

MENS :
une vision incisive
et éducative sur
l'environnement

Approche
didactique
et scientifique

35

Avr-Mai-Juin 07

MENS

Revue scientifique populaire trimestrielle

De l'énergie à foison

Milieu-
Education,
Nature &
Société

 Universiteit
Antwerpen

Loterie Nationale
créateur de chances 

Table des matières

Énergie	3
Photosynthèse et respiration	4
Electricité	6
Comment l'électricité est-elle produite ?	7
Sources d'énergie durables et limitées	8
Combustibles fossiles	8
L'effet de serre	13
Et ensuite?	14
Ne restons pas sans rien faire	15
Conclusion	15

Avant-propos

L'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone, le CO₂, dans l'atmosphère est une terrible réalité qui entraîne un changement climatique au niveau mondial. Le CO₂ et les autres « gaz à effet de serre » empêchent une partie de la chaleur de la terre de remonter vers « l'univers ». La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre dominant dans cet équilibre thermique, mais le CO₂ le méthane CH₄, les oxydes d'azote NO_x et une dizaine d'autres gaz dans l'atmosphère y jouent également un rôle.

La production énergétique humaine, obtenue en brûlant des composants du carbone (charbon, gaz, pétrole, plante, excréments,...) est responsable pour moitié environ de cette augmentation du CO₂, qui doit donc être freinée par une consommation d'énergie plus économe et par le recours à d'autres sources d'énergie. Une combustion et une consommation plus efficaces de l'énergie solaire et éolienne, de l'énergie nucléaire, les centrales marémotrices et hydrauliques, l'énergie géothermique, le recyclage du CO₂ par les combustibles « biologiques » ne sont que quelques-unes des possibilités.

Que nous apportera l'avenir ? Qui assumera la responsabilité ? Les découvertes scientifiques sont grossières ou minimisées, les écoles et les clans foisonnent, les convictions sont élevées au rang de vérités absolues.

Il y a donc lieu de relativiser, ponctuellement, et avec mesure. Pauvreté, sécheresse, sous-développement, oppression, abus des pouvoirs politiques, économiques et religieux, échec de la politique sanitaire,... sont des problèmes mondiaux tout aussi permanents et inquiétants.

Le besoin en énergie et la production d'énergie constituent l'une des pierres angulaires de l'impact **écologique** humain au niveau mondial. Car dans sa forme la plus simple, on peut admettre que cet impact est proportionnel au nombre de **personnes** (démographie), mais également au carré de la **consommation** d'énergie de ces personnes. En effet : le besoin augmente plus que linéairement avec le « développement » industriel. Ce qui nous permet d'affirmer, avec un petit clin d'œil à la célèbre formule, que

$$e = mc^2$$

e étant l'impact écologique, m le nombre d'humains et c la consommation d'énergie

Il nous semble que la politique énergétique dans le monde industrialisé doit promouvoir en priorité une utilisation plus économe et plus efficace de l'énergie. La diversification des sources d'énergie est prudente et pourrait devenir plus économe en CO₂.

La production d'énergie hautement technologique et son transport, au rendement économique accru (surtout l'énergie solaire et éolienne dans nos contrées) et les solutions pour l'entreposage de l'énergie et sa production modulée en cas de hausse soudaine de la demande, resteront encore longtemps des domaines de recherche actuels.

La culpabilité historique de l'impact écologique mondial actuel de la production énergétique restera un sujet délicat dans tous les débats futurs concernant l'énergie et le climat.

La façon dont les besoins mondiaux en énergie vont évoluer est évidente, quand on sait que 75% de la population mondiale souhaiteront, à juste titre, quadrupler leur consommation d'énergie. Faisons-nous en sorte que la technologie la plus économe et la plus moderne soit à disposition de nos semblables ?

Oscar L. J. Vanderborght
Professeur émérite UA, président du Provinciale Milieu- en Natuurraad Antwerpen (PMiNa).

Bio-
MENS

© Tous droits réservés Bio-MENS 2007

'MENS' est une édition de l'asbl Bio-MENS
A la lumière du modèle de société actuel,
elle perçoit une éducation scientifique
objective comme un de ses objectifs de base.

www.magazinemens.eu

Coördination :

Prof. Dr. Roland Caubergs
roland.caubergs@ua.ac.be

Rédacteur en chef et rédaction finale :

Dr. Geert Potters
mens@ua.ac.be

Rédaction centrale :

Lic. Karel Bruggemans
Prof. Dr. Roland Caubergs
Dr. Guido François
Lic. Liesbeth Hens
Lic. Lieve Maeseele
Lic. Els Grieten
Lic. Chris Thoen
Dr. Sonja De Nollin

Infos, abonnements, promotions et relations extérieures :

Corry De Buysscher
Te Boelaarlei 23, 2140 Antwerpen
Tél.: 03 312 56 56 – Fax: 03 309 9559
Corry.mens@telenet.be

Abonnement:

€18 sur le numéro de compte 777-5921345-56
Abonnement éducatif: €10
Ou numéros distincts: €3,15
(moyennant la mention du numéro d'établissement)

Topic and fund raising :

Dr. Sonja De Nollin
Tél.: 0495 23 99 45 – Fax 03 609 52 37
sonja.denollin@ua.ac.be

Editeur responsable :

Prof. Dr. Roland Valcke
roland.valcke@uhasselt.be

Solvay et Solvin soutiennent l'information scientifique indépendante, ainsi que le périodique MENS, pour guider les jeunes de manière nuancée au travers des questions scientifiques et sociétales complexes.



Couverture: Soleil et terre, Photo NASA

De l'énergie à foison

Ce dossier a été réalisé par

Dr Guido François, UER Epidémiologie et Médecine sociale, Universiteit Antwerpen
avec la collaboration de

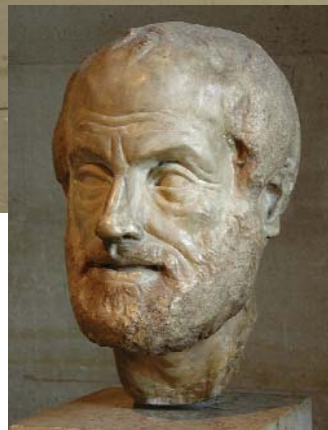
Dr. Geert Potters, Universiteit Antwerpen

Prof Dr. Em. Oscar vanderborght, Professeur émérite UA,
président du Provinciale Milieu- en Natuurraad Antwerpen (PMiNa).

Prof Dr. Ir. Jan Kretschmar, VITO

Dr. Ir. Raf Dewil, UA

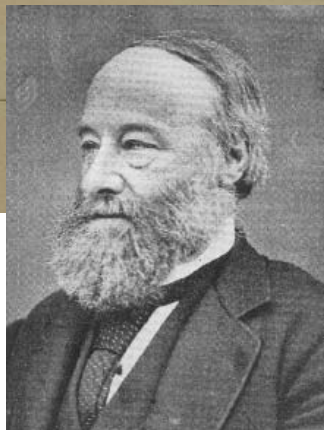
Xavier Vankesteren, Solvin



Aristote (384-322 av. J.-C.)
Musée du Louvre, Paris.



Isaac Newton en 1702, par
Godfrey Kneller. National Gallery



James Prescott Joule



Statue de James Watt
(1736-1819)

Énergie

Qu'est-ce que l'énergie ?

Énergie est un mot que nous utilisons presque quotidiennement sans y penser. D'ailleurs, pourquoi le ferions-nous ? C'est un mot fréquemment employé, comme en témoignent diverses expressions. Des exemples ? 'Elle déborde d'énergie – Dépourvu d'énergie, il se traînait vers son travail.' Tout le monde comprend ce que cela veut dire et personne n'a besoin de définition.

Mais il n'en va pas de même quand on envisage l'énergie d'un point de vue un peu plus scientifique. Une description correcte est alors indispensable. Dans le sens le plus simple, l'énergie est la capacité à effectuer un *travail*. Ce qui pourrait se traduire par : 'J'ai beaucoup d'énergie et je peux donc travailler très dur'. L'énergie a divers sens techniques également : énergie éolienne ou énergie nucléaire, par exemple, qui font tourner des machines ou fonctionner des appareils, ce qui est également une forme de travail. L'énergie est un concept de base dans la *thermodynamique*, comme l'explique en détail l'**encadré 1** sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu).

Le mot énergie est d'origine grecque. La signification originale de 'energeia' est 'activité' ou 'fonctionnement'. Aristote l'utilisait dans le sens de 'expressivité'. Par la langue grecque, le mot

est arrivé dans les autres langues occidentales. Ce n'est que quelques siècles plus tard qu'il a revêtu sa signification moderne. Dans ce numéro de MENS, nous allons aborder le concept dans son acception concrète, mesurable.

L'énergie en chiffres

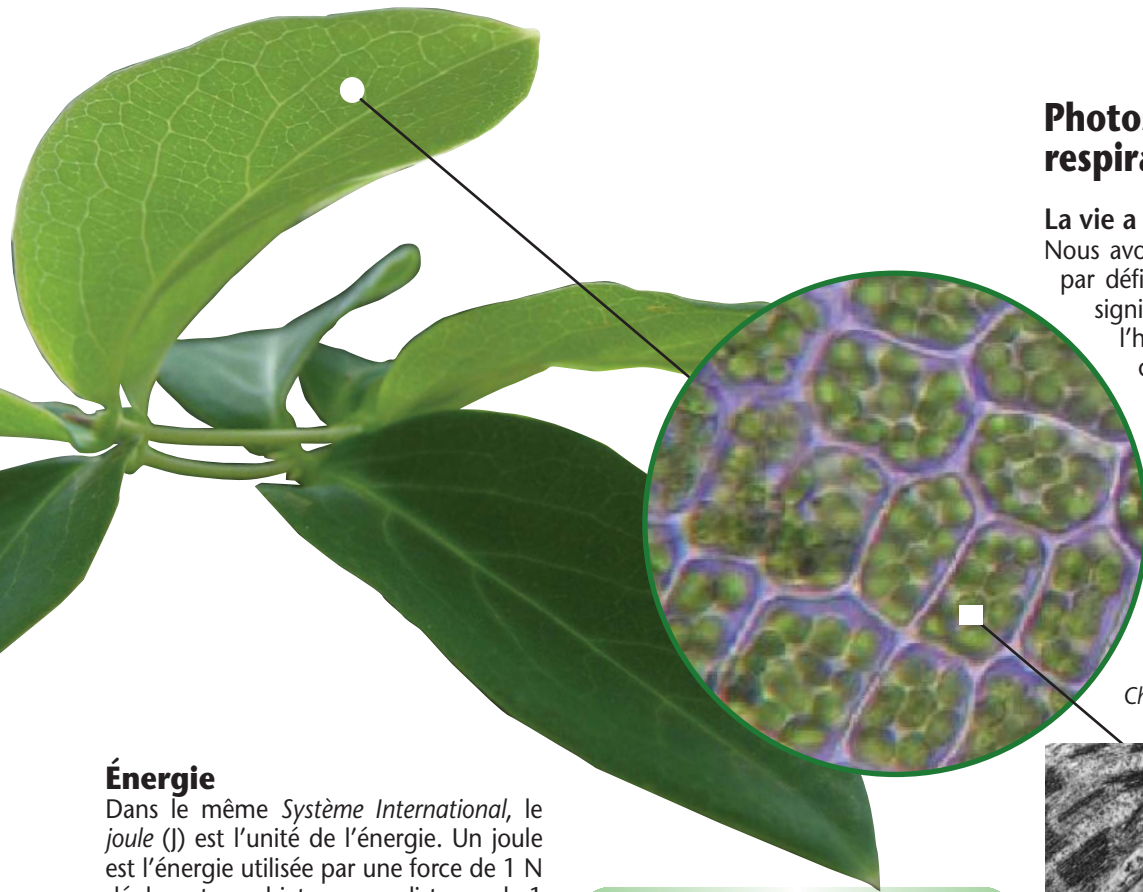
Force

Pour pouvoir exprimer le concept d'énergie en termes quantitatifs, il faut une unité explicite. Comme l'énergie est en rapport direct avec la réalisation d'un travail, et donc avec la force, il faut également disposer d'une unité de force.

Dans le *Système International* (SI) généralement accepté, le newton (N) est l'unité de la force. Également dénommé système MKS, le SI utilise comme unités de base le mètre (m), le kilogramme (kg) et la seconde (s). Le newton y est défini comme la force nécessaire pour donner à une masse d'1 kilogramme une accélération d'1 ms⁻². Ou, exprimé formellement:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ ms}^{-2} = 1 \text{ kgms}^{-2}$$

Le newton porte le nom de Sir Isaac Newton (1643-1727), grand physicien anglais qui a formulé la Loi de la gravité pour la toute première fois.

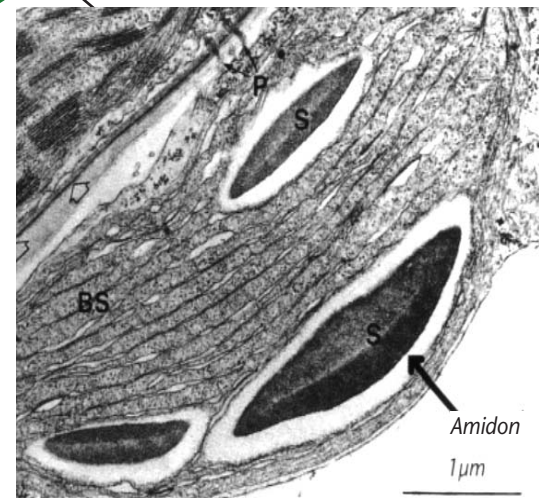


Photosynthèse et respiration

La vie a besoin d'énergie

Nous avons besoin d'énergie pour tout, par définition. Mais qu'est-ce que cela signifie concrètement ? Prenons l'homme, ou mieux encore, tout ce qui vit. La vie en soi a besoin d'énergie, car la vie implique une croissance, du mouvement, un métabolisme et la reproduction, des processus qui s'arrêteraient sans un apport constant d'énergie.

Chloroplastes dans des cellules de feuilles



Énergie

Dans le même *Système International*, le *joule* (J) est l'unité de l'énergie. Un joule est l'énergie utilisée par une force de 1 N déplaçant un objet sur une distance de 1 m dans le sens de la force. Formellement:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ kgms}^{-2} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ kgm}^2\text{s}^{-2}$$

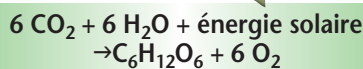
Le joule porte le nom de James Prescott Joule (1818-1889), qui a réalisé notamment des expériences thermodynamiques.

Outre le joule, il existe encore d'autres unités d'énergie, qui ne font pas partie du système SI et peuvent être considérées comme plus ou moins obsolètes.

Certaines sont pourtant encore très connues : la calorie (cal) par exemple, s'utilise encore pour indiquer la valeur énergétique des aliments. Il n'y a pas si longtemps, les emballages présentaient encore des chiffres avec un facteur 1000 à côté. Le terme calorie était utilisé dans bien des cas pour désigner la kilocalorie (kcal), qui est égale à 1000 calories. La meilleure unité pour indiquer la valeur nutritive d'une tranche de fromage est le kilojoule ou kJ, soit 1000 J.

Travail

Il y a une certaine équivalence entre *travail* et *énergie*, car l'énergie, dans l'acception physique du terme, est la quantité de travail nécessaire pour passer d'une situation de base à la situation actuelle. On peut donc en conclure que le travail et l'énergie peuvent s'exprimer avec les mêmes unités. Dans les deux cas, l'unité SI est le joule.



Puissance

Le travail ou l'énergie (pouvant être) livré(e) par unité de temps s'appelle la puissance, son unité est le watt, égal à 1 joule par seconde, ou

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Js}^{-1}$$

Pour des raisons pratiques, on peut également raisonner dans l'autre sens et exprimer le travail ou l'énergie en partant de la puissance. Là où 1 W est égal à 1 Js⁻¹, alors

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

ou, en langage humain: 1 joule est égal à 1 wattseconde. C'est le travail réalisé ou l'énergie fournie par une source de 1 watt pendant 1 seconde. Mais il s'agit-là d'une unité très petite qui, bien que correcte, n'est pas très pratique. Une unité plus grande, comme le *kilowattheure* (kWh), convient mieux pour exprimer l'approvisionnement en électricité d'une famille, par exemple. Le kilowattheure est l'énergie livrée par une source de 1 kW (1 kilowatt ou 1000 watts) pendant 1 heure (h). Le kWh est une unité très pratique, mais la seule unité SI officielle est le joule. La formule est la suivante:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.600.000 \text{ J}$$

Mais d'où provient cette énergie ? De notre alimentation, répondront beaucoup de personnes. Et elles auront raison. Mais cette réponse suscite immédiatement une nouvelle question : comment cette énergie arrive-t-elle dans l'alimentation ? Y a-t-il une réponse ? Absolument.

Toute vie sur terre dépend du soleil, dit-on parfois. Est-ce vrai, ou est-ce seulement une façon de parler ? Parce que le soleil peut, dans le meilleur des cas, nous offrir une agréable sensation de chaleur ? Non, c'est la vérité : c'est l'énergie du soleil qui fait battre notre cœur et qui nous permet de monter l'escalier. Nous allons expliquer schématiquement comment tout cela est possible.

La photosynthèse

Chlorophylle

L'histoire commence dans le monde des plantes, que l'on considère souvent comme étant inférieures aux animaux, mais

c'est une erreur de taille. Les plantes possèdent un mécanisme unique, capable de capter directement l'énergie du soleil et d'en faire un usage utile. Ce processus s'appelle la photosynthèse et est extrêmement efficace en termes d'énergie.

Contrairement aux plantes, les animaux n'ont pas cette capacité. En fait, il vaudrait mieux parler d'organismes ayant de la chlorophylle dans leurs cellules et d'organismes ne possédant pas cette substance. Vous avez le camp des plantes, avec les plantes supérieures – ce sont les plantes qui nous sont les plus familières – et les plantes inférieures, comme les mousses, les fougères et les algues. Dans le même camp se situent également les organismes unicellulaires et les bactéries qui possèdent de la chlorophylle. Dans l'autre camp se situent tous les animaux supérieurs et inférieurs, avec les organismes unicellulaires et les bactéries sans chlorophylle.

Energie solaire

La chlorophylle fonctionne comme une antenne ou un photorécepteur pour la lumière solaire. La chlorophylle se trouve par exemple dans les cellules de la feuille d'une plante supérieure, où elle est bien organisée, dans les chloroplastes, dans lesquels s'opère la photosynthèse, une chaîne complexe de réactions biochimiques alimentées par l'énergie solaire. Les composants de base de ces réactions sont assez simples: il ne leur faut que le dioxyde de carbone (CO_2) de l'air et l'eau (H_2O) du sol. Le CO_2 entre dans la feuille via les pores, tandis que l'eau est aspirée par les racines, et puis transportée vers la feuille.

De l'énergie solaire à l'énergie chimique

Pendant la photosynthèse, les petites molécules inorganiques (CO_2 et H_2O) forment une grande molécule organique (glucose ou dextrose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). On peut dire que l'énergie solaire qui leur a été fournie sous forme de lumière, a été stockée sous forme chimique en glucose. Les êtres vivants qui possèdent de la chlorophylle ont atteint quelque chose d'extraordinaire. L'oxygène (O_2) qui résulte de cette réaction globale, en guise de produit fini, est considéré, aussi étrangement que cela puisse paraître, comme une sorte de déchet. La suite des réactions ne concerne en effet que le glucose.

Organismes autotrophes et hétérotrophes

Les plantes – et les animaux – qui ont stocké l'énergie sous une autre forme, doivent pouvoir utiliser cette énergie

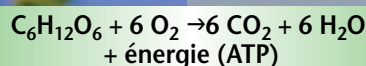
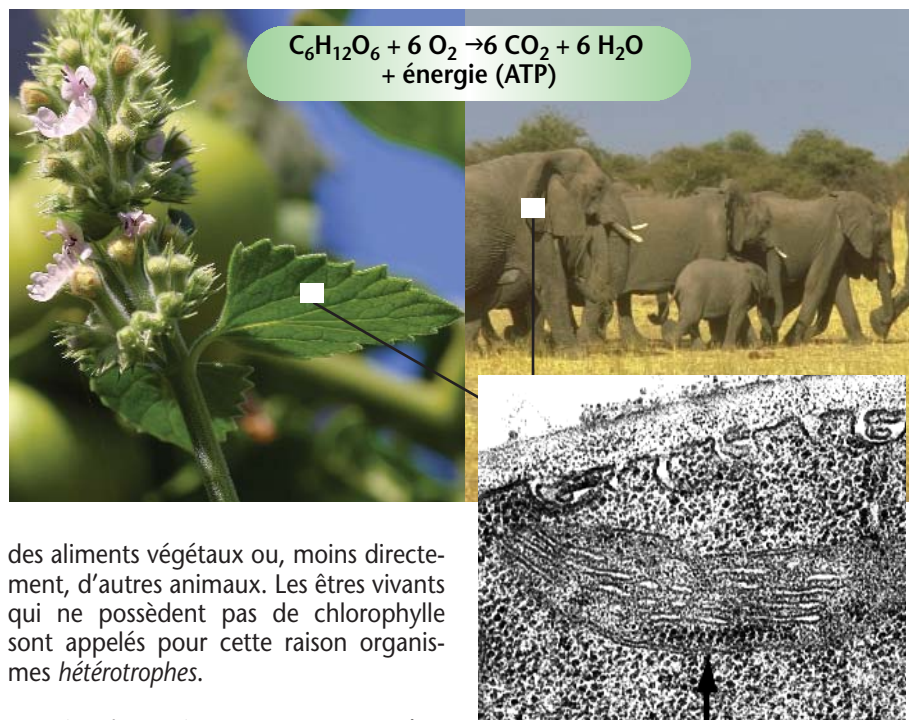
ultérieurement. C'est ce qui se passe dans le cadre d'un processus très complexe, la respiration. Pour les organismes qui contiennent de la chlorophylle, et qui sont capables de réaliser les deux processus, la boucle est bouclée: ils sont capables de capter l'énergie solaire et de la stocker (via la photosynthèse), et de récupérer cette énergie pour usage ultérieur (via la respiration). Voilà pourquoi on les appelle également des organismes *autotrophes*, c'est-à-dire, en traduction libre, capables de s'alimenter eux-mêmes.

Les animaux, et donc les êtres humains, n'en sont pas capables. Ils ne peuvent pas effectuer de photosynthèse. Ils sont capables de respirer, évidemment, et donc de libérer de l'énergie, mais la matière première nécessaire à cet effet, ils doivent se la procurer en mangeant

Usines énergétiques

Cette combustion dans la cellule se produit, chez les êtres supérieurs organisés, dans les mitochondries. Chez les bactéries, la combustion s'effectue dans la membrane qui entoure la cellule. A y regarder de près, on pourrait croire que ces réactions globales de la respiration et de la photosynthèse sont l'inverse l'une de l'autre. Dans la respiration, le glucose réagit avec l'oxygène et le résultat final est le dioxyde de carbone et de l'eau.

Ces réactions 'inverses' ne le sont qu'en apparence, car en réalité, elles constituent le résultat final de chaînes très complexes de réactions partielles, qui diffèrent fortement dans la photosynthèse et la respiration.



des aliments végétaux ou, moins directement, d'autres animaux. Les êtres vivants qui ne possèdent pas de chlorophylle sont appelés pour cette raison organismes *hétérotrophes*.

Certains êtres vivants sont autotrophes et n'ont donc pas besoin de l'énergie solaire. Ils sont capables de réaliser la chimiosynthèse. C'est ce qui est expliqué dans l'**encadré 2** sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu).

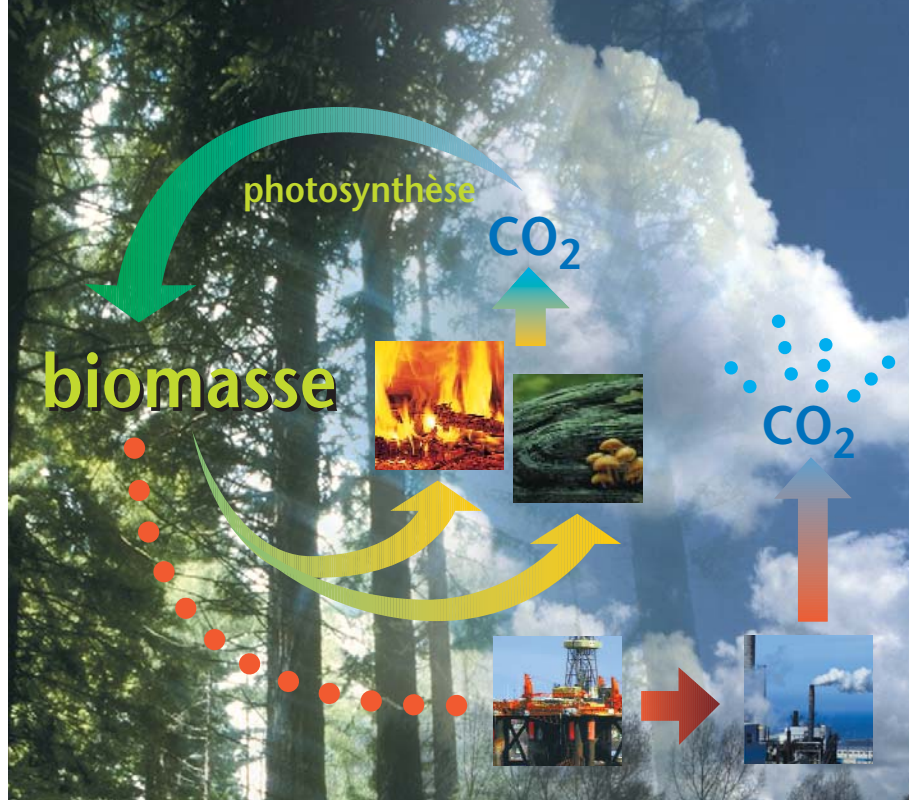
La respiration

Combustion dans la cellule

Une fois qu'une plante a fabriqué du glucose, elle peut l'utiliser comme élément de construction pour d'autres sucres et d'autres composants de ses cellules. Les plantes sont donc à la base de l'établissement des liaisons de carbone. Les sucres servent également de carburant pour la respiration des plantes et des animaux au niveau cellulaire. 'Brûler' signifie ici produire une réaction avec l'oxygène dans une chaîne complexe de réactions.

La respiration intracellulaire de la plante et de l'animal se fait dans les mitochondries. Vue au microscope électronique d'une mitochondrie, dans laquelle la respiration cellulaire a lieu.

Le plus important, c'est de produire de l'énergie et c'est bien de cela qu'il s'agit. Les mitochondries sont donc les usines énergétiques de la cellule. Cette énergie ne se perd pas : elle est conservée sous forme chimique, stockée dans une substance appelée adénosine triphosphate, ou ATP. Avons-nous avancé d'un pas ? Oui, car l'ATP est d'une certaine façon une source d'énergie prête à l'emploi, qui peut servir à d'innombrables réactions biochimiques. L'énergie chimique stockée dans l'ATP se libère lorsque la substance est scindée, via une réaction enzymatique, en adénosine diphosphate



Le cycle du carbone

Voyons en résumé les péripéties du carbone (C) sur la terre. Les plantes fonctionnent comme une sorte d'évier planétaire dont peut 's'écouler' en permanence du dioxyde de carbone. Les plantes prélèvent en permanence ce gaz dans l'atmosphère, en guise de matière première pour la photosynthèse. Les algues en font de même avec le CO_2 des océans. S'il n'en tenait qu'aux plantes, d'importantes quantités de carbone disparaîtraient de la circulation. Les plantes produisent également du CO_2 en respirant, mais celui-ci est rapidement réutilisé par la photosynthèse. Les animaux sont également des producteurs de CO_2 non pas par la photosynthèse, mais bien par la respiration.

(ADP) et en phosphate, ce qui libère 30 kJ/mol. Dans une seconde étape, l'ADP peut se scinder en adénosine monophosphate (AMP) et phosphate, ce qui libère à nouveau 30 kJ/mol.

Finalement, l'énergie solaire est stockée dans l'ATP et cette batterie permet la réalisation de tous les processus métaboliques propres à la vie. Cela vaut pour la plante et pour l'animal. Il est donc vrai que le soleil est la source de (pratiquement) toute la vie sur terre.

Force musculaire

L'énergie stockée dans l'ATP est utilisée par exemple pour faire fonctionner nos muscles. A l'aube des temps, la force musculaire était très utile, par exemple pendant la chasse. Plus tard, l'homme a commencé à domestiquer certains animaux et à utiliser leur force musculaire. Il s'est mis à élever les bovins dès 6000-8000 avant Jésus-Christ, et ainsi ouvert la voie à l'utilisation de bêtes de trait. Plus tard, vers 4000 avant Jésus-Christ, il a également dompté le cheval, qui jouera un rôle déterminant dans l'histoire de l'humanité.

Alternatives

Outre la respiration, il existe encore d'autres processus métaboliques qui permettent aux êtres vivants de transposer en forme utilisable l'énergie stockée dans les liaisons chimiques. Il s'agit de la *glycolyse* et de la *fermentation*. Nous n'allons pas approfondir ces mécanismes. Mais pour être complets, signalons également qu'il existe aussi une *respiration anaérobie*, un processus dans le cadre duquel de l'énergie est générée sans l'intervention de l'oxygène. De nombreuses bactéries sont anaérobies.

Electricité

L'usage du feu par l'homme préhistorique, l'invention de la machine à vapeur moderne et les débuts de l'électricité sont développés dans l'encadré 3 du site web de MENS (www.magazinemens.eu).

Electricité et machines

Au 19^{ème} siècle, le développement d'installations capables de produire de l'électricité a déclenché une évolution formidable : la révolution industrielle est entrée dans une seconde phase et le monde a radicalement changé. Attention, ce n'est pas un événement historique déterminant pour une époque et oublié par la suite. Non, c'est une saga qui se poursuit encore, dont la fin n'est pas encore en vue. L'électricité a modelé le monde et avec ses innombrables applications, elle exerce toujours une influence énorme sur notre vie et notre confort quotidien.

Electricité et carburant

La nature de l'électricité est expliquée dans l'encadré 4 sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu). Il s'agit en première instance d'un phénomène naturel : songez à la foudre. Mais pour pouvoir l'utiliser en pratique, il faut la produire de manière ciblée, afin de pouvoir en disposer à tout moment. La production d'électricité s'effectue dans des installations spécifiques (*les centrales*

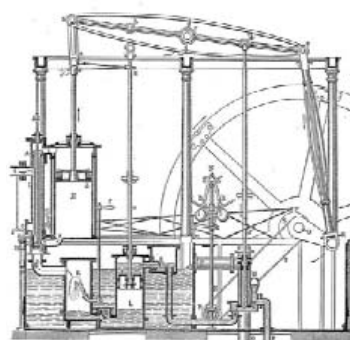


Schéma d'une machine à vapeur

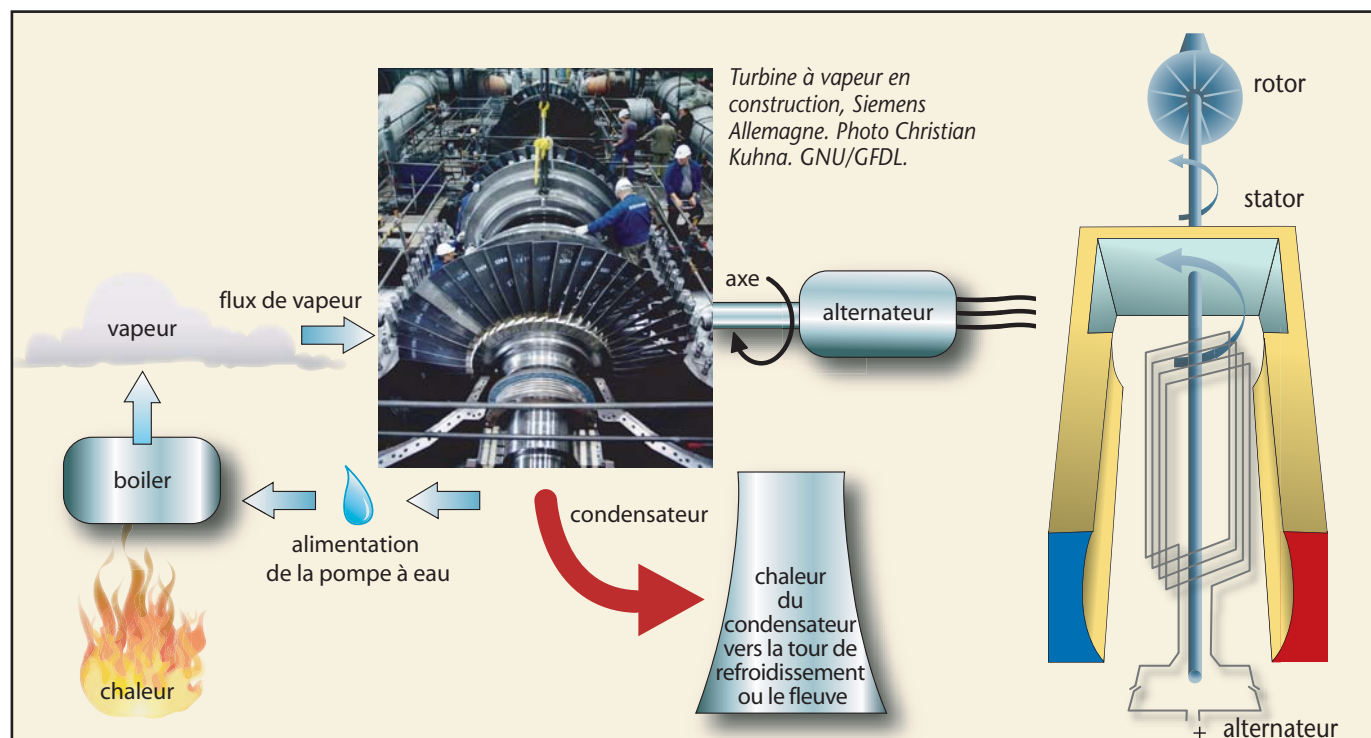
électriques ou centrales), dont il existe de nombreuses formes. Ces installations ont à leur tour besoin d'être approvisionnées en énergie, sous l'une ou l'autre forme, et la boucle est bouclée. En résumé : d'un côté on approvisionne l'installation en charbon, en pétrole ou en gaz naturel, avec toute l'énergie qui y est stockée, et de l'autre côté on sort du courant électrique.

Dans les pages qui suivent, nous allons examiner quelques sources d'énergie primaire et étudier leur utilisation. Vous vous demandez peut-être si nous utilisons le charbon, le pétrole ou le gaz

naturel uniquement pour la production d'électricité. La réponse est non, bien sûr, comme vous pouvez le voir quotidiennement autour de vous. Jusqu'à nouvel ordre, la plupart des automobiles roulent encore avec un carburant 'classique' comme l'essence ou le diesel (provenant tous deux du pétrole), dont la combustion (dans un moteur à combustion) fournit directement l'énergie mécanique nécessaire. Il en va de même pour les avions et la plupart des bateaux. Ces substances sont également importantes pour le chauffage et les applications domestiques, ainsi que pour l'industrie chimique.

Politique énergétique

Dans notre pays, nous n'avons pas mis tous nos œufs dans le même panier et nous produisons de l'électricité de différentes façons. Les principales méthodes de production sont la combustion des carburants fossiles dans des centrales thermiques classiques et la fission nucléaire dans les centrales nucléaires. En Belgique, un accord gouvernemental impose une diminution de notre dépendance à l'énergie nucléaire à partir de 2015. Les centrales nucléaires plus petites devront être arrêtées cette année-là. De nombreux arguments plaident en faveur de cette fermeture, mais d'autres



Comment l'électricité est-elle produite ?

De la chaleur à l'énergie mécanique

Jusqu'à présent, tout semble simple. Dans une centrale, on brûle du charbon pour produire de l'électricité. Oui, mais attendez, nous sautons des étapes, car il ne suffit pas de brûler du charbon pour pouvoir utiliser son rasoir électrique. Il faut évidemment passer par quelques étapes intermédiaires avant d'y arriver.

Si vous brûlez du charbon dans une centrale thermique ou si vous scindez des noyaux d'atomes dans une centrale nucléaire, vous produisez d'abord de la chaleur. La chaleur est également une forme d'énergie – de l'énergie thermique – mais qui ne permet pas de faire fonctionner vos appareils domestiques. Cette chaleur, du moins dans les deux exemples cités, permet de chauffer de l'eau et de la transformer en vapeur (dans une chaudière à vapeur). Cette vapeur est insufflée dans une turbine, un appareil comportant un rotor tournant sur un axe. Lorsque la vapeur passe par les pales, le rotor et l'axe tournent. Pendant ce processus, l'énergie thermique est transposée en énergie mécanique. A présent il reste encore à produire de l'électricité.

De l'énergie mécanique à l'électricité

Sur le même axe se trouve un alternateur ou une dynamo, la même, mais en plus grand, que celle qui allume le phare de votre vélo. Dans cette petite dynamo, tout comme dans le grand alternateur, un aimant tourne sur son axe dans la partie intérieure. Cette partie s'appelle le rotor. Le rotor dans la dynamo de votre vélo tourne parce que la roue du vélo tourne, et le rotor dans l'alternateur de la centrale électrique tourne sur l'axe de la turbine actionnée par la vapeur. Le principe est le même. Autour du rotor qui tourne se trouve dans les deux cas une partie immobile – le stator – comportant une bobine de fil de cuivre. Le champ magnétique rotatif du rotor produit du courant électrique dans le cuivre, un excellent conducteur : notre but est atteint.

Lorsque dans une centrale on brûle du gaz naturel au lieu de charbon, le schéma reste le même, sauf sur un point. Avec la chaleur produite, ce n'est pas de la vapeur qui est envoyée sur les pales de la turbine à vapeur, non, on utilise des gaz de combustion, envoyés dans une turbine à gaz. Pour le reste, il n'y a aucune différence.

plaident contre. En pratique, cette fermeture est devenue une mission très difficile, car actuellement, en 2007, une part de 55,1% de notre électricité est encore d'origine nucléaire. Un prochain numéro de MENS vous en apprendra davantage sur l'énergie nucléaire.

Tous les pays n'appliquent pas la même politique à la production d'électricité et à l'énergie nucléaire. En 2006, il y avait au total 443 réacteurs nucléaires sur la planète, dont 205 en Europe, Russie comprise. La répartition est pour le moins inégale. Mais la situation n'est pas plus uniforme en Europe. Des 25 pays dont l'Union européenne (UE) était constituée en 2006, 11 ne possèdent aucune centrale nucléaire et parmi les 14 pays ayant des réacteurs nucléaires, la France, et ses 59 exemplaires, arrive en tête. La Belgique dispose de sept réac-

Mais il existe également des sources d'énergie renouvelables. 'Renouvelable' est un mot assez étrange, en fait. Le terme durable est plus explicite. Les sources d'énergie durables sont inépuisables, du moins en théorie, et nombre d'entre elles sont directement ou indirectement dépendantes du soleil. On estime que notre soleil brillera encore environ 5 milliards d'années : il n'y donc pas de quoi s'inquiéter dans l'immédiat.

L'utilisation 'intelligente' de l'énergie solaire lors de la conception d'une habitation est un exemple d'énergie durable. On peut ainsi mettre en place des panneaux thermiques solaires, qui aident à produire de l'eau chaude ou qui contribuent au chauffage de l'habitation, ou utiliser des cellules photovoltaïques (cellules PV), qui transforment le soleil en électricité. D'autres exemples sont les

classiques de combustibles fossiles seront quasiment épuisés à la fin du 21^e siècle. Mais de nos jours, ils jouent encore un rôle essentiel et font tourner l'économie mondiale, avec l'énergie nucléaire.

Charbon

Une chaleur agréable

Le charbon était le combustible par excellence dans tous les foyers belges il n'y a pas si longtemps encore. Un poêle y brûlait en hiver et pour ce faire, il fallait du charbon. Le charbonnier le livrait à domicile et toutes les familles possédaient une réserve à charbon et un seau à charbon. Le poêle à charbon produisait une chaleur agréable et contribuait à ce que nous appellerions aujourd'hui une ambiance un peu désuète. Mais cette époque est révolue et le charbon a perdu son rôle pré-



Salle de contrôle d'une centrale moderne.
Photo Steag, Allemagne. GNU/GFDL.



Les turbines au gaz sont utilisées dans des centrales énergétiques, mais également dans les bateaux par exemple. Photo Sleipnir, 2005. GNU/GFDL.



teurs pour la production d'électricité, dont quatre à Doel et trois à Tihange, près de Huy. A l'échelle mondiale, la part de l'énergie nucléaire dans l'approvisionnement électrique se situe entre 2,2% pour la République populaire de Chine et 78,1% pour la France.

Sources d'énergie durables et limitées

En général, une distinction est opérée entre les sources d'énergie limitées et renouvelables. La première ne nécessite pas beaucoup d'explication. A l'échelle mondiale, un stock limité est présent, que nous sommes occupés à épuiser sans autre forme de procès. Les carburants fossiles comme le charbon, le lignite, le pétrole et le gaz naturel font partie des sources d'énergie limitées. Le stock d'uranium, le combustible des centrales nucléaires actuelles, est également limité.

éoliennes, qui transforment l'énergie du vent en électricité, ou l'énergie hydraulique (récupération de l'énergie d'une chute d'eau) dans les centrales hydrauliques, la combustion de la biomasse en circuit fermé, l'utilisation de l'énergie des marées et de la chaleur du sol (énergie géothermique), de façon directe (ex. via les geysers en Islande) ou indirecte (ex. via une pompe à chaleur). L'utilisation des sources d'énergie durables est un sujet enthousiasmant comportant de nombreux aspects, que nous ne pourrions pas développer pleinement dans ce numéro. Il sera présenté en détail dans l'un des prochains numéros de MENS.

Combustibles fossiles

On entend par combustibles fossiles le matériau géologique combustible issu des résidus transformés d'origine organique. Le charbon, le pétrole, le gaz naturel, la tourbe et le lignite en font partie. Les trois premiers importent beaucoup actuellement. Les gisements

pondérant de combustible à usage domestique.

Carbonification

Dans une lointaine époque géologique, au carbonifère (pour les amateurs: la cinquième période du Paléozoïque, il y a environ 360 à 286 millions d'années), nos contrées étaient recouvertes de forêts tropicales. Les plantes et les animaux morts disparaissaient dans le sol marécageux et étaient préservés de l'oxydation et de la décomposition biologique par l'eau et la boue, qui les transformaient en tourbe. Les couches sont devenues de plus en plus épaisses et lorsque le niveau de la mer est monté, les forêts ont disparu. Sous l'effet de l'augmentation de la pression et de la température, ces résidus se sont transformés successivement en lignite, charbon et anthracite. L'ensemble du processus s'appelle la carbonification et a pris des millions d'années.

En fait, le processus de carbonification ne diffère pas de celui qui produit le pétrole. Dans ce dernier cas, il s'appelle la bitumisation. La carbonification et la bitumisation sont des métamorphoses. La différence entre les deux réside dans le produit fini: des huiles végétales (et également animales), des graisses et des protéines dans le cas de la carbonification et de la cellulose et de la lignine (substance du bois) dans le cas de la bitumisation.

Le charbon aujourd'hui

Nous avons déjà vu que les combustibles fossiles, dont le charbon, sont utilisés pour produire de l'électricité dans les centrales thermiques classiques. Le charbon remporte la palme: près de 40% de toute l'électricité consommée sur notre planète proviennent de la combustion du charbon dans les centrales. Le char-

Doit-on encore utiliser le charbon ?

Notre société remet actuellement en question l'utilisation des sources d'énergie actuelles. Et à juste titre. Car inévitablement, les réserves seront épuisées à un moment donné. Mais étrangement, une évolution inverse est en cours au niveau mondial. Stocks limités ou non, le charbon est 'redécouvert' et en 2005, il était devenu la source d'énergie primaire à la croissance la plus rapide. C'est un phénomène qui se produit surtout en Asie. L'Agence Internationale pour l'Énergie (AIE) pense que la production d'électricité au départ du charbon va doubler les trente prochaines années.

À première vue, cette évolution ne semble pas logique, car tout le monde commence à savoir que le charbon est une source d'énergie peu écologique. Les mines de charbon dégradent le paysage et perturbent l'équilibre de l'eau dans le sol. Une centrale thermique alimentée au charbon est deux fois plus polluante, en termes d'émissions de CO₂, qu'une centrale alimentée au gaz. Et la combustion libère du dioxyde de soufre et du dioxyde d'azote, deux gaz acides. Mais bien des pays donnent encore la priorité à des considérations économiques à court terme.

Des pays comme la Chine et l'Inde sont devenus, comme l'Occident, de grands consommateurs d'énergie. Leurs économies connaissent le développement le plus rapide au monde et qui dit économie, dit énergie. Voilà pourquoi leurs besoins en énergie semblent insatiables. Mais le gros problème est leur dépendance vis-à-vis des pays producteurs de pétrole autour du Golfe persique. Les incertitudes liées à l'approvisionnement en pétrole et la hausse des prix font le reste. La Chine et l'Inde possèdent

d'énormes réserves de charbon dans leurs sous-sols, qui leur permettent de produire de l'électricité et d'alimenter leur économie avec une partie de celle-ci. D'autres pays asiatiques tout aussi gourmands en énergie, mais qui ne possèdent pas de charbon dans leur sous-sol participent à cette renaissance. Ils importent le charbon de pays comme l'Afrique du Sud et l'Australie, qui se font un plaisir de répondre à cette demande.



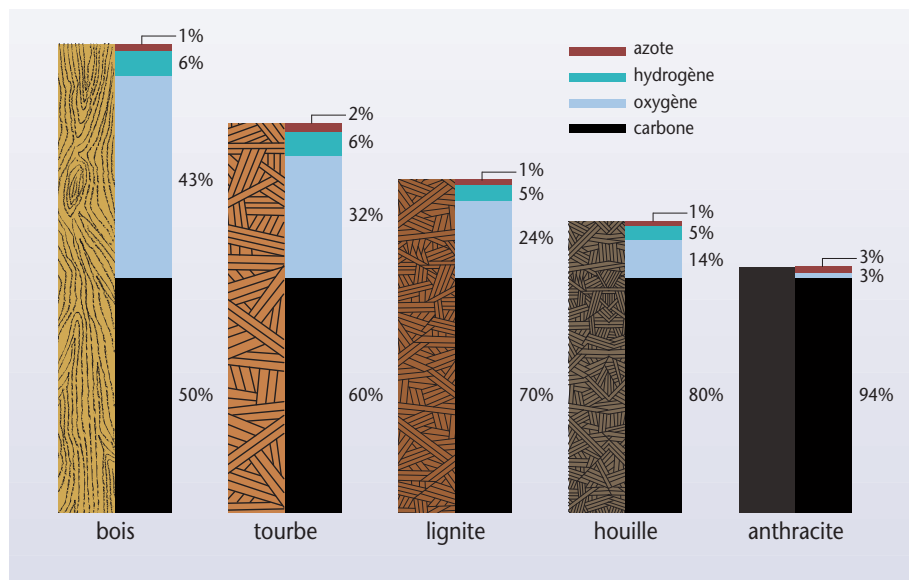
Un moteur à réaction comporte une turbine à gaz. Photo U.S. Federal Government.

bon est également transformé en cokes (ce qui reste après la distillation à sec des charbons) et utilisé sous cette forme comme combustible et source de carbone pour la production du fer dans les hauts fourneaux.

En Belgique, environ 100.000 familles se chauffaient encore au charbon en 2006. Pratiquement tout le charbon utilisé dans notre pays doit être importé, soit 200.000 tonnes par an. Les principaux acheteurs ne sont pas les familles, mais bien les centrales électriques. Auparavant, la situation était très différente. La Belgique était un pays producteur de charbon, surtout depuis le dix-neuvième siècle. Cette extraction a pris fin dans la seconde moitié du vingtième siècle. Découvrez cette partie de l'histoire de notre pays dans l'**encadré 5** sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu).



Les combustibles fossiles ont été formés voici des millions d'années à partir de matériel végétal. Photo U.S. Federal Government



La situation peut devenir catastrophique

Il va de soi que la réserve de charbon de la planète est limitée. Mais par le passé, de nouveaux gisements ont été découverts et cette tendance se poursuit. Mais il ne faut pas oublier que l'extraction du charbon implique également des risques. Les puits peuvent s'effondrer ou être inondés, le grisou accumulé peut s'enflammer et exploser. En principe, il faudrait faire le maximum pour assurer la sécurité personnelle des mineurs, mais c'est loin d'avoir toujours été le cas et partout. Pas même chez nous.

L'ancienne génération se souvient de la catastrophe de Marcinelle comme si c'était hier. Dans la mine appelée 'Le bois du Cazier', située au sud de Charleroi, un incendie s'est déclenché le 8 août 1956 qui a coûté la vie à 256 personnes. Les catastrophes minières sont courantes en Europe de l'Est et en Chine, on omet de respecter les normes de sécurité les plus élémentaires, par pure soif de gain. Les mines de charbon chinoises sont les plus dangereuses au monde: chaque année, environ 5000 mineurs y perdent la vie.

Pétrole

L'huile de roche

Le pétrole est l'une des principales sources d'énergie sur terre. Tout comme le charbon, cette matière s'est formée il y a longtemps, à partir de résidus d'organismes vivants, transformés lentement en 'huile de roche' sous l'influence d'une pression élevée et de la température, qui se sont déposés en couches épaisses, comme l'indique l'étymologie grecque du mot 'pétrole'. La façon dont le pétrole s'est formé est restée longtemps matière à controverse, mais actuellement, on part souvent du principe que l'histoire a débuté en mer. La plupart des gisements de pétrole sont découverts à proximité des roches formées en mer. Le plancton d'origine végétale et animale, les organismes unicellulaires et pluricellulaires qui flottent dans l'eau, ont toujours été massivement présents dans les océans. Ils sont si nombreux, que lorsqu'ils meurent, ils peuvent former d'épaisses couches sur le fond.

Dans une eau riche en oxygène, ces couches ne se forment pas, car les résidus organiques pourrissent vite dans ces circonstances. S'il y a peu ou pas d'oxygène en présence à l'endroit où ils atterrissent, d'autres processus ont lieu. Les couches s'épaissent et d'autres dépôts viennent s'y former. Le pétrole commence à se former lorsque les couches supérieures de sédiment ont atteint



Plate-forme de forage pétrolier. Photo NASA.



Le pétrole peut également être extrait sur terre. La photo présente un 'donkey' ou 'pompe élévatoire' peint de façon ludique. Photo U.S. Federal Government.

une épaisseur de un à six kilomètres et que la température a atteint 50-150°C. Les résidus de plancton sont alors transformés en liaisons organiques de carbone, qui produisent le pétrole brut.

Réservoirs de pétrole

Le pétrole a un faible poids moléculaire (une plus petite masse volumique) que l'eau du fond et il remonte dans la couche. Cette migration s'arrête lorsque le pétrole rencontre des couches imperméables dans sa remontée. Un réservoir se forme alors sous cette barrière. Le gaz naturel peut également s'accumuler de cette façon, au-dessus du pétrole.

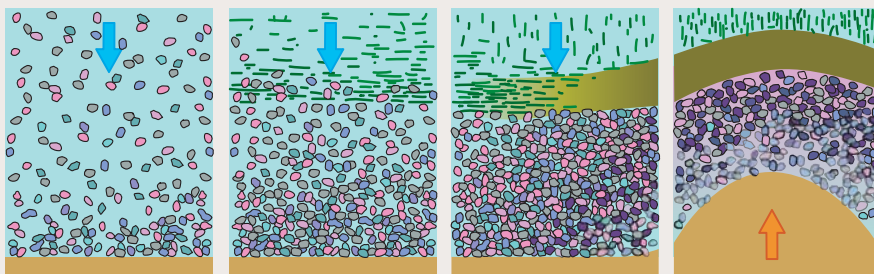
Comment détecte-t-on les réservoirs de pétrole et de gaz naturel ? Principalement au moyen de méthodes géophysiques et de forages. Dans le premier cas, les chercheurs provoquent artificiellement des vibrations dans le

fond, qui se répercutent sur les couches qui jouxtent le réservoir au-dessus. Les vibrations répercutées sont enregistrées sur terre avec des sismomètres et sur base de leur modèle, les couches adjacentes sont localisées. Des mesures géophysiques sont réalisées dans les trous de forage. Ces dernières années, la connaissance du sous-sol a fortement évolué et les techniques de détection ont été améliorées. Combinées à la technologie informatique avancée, elles ont rendu le fond quasiment transparent. Il ne faut pas toujours des techniques raffinées pour détecter les champs de pétrole, car de nombreux réservoirs sont visibles par des suintements ou des fuites naturelles.

Du pétrole brut au produit fini

Le pétrole brut pompé est un mélange complexe comportant au moins 200 hydrocarbures différents (liaisons chimiques ne contenant que du carbone et de

Comment le pétrole est-il formé?



1. Les résidus organiques et les micro-organismes coulent et constituent une couche de boue au fond des étangs, lacs ou océans. Si cette couche est suffisamment profonde, l'oxygène est insuffisant pour entretenir la désagrégation complète de ces résidus.
2. Ces couches de matériau organique se retrouvent même recouvertes par des couches de sable et d'argile. Des micro-organismes anaérobiques (qui n'ont donc pas besoin d'oxygène) décomposent intégralement les substances organiques.
3. Au fur et à mesure que les couches surplombant les substances organiques s'épaissent, la pression et la température augmentent.
4. A terme, les couches de gaz et de pétrole se séparent.

l'hydrogène). Mais ce mélange ne peut pas être utilisé tel quel. Il est scindé et épuré dans des raffineries de pétrole. Ces raffineries comportent des installations, des tours de distillation, dans lesquelles le pétrole subit une 'distillation fractionnée'. Pendant ce processus, le pétrole brut est chauffé à environ 350°C et une séparation en fractions ayant chacune leur trajet de cuisson s'effectue. Dans une tour de distillation sont suspendus des plateaux perforés à différentes hauteurs. Les vapeurs du pétrole chauffé montent, se refroidissent au fur et à mesure et chaque fraction se condense finalement sur le plateau dont la température correspond à la température d'ébullition de cette fraction. Les hydrocarbures sont ainsi triés par taille, car les grandes molécules sont plus lourdes et ont généralement un point d'ébullition plus élevé.

Différents types de combustibles bruts sont ainsi obtenus. Des plus lourds aux plus légers: gasoil lourd et léger (diesel), kérosène, naphte (essence lourde), essence légère, butane et propane. Nombre de ces fractions ne sont pas encore prêtes pour l'utilisation et sont transformées et purifiées dans d'autres installations par d'autres processus. Lors du craquage par exemple, les substances volatiles des hydrocarbures supérieurs (chaînes longues) sont préparées avec un nombre plus réduit d'atomes de carbone. De nombreuses matières premières pour l'industrie chimique sont également extraites du pétrole.

Consommation de pétrole

La consommation mondiale de pétrole est énorme. En 2006, elle était de 84,7 millions de barils par jour. Et ce chiffre augmente encore: l'augmentation annuelle était en 2006 de 1,3 pour cent et sera, d'après les évaluations, de 1,8 pour cent en 2007. Cependant, c'est moins qu'il y a quelques années. En 2004, l'augmentation mondiale était de 3,7 pour cent.

Les plus grands consommateurs de pétrole au monde sont, dans l'ordre décroissant: les Etats-Unis (USA), la République populaire de Chine, le Japon, la Russie, l'Allemagne et l'Inde. Bien que des pays comme la Chine et l'Inde aient entamé une ascension assez rapide, ils n'arrivent encore qu'aux chevilles des Etats-Unis, véritables dévoreurs d'énergie. Les Etats-Unis consomment par habitant en moyenne douze fois autant de pétrole par an que la Chine.

Notre dépendance vis-à-vis des fournisseurs, une bonne chose ?

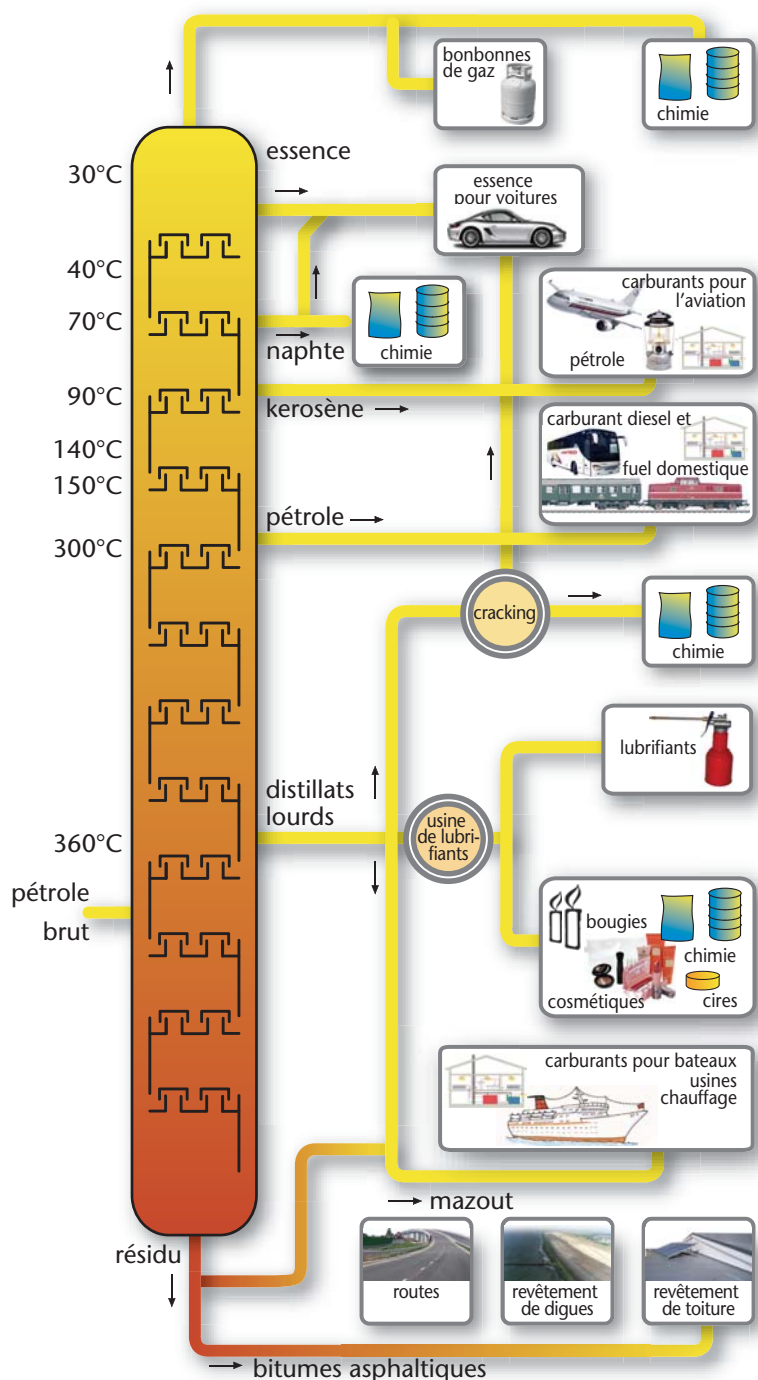
Notre pays ne produit pas du tout de pétrole, mais il en consomme beaucoup. Tout ce pétrole doit donc être importé. En 2005, l'importation en Belgique était de 165.665 m³ par jour, ce qui représente la douzième place sur la liste mondiale des pays importateurs de pétrole. Impressionnant pour un petit pays. Cette dépendance vis-à-vis des producteurs étrangers peut être envisagée de nombreuses façons différentes.

Les interdépendances économiques ne sont pas nécessairement une mauvaise chose: des exemples historiques le prouvent. L'un des principaux moteurs de la

création de l'Union européenne était le souhait de mettre un terme aux rivalités européennes séculaires et d'arrêter de verser le sang sur les champs de bataille d'Europe. L'entrelacement des économies, à l'origine surtout celles des anciens pays ennemis qu'étaient la France et l'Allemagne, a renforcé leur sentiment d'être des alliés et a finalement entraîné la paix sur le continent européen, une paix qui se poursuit encore. Dans ce sens, l'Europe est une réussite totale, aussi loin en arrière où l'on porte le regard.

Il s'agit ici d'une dépendance plus ou moins unilatérale, celle de l'Europe vis-à-vis de fournisseurs d'énergie avec

Processus de raffinage du pétrole



lesquels nous ne partageons pas d'antécédents et qui sont très différents de nous en termes de politique et de culture, comme c'est le cas du Moyen-Orient et de la Russie. Comme chacun le sait, le Moyen-Orient n'est pas la partie la plus stable de la planète et on peut se demander si l'UE a envie d'être dépendante de la politique de pression appliquée par la Russie. Celui qui contrôle le robinet énergétique peut diriger, menacer, faire chanter: voulons-nous subir cela ? Il ne s'agit pas de philosopher sur une politique facultative. Au contraire, il s'agit concrètement de l'approvisionnement garanti en énergie dans des conditions optimales et loyales. Une raison de plus d'envisager des sources d'énergie alternatives.



Marée noire

Pétrole et environnement

L'extraction et l'industrie pétrolière sont polluantes. Les installations de forage en mer et sur terre dégradent le paysage et les raffineries polluent le sol et l'air. Le risque d'accident en cours de transport du pétrole est réel, comme l'a prouvé à plusieurs reprises la réalité. Tout le monde se souvient des images télévisées de pétroliers géants sur des écueils, de la déchirure dans leur coque, d'où s'échappe le pétrole. C'est toujours une grave catastrophe écologique, dont les conséquences sont notoires pendant plusieurs années. Le transport par les pipelines n'est pas extrêmement sûr. Songeons au Nigeria, où des explosions de conduites ont fait à plusieurs reprises de nombreuses victimes. Les pipelines sont également des cibles idéales pour les terroristes.

Les grandes quantités de CO₂ libérées par la combustion du pétrole et de ses produits dérivés constituent actuelle-

ment la plus grande menace pour la communauté mondiale. Ces émissions sont dues à la combustion du pétrole et des autres combustibles fossiles. Le pétrole entraîne des émissions de CO₂ inférieures à celles du charbon, mais supérieures à celles du gaz naturel. La combustion libère également des gaz acides à l'origine des pluies acides qui endommagent la nature.

Gaz naturel

Gaz préhistoriques

Comme le pétrole et le charbon, le gaz naturel s'est formé au Carbonifère surtout. Les matières végétales (surtout la cellulose) dans les forêts inondées et les régions marécageuses ont subi un processus de fermentation bactérienne et la pression et la température élevées ont fait le reste. Contrairement au pétrole, le

Liquéfaction par compression

Après l'extraction, le gaz est raffiné au moyen d'un processus complexe et débarrassé de certains composants, afin d'obtenir du butane, du propane et d'autres hydrocarbures. Le gaz résiduel – appelé également gaz sec – est incolore et inodore: c'est le gaz naturel à usage domestique que nous connaissons.

Le transport et l'entreposage du gaz posent un grand problème technique. Il est inenvisageable de transporter le gaz tel quel sur de grandes distances, en raison des volumes énormes utilisés. Le gaz naturel est transporté outre-mer sous forme liquide, appelée LNG (Liquefied Natural Gas). Le méthane liquide occupe un volume beaucoup plus réduit que ce même méthane sous forme gazeuse. Le transport du LNG s'effectue avec des navires-citernes géants, spécialement



Navire-citerne transportant du LNG. Photo Pline, 2005. GNU/GFDL.

gaz naturel ne s'est pas accumulé dans des creux ou des bulles. Au fil du temps, son poids moléculaire étant faible, il s'est élevé jusqu'à dans les petits pores des concrétions minérales au-dessus. Le gaz naturel se compose à 90% environ de méthane (CH₄). Les autres 10% sont constitués principalement d'hydrocarbures volatils (éthane, butane et propane), d'azote et de dioxyde de carbone. De par sa composition, le gaz naturel ne produit pratiquement que du CO₂ et de l'eau lorsqu'il est brûlé.

De nombreux gisements ne contiennent que du gaz naturel, mais souvent, les champs pétroliers comportent également une certaine quantité de gaz naturel. Des forages sont effectués pour le gaz naturel tout comme pour le pétrole. Les gisements sont parfois très vastes. Le gisement de gaz naturel de Slochteren aux Pays-Bas par exemple, occupe une superficie d'environ 900 kilomètres carrés. C'est l'un des plus grands au monde.

équipés à cet effet. Sur les distances plus courtes, le transport s'effectue par route, avec des camions –citernes pour le LNG ou le CNG (Compressed Natural Gas). La liquéfaction, ou la compression du gaz au point de départ et sa gazéification, ou sa détente, au point d'arrivée augmentent les coûts du transport.

Énergie du gaz naturel

Le gaz naturel ne sert pas uniquement au chauffage des habitations et d'autres bâtiments ou à la cuisson des aliments. Il permet également de faire avancer des véhicules. Le gaz naturel peut être brûlé dans des turbines à gaz (tout comme l'hydrogène).

Le gaz naturel est un combustible important pour les centrales thermiques, où est produite de l'énergie mécanique dans des turbines à gaz ou à vapeur. Si l'on combine les deux types de turbines, on peut améliorer l'efficacité de la production électrique. Le gaz naturel est



Pour de plus amples informations sur le climat:
cf. MENS 43 et le site web MENS
(www.magazinemens.eu)

une source d'énergie plus propre que le charbon ou le pétrole: sa combustion entraîne 30% d'émissions de CO₂ en moins dans l'atmosphère que la combustion du pétrole et 45% en moins que le charbon.

La taille des stocks de combustibles fossiles de la terre, ainsi que les stocks conventionnels et non-conventionnels sont présentés dans les **encadrés 6 et 7** sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu)

L'effet de serre

L'effet de serre naturel

Beaucoup de choses ont été dites et écrites sur l'effet de serre, mais de quoi s'agit-il exactement ? Tout d'abord, il existe un effet de serre naturel, se produisant

puisé dans l'atmosphère de l'époque par photosynthèse, et qui se libère en grandes quantités à notre époque.

Le CO₂ renforce l'effet de serre. La terre continue de se réchauffer et le processus semble difficile à arrêter. Il convient toutefois de signaler que la terre a déjà connu des cycles de réchauffement et de refroidissement (songeons à l'ère glaciaire) au cours de son histoire.

La plupart des scientifiques ne doutent pas que les activités économiques humaines jouent un rôle important dans l'actuelle phase de réchauffement. En abandonnant au plus vite les combustibles fossiles au profit de sources d'énergie alternatives, nous n'arrêterons pas le réchauffement de la terre, mais nous pourrions peut-être le freiner. Ce qui nous donne le temps de prendre des

Kyoto

Le *Protocole de Kyoto* (1997) est le nom du traité international qui impose, à l'initiative des Nations Unies, des objectifs contraignants pour les émissions de gaz à effet de serre (*Greenhouse Gases / GHG*) aux pays signataires. Il s'agit des pays industrialisés et des pays ayant des économies de transition. Le traité couvre six gaz à effet de serre: dioxyde de car-



La terre doit être considérée comme une serre planétaire.
Photo Stara Blazkova



Les glaciers commencent à fondre suite au réchauffement de la terre

sans aucune intervention humaine. Une couche de gaz entoure en effet notre planète, qui laisse passer les rayons du soleil, mais qui empêche partiellement la chaleur produite sur terre de remonter dans l'espace. La température moyenne est donc plus élevée qu'elle ne le serait sans cette couche de gaz. Concrètement, sans la couche de gaz, il ferait en moyenne -18°C sur la terre, alors que la température moyenne réelle, avec la couche de gaz, est d'environ +12°C. Une différence très significative, également pour la vie sur terre.

... et l'effet de serre renforcé

Outre l'effet de serre naturel, il existe également un effet de serre renforcé. Le dioxyde de carbone est un composant naturel de l'atmosphère terrestre (0,03% dans l'air extérieur), mais la combustion des combustibles fossiles produit de grandes quantités supplémentaires de gaz. Les matières végétales datant de millions d'années contiennent du CO₂

mesures pour lutter contre les effets les plus graves pour l'environnement. Nous n'avons pas vraiment le choix dans cette situation. Nous pouvons seulement décider du moment où nous interviendrons.

Le réchauffement continu de la terre entraînera probablement de sérieux changements climatiques. Nous n'allons pas tenter ici d'analyser la problématique climatique, mais il devient peu à peu évident qu'une hausse du niveau de la mer, la fonte des glaciers et de la calotte glaciaire, des modifications des saisons, des températures extrêmes et de violentes tempêtes sont au programme. Il se peut aussi que les maladies tropicales fassent leur apparition dans des régions plus tempérées.

bone (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O) et trois types de liaisons fluorées. On les appelle les gaz à effet de serre Kyoto. L'engagement porte sur une première période allant de 2008 à 2012 et le but général est de réduire les émissions de GHG Kyoto d'au moins 5% par rapport au niveau de 1990.

Les objectifs individuels des pays participants varient fortement et l'ampleur de la réduction des émissions d'un pays dépend de sa puissance économique et du niveau actuel des émissions. La Belgique, par exemple, doit réduire ses émissions de 7,5% pendant la période fixée. Pour les pays de l'UE, les pourcentages ont été fixés en concertation mutuelle, en partant du fait que la réduction moyenne des émissions doit être de 8% dans l'UE.

Quelques articles du protocole de Kyoto revêtent une importance pratique exceptionnelle. Ils autorisent les signataires à



La Sibérie abrite de vastes forêts qui aident la Russie à atteindre les objectifs de Kyoto. GNU/GFDL.

Et ensuite ?

Le cœur de l'affaire

Il est impossible de mener ici 'le' débat sur l'énergie. La notion d'énergie comporte d'innombrables facettes qui valent

tion mondiale de pétrole et 18,25% de la consommation de pétrole. Pour ce qui concerne le gaz naturel, les chiffres ne sont pas meilleurs: l'UE possède 4% des réserves mondiales dans son sous-sol, et représente 7,2% de la production mondiale et 24,7% de la consommation mondiale de gaz. La Belgique est mal lotie au sein de l'UE, puisqu'elle ne possède aucun gisement connu de pétrole ou de gaz naturel.

Passons à l'action

Que pouvons-nous faire ? Pour commencer, nous pouvons collaborer sérieusement pour mettre en œuvre les conditions que le protocole de Kyoto nous impose. Est-ce que ce sera suffisant ? Absolument pas. Ce n'est qu'une goutte d'eau dans l'océan, mais ne rien faire, c'est pire. Pour faire vraiment la différence, des mesures plus drastiques sont nécessaires. Nous n'arrêterons pas le



Le commerce des droits d'émission aide l'Union européenne à réaliser les objectifs de Kyoto. Photo U.S. Federal Government.



Le débat sur l'énergie nucléaire est loin d'être clos.

pratiquer le commerce des droits d'émission et à transposer une partie des réductions d'émissions auxquelles ils se sont engagés en mesures environnementales à l'étranger s'ils le souhaitent. Ils peuvent également acheter une partie des droits d'émission d'autres pays s'ils risquent de ne pas atteindre leur objectif. On pourrait imaginer par exemple que la Belgique achète des droits d'émission à la Russie si notre pays ne parvient pas à tenir son engagement de 7,5%.

L'exemple de la Russie n'a pas été choisi au hasard, car ce pays est parfaitement à l'aise pour ce qui concerne les objectifs de réduction des émissions. Car si la Russie possède une économie assez polluante, elle compte également des forêts gigantesques, en Sibérie, qui représentent une valeur positive dans l'addition des facteurs de réduction des émissions car elles absorbent d'énormes quantités de CO₂ par photosynthèse.

toutes la peine d'être discutées. Mais trois points au moins sont devenus clairs. Tout d'abord, nous consommons des combustibles fossiles à un rythme effréné et la fin des réserves est en vue. En second lieu, il y a un lien entre les émissions de gaz à effet de serre, le réchauffement de la planète et les changements climatiques en vue. L'activité humaine est un facteur qui contribue beaucoup à ces processus. Et en troisième lieu, la Belgique et l'UE sont dépendantes de fournisseurs étrangers de combustibles fossiles. Il va falloir apprendre à vivre avec cela, ou faire quelque chose.

Notre faiblesse

Voici encore quelques chiffres pour ceux qui douteraient encore de la faiblesse de l'Union Européenne en matière d'énergie. Parmi toutes les réserves de pétrole estimées prudemment dans le monde, 0,5% se situe dans le sous-sol européen. Nous représentons 2,9% de la produc-

réchauffement de la planète, mais nous pourrions peut-être le freiner.

A présent, il s'avère que le protocole de Kyoto représente le maximum faisable au moment de sa signature, mais qu'il est encore loin de ce qui serait souhaitable. Des pays essentiels encore en développement, comme la Chine et l'Inde, échappent à ces obligations. C'est ce qui a poussé le gouvernement de George W. Bush, aux Etats-Unis, à s'abstenir de signer le protocole. Mais il y a également de bonnes nouvelles. L'UE veut réaliser pour 2020 une réduction de 20% des gaz à effet de serre, et de 30% en Suède. En mai 2007, le premier ministre japonais Shinzo Abe a proposé de conclure en 2013 un nouveau traité global, dans le but de réduire de moitié les émissions pour 2050. L'Allemagne souhaite la même chose. Des conditions beaucoup plus strictes que celles de Kyoto, donc, et sans exception. Ces initiatives en disent long.

Consommer moins de combustibles fossiles, c'est produire moins de gaz à effet de serre et contourner le problème du tarissement de ces sources et de la dépendance vis-à-vis des fournisseurs étrangers. Durant la phase intermédiaire, nous pourrions développer des installations permettant de convertir proprement le combustible fossile en électricité. La question de l'avenir des combustibles fossiles est expliquée dans l'**encadré 8** sur le site web de MENS (www.magazinemens.eu).

Nous pourrions utiliser au maximum l'énergie nucléaire, en toute connaissance de ses avantages et inconvénients. Les principaux: l'énergie nucléaire nécessite un combustible qui n'est pas fossile (urane), les réserves de ce combustible sont limitées (du moins si l'on s'en tient à la fission nucléaire et si l'on ne prévoit pas de passer à la fusion nucléaire), d'aucuns

Ne restons pas sans rien faire

Nous pouvons tous apporter notre petite contribution. Par exemple en réfléchissant bien à certains aspects de notre société, où la consommation prime sur tout. Pour consommer, il faut produire, pour produire, il faut consommer de l'énergie et pour consommer de l'énergie... Et la boucle est bouclée. Nous pouvons réfléchir à la façon dont nous consommons, et si nous sommes sur le bon chemin.

Les asperges vertes du Pérou sont succulentes, mais pour les transporter en avion, il faut beaucoup de kérosène. Les émissions de CO₂ sont donc considérables pendant ce long vol. Il en va de même pour les fruits exotiques. Les exemples sont légion. Ceci dit, de savoureuses asperges et de délicieux fruits sont

Il en va de même près de chez nous. En Belgique, l'élevage bovin est responsable de l'émission de très grandes quantités de gaz à effet de serre, 7% de nos émissions totales. Il s'agit non seulement de CO₂, mais également de gaz à effet de serre plus puissants encore, comme le méthane— les pets des vaches contiennent beaucoup de méthane, par exemple ! — et le dioxyde d'azote.

Les asperges et la viande ne sont que quelques-uns des nombreux exemples. Dans la vie quotidienne, il ne s'agit pas seulement de l'alimentation, mais également de la façon dont on chauffe et isole nos habitations, des économies d'électricité que nous réalisons, de ne pas gaspiller le papier, de nos déplacements quotidiens, des destinations de vacances que nous choisissons et du mode de transport que nous empruntons pour nous y rendre, ... d'innombrables aspects en rapport avec la consommation d'énergie et les mesures que nous pouvons prendre si nous le voulons vraiment.

Conclusion

Votre comportement personnel détermine votre *empreinte écologique*. Cette valeur s'exprime en hectares et représente l'évaluation de la superficie de planète dont vous avez besoin, personnellement, pour mener votre style de vie. La consommation d'énergie est un facteur important dans ce calcul.

Si vous mettiez toutes les personnes de la planète sur pied d'égalité, sans toucher au 'capital' de la terre, l'empreinte écologique moyenne serait de 1,8 ha par habitant. Les chiffres réels sont très différents. En Afrique, l'empreinte écologique moyenne est de 1,1 ha et aux Etats-Unis de 9,7 ha. La Belgique se situe au milieu, avec une valeur de 5,6 ha. Cela signifie qu'il faudrait au moins trois planètes Terre pour que tous les habitants de la planète puissent mener le même style de vie que nous.

Nous vivons donc largement au-dessus de nos moyens, qu'il s'agisse du monde dans sa totalité ou des individus. Il est temps d'entrer en action et de changer nos mentalités.



Les voyages en avion sont polluants. Photo Xeper. GNU/GFDL.

continuent à se poser des questions concernant la sécurité du nucléaire et certains problèmes d'entreposage des déchets ne sont pas résolus. L'énergie nucléaire est une matière à controverse dans notre société actuelle. Une discussion relative à la fermeture prévue des centrales nucléaires en 2015 ne manquera certainement pas d'éclater à nouveau dans notre pays. L'énergie nucléaire sera le sujet d'un prochain numéro de MENS.

Nous pourrions également utiliser pleinement les sources d'énergie renouvelables. Énergie éolienne, énergie solaire, combustion de la biomasse, énergie hydraulique, chaleur terrestre, énergie des marées, ... A moins de parier sur le développement des réacteurs de fusion nucléaire pour l'avenir ? Ces sujets passionnants seront également abordés plus en détail dans les prochains numéros de MENS.

également produits près de chez nous... Les Belges (mais pas seulement les Belges) mangent beaucoup trop de viande, ce qui est mauvais pour la santé. Mais nombreux sont ceux qui aiment la viande et qui ne sont pas prêts à y renoncer. Mais trop c'est trop, comme l'indiquent les chiffres. Entre 1919 et 2007, la consommation de viande moyenne annuelle est passée de 30 kg à 100 kg par habitant dans notre pays. Rien que ça ! Calculez combien cela fait par jour. Mais manger beaucoup de viande, c'est non seulement nocif pour la santé, mais également nuisible à l'environnement. Dans l'hémisphère sud, les forêts tropicales humides sont abattues pour faire place à l'élevage et cette destruction de l'environnement compromet sa biodiversité notamment. Le sol devient ensuite sensible à l'érosion et cesse d'être utilisable très peu de temps après. L'abattage à grande échelle des arbres réduit surtout la capacité de notre planète à absorber le CO₂.



Le bambou

Les sources d'énergie renouvelables sont essentielles aux succès économiques durables.

À l'avenir, le vent et l'énergie houlomotrice joueront un rôle significatif. Les cultures énergétiques feront elles aussi partie intégrante de la stratégie nationale en matière d'énergie renouvelable.

Des essais portant sur un certain nombre de cultures énergétiques (saule, peuplier et miscanthus) ont été menés en Irlande. Le marché de la biomasse en Irlande sort à peine des limbes mais les expériences menées à ce jour se sont avérées prometteuses en termes de potentiel d'utilisation du sol et de rendements. À l'avenir, les cultures énergétiques procureront des revenus aux agriculteurs soucieux de ne pas dépendre uniquement de la production alimentaire. Une récolte adaptée de biomasse permet également de freiner et d'inverser les effets de la pollution des sols et peut entraîner des avantages environnementaux.

Pourquoi le bambou?

Source de biomasse à haut rendement, le bambou est également une culture hautement polyvalente. Des essais ont été menés sur le continent européen avec des résultats positifs. Outliving a mis sur pied un projet pilote en Irlande pour mesurer la viabilité du bambou en tant que:

- source durable de biocombustible
- traitement des déchets liquides par filtration
- écrans sempervirants pour les décharges industrielles
- réhabilitation et remédiation de décharges
- comme évier pour le CO₂
- un additif pour les panneaux de fibres de bois de moyenne densité.

www.outliving.ie

Outliving

Loterie Nationale

créateur de chances

"MENS" en rétrospective

- 1 L'emballage est-il superflu ?
- 2 Le chat et le chien dans l'environnement
- 3 Soyez bons pour les animaux
- 4 Le chlore, comment y voir clair
- 5 Faut-il encore du fumier ?
- 6 Sources d'énergie
- 7 La collecte des déchets : un art
- 8 L'être humain et la toxicomanie
- 9 Apprenons à recycler
- 10 La Chimie: source de la vie
- 11 La viande, un problème ?
- 12 Mieux vaut prévenir que guérir
- 13 Biocides, une malédiction ou une bénédiction ?
- 14 Manger et bouger pour rester en pleine forme
- 15 Pseudo-hormones : la fertilité en danger
- 16 Développement durable : de la parole aux actes
- 17 La montée en puissance de l'allergie
- 18 Les femmes et la science
- 19 Viande labellisée, viande sûre ! ?
- 20 Le recyclage des plastiques
- 21 La sécurité alimentaire, une histoire complexe.
- 22 Le climat dans l'embarras
- 23 Au-delà des limites de la VUE
- 24 Biodiversité, l'homme fauteur de troubles
- 25 La biomasse : L'or vert du 21ème siècle
- 26 La nourriture des dieux : le chocolat
- 27 Jouer avec les atomes la nanotechnologie
- 28 L'or bleu : un trésor exceptionnelle !
- 29 Animal heureux, homme heureux
- 30 Des souris et des rats, petits soucis et grands tracas
- 31 Illusions à vendre
- 32 La cigarette (ou) la vie
- 33 La grippe, un tueur aux aguets ?
- 34 Vaccination : bouée de sauvetage ou mirage ?



"MENS" à venir :

CHANGEMENT CLIMATIQUE
ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ÉNERGIE DURABLE
ADHD