

GENERALITES SUR L'ENERGIE

L'énergie nous paraît si normale que nous la remarquons à peine. Lorsque nous prenons la route vers le travail ou l'université chaque jour cela nécessite de l'énergie. Pour notre toilette, nous avons besoin de savon et d'une serviette fabriqués tous deux dans des usines utilisant de l'énergie. Nos maisons qui sont construites de briques, de béton et les fenêtres de nos chambres ont été fabriquées en utilisant de l'énergie. Nos vêtements et nos chaussures ont également été fabriqués grâce à l'énergie.

Sans énergie, nos vies seraient beaucoup moins confortables. Imaginons-nous aller chercher du bois pour vous chauffer et faire la cuisine, aller chercher de l'eau au puits et ne devoir vous déplacer qu'à pied... Et bien entendu, il n'y aurait ni radio, ni téléviseurs, ni ordinateurs, ni téléphone. Notre société a besoin d'énergie pour fonctionner.

De plus, nous aurons à fournir d'énormes quantités d'efforts. Comme on a à notre disposition que "la force des bras", nous aurions besoin de 100 personnes, ou d'environ 10 chevaux, pour produire toute l'énergie consommée par une seule personne (y compris l'électricité, l'essence pour le transport etc...) et cela, toute la journée et tous les jours de la semaine.

Nous estimons que l'abondance et la disponibilité de l'énergie comme un acquis. Si un soir nous sommes confrontés à une coupure soudaine de l'électricité, une panique et une angoisse s'empare dans notre quotidien même au secours des bougies.

QU'EST-CE QUE L'ENERGIE ET POURQUOI EN AVONS-NOUS BESOIN ?

Le mot « **ENERGIE** », d'usage très répandu, vient du mot Grec « **ENERGIA** » qui signifie « **FORCE EN ACTION** ». Donc : « *L'énergie caractérise la capacité à produire des actions* », par exemple à engendrer du mouvement, modifier la température d'un corps ou à transformer la matière. L'énergie provient de différentes sources que l'on trouve dans la nature : le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, le vent, le rayonnement solaire, les chutes d'eau, la chaleur interne de la terre, l'uranium.

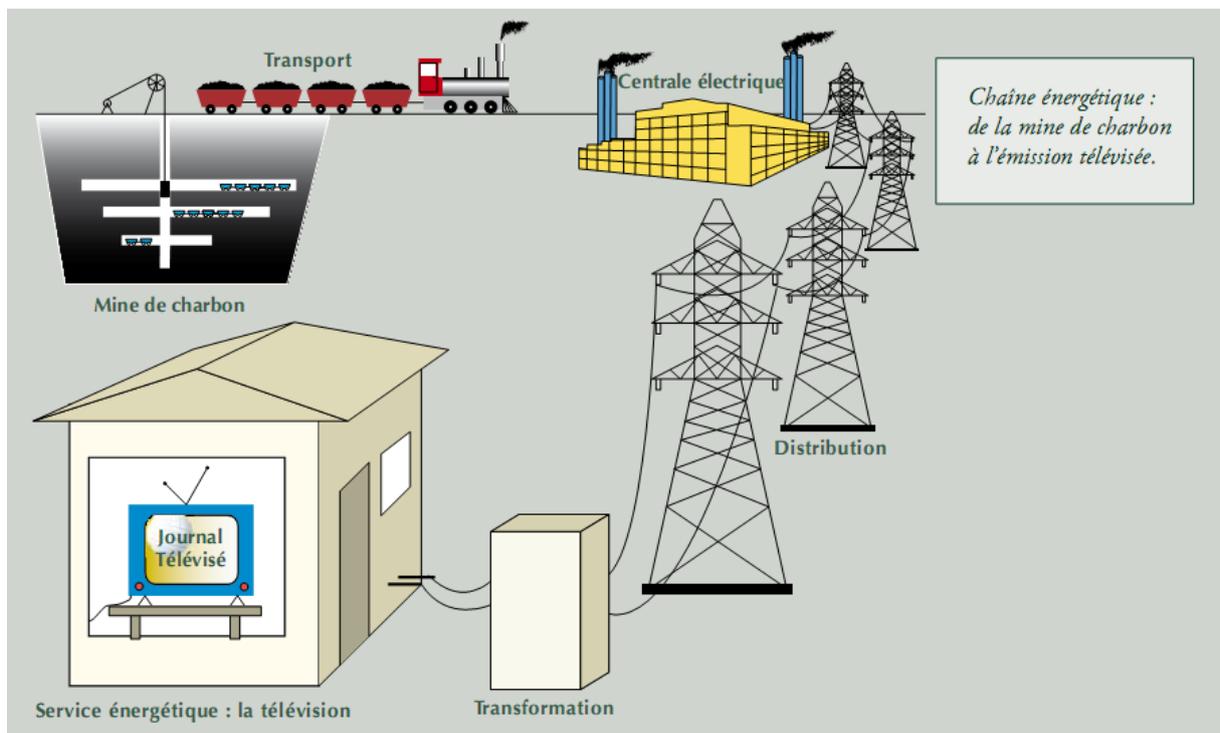
L'énergie est importante pour nous parce que nous l'utilisons pour obtenir ce dont nous avons besoin, ce que nous appelons les services énergétiques. Ces services énergétiques sont le refroidissement et la réfrigération, le chauffage, le traitement des aliments, le nettoyage de l'eau, l'usage de téléphones mobiles, la conduite de voitures, la production de lumière et de son, la production industrielle et bien d'autres choses encore. Pour obtenir les services énergétiques que nous désirons, nous avons besoin d'énergie sous une forme utilisable au bon endroit et au bon moment.

D'OU PROVIENT L'ENERGIE ?

Nous ne pensons généralement pas à ce qui se passe derrière la prise de courant ou la pompe à essence tant que nous pouvons allumer la radio quand nous la branchons et acheter l'essence nécessaire pour conduire notre voiture. Cependant, pour que tout cela fonctionne, une longue chaîne de technologies a été mise en place pour nous fournir de l'énergie.

Tout au début de cette chaîne, on doit obtenir et extraire l'énergie dans sa forme première, c'est-à-dire le gaz naturel, le pétrole, les rayons de soleil, le vent ou le charbon. Cette énergie primaire ne nous est pas encore de grande utilité. La prochaine étape consiste à la transformer en énergie finale, telle que l'électricité ou l'essence. À ce stade, le charbon est, par exemple, transformé en électricité dans une centrale thermique au charbon. C'est l'énergie finale qui est distribuée aux consommateurs.

Finalement, divers appareils comme : les ampoules électriques, les téléviseurs, les cuisinières et les véhicules utilisent l'énergie finale pour produire quelque chose d'utile et livrer les différents services (voir croquis ci-dessous).



L'énergie est à la base de tout ce que nous faisons : nous avons besoin de **combustible** ou d'**électricité** dans presque toutes nos activités quotidiennes. Pour fournir toute l'énergie que nous utilisons, nous avons besoin de mines de charbon, de plates-formes de forage de pétrole, de pipelines, d'énormes navires qui assurent la distribution du charbon et du pétrole dans le monde entier, de centrales électriques, de réseaux de transmission, de stations-service et beaucoup d'autres. Ils forment ensemble un système complexe que l'on appelle *le système énergétique*.

Toutes ces formes d'énergie ont une caractéristique qui nous intéresse particulièrement dans notre vie quotidienne : elles peuvent se transformer, on dit aussi se convertir d'un type à un autre. Par exemple, un moteur à explosion transforme de l'énergie chimique (le carburant) en énergie *thermique* puis en énergie mécanique par le jeu des pistons dans le moteur.

PRESENTATION DE L'ENERGIE

☞ **L'énergie cinétique** : Associée au mouvement d'un objet, elle est proportionnelle à la masse et au carré de la vitesse de celui-ci. Elle se transforme en *électricité* (centrales hydrauliques, éoliennes), *en chaleur* (frottements) et peut également provenir d'une autre forme d'énergie (*chimique* : poudre à canon, *thermique* : locomotive à vapeur, *électrique* : moteur électrique).

Exemple : L'énergie cinétique d'un objet de masse m :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Lancez un satellite dans l'espace, loin de toute étoile et de toute planète. Sa vitesse ne change pas avec le temps. Son énergie est donc conservée.

☞ **L'énergie de gravitation** : Cette force, dite de gravitation, caractérise l'attraction mutuelle de deux corps massifs. La loi de la gravitation a été formulée par le physicien anglais *Isaac Newton*. Ce principe est utilisé pour augmenter l'énergie de l'eau dans une centrale hydraulique.

Exemple : L'énergie potentielle dans le champ gravitationnel de la terre s'écrit :

$$E_p = m g h$$

☞ **L'énergie élastique** : Elle est associée aux déformations des objets élastiques (ressort, compression d'un gaz)

Exemple : k est la constante de raideur du ressort, qui donne le coefficient de proportionnalité entre force appliquée sur la masse et déplacement de la masse par rapport à sa position d'équilibre :

$$F = - k x$$

Pour compenser cette variation d'énergie cinétique, on invoque la présence d'une énergie potentielle. Dans ce cas :

$$E_c = \frac{1}{2} k x^2$$

☞ **L'énergie calorifique** : En considérant l'échelle atomique, elle se traduit par le mouvement désordonné des molécules. A notre échelle, elle représente l'énergie mise en jeu

lors d'une variation de température ou d'un changement d'état d'un matériau (fusion de la glace, évaporation de l'eau).

☞ **L'énergie électrique** : Elle provient du mouvement des électrons dans un milieu conducteur. Dans une pile électrique, l'énergie chimique est convertie en mouvement des électrons, donc en énergie électrique.

☞ **L'énergie électromagnétique** : elle provient d'une source électromagnétique ou magnétique (courant électrique, induction, ondes radio, microondes...)

☞ **L'énergie radiative** : elle est issue du rayonnement. Dans le filament d'une ampoule électrique, l'énergie électrique se transforme en chaleur évacuée en énergie radiative, lumineuse et infrarouge. Le Soleil nous transmet une puissance de l'ordre de 1kW par mètre carré, sous forme de lumière visible et de rayonnement infrarouge. L'énergie du soleil est à la base de la majeure partie des formes d'énergies disponibles en milieu naturel : chimique, thermique, hydraulique, électrique.

☞ **L'énergie chimique** : Associée à la liaison entre atomes dans une molécule, elle est transformée en une autre forme d'énergie lors d'une réaction chimique qui brise les liaisons (thermique : combustion d'un gaz, électrique : pile et accumulateur, mécanique : transformation du sucre dans l'organisme)

☞ **L'énergie nucléaire** : Localisée dans les noyaux des atomes, elle est associée à la liaison entre les protons et neutrons. Elle se transforme lors des réactions nucléaires de fission ou de fusion de noyaux atomiques. Ce mécanisme se produit au cœur du Soleil, par fusion des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, dans les centrales nucléaires, par fission des noyaux d'uranium.

L'HISTOIRE DE L'ENERGIE

Nous avons besoin d'énergie pour la majorité des choses indispensables à la vie quotidienne, comme l'eau chaude, les transports et les télécommunications. Au cours de sa longue histoire, l'homme a souvent trouvé de nouvelles sources d'énergie et a appris à les utiliser afin d'accroître son bien-être et son confort. L'histoire de notre utilisation de l'énergie est une histoire fascinante dont la tendance est bien claire : nous en utilisons de plus en plus.

Les temps anciens Grâce à l'archéologie, nous savons que l'humanité a appris à se servir du feu il y a plus de 500.000 ans, et peut-être bien plus tôt. En ces temps préhistoriques, les besoins de l'homme en énergie étaient modestes. Le soleil procurait de la chaleur et quand il ne brillait pas, les hommes brûlaient du bois, de la paille ou du fumier séché. Les peintures retrouvées dans les cavernes nous montrent que les hommes et les femmes de l'Âge de Pierre (il y a environ 30.000 ans) utilisaient le feu pour préparer leurs aliments, se chauffer et éclairer leurs cavernes et leurs cabanes. La dénomination même des différentes périodes : âge de pierre, âge de fer, âge de bronze reflète la capacité des hommes à utiliser les métaux et à fabriquer des outils et des armes.

On a commencé à utiliser l'énergie de manière différente lorsque les hommes ont décidé d'abandonner leur vie de nomade et de se sédentariser. Ils ont alors développé l'agriculture qui est en quelque sorte une manière de changer l'énergie du soleil directement en nourriture.

Les animaux représentent une autre source d'énergie qui est encore utilisée de nos jours : les chevaux, les bœufs, les chameaux, les ânes, les éléphants et même les chiens sont toujours utilisés pour le transport, à la ferme et pour actionner les machines à moudre le grain ou celles qui servent à pomper l'eau.

☞ Dans les pays en voie de développement, on utilise encore souvent la force animale. Les animaux ont des capacités différentes : les bœufs sont très forts et utiles pour labourer les champs, les chevaux sont plus rapides et sont utiles dans le domaine des transports.

☞ La force humaine a également joué un rôle important : avant 3000 ans, la construction des pyramides d'Egypte a nécessité une main d'œuvres d'esclaves inéquivoque. Dans les années 260 av. JC, les navires de guerre romains étaient actionnés par 170 rameurs.

☞ Dès 5000 av. JC, l'énergie éolienne servait à faire avancer les bateaux sur le Nil et plusieurs siècles av. JC, on utilisait en Chine des moulins à vent pour pomper de l'eau. Vers 600 av. JC, on utilisait en Perse des moulins à vent pour moudre le grain.

☞ L'eau a également une longue histoire. Dès 4000 av. JC, des roues hydrauliques activaient en Grèce des petits moulins afin de moudre le blé, approvisionner les villages en eau et faire fonctionner diverses machines telles que les scieries, les pompes, les forges etc...

☞ L'une des premières utilisations de l'énergie solaire a été d'ordre militaire : on raconte que, pendant la bataille de Syracuse (vers 240 av. JC), c'est grâce à un énorme miroir qu'Archimède mit le feu à l'arsenal romain.

☞ De tous les combustibles fossiles, le charbon est celui qui a connu l'histoire la plus variée. Il y a 3000 ans, on utilisait déjà le charbon en Chine et il est prouvé qu'en Angleterre, dans les années 100-200 av. JC, les Romains se servaient du charbon pour préparer leurs aliments. Lorsqu'en 1298, le célèbre explorateur Marco Polo publie son livre relatif à ses voyages en Chine, il mentionne "de grandes pierres noires qui... brûlent comme le bois" Le charbon a été l'un des combustibles les plus importants pendant des siècles.

LES SOURCES ET LES CYCLES D'ENERGIE

1 ENERGIES NON RENOUVELABLES :

Les énergies non renouvelables sont les énergies qui disparaissent quand on les utilise. Elles sont constituées de substances qui mettent des millions d'années à se reconstituer.

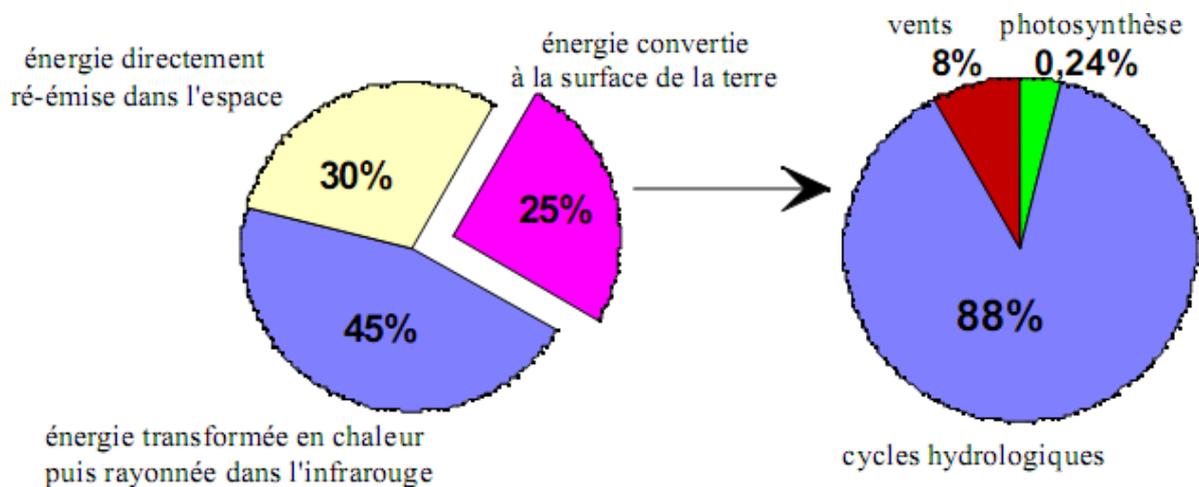
« Il existe deux familles d'énergies non renouvelables : les énergies fossiles et les énergies fissiles »

Energies fossiles : Ce sont des matières premières que l'on trouve sous terre issues de la décomposition de matières organiques (végétaux et organismes vivants), il y a des millions d'années. Ce sont des combustibles tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Ces ressources diminuent quand on les utilise car il leur faut des millions d'années pour se former.

Energies fissiles : Ce sont de très petits éléments dont on peut casser les atomes pour libérer de l'énergie et de la chaleur.

2 ENERGIE RENOUEVELABLE :

La terre reçoit, à un rythme assez régulier, une grande quantité d'énergie principalement grâce au rayonnement du *soleil* mais également, dans une moindre mesure, de son noyau en fusion et de l'interaction gravitationnelle avec la lune. Une partie de cette énergie est "dégradée" à la surface de la terre par les cycles naturels météorologiques, une autre partie –plus faible– est utilisée par les êtres vivants –flore et faune– dont les humains. Ces derniers ont, depuis quelques décennies, atteint un tel niveau d'activité qu'ils produisent de la chaleur à grande échelle par la combustion des carburants fossiles, de la biomasse mais aussi des combustibles nucléaires (la consommation totale d'énergie représente environ 1/6000ème de l'énergie rayonnée au sol par le soleil).



Répartition des $1600 \cdot 10^{15}$ kW.h reçus annuellement du soleil par la terre

GRANDEURS PHYSIQUES

MESURES ET SYSTEMES D'UNITES

1. Le système d'unités international

Seulement *cinq* dimensions sont nécessaires et suffisantes pour caractériser toutes les grandeurs physiques de l'univers. La longueur (L), le temps (T), la masse (M), l'intensité électrique (I) et la température (θ).

Le comité international des poids et mesures a établi un système d'unité international (SI) qui permet de quantifier ces dimensions : le mètre (m) pour L, la seconde (s) pour T, le kilogramme (kg) pour M, l'ampère (A) pour I et le Kelvin (K) pour la température.

2. Définitions des unités fondamentale du SI

☞ Définition du mètre adoptée en 1983 :

Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde.

Il en résulte que la vitesse de la lumière dans le vide est égale à 299 792 458 mètres par seconde exactement, $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.

☞ Définition du kilogramme :

Le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme ;

Le terme poids désigne une grandeur de la même nature qu'une force ; le poids d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération de la pesanteur ; en particulier, le poids normal d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération normale de la pesanteur ; le nombre adopté dans le Service international des Poids et Mesures pour la valeur de l'accélération normale de la pesanteur est $980,665$ cm/s², nombre sanctionné déjà par quelques législations.

Le kilogramme est actuellement défini comme la masse d'un cylindre en platine iridié (90 % de platine et 10% d'iridium) de 39 mm de diamètre et 39 mm de haut déclaré unité SI de masse depuis 1889 par le Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Cette unité de mesure est la dernière du SI à être définie au moyen d'un étalon matériel fabriqué par l'homme. Celui-ci est conservé sous trois cloches de verre scellées dont il n'est extrait que pour réaliser des étalonnages (opération qui n'a eu lieu que trois fois depuis sa création).

☞ *Définition de la seconde adoptée en 1967*

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Il en résulte que la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium est égale à 9 192 631 770 hertz exactement, $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$.

Lors de sa session de 1997, le Comité international a confirmé que : Cette définition se réfère à un atome de césium au repos, à une température de 0 K.

☞ *Définition de l'ampère adoptée en 1948*

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.

Il en résulte que la constante magnétique, aussi connue sous le nom de perméabilité du vide, est égale à $4\pi \cdot 10^{-7}$ henrys par mètre exactement, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.

☞ *Définition du kelvin adoptée en 1967*

Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

Il en résulte que la température thermodynamique du point triple de l'eau est égale à 273,16 kelvins exactement, $T_{\text{tpw}} = 273,16 \text{ K}$.

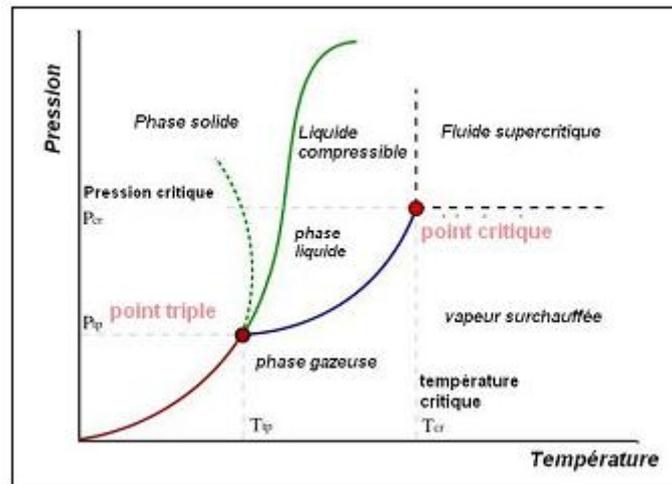


Diagramme Pression – Température (phase)

☞ Définition de la mole

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 ; son symbole est « mol ».

Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules. Dans cette définition, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental.

Il en résulte que la masse molaire du carbone 12 est égale à 0,012 kilogramme par mole exactement, $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.

☞ Définition de la candela adoptée en 1979

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.

Il en résulte que l'efficacité lumineuse spectrale d'un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz est égale à 683 lumens par watt soit $K = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr/W}$.

3. Exemples d'unités exprimées à partir des unités de base

Grandeur	Unité SI		Dimension
	Nom	Symbole	
superficie	mètre carré	m ²	L ²
volume	mètre cube	m ³	L ³
vitesse	mètre par seconde	m s ⁻¹	LT ⁻¹
accélération	mètre par seconde carrée	m s ⁻²	LT ⁻²
nombre d'ondes	1 par mètre	m ⁻¹	L ⁻¹
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg m ⁻³	L ⁻³ M
champ magnétique	ampère par mètre	Am ⁻¹	L ⁻¹ I
volume massique	mètre cube par kilogramme	m ³ kg ⁻¹	L ³ M ⁻¹

4. Exemples d'unités ayant des noms spéciaux

Grandeur	Unité SI				Dimension
	Nom	Symbole	Expression en d'autres unités SI	Expression en unités SI de base	
fréquence	hertz	Hz		s ⁻¹	T ⁻¹
force	newton	N		m kg s ⁻²	LMT ⁻²
pression	pascal	Pa	N m ⁻²	m ⁻¹ kg s ⁻²	L ⁻¹ MT ⁻²
énergie, travail, quantité de chaleur	joule	J	N m	m ² kg s ⁻²	L ² MT ⁻²
puissance	watt	W	J s ⁻¹	m ² kg s ⁻³	L ² MT ⁻³
quantité d'électricité, charge électrique	coulomb	C		s A	TI
potentiel électrique, tension électrique, force électromotrice	volt	V	WA ⁻¹	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹	L ² MT ⁻³ I ⁻¹
capacité électrique	farad	F	CV ⁻¹	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²	L ⁻² M ⁻¹ T ⁴ I ²
résistance ohmique	ohm	Ω	VA ⁻¹	m ² kg s ⁻³ A ⁻²	L ² MT ⁻³ I ⁻²
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹	L ² MT ⁻² I ⁻¹
induction magnétique	tesla	T	Wb m ⁻²	kg s ⁻² A ⁻¹	MT ⁻² I ⁻¹
inductance	henry	H	Wb A ⁻¹	m ² kg s ⁻² A ⁻²	L ² MT ⁻² I ⁻²
activité d'un radionuclide	becquerel	Bq		s ⁻¹	T ⁻¹
dose absorbée	gray	Gy	J kg ⁻¹	m ² s ⁻²	L ² T ⁻²

COMMENT MESURER L'ÉNERGIE ?

L'énergie se présente sous plusieurs formes : nous utilisons de l'électricité pour obtenir de la lumière, pour cuisiner au gaz, pour conduire avec de l'essence et nous faisons quelquefois un feu avec du bois de chauffage. Si nous désirons savoir combien d'énergie nous utilisons, nous devons trouver un moyen de comparer toutes ces formes d'énergie. Donc, il faut connaître sa nature et ses caractéristiques.

Quelle est l'unité de mesure de l'énergie ?

Toutes les formes d'énergie ont en commun *la capacité* à accomplir un travail. Cette capacité à accomplir un travail peut être comparée à une situation pendant laquelle un travail est accompli, comme celui de soulever une certaine masse. C'est la raison pour laquelle l'énergie est mesurée en joules (J).

« *1 joule est la quantité d'énergie requise lorsqu'une force d'1 Newton est nécessaire sur une distance d'1 m* ». Et nous pouvons continuer comme cela : pour 2 m, 2 joules et pour une masse d'1 kg (1000 g) d'1 m, vous avez besoin de 10 joules.

Un joule ne correspond pas à beaucoup d'énergie, si bien qu'on parle normalement de kilojoules (1 kJ = 1000 J), ou mégajoules (1 MJ = 1.000.000 J). Toutes les formes d'énergie peuvent être exprimées en joules. Lorsqu'on consomme par exemple un litre d'essence, on libère 28 MJ d'énergie.

Pour être précis

La formule mathématique permettant de calculer combien d'énergie vous avez besoin pour soulever une masse est la suivante : *Énergie = Masse x Accélération de la Gravité x Hauteur*, ou $E = m \cdot g \cdot h$. Sur terre, g est égal à $9,8 \text{ m/s}^2$, si bien que pour soulever 100 g de masse (= 0,1 kg) à une hauteur d'1 m, vous avez besoin de $E = 0,1 \cdot 9,8 = 0,98$ joules, ce qui équivaut à 1 joule.

Exemple d'énergie dont à besoin notre corps.

La *nourriture* que nous absorbons nous est utile pour marcher, faire bouger nos muscles, grandir et à travailler.

Une banane contient environ 180 kJ et une tablette de chocolat au moins 1400 kJ. Le contenu en des aliments est indiqué sur la plupart des emballages alimentaires. Si on court vite pendant une minute, on utilise à peu près 150 kJ et si on fait du vélo pendant une minute, on utilise 50 kJ. Même en dormant, on dépense 4 kJ par minute. Donc, avec une seule tablette de chocolat, on peut courir pendant 10 minutes ou dormir 6 heures.

La calorie

On exprime souvent l'énergie nutritionnelle dans une unité différente appelée la *calorie*. Une calorie c'est l'énergie nécessaire à élever la température d'un gramme d'eau d'un degré Celsius. Une calorie équivaut à 4,19 joules. On utilise également la *kilocalorie* ou *kcal* : $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4190 \text{ joules}$.

La prise de nourriture pour un adulte se chiffre à environ 2300 kcal et à 2000 kcal pour une femme, mais cela dépend beaucoup de l'âge, du poids et de l'activité exercée.

Puissance

La **puissance** est la quantité d'énergie nécessaire au fonctionnement d'un procédé ou d'un système par unité de temps et est de ce fait mesurée en joules par seconde (J/s) que l'on nomme aussi Watt (W).

Exemple de puissance

- Une ampoule de 100 W, elle utilise 100 joules par seconde. Une ampoule électrique de 100 W utilise donc 6000 joules en une minute.
- La puissance est indiquée sur la plupart de nos appareils, les téléviseurs ou les fours à micro-ondes. Un four à micro-ondes utilise par exemple 1000W et un radio-réveil environ 10W.
- Quarante litres d'essence contiennent une quantité d'énergie de 500 kWh. Si ces 40 litres sont consommés en 5 heures par une voiture, la puissance développée par la voiture est de 100 kW (kilowatt). S'ils sont brûlés en 10 secondes, la puissance dégagée est alors de 180 000 KW.

Le cheval-vapeur

Le cheval-vapeur est toujours utilisé pour exprimer la force de combustion des moteurs. Un cheval-vapeur (1 ch) est égal à 746 watts. Il est intéressant de noter que cela correspond à environ 50 % de plus que le travail que pourrait fournir un cheval en une journée. Une voiture puissante peut de nos jours développer de 200 à 300 chevaux-vapeur, ce qui représente 150 kW !

Unités de puissance

1 watt = 1 joule = / seconde

1 kW = 1000 W

1 puissance cheval = 746 watts

La Tonne Equivalent Pétrole

La Tonne Equivalent Pétrole (tep) est une autre unité pour exprimer l'énergie. Cela équivaut à la chaleur contenue dans 1 tonne de pétrole brut et correspond à 41,868 mégajoules. On l'utilise souvent lorsqu'il s'agit de comparer différentes sources d'énergie comme le charbon, le pétrole, le gaz, le nucléaire etc...

Unité énergétique	Symbole	Quantité équivalente en joules
Kilojoule	kJ	1000 J (= 10^3 J)
Mégajoule	MJ	1.000.000 J (= 10^6 J)
Kilowatt-heure	kWh	3.600.000 J (= $3,6 \cdot 10^6$ J)
Tonne équivalent pétrole	toe	41,87 · 10 ⁶ J
Calorie	cal	4,190 J
Kilocalorie	kcal	4190 J

Exemple d'énergies fournies par certains combustibles.

Les valeurs énergétiques moyennes des principaux combustibles sont données dans le tableau 1 :

hydrogène	gaz naturel	propane	butane	charbon	fuel	essence	bois	uranium naturel
34 kW.h/kg	10 à 12 kW.h/m ³	26,7 kW.h/m ³	34,9 kW.h/m ³	7,2 kW.h/dm ³	11,6 kW.h/dm ³	12 kW.h/dm ³	2 à 4 kW.h/kg	116 000 kW.h/kg

Tableau 1

INTRODUCTION A LA THERMODYNAMIQUE

La thermodynamique (de *therme* chaleur et de *dynamis* mouvement) correspond à l'étude de la dynamique des systèmes thermomécaniques, c'est à dire à l'étude d'un système au cours de son évolution en fonction des échanges d'énergies mécaniques (travail) et thermiques (chaleur) avec le milieu extérieur au système.

Le concept d'énergie est parmi les plus importants et les plus utilisés en physique. On le retrouve dans toutes les branches de la physique. A ce sujet, des ouvrages traitant ce domaine ont été illustrés comme livre de mécanique de *Feynman*.

I. Pourquoi l'énergie est un concept si important ?

Parce que l'énergie obéit à une loi de conservation : "*L'énergie ne se crée pas, ne se perd pas : elle se transforme*". C'est le principe de la conservation de l'énergie. Lorsqu'un système n'a aucun échange avec le milieu extérieur, on admet que son énergie **reste constante** et on dit qu'il est **isolé**.

Dit autrement :

- Prenez un système, aussi compliqué que vous voulez, que vous isolez du reste du monde (vous pouvez par exemple le mettre dans un thermos)
- Calculez l'énergie de votre système et appelez-la E_1
- Laissez le système évoluer selon les désirs de la nature
- Attendez que tout se calme, et calculez à nouveau l'énergie de votre système. Appelez cette valeur E_2
- constatez que : $E_1 = E_2$!

La conservation de l'énergie d'un système isolé est la notion la plus importante pour les systèmes isolés.

Attention, il peut y avoir plusieurs pièges dans cette histoire. Assurez-vous que votre système est bien isolé. Si ce n'est pas le cas, il faut tenir compte des échanges avec l'extérieur (l'extérieur, c'est tout ce qui n'est pas le système). Dans ce cas, on peut écrire :

$$E_2 = E_1 + E_{\text{Entrante}} - E_{\text{Sortante}}$$

Les différentes formes d'énergie

Il existe plusieurs "formes" d'énergie. C'est la somme de toutes ces formes d'énergie qui se conserve dans un système isolé (pas chaque énergie indépendamment)

Exemples

Exemple a)

On a vu précédemment que l'énergie cinétique d'un objet de masse m :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Lancez un satellite dans l'espace, loin de toute étoile et de toute planète. Sa vitesse ne change pas avec le temps (voir théorie de Galilée). Son énergie est donc **conservée**.

Exemple b)

Revenons sur terre, si on lâche un objet (un gravier) de masse m (dans notre système). Au début de sa chute, la vitesse du système est nulle ($E_c = 0$). Mais lorsque cet objet arrive au sol, $v \neq 0$, $E_c \neq 0$. Donc, l'énergie **n'est pas conservée** !?

Faux ! C'est parce que notre système s'est doté d'une autre forme d'énergie appelée potentielle due à la présence du champ gravitationnel terrestre, de sorte que $E_c + E_p$ soit **conservée**.

Dit autrement, la variation de l'énergie cinétique est exactement compensée par une variation inverse de l'énergie potentielle.

L'énergie potentielle dans le champ gravitationnel de la terre s'écrit :

$$E_p = m g z$$

où : z est l'altitude.

g est l'accélération gravitationnelle à la surface de la terre

$$g \sim 9,8 \text{ ms}^{-2}$$

Vérification :

De la relation fondamentale de la dynamique, et en fixant les constantes d'intégration en donnant les conditions initiales $z(t = 0) = h$; $v(t = 0) = 0$ on déduit les relations (vérifiez que vous savez les retrouver) :

$$v(t) = -gt$$

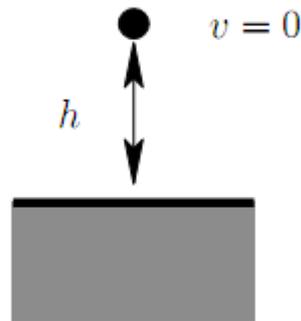
$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + h$$

$$v(z) = -\sqrt{2g(h - z)}$$

Lorsqu'on lâche le gravier :

$$E_c = \frac{1}{2}m \times 0^2 = 0$$

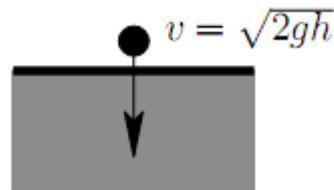
$$E_p = mgh$$



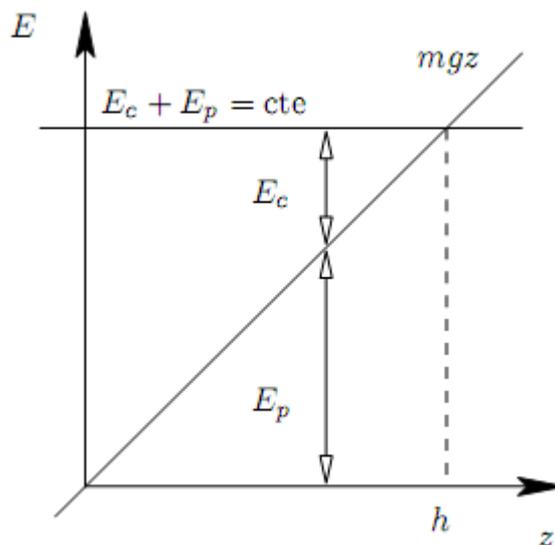
Lorsque le gravier arrive au sol :

$$E_c = \frac{1}{2}m \times 2gz = mgz$$

$$E_p = 0$$



On vérifie qu'on a bien conservation de l'énergie totale. On peut dire que lors du déplacement du gravier, l'énergie potentielle s'est transformée en énergie cinétique.



II. L'énergie potentielle et la force :

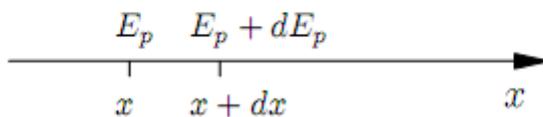
On va s'intéresser à l'énergie potentielle et à son lien avec la force.

Problème à une dimension

On considère un objet se déplaçant le long d'une droite (on décrit sa position par une coordonnée x), soumis à une force $F(x)$. On va définir l'énergie potentielle par la règle suivante :

Lorsqu'un objet se trouve en x , et qu'on le déplace de dx (dx est très petit, infinitésimal), l'énergie potentielle varie de :

$$dE_p = -F(x)dx \quad (*)$$



L'expression (*) Quand on se déplace très peu, l'énergie varie linéairement avec le déplacement, c'est à dire qu'on peut approximer notre énergie potentielle par une droite au voisinage d'un point.

III. Le travail

Lorsqu'on s'intéresse à des forces non-conservatives, on introduit le concept de travail, qui est le petit frère de l'énergie potentielle (comparez l'encadré qui suit à celui qui précède)

Lorsqu'on se déplace de dx (petit, infinitésimal), le travail de la force F est (notez le signe!) :

$$\delta W = F dx$$

Pour un déplacement fini,

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B F dx$$

L'énergie potentielle n'existe que pour les forces conservatives. En revanche, on peut calculer le travail aussi bien pour une force conservative que pour une force non-conservative. Remarquez que pour une force conservative, le travail prend une forme particulièrement simple :

$$W_{A \rightarrow B} = E_p(A) - E_p(B)$$

Dans le cas général :

$$W_{A \rightarrow B} = E_m(B) - E_m(A)$$

où $W_{A \rightarrow B}$ est le travail des forces non-conservatives F_{NC} et $E_m = E_c + E_p$, avec E_p l'énergie potentielle des forces conservatives F_C .

IV. La chaleur

1. Introduction

Partons d'une observation expérimentale. Quand on met en contact 2 objets à des températures différentes, que l'on isole du reste du monde, leurs températures tendent s'équilibrer. Aujourd'hui, on comprend ce phénomène en disant que :

- a. A cause de la différence de température, il y a un transfert d'énergie de la source chaude vers la source froide ;
- b. (la perte ou le gain) d'énergie s'accompagne d'une (baisse ou hausse) de la température.

La chaleur, c'est une quantité d'énergie qui passe d'un système à un autre à cause de la différence de température entre ces systèmes

2. Transport de la chaleur

il existe trois modalités du transport de la chaleur :

a. La conduction

Transfert d'énergie sans mouvement de matière (dans les solides, les fluides avec un petit gradient de température).

Comment modéliser le flux de chaleur par conduction à travers une surface ?

Intuitivement, on sent bien que, plus la surface est grande, plus le transfert d'énergie sera important (Quand il fait froid, on se replie naturellement, pour réduire notre surface, et donc nos pertes d'énergie). On peut aussi se convaincre que plus la différence de température est grande, plus le flux d'énergie est important.

b. La convection

Apparaît dans les fluides avec un fort gradient de température. Des mouvements de matière se mettent en place, ce qui augmente les échanges de chaleur. La convection joue un rôle fondamental dans la création des nuages par exemple.

c. Le rayonnement

Comment expliquer le transfert d'énergie du soleil vers la terre ? Puisque l'univers est essentiellement vide, on ne peut invoquer ni la conduction ni la convection. Le transfert d'énergie se fait sous forme de rayonnement électromagnétique.

Typiquement, un corps à température T émet de l'énergie sous forme de rayonnement avec une puissance $\propto T^4$. Si l'on met en regard deux corps à des températures différentes, le corps chaud émet du rayonnement, qui est en partie absorbé par le corps froid, ce qui le réchauffe. N'oubliez pas que le corps froid émet également du rayonnement, qui chauffe le corps chaud... Mais du fait que la puissance émise augmente avec la température, l'énergie qui va du corps chaud vers le corps froid est plus grande que celle qui va du corps froid vers le corps chaud. Donc globalement, le rayonnement tend à réduire la différence de température.

LES ENERGIES NON RENOUVELABLES ET RENOUVELABLES

INTRODUCTION

Aujourd'hui, l'utilisation massive des énergies fossiles et fissiles reste un épiphénomène à l'échelle de l'histoire humaine ; elle apparaît à travers deux petits pics, l'un au cours du 19^{ème} siècle avec le charbon, et la découverte des machines à vapeur, l'autre au 20^{ème} siècle avec le pétrole, le gaz et le nucléaire. Sur la base des consommations actuelles et des taux de croissance, l'Agence Internationale des Energies [A.I.E], a prédit la date prévisible de l'extinction des ressources stock :

- 2030 pour le pétrole,
- 2050 pour le gaz,
- 2080 pour le nucléaire classique
- et 2200 pour le charbon.

Or, pour servir les besoins des nations pauvres qui représentent plus des deux tiers de la population, le monde a besoin de se forger une nouvelle stratégie énergétique, qui pour respecter l'environnement global, devra d'abord reposer sur la sobriété et l'efficacité énergétique et inéluctablement utiliser les ressources renouvelables.

Sachant très bien que l'origine de ces énergies renouvelables est dérivée de l'énergie Solaire. Ainsi le vent, le rayonnement solaire et la force produite par l'écoulement de l'eau sont des produits directs ou indirects de l'activité solaire.

LE MONDE ET L'ENERGIE

Bien avant, la Terre fut créée il y a environ 4.6 milliards d'années et l'Homme, il y a 100 000 années. Et depuis, l'homme n'a cessé de vouloir s'améliorer et développer son mode de vie. Il a commencé par se sécuriser en développant des abris pour se protéger et inventer des outils pour se défendre et se réchauffer tels que les armes, le feu et les peaux pour se vêtir.

Pour ces ressources d'énergies, le bois fut le premier matériau et le charbon viendra après. Ce n'est qu'en 1870, que *J D Rockefeller* a commencé l'exploitation industrielle du pétrole et depuis, les besoins énergétiques n'ont cessés d'augmenter.

L'augmentation croissante de la population mondiale et l'explosion du développement industriel des pays industrialisés débouche sur une augmentation croissante des besoins énergétiques. A l'échelon mondial, la production actuelle en énergie est essentiellement basée sur des ressources dites "non renouvelables" telles que le pétrole, le gaz naturel, le charbon ou encore l'uranium. Une fois ces ressources épuisées, l'homme sera condamné à trouver d'autres alternatives pour produire cette énergie dont il s'est rendu dépendant (voir ci-dessous figure 1).

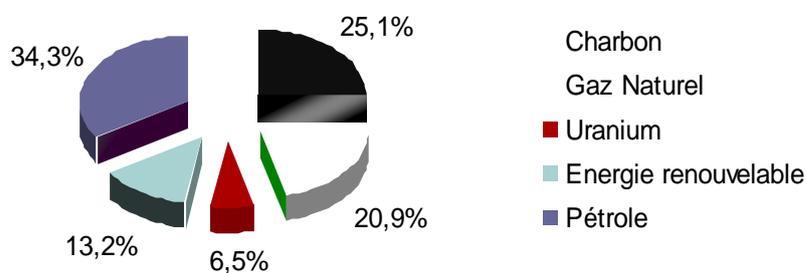


Figure 1 : Répartition mondiale de la consommation d'énergie en 2004.

Cette figure répartit la consommation mondiale selon les types d'énergie, dont l'énergie renouvelable présente à peine 13.2% de la consommation mondiale en énergie.

LES ENERGIES NON RENOUVELABLES ET LA SITUATION MONDIALE

Stocks et prévisions énergétiques mondiaux

Par la suite, une perspective de la consommation énergétique mondiale des ressources non renouvelables estimée jusqu'à l'an 2030, montre que le pétrole reste le leader des ressources énergétiques et cela tant que la Terre puisera de ces réserves (jusqu'à quand ?) (Voir ci-dessous figure 2).

Ainsi donc, la majorité des prévisionnistes et spécialistes prévoit une consommation double de l'énergie consommée actuellement d'ici l'année 2030, voir même tripler à l'horizon de 2050.

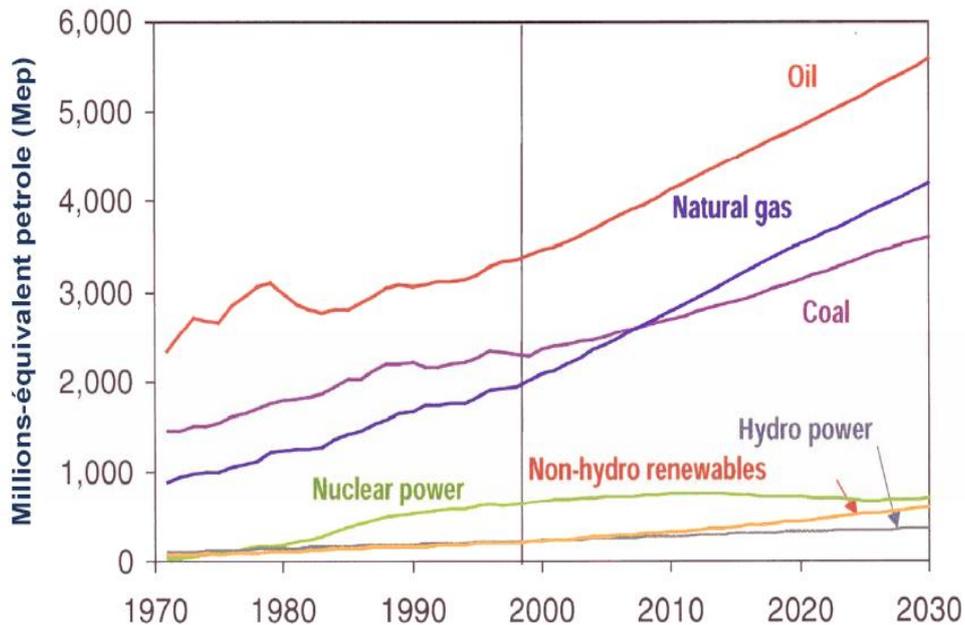


Figure 2 : *Perspective de la demande mondiale en énergie non renouvelable.*

Réchauffement climatique

Certains gaz contribuent au réchauffement de l'atmosphère par absorption du rayonnement émanant de la surface de la terre, et renvoi de ce rayonnement dans l'espace sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde. La partie de ce rayonnement qui est réémise vers l'atmosphère et vers la surface de la terre est dénommée « l'effet de serre », en raison de son effet de réchauffement. Les principaux gaz à effet de serre (GES) sont : la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'ozone (O₃), et, entre autres, le protoxyde d'azote (N₂O). Ce processus de réchauffement est naturel et indispensable à la conservation de l'écosystème terrestre.

Toutefois, la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone, le principal gaz à effet de serre (anthropique), a augmenté de 34 % comparé aux valeurs de l'époque préindustrielle en raison des activités humaines, avec une accélération de cette augmentation depuis 1950. Les concentrations d'autres gaz à effet de serre ont également augmenté par suite des activités humaines. Les principales sources de cette augmentation sont le CO₂ et les oxydes d'azote provenant de la combustion de combustibles fossiles dans l'industrie (incluant la production d'électricité), les activités des ménages et

le transport. (Il existe d'autres sources, notamment le changement d'utilisation des terres et l'agriculture qui libèrent du CO₂ et du CH₄, ainsi que certains procédés et utilisations spécifiques produisant l'émission d'autres gaz à effet de serre anthropiques). (Voir figure 3 ci-dessous)

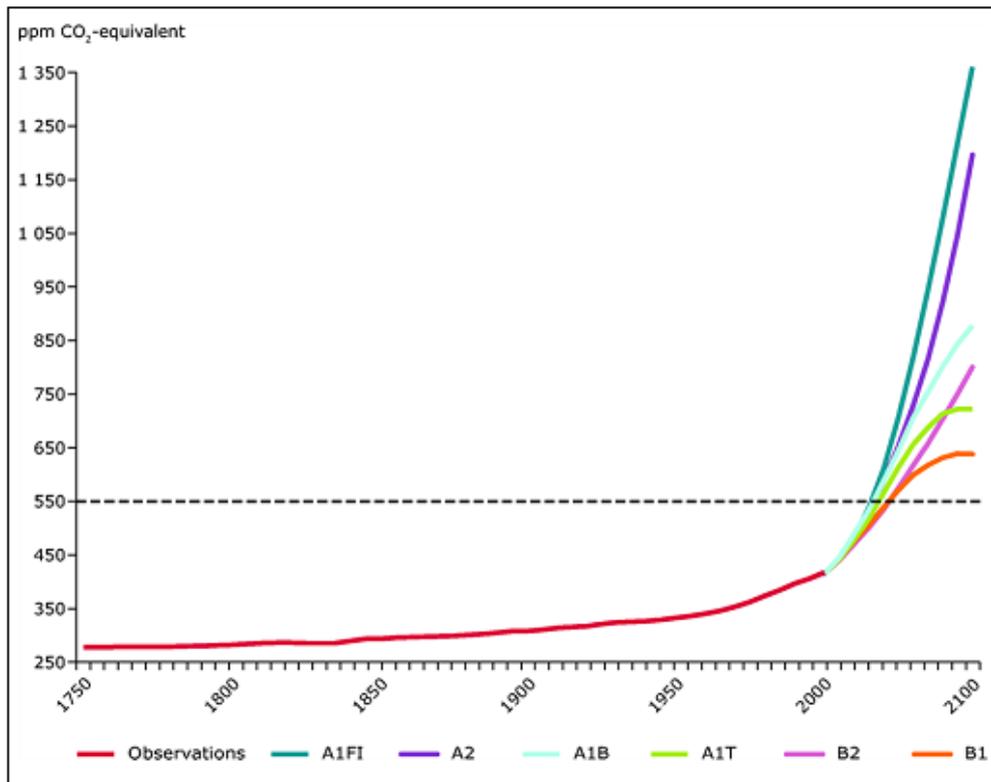


Figure 3 : Augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis 1750 exprimée en ppm d'équivalent CO₂ selon divers scénarios

DEFIS DE L'ENERGIE

L'enseignement de la thématique « le défi énergétique » s'inscrit dans cette démarche éducative ; il vise à impulser la réflexion sur les enjeux sociétaux et les choix stratégiques à prendre en considération par les gouvernements en matière d'énergie, afin que les sociétés bénéficient d'un développement dit « durable » au service des générations présentes et futures.

EFFICACITE ENERGETIQUE

De manière générale, l'efficacité énergétique ou efficience énergétique désigne l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d'énergie est minimisée pour un service

rendu identique. C'est un cas particulier de la notion d'efficacité. Depuis quelques années on lui associe souvent le concept d'énergie intelligente ou de réseau intelligent.

L'efficacité énergétique s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations, qui passe par la recherche de la moindre intensité énergétique (à service égal), une « utilisation rationnelle de l'énergie », des processus et outils plus efficaces. Le volet économies d'énergie cherche à réduire les gaspillages et les consommations inutiles. C'est donc aussi un élément important de la performance environnementale. Dans certains cas l'économie d'énergie peut même améliorer la qualité de service.

En Europe, une directive de 2006 la définit comme : « *le rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet* » ; La mesure de l'efficacité énergétique suppose des indicateurs pertinents et complets de consommation directe et indirecte d'énergie ; En pratique, il est parfois difficile de mesurer si le service rendu est ou non identique.

L'efficacité énergétique vise aussi à réduire les coûts (directs et indirects) écologiques, économiques et sociaux induits par la production, le transport et à la consommation d'énergie. Elle contribue à réduire l'empreinte écologique (en diminuant l'empreinte énergétique et parfois l'empreinte carbone). Elle augmente la sécurité énergétique, et l'adaptation au changement climatique et de la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, de la transition écologique et plus encore de la transition énergétique.

SECURITE ENERGETIQUE

La notion de sécurité énergétique est traditionnellement invoquée pour désigner trois types distincts de préoccupations :

☞ **Le premier** concerne l'ensemble des questions liées à la garantie l'approvisionnement en énergie. Tout Etat, qu'il possède ou non des ressources d'énergies fossiles, un parc nucléaire, des capacités hydroélectriques ou encore en matière d'énergies renouvelables, se trouve confronté à la nécessité d'assurer de façon stable et continue son approvisionnement en hydrocarbures et en électricité. Tous se révèlent donc dépendants de l'extérieur – bien que dans des proportions très variables – que cela soit en termes d'importations d'énergies primaires ou finales. La stabilité des prix et le rendement économique sont ici compris comme variables dépendantes de la sécurité d'approvisionnement.

☞ **Le deuxième** rassemble les questions touchant à la sécurité environnementale, à la protection de l'atmosphère, à la préservation des biotopes, à la lutte contre le changement climatique. Est ici concerné la pollution émanant à la fois de la consommation d'énergie mais également de ses conditions d'exploitation, de production, de transformation et de transport. Comment limiter les émissions de gaz à effet de serre ? Quelles normes de sécurité appliquer aux programmes nucléaires

civils ? Quel impact la mise en place d'immenses programmes hydroélectriques peut-il avoir sur l'environnement ? Tels sont les exemples de questions susceptibles d'être soulevées dans ce cadre.

☞ **Le troisième** type regroupe l'ensemble des préoccupations liées à l'efficacité énergétique. Celle-ci consiste à réduire les consommations d'énergie et à diminuer, à niveau de productivité égal, les coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. La Commission européenne résuma parfaitement cette notion dans le titre de son Livre Vert sur l'efficacité énergétique : « Comment consommer mieux avec moins ? » 4. La course technologique et aux investissements qu'elle implique tend à concilier les deux impératifs contenus dans les deux pôles précédents. Plutôt que de voir se développer un dilemme qui forcerait les acteurs à choisir entre développement économique et protection de l'environnement, la notion d'efficacité énergétique souligne le fait qu'à moyen terme, coût économique et environnemental seront inévitablement indissociables du fait d'une part de la raréfaction annoncées des réserves d'hydrocarbures et, d'autre part, du stress environnemental croissant causé par une consommation intensive d'énergies polluantes.

La sécurité énergétique recouvre donc deux types de préoccupations complémentaires et non antinomiques que sont la sécurité d'approvisionnement et la sécurité environnementale. Elles constituent avec les questions touchant à l'efficacité énergétique les trois pôles indissociables d'un même ensemble et ne peuvent être envisagés l'un sans les autres. Toute augmentation du prix des importations de matières énergétiques entraînera un regain d'attention pour les programmes destinés à augmenter l'efficacité énergétique du pays ainsi que pour le développement d'énergies alternatives renouvelables. Tout stress écologique aura un impact sur les choix opérés par les collectivités en matière d'énergie, choix qui pourront déboucher sur des modifications de leurs voies et modes d'approvisionnement.

LES ENERGIES RENOUVELABLES ET LA SITUATION MONDIALE

Introduction

Les énergies renouvelables sont celles qui sont presque inépuisables. Elles dépendent d'éléments que la nature renouvelle en permanence : le vent, le soleil, le bois, l'eau, la chaleur de la Terre. Mais certaines peuvent disparaître aussi si on ne les protège pas. Elles ont largement contribué au développement de l'humanité : moulins à eau, moulins à vent, feu de bois, traction animale, bateaux à voile.

Les grandes familles d'énergies renouvelables

☞ **Le soleil** nous éclaire, nous réchauffe et est indispensable au développement de tous les êtres vivants. Grâce à lui les plantes libèrent l'oxygène qui nous permet de respirer. On sait utiliser la chaleur du soleil pour créer de l'électricité (énergie solaire photovoltaïque) et de la chaleur (énergie solaire thermique).

☞ Quand **le vent** se met à souffler on sent bien sa force ! Les oiseaux et les bateaux à voile se servent de l'énergie qu'il libère pour se déplacer. Il permet aussi de faire tourner les ailes des moulins à vent pour pomper de l'eau ou moulin du grain. On utilise la force du vent pour faire tourner des éoliennes ou aérogénérateurs qui produisent de l'électricité (énergie éolienne).

☞ **L'eau**, comme le soleil, est indispensable à la vie. Depuis plus de 2000 ans on sait utiliser la force créée par les courants des rivières ou des chutes d'eau pour faire tourner la roue d'un moulin à eau. Aujourd'hui on utilise cette force pour faire tourner des turbines qui produisent de l'électricité dans les usines marémotrices et les barrages.

☞ Les matières organiques végétales ou animales sont utilisées pour produire de la chaleur. On appelle cette énergie **la biomasse**. C'est la 2ème source d'énergie de notre planète. La combustion du bois est la plus ancienne des utilisations de cette énergie : dès la préhistoire les hommes ont appris à utiliser le feu pour s'éclairer, se chauffer et cuire les aliments.

☞ **Les déchets** ménagers possèdent des éléments biodégradables susceptibles de polluer l'environnement. Par la méthanisation ils peuvent être transformés en biogaz. Ce phénomène biologique, qui permet de transformer la matière organique grâce à des bactéries vivant en absence d'oxygène, était jusqu'alors employé pour le traitement des égouts ou dans l'industrie agro-alimentaire.

☞ La chaleur de la Terre est aussi une énergie qu'on peut utiliser. Au centre de la Terre, la chaleur est tellement importante et la pression est si forte que les roches sont en fusion. On appelle cette matière le magma. On se sert de la vapeur ou de l'eau capturée entre les roches et chauffée par la chaleur de la Terre pour produire de l'électricité et du chauffage. Cette énergie est appelée **géothermie**.

L'exploitation des Energie Renouvelables

L'énergie représente une seule et même grandeur physique avec des caractéristiques très diverses. Aussi le choix d'une forme d'énergie renouvelable dépendra du but poursuivi (production d'électricité, de chaleur, de carburant,...) et des différentes ressources d'un site.

De la source d'énergie renouvelable à son utilisation par l'homme, plusieurs mécanismes de transformation vont intervenir suivant le principe de la chaîne énergétique :

- **Le captage**, dispositif qui permet à récupérer l'énergie de la source sous une forme exploitable ;
- **La transformation** permet de produire le type d'énergie attendue (électricité, chaleur, ...). Cette étape n'est pas réalisée dans le cas d'une utilisation directe de l'énergie captée (pompes à chaleur, moulins à vent mécaniques) ;
- **Le transport** qui achemine l'énergie de la source à l'usage, le dispositif de production n'étant pas toujours situé à proximité ;
- **Le stockage** qui permet de compenser les fluctuations de la production, car l'énergie produite n'est pas disponible à la demande ; L'objectif visé est toujours de répondre à la demande des usagers.

Les formes d'énergies renouvelables

Parmi les énergies renouvelables existantes :

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique
- La biomasse et les déchets
- La géothermie