**
- **Déployer 1000W pendant 1h permet de chauffer suffisamment d'eau pour environ 3 minutes de douche.**
- **Un humain peut développer une puissance de quelques centaines de Watt pendant 1h. Une éolienne : 3 millions. Une centrale nucléaire : 300 millions de Watts. La puissance de nos machines n'a rien à voir avec celle de nos bras !**
- **L'énergie que nous utilisons est tirée de différentes sources : biomasse (bois, etc.), vent, charbon, pétrole, nucléaire...**
- **L'énergie accessible grâce aux sources fossiles est considérablement plus importante que celle des sources qui avaient prévalu jusqu'au XIXème siècle.**
- **Grâce aux énergies fossiles, la consommation énergétique totale a été multipliée par 5 sur la deuxième moitié du XXème siècle, notamment du fait de la consommation de pétrole.**
- **L'usage d'une nouvelle source d'énergie ne remplace pas les autres pour autant ! Elle s'y ajoute.**
- **Ce sont les énergies fossiles qui représentent l'essentiel des émissions de CO₂.**

Bravo ! Vous avez terminé la leçon.



Avant de passer à la leçon suivante, nous vous proposons de vous auto-positionner sur les objectifs clés de la leçon afin de faire le point sur votre apprentissage. Ce sondage n'est ni noté, ni obligatoire. Il est pour vous.

[cf.]

Licence



Ivar Ekeland et Aïcha Ben Dhia, co-auteur.e.s, ont souhaité faire de ce cours un bien commun en le plaçant sous licence libre Creative Commons CC-BY-SA 4.0. Cela signifie qu'en l'absence d'indication contraire, vous pouvez réutiliser, distribuer, citer, modifier et adapter les contenus de ce cours comme bon vous semble, y compris à des fins commerciales, tant que :

- Vous l'attribuez de la manière suivante : “Ivar Ekeland et Aïcha BenDhia, avec le soutien de l'Université Paris-Dauphine, la Fondation Madeleine et la société 2050” ;*
- Le contenu que vous créez sur la base de celui-ci est placé sous une licence similaire, c'est-à-dire qu'il n'interdit à personne de réutiliser vos améliorations.*

Pour plus de détails, nous vous invitons à consulter la licence complète : <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>

Cette licence ne concerne toutefois pas les illustration ou les travaux référencés, qui demeurent placés sous leur mention légale d'origine.

Solutions des exercices



Solution n°1

[exercice p. 6]

1

Solution n°2

[exercice p. 6]

Pour un radiateur, le ratio qu'on cherche à maximiser n'est pas W/E mais Q/E . Les vendeurs de radiateurs appelleront donc rendement Q/E et ils aimeraient que ce ratio vaille 1, c'est-à-dire que $W=0$.

Solution n°3

[exercice p. 6]

Le rendement est toujours compris entre 0 et 1, et strictement inférieur à 1.

Solution n°4

[exercice p. 7]

Le premier, puisqu'il réalise son travail en un temps plus court.

Solution n°5

[exercice p. 7]

Oui car ils déplacent la même masse sur la même distance. Cela se voit aussi si on laisse retomber les deux charges de 200 kilos sur le sol : elles arriveront avec le même impact (et risquent de trouser le plancher !). Cette chute serait d'ailleurs un autre exemple de transformation d'énergie : elle était sous forme d'essence dans le moteur des monte-charge puis elle a été transformée en mouvement pour élever la charge. À ce stade, l'énergie est comme « stockée » dans le fait que la charge est en hauteur. On peut la libérer en faisant tomber la charge, et cette énergie va se transmettre au sol au moment de l'impact.

Solution n°6

[exercice p. 7]

Par trajet, ils fournissent le même travail, et consomment la même chose ; par journée, l'un fait deux fois plus de trajets que l'autre, et consommera donc deux fois plus.

Solution n°7

[exercice p. 7]

Le premier, car les circuits électriques sont calibrés pour limiter la puissance délivrée. C'est pour cela que ce sont souvent les bouilloires qui font sauter le courant plutôt que les frigidaires.

Solution n°8

[exercice p. 9]

Vous commencez à le comprendre : la force humaine est largement dépassée par les besoins énergétiques quotidiens de notre vie moderne. Faisons quelques calculs pour mieux prendre la mesure de ce que ces ordres de grandeur signifient :

Question 1 : Reprenons notre coureuse cycliste dans le Galibier à 450 W. Combien de temps doit-elle prolonger son effort pour avoir produit suffisamment d'énergie pour prendre 3min de douche chaude à l'arrivée ? 8000 secondes

Question 2 : Un terrassier remonte de 1 mètre une pelletée de terre de 3 kg toutes les 5 secondes. Quel travail aura-t-il fourni en 8 heures ?

Indiquez votre réponse en notation scientifique avec 2 chiffres significatifs : 4,8 x 10⁻² kWh

Indice : vous pouvez commencer par calculer la puissance du terrassier en Watt.

Question 3 : Un chasseur alpin pesant 70 kg grimpe 2000 m de dénivelé dans la montagne, avec 30 kg sur le dos. Quel travail a-t-il fourni ?

Indiquez votre réponse en notation scientifique avec 2 chiffres significatifs : 5,6 x 10⁻¹ kWh

Indice : dans le calcul total de l'énergie fournie, n'oubliez pas de compter le poids du chasseur lui-même.

Solution n°9

[exercice p. 12]

La figure représente l'axe du temps en abscisse et celui de la consommation énergétique annuelle (en Exajoules, soit 10¹⁸ Joules ou 2,8x10¹¹ kWh) en ordonnée. On note une explosion de la consommation totale après 1950 : elle est d'abord multipliée par 4 entre 1820 et 1950 puis... par 5 en 50 ans entre 1950 et 2000 !

Solution n°10

[exercice p. 12]

Fait essentiel à noter pour la suite de notre discussion : **les nouvelles sources d'énergie ne se substituent pas aux anciennes**, mais viennent s'y ajouter. C'est un empilement de feuilles dont chacune grossit avec le temps. Autrement dit, il n'y a jamais eu de « transition énergétique », dans le sens du remplacement des minitels par les ordinateurs. Le charbon date de la première révolution industrielle, et on n'est pas surpris de l'augmentation de son utilisation jusqu'aux premières heures du pétrole dans les années 30. Mais même lorsque la consommation de pétrole explose, celle de charbon poursuit son chemin à bonne allure, avec même une accélération sur les 10 plus récentes années. Seul son usage a changé : il ne sert plus à alimenter les poêles des maisons ou les chaudières des navires, mais à fabriquer de l'électricité.

Solution n°11

[exercice p. 12]

Les chiffres sont donnés en Mtoe, c'est-à-dire en MegaTep (10⁶ Tep). La consommation mondiale en 2018 était donc de l'ordre de 14 GigaTep (10⁹ Tep). On voit que la consommation de l'Europe et de l'Amérique du Nord reste plutôt stable alors que celle de l'Asie augmente, ce qui correspond à un rattrapage des consommations individuelles dans les pays asiatiques et une délocalisation des industries des pays européens et américains.

Solution n°12

[exercice p. 13]

Glossaire



Kilowatts par heure (kWh)

C'est à dire qu'on multiplie une puissance par la durée d'une heure : on retrouve une quantité d'énergie. Comme lorsque vous multipliez une vitesse par une durée de temps, vous retrouvez une distance.

puissance

C'est d'ailleurs un mot qu'on utilise fréquemment dans le langage de tous les jours mais il n'est pas aussi rigoureusement défini qu'en physique. On peut dire dans la vie ordinaire d'un camion qu'il est puissant parce qu'il permet de déplacer des charges lourdes, alors que le physicien ne dirait cela que si le camion réalise ce mouvement en un *temps remarquablement court*

Travail

Nous avons mis le terme de « travail » entre guillemets car il n'a pas ici le sens classique (« travaille ton cours sur le climat ! ») mais le sens technique utilisé par les physiciens. Il décrit justement la forme que prend l'énergie lorsqu'elle est convertie en mouvement.