

MENS :
une vision incisive
et éducative
sur l'environnement

Approche didactique
et scientifique

6

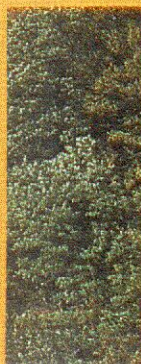
MENS

Milieu,
Education,
Nature &
Société

2ème trimestre 1995 Dossier sur l'environnement: '*mens sana in terra sana*'

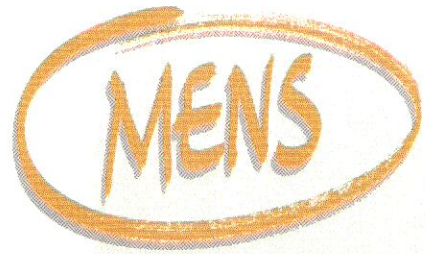


"Sources d'énergie"



L'énergie et la naissance
de l'Univers.





Contenu

Editorial par S.A.R. le Prince Laurent	2
Dossier: "Sources d'énergie"	3
Prix des jeunes, Environnement, MENS, 1995 et 1996	32

Editorial

L'Institut Royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres (I.R.G.T.) a été créé dans le but de promouvoir la collaboration en matière d'environnement entre les différents groupes au sein de notre société: la population, les hommes politiques, les milieux industriels et les associations pour la défense de l'environnement. Cette harmonisation des efforts vise à une utilisation judicieuse des ressources naturelles et doit donc nous permettre d'obtenir de meilleurs résultats.

Une administration durable des richesses naturelles est une règle de conduite que l'homme doit observer dans toutes ses activités. Cette préoccupation s'applique par excellence à la consommation d'énergie qui s'accroît parallèlement au développement de l'homme.

Les sources d'énergies fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont exploitées à vive allure et seront bientôt tarées. La recherche d'alternatives réalisables est donc devenue une nécessité absolue.

Pour chaque application, il convient de choisir judicieusement la source d'énergie la mieux appropriée.

La consommation d'énergie s'accompagne souvent d'une pollution de l'environnement qui peut prendre des formes très diverses: accidents avec des pétroliers ou dans des centrales nucléaires, défiguration du paysage par les barrages, rejet de gaz responsables de l'effet de serre, etc. Pour réduire ces effets indésirables, une technologie propre doit être développée. Celle-ci doit contribuer à améliorer le rendement de l'exploitation de l'énergie tout en réduisant les risques de pollution.

Le présent dossier "Sources d'énergie" contribue à une meilleure compréhension de la problématique énergétique à laquelle l'homme est confronté ainsi que des efforts qui sont mis en oeuvre pour y remédier.

L'Institut espère que ce dossier, élaboré par des scientifiques et des pédagogues, sera un stimulant pour chacun à s'engager dans une gestion durable des richesses naturelles d'une manière générale et dans une consommation d'énergie rationnelle en particulier. L'Institut est ouvert à toute initiative qui, d'une manière originale, pourrait nous faire progresser dans cette voie.



S.A.R. le Prince Laurent
Président de l'Institut Royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres (I.R.G.T.)

Milieu, Education, Nature & Société

'Mens sana in terra sana'

© Tous droits réservés MENS 1995

Editeur responsable, information et coordination:

Sonja De Nollin
Te Boelaarlei 23
B - 2140-Anvers
Tél.: +32 / 3 / 322.74.69
Fax: +32 / 3 / 321.02.77

Comité de rédaction:

J. Bosmans,
Editeur en chef, Journal du Médecin
K. Bruggemans,
Directeur du Département Culture,
Chef de production des Emissions Scientifiques
Télévisées
R. Hulpia,
Services de Didactique,
Ministère de l'Education.
D. Wellens,
Biologiste, Pharmacologue.



en rétrospective

MENS 1

"L'emballage est-il superflu?"

MENS 2

"Le chat et le chien dans
l'environnement"

MENS 3

"Soyez bons pour les animaux"

MENS 4

"Le chlore: comment y voir clair?"

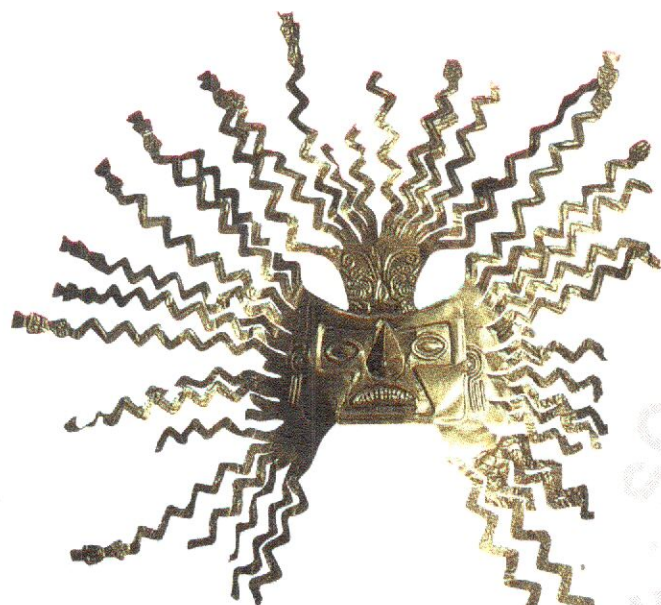
MENS 5

"Faut-il encore du fumier?"

Numéro à 170 FB

Commande par paiement au numéro CCP:
000-1610496-05, S. De Nollin, MENS.

Informations et illustrations fournies par
BP, Shell, Electrabel, l'ONDRAP, Watco, R.U. Gent,
K.U. Leuven, Wereldwijd, Prof. R. Caubergs et al.,
MENS 18.



Avec la collaboration de:
 Prof. Albert Art, ULB, Bruxelles
 Prof. Reinhart Ceulemans, UIA, Anvers
 Patrick Cornelis, Centre de coordination S.N.I.,
 Bruxelles
 Guy Debleeckere, Giuseppe De Gregorio,
 Communication Electrabel, Bruxelles
 Jean-Marc Jossart, Belbiom, Louvain-la-Neuve
 Prof. Joseph Martin, U.C.L., Louvain-la-Neuve
 Prof. Robert Moreau, U.L.g.,
 Directeur de la Maison des Sciences, Liège
 Bart Muys, I.R.G.T., Bruxelles

Groupe de rédaction "MENS":
 Marie Delarche, Sonja De Nollin,
 Donald Wellens

Les sources d'énergie

D'un point de vue étymologique, le terme énergie est dérivé du mot grec "energeia" qui signifie "force en action". C'est un concept difficile à définir.

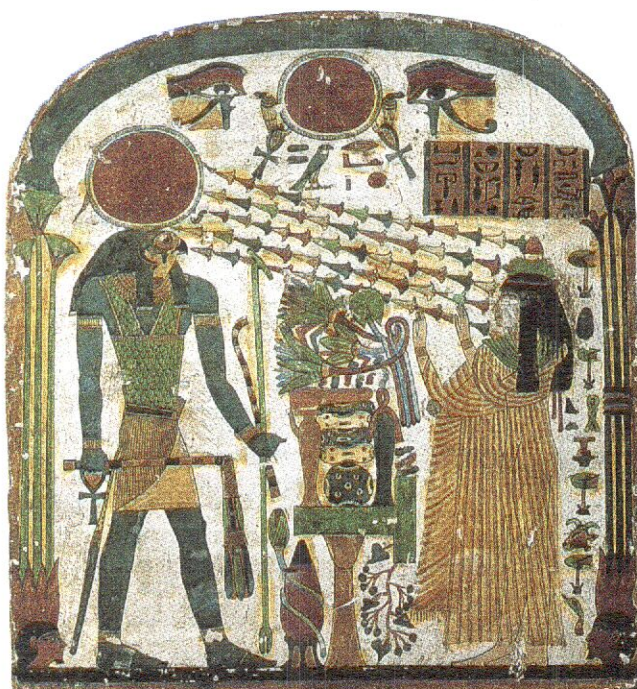
L'énergie a de nombreuses formes. Une forme d'énergie peut se transformer en une autre.

$$E=mc^2$$

L'énergie de gravitation repose sur la force d'attraction entre les particules. Elle peut se transformer en énergie cinétique c'est-à-dire en mouvement. Par le frottement, une partie de l'énergie mécanique va se transformer en chaleur.

Le rayonnement solaire est une source d'énergie importante sur la planète. Il détermine dans une forte mesure tout ce qui se passe sur Terre. L'énergie solaire est indispensable à la vie des plantes vertes qui, à leur tour, servent de nourriture, directement ou indirectement, aux hommes et aux animaux.

Les réserves d'énergie des combustibles fossiles se sont, elles aussi, formées grâce au rayonnement solaire. Elles se sont constituées et accumulées dans l'écorce terrestre durant des centaines de millions d'années. Ces réserves exploitées maintenant par l'homme se tarissent plus ou moins vite.



Adoration du Soleil par les Mayas (en haut), les Egyptiens (à gauche) et les Celtes (ci-dessous).



Lorsque les vaisseaux spatiaux reviennent dans le champ d'attraction de la Terre, ils ont besoin d'un bouclier thermique. Sans bouclier ils brûleraient entièrement ou partiellement à la suite des forces de frottement au contact de l'atmosphère.



**rayonnement
solaire**

lumière

ondes courtes

**réflexion
directe**
 $52000 \times 10^{12} \text{ W}$

**conversion
directe
en chaleur**
 $81000 \times 10^{12} \text{ W}$

**évaporation,
précipitation**
...
 $40000 \times 10^{12} \text{ W}$

**vent, vagues,
courants**
 $370 \times 10^{12} \text{ W}$

photosynthèse
 $40 \times 10^{12} \text{ W}$



**accumulation dans l'eau et
la glace**

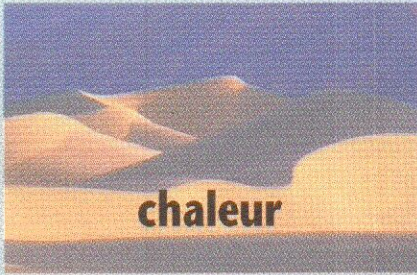


accumulation dans la végétation



combustibles fossiles

Le cycle d'énergie sur la Terre



chaleur

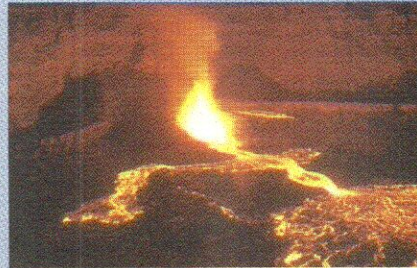
ondes longues



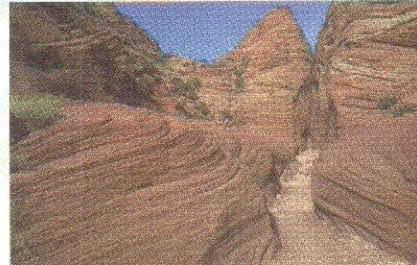
énergie planétaire



marées, courants etc.
 $3 \times 10^{12} \text{ W}$



convection dans les volcans et
sources d'eau chaude $3 \times 10^{12} \text{ W}$



conduction
dans les sédiments

décomposi-
tion

animaux

**énergies nucléaire
et
géothermique**

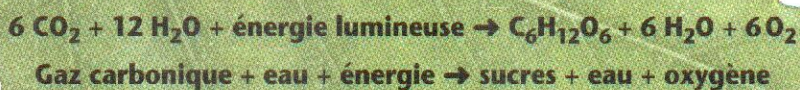
Sur la page précédente, sont représentés de manière schématique et à l'aide de flèches, les liens qui relient entre eux les grands phénomènes énergétiques sur la planète. Les différences quantitatives énormes relatives aux quantités d'énergie, ne sont visualisées que dans une faible mesure par la différence d'épaisseur entre les flèches. Les chiffres mentionnés reflètent plus fidèlement ces différences.

L'énergie au service de la chaîne alimentaire

Seule une très petite fraction de l'énergie solaire est nécessaire pour entretenir les processus vitaux qui se déroulent sur la Terre. En effet, moins d'un millième de l'énergie solaire arrivant sur Terre, est, au moyen de la photosynthèse, utilisé par les plantes et transmis ensuite aux animaux et aux hommes par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Les plantes et la photosynthèse

Lors de la photosynthèse, l'énergie lumineuse est fixée dans la synthèse chimique d'une molécule de glucose. L'équation chimique globale peut être résumée comme suit:



La photosynthèse dans son ensemble, doit être considérée comme une réduction au cours de laquelle de l'oxygène est formé. Ce résultat n'est obtenu cependant qu'après une multitude d'étapes intermédiaires indispensables.

On distingue deux phases différentes qui se déroulent toutes les deux dans des organites cellulaires spécifiques des plantes à savoir les chloroplastes:

1. La phase photochimique a besoin d'énergie lumineuse et aboutit à la formation d'adénosine-triphosphate riche en énergie à partir d'adénosine-diphosphate et de phosphore:



2. La phase thermochimique est composée d'une succession de transformations chimiques pour lesquelles la lumière n'est pas nécessaire. Cette phase peut donc se dérouler également la nuit. Elle utilise l'ATP riche en énergie d'une part et le NADPH (= nicotinamide-adénine-dinucléotide-phosphate) réducteur, d'autre part. Le NADPH réduit le CO_2 pour former du glucose ou bien d'autres sucres.

Environ 0,02 % de l'énergie solaire est captivée par les processus de photosynthèse

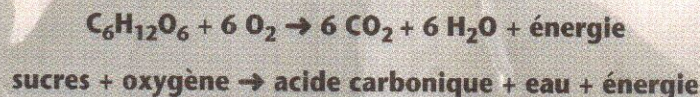


Les animaux, les hommes et la respiration

L'énergie lumineuse accumulée par les plantes sous la forme chimique de sucres, d'amidon, de protéines, d'huiles et autres, est utilisée en deuxième instance sous la forme d'aliments par les hommes et les animaux.

Le système digestif animal utilise les aliments pour élaborer et réparer les tissus mais aussi pour produire de l'énergie sous la forme de chaleur corporelle et d'énergie mécanique.

La production d'énergie est réalisée par la combustion (oxydation) des substances alimentaires à l'aide de l'oxygène provenant des poumons et du sang. Les processus de la respiration peuvent être considérés grosso modo comme une photosynthèse inversée:



Alors que la photosynthèse correspond à la réduction du CO_2 avec formation de matière organique, la respiration en revanche correspond à l'oxydation de la matière organique avec formation de CO_2 . C'est de cette manière que les plantes et les animaux, dans des conditions idéales, se maintiennent en équilibre. "Rien ne se perd, rien ne se crée" ou "Panta rhei".

Non seulement la respiration animale, mais aussi toutes les sortes de combustion et d'oxydation de la matière organique comme le bois ou les déchets de fruits, de légumes et de jardin, peuvent être considérés comme des processus inverses de celui de la photosynthèse.

LES UNITÉS D'ÉNERGIE

• calorie = cal

Unité d'énergie thermique utilisée autrefois et définie comme étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'1 gramme d'eau de 14,5°C à 15,5°C.

• Joule = J ($J = N \times m$)

Unité d'énergie = la force unitaire \times le déplacement unitaire (Newton \times mètre):

Conversion (approximativement): 1 J = 0,24 cal ou 1 cal = 4,19 J;

kilojoule = kJ = 10^3 J; mégajoule = MJ = 10^6 J; gigajoule = GJ = 10^9 J.

• Watt = W ($W = J/s$)

Unité de puissance (= énergie/temps).

kilowatt = kW = 10^3 W; mégawatt = MW = 10^6 W; gigawatt = GW = 10^9 W.

• kilowattheure = kWh.

Unité d'énergie souvent utilisée en électricité.

1 kWh = 3.600 kJ, correspond à une puissance de 1 kW fournie pendant 1 heure.

CAPACITÉS ÉNERGÉTIQUES de diverses sources d'énergie.

- 1 kg de biomasse sèche fournit en moyenne:	18 MJ
- 1 kg de charbon fournit en moyenne:	29 MJ
- 1 kg de mazout fournit en moyenne:	41 MJ
- 1 kg de gaz naturel liquide fournit en moyenne:	49 MJ
(c.-à-d. 1,4 m ³ de gaz naturel sous forme gazeuse)	

Un être humain adulte exige environ 12 MJ par jour pour son alimentation.

Le terrien moyen consomme une énergie de 150 MJ environ par jour; cette moyenne journalière s'élève à environ 400 MJ et 800 MJ par personne respectivement en Europe et en Amérique du Nord (d'après "BP Statistical review of world energy", 1993).

Il va devenir de plus en plus difficile d'assurer l'alimentation de la masse croissante des milliards d'individus peuplant la planète; on se trouve d'ailleurs déjà confronté à des problèmes alimentaires dans de nombreuses régions du monde. Le maillon le plus faible dans l'approvisionnement alimentaire n'est pas tant un manque d'énergie solaire mais plutôt un manque d'eau et de terres fertiles pouvant assurer la production de la masse de matière végétale alimentaire requise pour la consommation animale et humaine.

La surface agricole cultivable fait de plus en plus défaut et c'est à ce niveau que réside le fond du problème. Ces dernières décennies, de grandes superficies de forêt tropicale ont déjà été sacrifiées, en partie pour l'industrie du bois, en partie pour la culture et l'élevage. Cette pratique ne constitue cependant qu'un palliatif dont les conséquences néfastes se font sentir à court terme.

La couche d'humus des forêts tropicales est très fine et s'épuise très rapidement. En outre, les déboisements engendrent à leur tour d'autres catastrophes. Par exemple, la coupe rase réalisée ces dernières décennies sur les flancs de l'Himalaya a été, entre autres, responsable des inondations désastreuses des régions fertiles situées en aval comme ce fut le cas au Bangla Desh.



Le maïs est une plante C4.
Le blé et le riz sont des plantes C3.



L'Humanité se trouve déjà dans une situation plutôt critique. Des études effectuées par l'Institut américain Hudson, prévoient que l'approvisionnement possible, en Joules ou en calories, par la photosynthèse et l'agriculture, suffira de moins en moins à couvrir les besoins alimentaires.

D'après les chercheurs américains, si tous les hommes optaient aujourd'hui pour une alimentation exclusivement végétarienne, cela se traduirait par un manque de 30% de surface agricole cultivable, ... ou un excédent de 30% de la population mondiale. Un problème qu'il ne faut donc pas sous-estimer. (Avery, 1994)

Certes, le rendement des cultures alimentaires peut être encore accru grâce à l'application de meilleures technologies mécaniques ainsi qu'à la technologie génétique. L'homme peut également apprendre à consommer plus d'algues en provenance des océans. Mais pendant combien de temps toutes ces solutions seront-elles suffisantes?

Jusqu'à présent, de grands groupes de population en Extrême-Orient ne mangeaient pratiquement que du riz ou des choux. La situation économique s'améliorant dans ces pays, de nombreuses personnes peuvent maintenant petit à petit ajouter de la viande à leur alimentation, principalement du porc et du poulet.

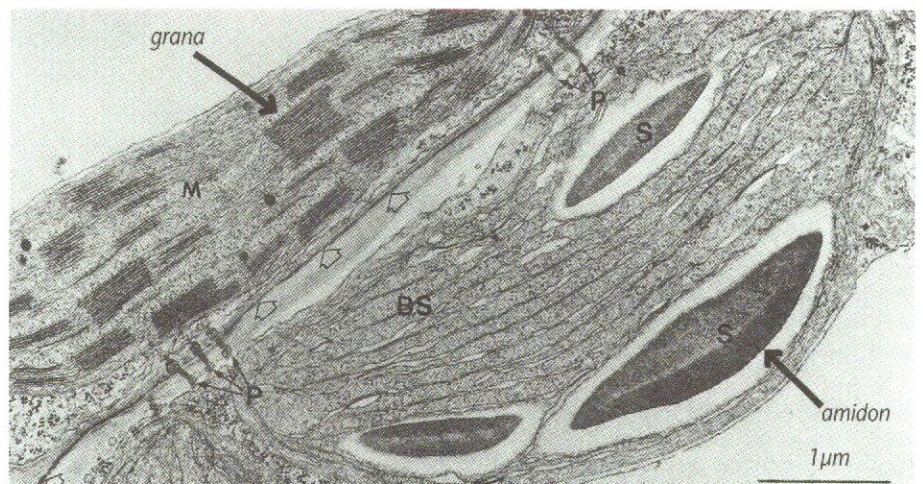
L'engraissement des animaux dans des étables - les conditions de vie de ces animaux étant souvent très contestables - permet de produire un maximum de protéines sur un minimum de surface. Cette pratique semble constituer une solution d'attente au problème de la pénurie en surface agricole car le bétail peut se nourrir d'herbe et de plantes impropres à la consommation humaine.

Cependant, l'expédient consistant à se tourner vers la consommation de viande ne représente sûrement pas une solution durable aux problèmes énergétiques. Bien au contraire, la viande ne peut être élaborée que grâce à la photosynthèse des plantes.

Plus la chaîne alimentaire s'allonge, plus elle requiert dans son ensemble nettement plus de croissance végétale et d'apport d'énergie. D'après les calculs, l'alimentation de l'homme à partir des protéines animales est payée, en terme énergétique, 5 à 10 fois plus chèrement si on la compare à l'alimentation végétarienne.

Les limites de la photosynthèse en tant que source d'alimentation et d'énergie

Dans des conditions idéales au laboratoire, on réussit à produire une molécule d'oxygène à partir du dioxyde de carbone à l'aide de 8 quanta d'énergie lumineuse, ce qui correspond à environ 33×10^{-19} J. Tous les calculs indiquent que le rendement théorique maximal de la photosynthèse s'élève à 23,5%, c'est-à-dire qu'un quart de l'énergie lumineuse captée serait stockée sous forme d'énergie chimique pouvant être utilisée par les êtres vivants.



Vue intracellulaire montrant deux types de chloroplastes dans une plante C4 (le maïs). Les chloroplastes sont les organites intracellulaires où s'effectuent les réactions de la photosynthèse. La photographie au microscope électronique révèle:
- à gauche, un grand chloroplaste contenant des grains foncés (grana);
- à droite, des chloroplastes sans grana, mais contenant des grains d'amidon.
(Photographie EM d'après Grunning & Steer, 1975)



Rizières à Banoé (Philippines) avec cultivation de variétés génétiques par l'IRRI (International Rice Research Institute). Contrôle de la résistance des variétés génétiques contre des maladies diverses.



Collection de plus de 83.000 variétés de semences différentes

Mais en réalité, il existe des pertes énergétiques importantes dues à la réflexion et à toutes sortes de processus physiologiques dans la plante qui, finalement, doit vivre elle-aussi. C'est ainsi que l'énergie réellement disponible pour la nourriture représente environ 1% de l'énergie captée au niveau de la plante.

Comment l'homme peut-il puiser une plus grande quantité d'énergie à partir de la croissance des plantes terrestres? Quelques possibilités sont citées ci-dessous :

1. Les plantes C3 versus C4

Les plantes C3 fabriquent du glycéraldéhyde, le sucre le plus simple qui comprend 3 atomes de carbone. Elles utilisent 12 photons sous forme d'énergie lumineuse pour chaque molécule de CO_2 qu'elles fixent en glycéraldéhyde. Les plantes C4 par contre, fabriquent des chaînes de 4 atomes de carbone (acide malique par ex.) et ont besoin pour cela de 14 photons par CO_2 incorporé. Ce petit avantage du rendement photonique pour les plantes C3 disparaît entre 10 et 25°C à cause du processus appelé photorespiration. Les plantes C3 et C4 consomment alors, en pratique, environ 15 photons par molécule de CO_2 incorporée. A des températures supérieures, le rendement des plantes C3 diminue encore plus. La photorespiration n'existe pratiquement pas chez les plantes C4.

L'élaboration, dans un climat chaud, des plantes C4 comme la canne à sucre, le maïs et le millet est intéressante d'un point de vue énergétique.

2. Dans l'agriculture, les mauvaises herbes et les maladies des plantes sont responsables de la perte de grandes quantités d'énergie alimentaire. Ces maux peuvent être combattus par l'application judicieuse de techniques agricoles et de fertilisation adaptées et, lorsque cela s'avère nécessaire, de moyens chimiques appropriés.

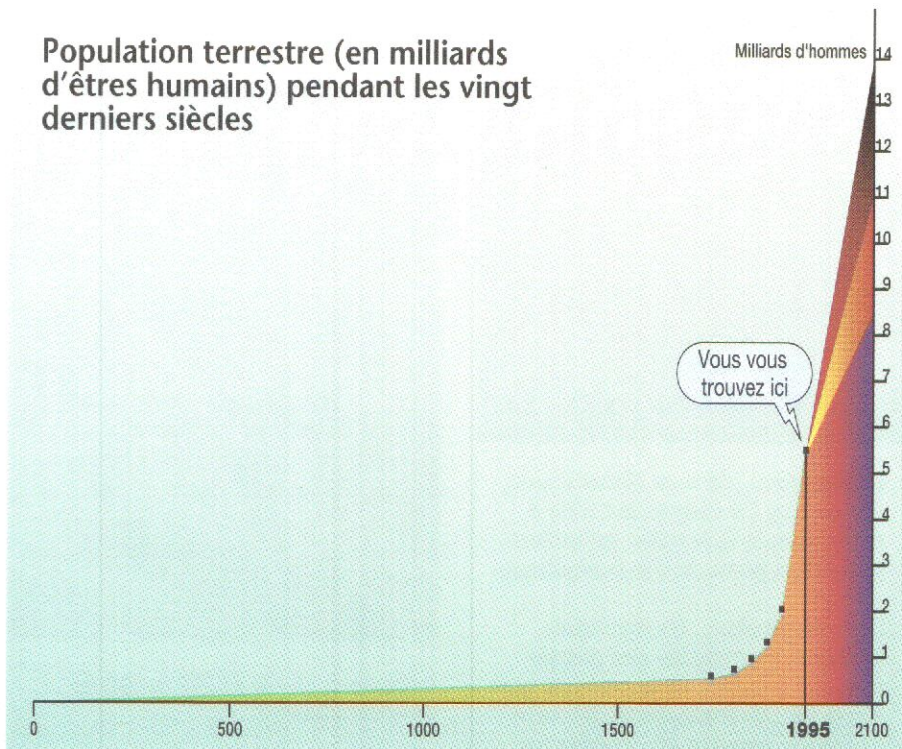
3. La biotechnologie, la sélection des races et les manipulations génétiques ont permis la réalisation de progrès considérables en matière de rendement agricole. La grosseur des grains des céréales ou du riz, la solidité des tiges, la résistance au froid, aux champignons, aux parasites, et autres, sont tous des facteurs qui font la différence entre la famine et l'abondance. La "sélection" des plantes a été à l'origine de miracles plus ou moins grands dans l'amélioration de la valeur nutritive de toute sortes de cultures. En outre, dans des régions immenses, au Mexique et en Sibérie entre autres, il est maintenant possible de faire pousser des espèces de céréales adaptées à des conditions climatiques extrêmes allant du très froid et/ou à la sécheresse.

Cependant, rien ne permet d'affirmer que toutes les améliorations en matière d'agriculture seront suffisantes pour assurer encore longtemps l'alimentation de la population humaine en pleine explosion démographique.

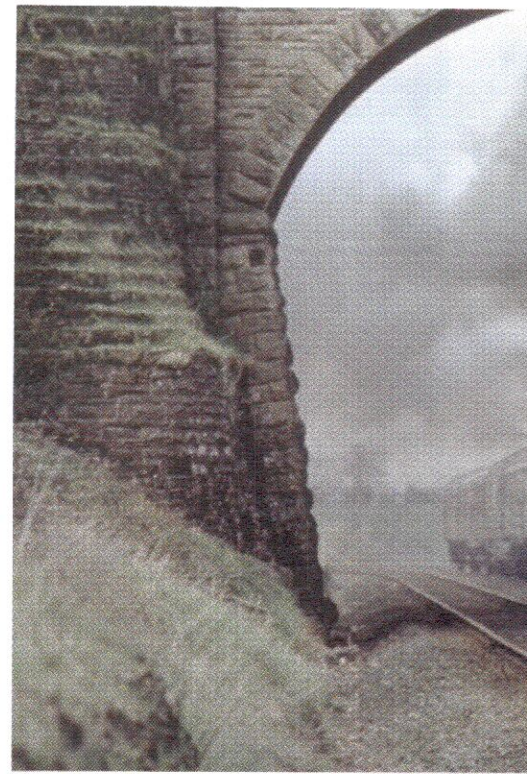
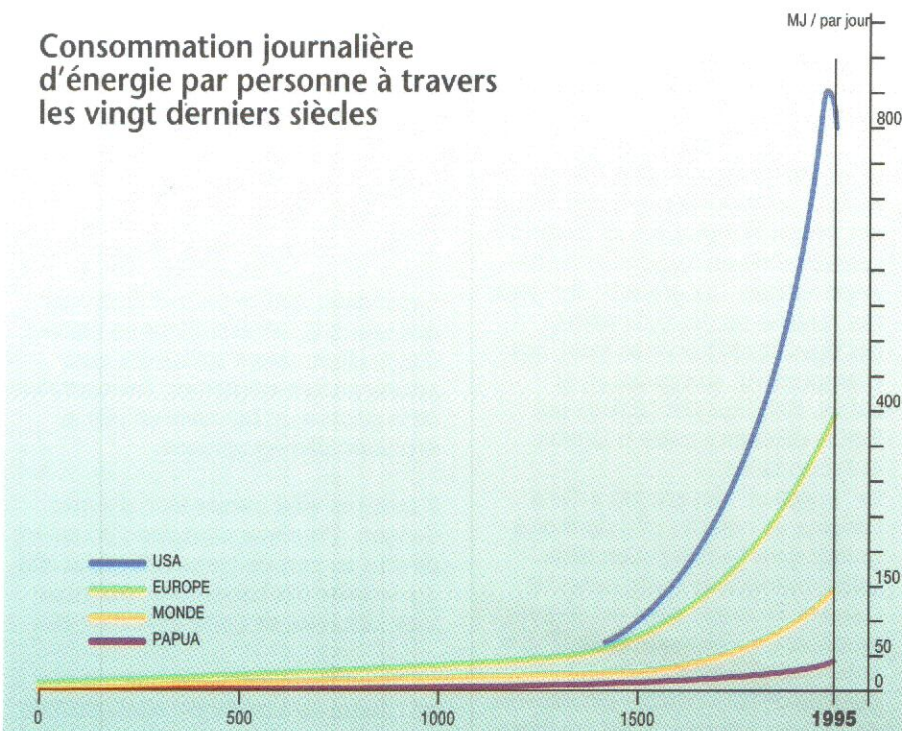
Il existe en effet encore bien d'autres dangers. L'homme moderne s'accapare de plus en plus de terres cultivables afin d'y installer des habitations, des industries, des voies de communication etc.

La désertification et l'urbanisation qui ne cessent de s'intensifier sur la planète ne sont certainement pas de nature à améliorer la situation dans laquelle est placée l'agriculture.

Population terrestre (en milliards d'êtres humains) pendant les vingt derniers siècles



Consommation journalière d'énergie par personne à travers les vingt derniers siècles



La consommation d'énergie de l'homme au cours des siècles

La consommation d'énergie de l'homme préhistorique se limitait principalement à la nourriture qui lui était nécessaire pour entretenir sa température corporelle, son métabolisme et son travail musculaire. Il réussissait à survivre avec un peu plus de 8 MJ par personne et par jour.

Il y a environ un million d'années, à l'âge de la pierre, l'homme a découvert qu'il pouvait faire du feu avec du silex. Cette découverte lui a rendu la vie plus facile à bien des égards. L'invention du feu, d'armes et d'outils l'ont aidé à faire face victorieusement à l'hostilité de la nature. Ce faisant, l'homme a doublé sa consommation d'énergie quotidienne.

En ce temps-là, un tout petit peu de bois en tant que combustible était suffisant. Le bois représentait, initialement, une source d'énergie durable et inépuisable. Il poussait bien plus rapidement que cela n'était nécessaire pour combler les besoins des hommes.

Ensuite, l'homme a inventé l'arc et la fronde, le levier, la roue et la poulie. La domestication de certains animaux a multiplié la force motrice de l'homme qui en a profité pour se faire remplacer dans les travaux pénibles. La consommation d'énergie par personne s'est accrue parallèlement à l'évolution des méthodes de production dans l'agriculture, l'élevage et l'industrie.



Dans les transports, l'homme utilisa la force du courant et celle du vent en hissant une voile sur les premières embarcations. Il utilisa le vent pour faire tourner les ailes des moulins et actionner le meule pour broyer le grain. Il maîtrisa l'énergie de l'eau pour faire tourner les roues des moulins.

Dans la société agricole primitive, comparable aux modes de vie qui existent encore aujourd'hui dans certaines régions de la Nouvelle-Guinée, on estime la consommation d'énergie à 50 MJ par personne et par jour. Une technologie de production plus développée, telle que celle appliquée en Europe dans les années 1400, exige déjà le double d'énergie, c'est-à-dire environ 100 MJ.

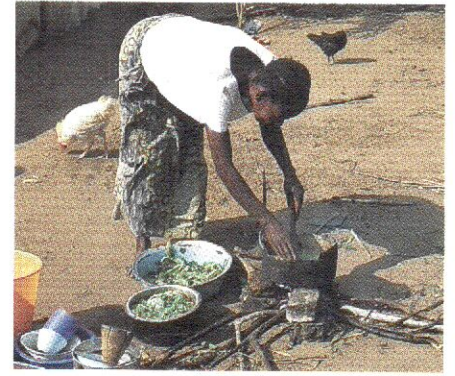
L'homme a vécu ainsi pendant des siècles avant de découvrir l'énergie que pouvait lui fournir les combustibles fossiles. Au dix-huitième siècle, le charbon a

peu à peu remplacé le bois en tant que combustible. Au début et en dépit des émanations toxiques, il a été utilisé dans les usines. Grâce au développement de fourneaux adaptés, un bon chauffage des maisons a ensuite été possible.

A partir du coke, on a pu fabriquer de la fonte. Le fer est devenu le nouveau matériau de construction pour les machines, les ponts, les bateaux et plus tard les voies de chemin de fer, les locomotives et les wagons.

La machine à vapeur de James Watt allait bouleverser les modes de production et ouvrir la voie au développement de l'industrie moderne.

Au début de ce siècle, de nouvelles sources d'énergie se sont ajoutées au charbon: les dérivés du pétrole, le gaz, l'électricité, l'énergie nucléaire...



Une façon de cuisiner qui gaspille beaucoup d'énergie.

Depuis la révolution industrielle, la voracité en énergie de l'homme moderne s'est encore considérablement accrue. A la fin du dix-neuvième siècle, la consommation d'énergie quotidienne par personne en Angleterre, en Allemagne et aux Etats-Unis était de 300 MJ.

En 1977, le citoyen moyen des Etats-Unis d'Amérique se permettait une consommation d'énergie de quelque 1000 MJ par jour. Avec cette même quantité d'énergie, nos ancêtres aux temps les plus reculés pouvaient rester en vie plus de 100 jours.

Pour combler cet accroissement des besoins énergétiques, on puise actuellement dans les ressources énergétiques de la Terre à une allure forcée. Plus que jamais, la recherche d'une consommation d'énergie plus rationnelle d'une part et de sources d'énergie alternatives acceptables d'autre part, constitue une priorité.

Synthèse d'après : A. Linters (VVIA et EBES, Anvers, 1986)



Haut fourneau

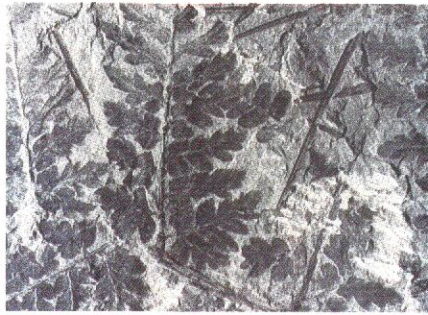
Il est manifeste que l'espèce humaine concentre toutes ses forces sur la recherche de sources d'énergie suffisantes. Il existe en effet une double croissance exponentielle, celle du nombre de personnes et celle des besoins en énergie par personne.

Les calories nécessaires à l'alimentation ne représentent qu'une petite partie des besoins énergétiques totaux. Les quantités d'énergie devant servir à l'éclairage, au chauffage, au transport et à toutes sortes d'activités industrielles et ménagères, sont elles, bien plus importantes.

Il est donc primordial de bien connaître les caractéristiques des différentes sources d'énergie et de faire un choix judicieux au vu des avantages et des inconvénients liés à leur emploi. Dans le choix d'une source d'énergie, l'homme doit se laisser guider par des critères tels que le risque d'épuisement et les dimensions des ressources énergétiques, les dangers encourus lors de l'exploitation, le transport, les différentes applications, toutes les formes de pollution, etc.

Les différentes sources d'énergie développées ci-après, sont:

- les sources d'énergie "traditionnelles" comme les combustibles fossiles accumulés, le charbon, le pétrole et le gaz naturel mais aussi le combustible naturel se renouvelant sans cesse, le bois;
- les sources d'énergie alternatives d'inspiration très diverses:
 - l'énergie solaire
 - l'énergie éolienne
 - l'énergie hydraulique
 - l'énergie géothermique
 - la bio-énergie (fumier, déchets, ...)
 - les sources d'énergie nucléaire, la fusion nucléaire, la fission nucléaire

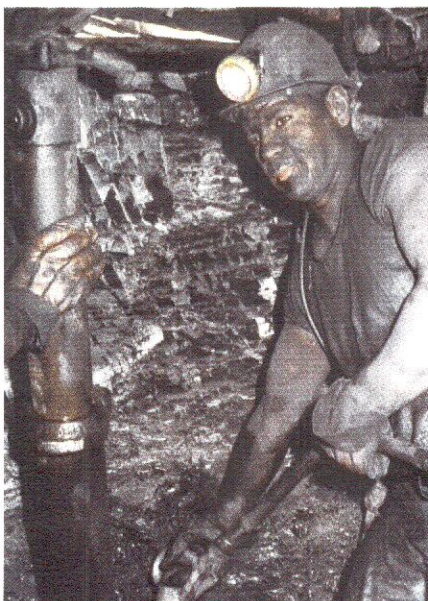


Les combustibles fossiles*

Les combustibles fossiles proviennent de sédiments organiques qui se sont accumulés dans l'écorce terrestre aux temps préhistoriques sous la forme de charbon, de pétrole ou de gaz naturel.

Ces combustibles fossiles fournissent actuellement environ 76% de l'énergie totale consommée par l'homme. Ils ne constituent cependant pas une solution durable car dans un siècle ou deux, ces sources seront épuisées. Ces combustibles sont en fait de l'énergie solaire qui, grâce à la photosynthèse des plantes, s'est accumulée sur des millions d'années.

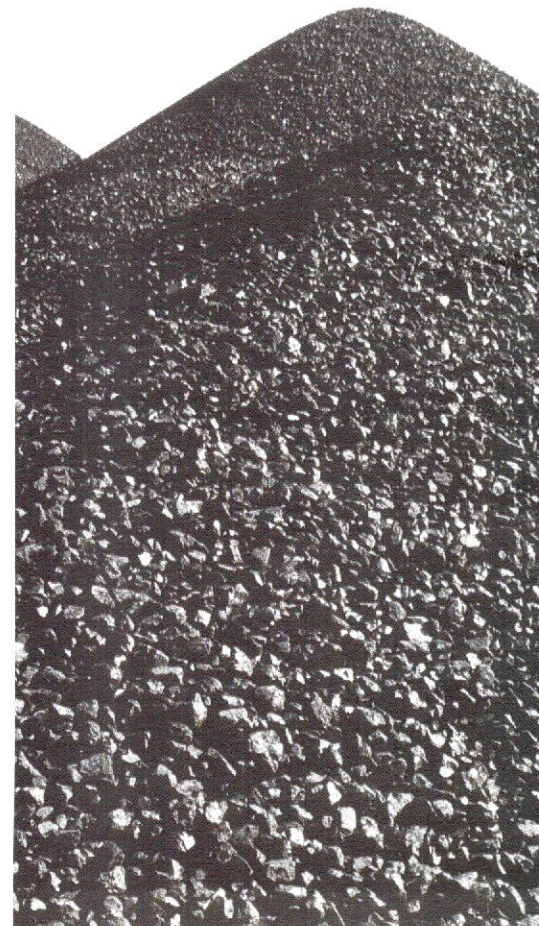
**D'après un certain nombre de spécialistes, le gaz naturel peut provenir de roches et donc avoir également une origine non fossile ou abiogène.*

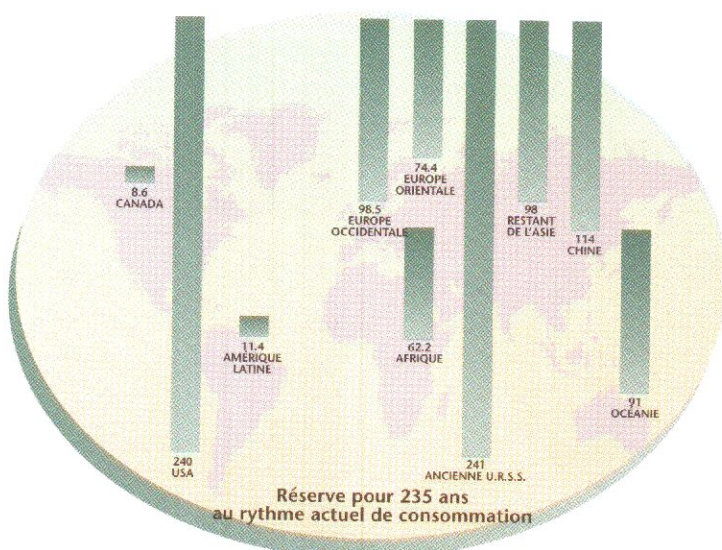


Les sources d'énergie "traditionnelles"

Le charbon

A l'ère carbonifère, des marais gigantesques se sont formés à la suite du retrait des mers. Dans ces marais, des forêts tropicales se sont installées. La matière végétale morte s'est alors entassée dans le sol marécageux. L'apport d'oxygène était en partie voire totalement exclu en raison de l'accumulation rapide des couches de déchets végétaux. Faute d'oxygène, les processus de décomposition par les bactéries aérobies étaient donc impossibles ou ne pouvaient se dérouler que partiellement. Les restes des plantes dans le sol tourbeux ont donc été transformés par décomposition chimique anaérobie successivement en tourbe, lignite et charbon. Le déroulement des différentes phases de ce processus de carbonisation varie en fonction de la durée, de la pression et de la température.





RÉSERVES CONNUES DE CHARBON (en milliards de tonnes - 1993)

L'exploitation du charbon n'est pas sans risque pour l'homme, l'inhalation continue de carbone provoque en effet de graves lésions au niveau des poumons.

En Europe, de nombreuses mines de charbon ont été fermées à la suite de l'épuisement des meilleures veines et de la baisse de rentabilité. Grâce aux nouveautés technologiques et tout particulièrement à l'application des techniques de gazéification souterraine, il est maintenant possible de mieux exploiter les couches carbonifères.

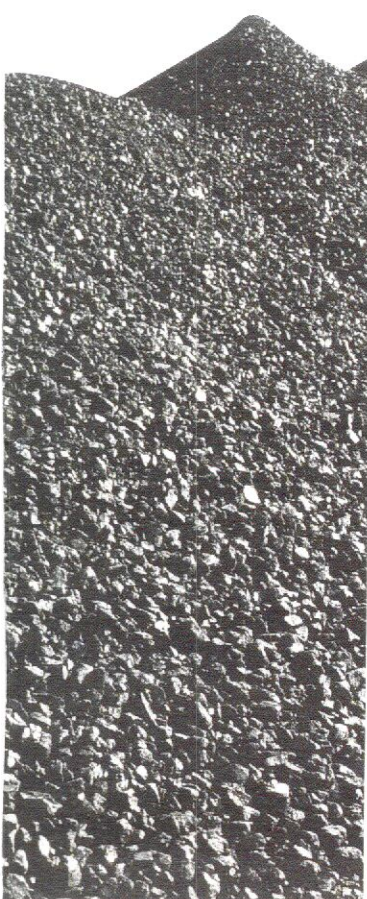
Les principaux gisements et les réserves connues de charbon figurent sur une mappemonde. Si la consommation de charbon se poursuit au rythme actuel, ces réserves seront épuisées dans 235 ans.

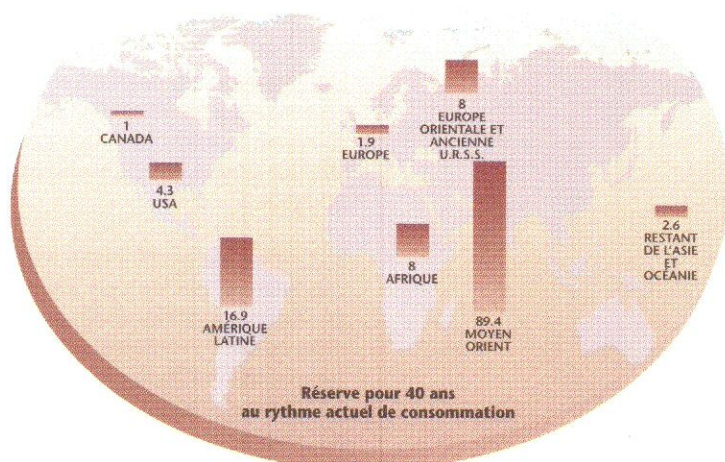
Il va de soi que l'homme exploite en premier lieu les couches carbonifères les plus accessibles et les plus rentables.

Le charbon en tant que source d'énergie est utilisé pour la production d'électricité dans nombreuses centrales génératrices, pour la production du gaz de houille (le gaz de ville), pour la production du minerai de fer et (dans une moindre mesure) pour le chauffage des maisons et des bâtiments.

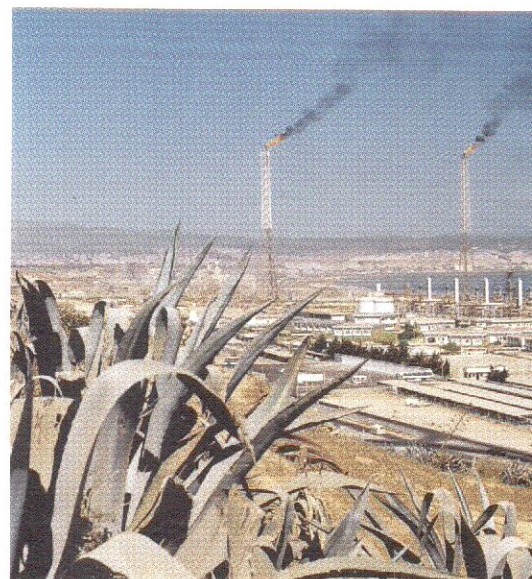
Tableau des ères géologiques et des diverses sortes de charbon

	Ere	Période	Sorte de charbon
1	Quartaire	Pléistocène	Tourbe
20			
40			
60			
100	Tertiaire	Miocène	Lignite
		Oligocène	Lignite
150		Eocène	Lignite et carbone sous-bitumineux
180	Mésozoïque	Crétacé	Carbone sous-bitumineux et bitumineux
210		Jurassique	Carbone bitumineux
		Trias	Carbone bitumineux
320	Paléozoïque supérieur	Permien	Carbone bitumineux et anthracite
		Carbonifère	Carbone bitumineux et anthracite





RÉSERVES CONNUES DE PÉTROLE (en milliards de tonnes - 1991)



Le pétrole

La formation du pétrole est antérieure à celle du charbon. Le pétrole est retrouvé dans des sédiments formés entre le précambrien et le pliocène, c'est-à-dire dans des couches terrestres âgées d'un milliard à dix millions d'années.

Ces sédiments proviennent de couches de boue formées sur les fonds marins par le plancton mort, lui-même recouvert par d'autres sédiments.

Les restes organiques du plancton ont été décomposés par des bactéries anaérobies. Comme dans le cas de la formation du charbon à partir de la matière végétale, un processus de décomposition anaérobie était là-aussi primordial.

A partir des couches de plancton et selon des processus de décomposition bactériens qui ne sont pas encore parfaitement élucidés, il s'est formé ou bien du pétrole ou bien du gaz naturel.

Souvent, le pétrole et le gaz naturel se sont échappés de la "roche-mère" où ils avaient été formés. La pression exercée par les sédiments des couches supérieures les a poussé à se réfugier dans des roches réceptrices poreuses. Leur ascension a ensuite été stoppée par des couches impénétrables, souvent argileuses entourant les roches poreuses.

D'après les calculs, au rythme de consommation actuel, les ressources pétrolifères seront épuisées dans 40 ans. Bien sûr, la découverte de nouveaux gisements n'est pas exclue.

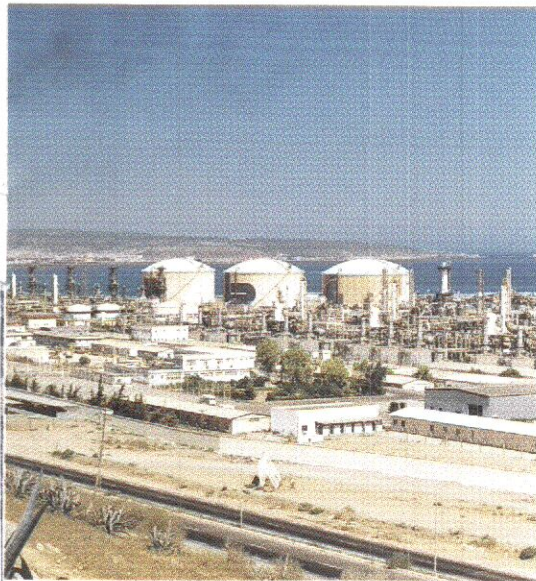
Les gisements de pétrole sont concentrés essentiellement au Moyen-Orient. Cette situation a de fortes répercussions sur les rapports de force au sein de la politique mondiale humaine. Lors de la guerre de l'Iraq contre le Koweït, des centaines de puits de pétrole ont été incendiés, les conséquences écologiques ont été désastreuses et se sont traduites par la pollution de l'air, de la terre et de l'eau.

Le regroupement des sources de pétrole n'a pas seulement des conséquences politiques. Elle implique aussi le fait que le pétrole doit être transporté sur de grandes distances.

A terre, le transport d'énormes quantités de pétrole est réalisé au moyen de pipelines, enterrés ou non. Le pétrole est propulsé sur une quarantaine de kilo-mètres d'une station de pompage à une autre.

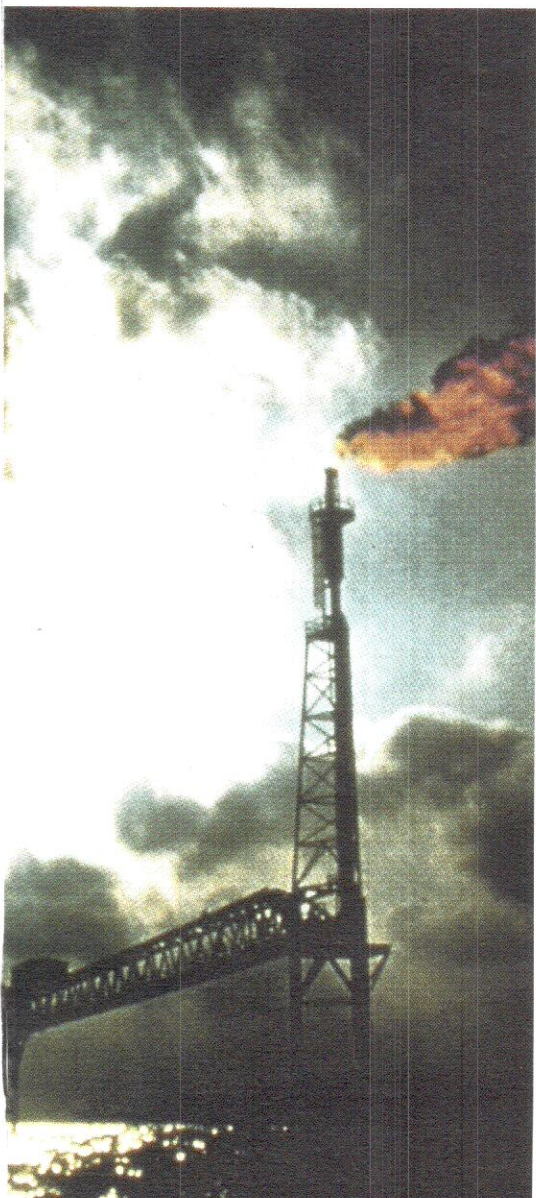
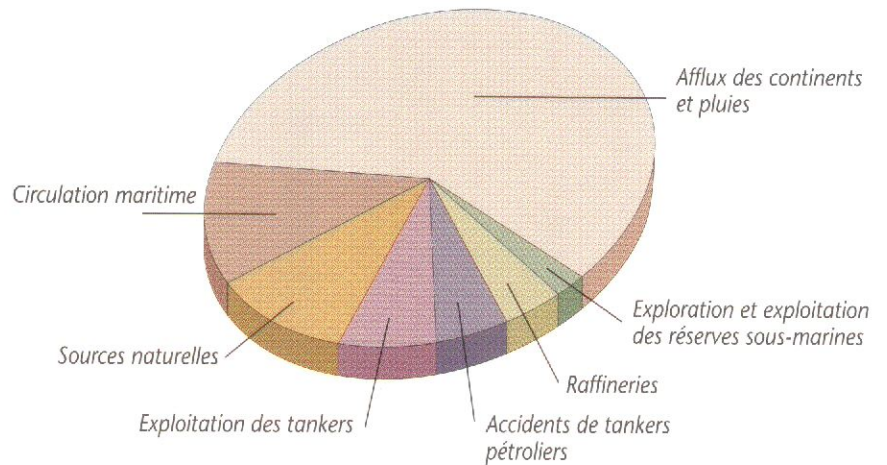
Les pipelines les plus importants partent du nord du Canada en direction des Etats-Unis ou relient les pays de l'Est c'est-à-dire l'ex-URSS et ses pays satellites. Suite à des fuites apparues au niveau de pipelines de pétrole en mauvais état en Sibérie, des régions immenses de la toundra ont été ensevelies sous le pétrole.





ESTIMATION DE LA POLLUTION MARINE PAR LES FUITES DE PÉTROLE LORS DE L'EXPLOITATION, LE TRANSPORT ET L'EMPLOI.

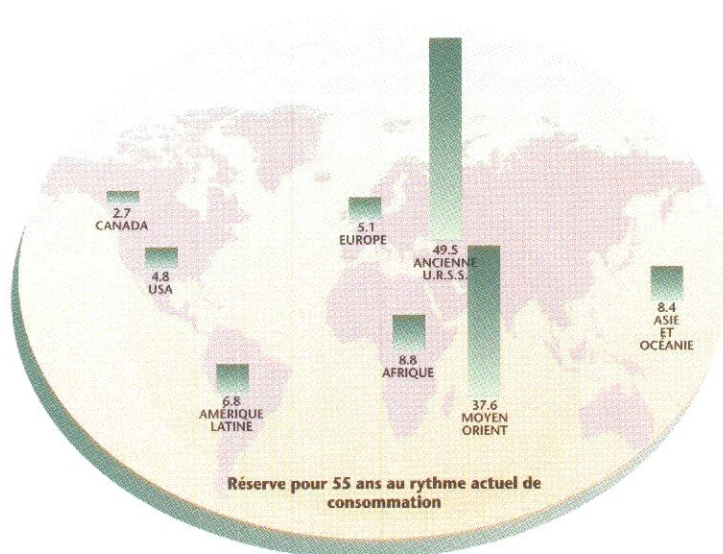
Pertes annuelles totales: deux millions de tonnes environ



Le stockage du mazout à des fins industrielles et ménagères peut lui-aussi poser des problèmes. Pensez seulement aux multiples endroits où le sol a déjà été souillé à la suite de fuites apparues au niveau de cuves placées près des habitations.

Sur mer, le transport est réalisé par des supertankers allant jusqu'à 600000 tonnes. Des accidents avec de tels pétroliers ont déjà eu à plusieurs reprises des conséquences catastrophiques sur la vie des mers et des océans. Ces accidents sont responsables de quelque 5 pour-cent de la perte annuelle de pétrole en mer dont le total est évalué à deux millions de tonnes environ.

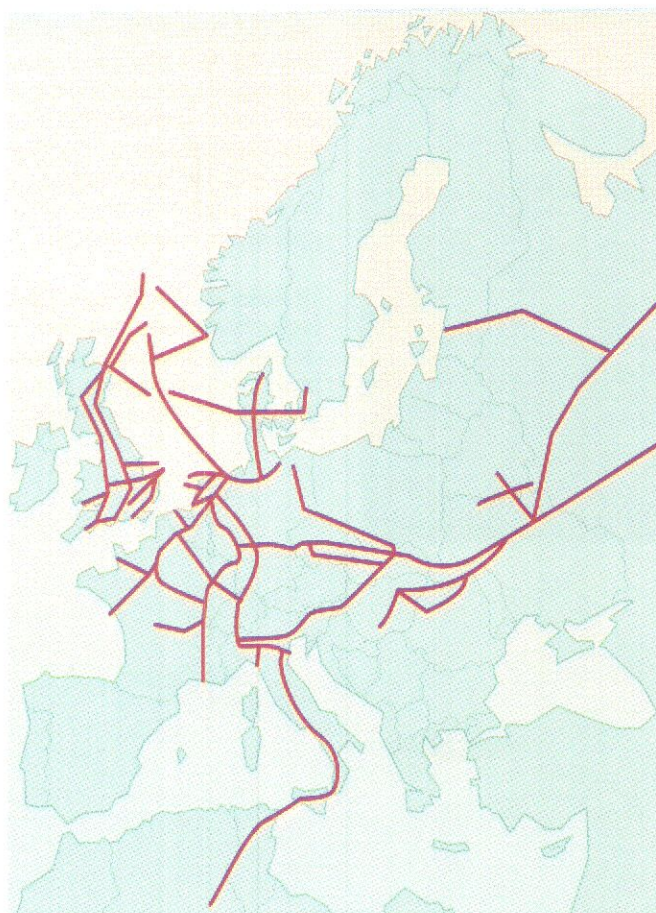
La majorité des pertes est due à des fautes humaines. Il est donc essentiel de veiller à une meilleure formation professionnelle dans le secteur du transport et de l'exploitation du pétrole.



RÉSERVES CONNUES DE GAZ NATUREL (en milliards de m³ - 1991)



Navire transportant du GNL



Le gaz naturel

Au rythme de consommation et aux coûts d'exploitation actuels, les réserves de gaz naturel connues aujourd'hui, pourront tenir encore 55 ans.

Contrairement au pétrole, les réserves de gaz naturel sont mieux réparties dans le monde. L'Europe en est également mieux pourvue. Le transport du gaz naturel à terre peut être réalisé d'une manière assez simple au moyen de gazoducs à haute pression. En Europe, un vaste réseau de canalisations a été installé, une partie repose sur les fonds marins et sert au transport du gaz provenant de la mer du Nord, ainsi qu'au transport du gaz algérien par la mer méditerranée. A terre, un autre réseau important est celui qui vient de la Sibérie.

Le gaz peut également être transporté par bateau sous forme liquide (GNL) à une température de -160°C. En partance de l'Afrique du Nord, les méthaniers se rendent en France, en Espagne et en Belgique. Le ravitaillement du Japon en gaz naturel se fait principalement par la voie maritime.

Un bateau transportant du gaz liquide peut emmagasiner une réserve équivalente à 600 cuves traditionnelles de gaz. Il est également possible d'entreposer le gaz sous pression dans des couches de sel situées à une grande profondeur dans le sous-sol.

Le gaz naturel présente des avantages particulièrement intéressants. C'est un combustible exceptionnellement "propre" comparé au charbon et au pétrole. Sa combustion entraîne en effet la libération de quantités beaucoup plus faibles d'oxydes d'azote et pratiquement pas d'anhydride sulfureux, il pollue donc beaucoup moins l'atmosphère.

Principaux gazoducs pour l'apport de gaz naturel de la Mer du Nord, Algérie et Sibérie

De plus, le gaz naturel (CH_4), comparé à d'autres combustibles, dégage environ deux fois plus d'énergie lors du rejet d'une même molécule de CO_2 . La combustion du gaz naturel contribue donc deux fois moins à l'effet de serre.

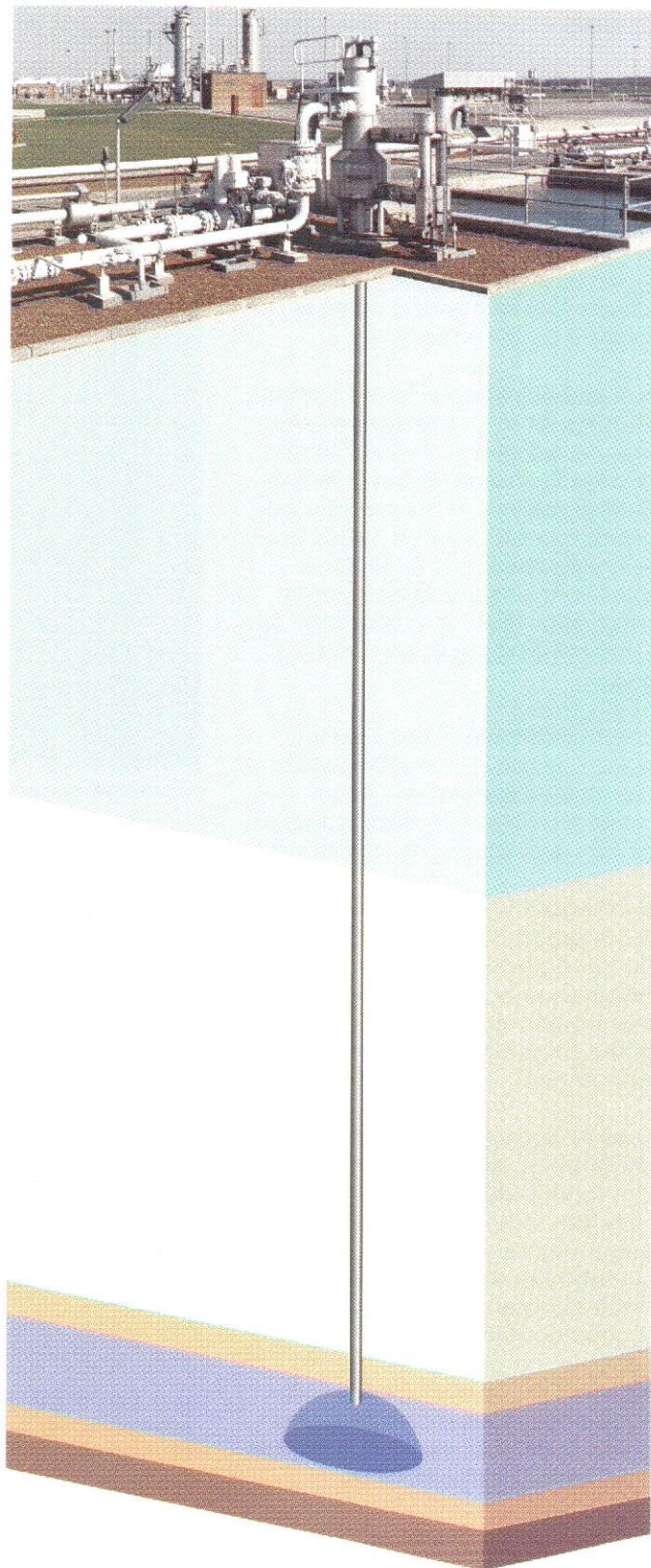
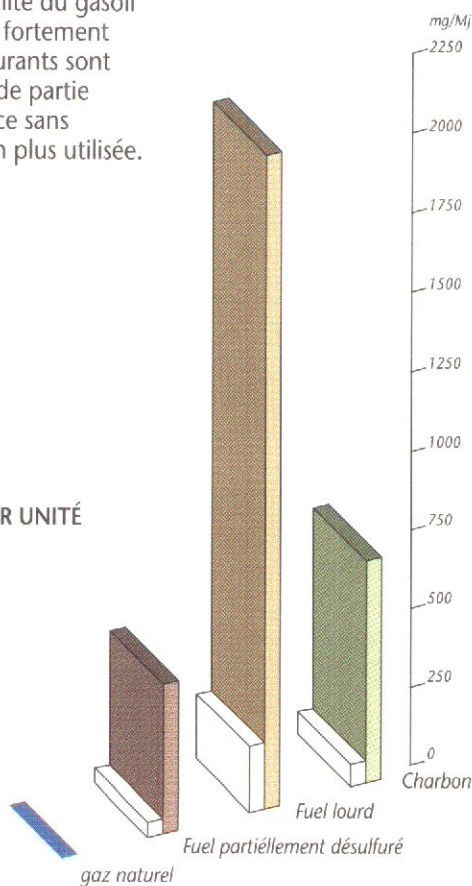
Contrairement aux autres combustibles fossiles, la combustion du gaz naturel n'entraîne pas de formation de suie. Aussi, dans les maisons chauffées au gaz naturel, les cheminées ne doivent-elles pas, ou peu, être nettoyées. En revanche, dans le cas du chauffage au charbon ou au mazout, un ramonage régulier des cheminées est nécessaire.

Le gaz naturel ne contient pour ainsi dire pas de soufre, il ne rejette donc pas de SO_2 . Là où le gaz naturel a été introduit comme source d'énergie pour des applications très variées, une diminution très nette de la pollution de l'air a été observée.

La contribution d'autres combustibles à la pollution de l'air a également été réduite. Ainsi, la qualité du gasoil et de l'essence a été fortement améliorée. Ces carburants sont maintenant en grande partie désulfurés et l'essence sans plomb est de plus en plus utilisée.

EMISSION DE SO_2 PAR UNITÉ D'ÉNERGIE

□ Avec désulfuration des émissions



Entrepôt de gaz dans le sous-sol

Le bois

On considère que le charbon, le pétrole et, dans une moindre mesure, le gaz naturel sont des combustibles qui contribuent à l'effet de serre car ils rejettent dans l'air une quantité de CO_2 qui s'était accumulée très patiemment il y a des millions d'années sous la forme de molécules organiques. Cette tirelire de Mère Nature est à présent dilapidée par l'homme en un rien de temps.

Non seulement les réserves de combustibles fossiles sont consumées mais en plus, l'excédent de CO_2 dans l'air fait obstacle à la réverbération normale de l'énergie solaire vers l'espace. Une plus grande quantité d'énergie sous la forme de chaleur reste donc sur Terre. Il en résulte ainsi une élévation de la température dont les conséquences sur la balance écologique sont difficiles à évaluer.

En ce qui concerne l'effet de serre si redouté, le bois est considéré comme une source d'énergie "propre" car sa combustion libère précisément autant de CO_2 que son élaboration n'en exige.

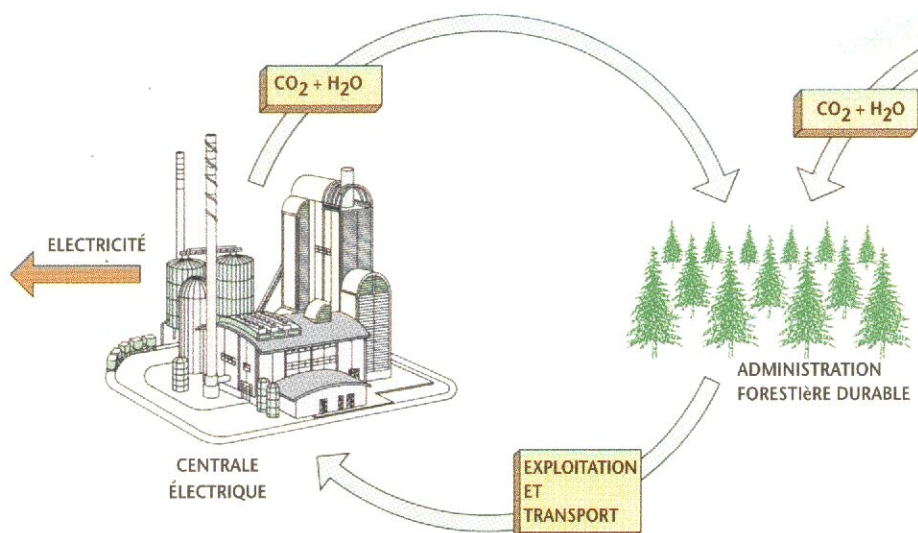
Si intéressant soit-il, le bois ne constitue cependant pas une source d'énergie durable car les surfaces boisées sont trop restreintes pour combler les besoins énergétiques mondiales, le déboisement pratiqué actuellement étant même très préoccupant.

Dans de vastes régions d'Afrique ou d'autres pays, les habitants ramassent le bois sur de vastes périmètres pour faire cuire leurs repas quotidiens. Il n'est pas question ici de gestion à long terme et ces habitudes de vie se traduisent très rapidement par la désertification de régions très étendues.

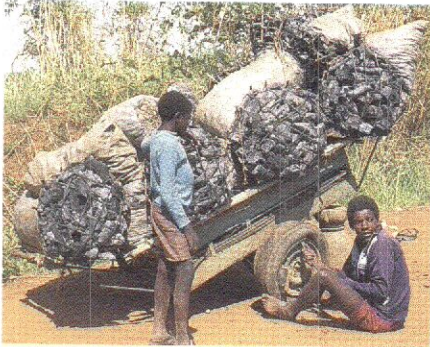
Un grand pas en avant est déjà réalisé lorsque l'on apprend à ces personnes à mieux cuire avec moins de bois grâce à des méthodes plus efficaces.



Administration forestière dans les pays scandinaves



La quantité de CO_2 émise par la combustion du bois équivaut à la quantité captivée durant la croissance des arbres.



Ramassage de bois et manque d'administration forestière dans le tiers monde

Il ressort de données récentes provenant du "World Resources Institute" (WRI), que 20 millions d'hectares de forêts disparaissent tous les ans. La forêt doit reculer à grands pas face à toutes sortes d'activités humaines: agriculture, élevage, industrie, habitation, réseau routier.

Dans l'air, de moins en moins de CO₂ est capté à cause du déboisement intensif. D'un autre côté les activités humaines rejettent de plus en plus de CO₂ dans l'atmosphère. Ces deux facteurs distincts sont responsables de l'amplification très rapide de l'effet de serre.

Pour compenser le rejet de CO₂ actuel au niveau mondial, il serait nécessaire de reboiser un milliard d'hectares, c'est-à-dire une superficie représentant plus de 200 fois celle de la Belgique ou des Pays-Bas.

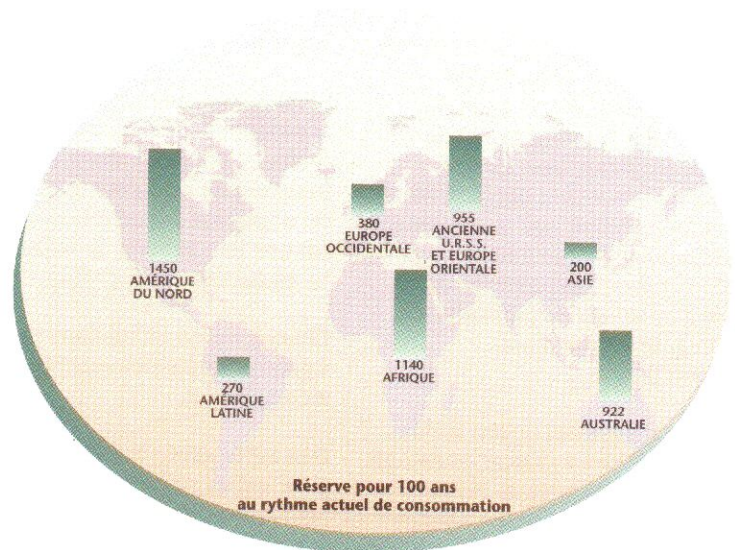
Ceci est absolument irréalisable. Il est donc nécessaire de rechercher d'autres moyens pour maintenir l'effet de serre dans des proportions acceptables.

Les sources d'énergie alternatives

Même si elles sont utilisées aussi intelligemment que possible, les sources d'énergie "traditionnelles" citées ci-dessus, ne seront jamais suffisantes pour deux raisons:

- Dans une ou deux générations humaines, ou même plus rapidement étant donné la croissance démographique mondiale, elles seront épuisées. Même si la population mondiale reste constante, la demande en énergie augmente de toute façon à la fois dans les pays industrialisés et ceux en voie de développement.
- Les sources d'énergie "traditionnelles" sont responsables d'un certain nombre d'effets indésirables et très préoccupants influant sur l'évolution de l'environnement sur la planète.

Au niveau mondial, les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) fournissent aujourd'hui trois quarts de l'énergie totale. Le quart restant provient des sources d'énergie alternatives, l'énergie nucléaire représentant 5% de la totalité.



RÉSERVES CONNUES DE MINÉRAI D'URANIUM (en milliers de tonnes - 1992)

Tout le monde s'accorde à dire que cette situation n'est pas tenable. L'homme doit apprendre à utiliser l'énergie avec plus de parcimonie d'une part et il doit créer, d'autre part, un équilibre plus responsable entre les proportions relatives des différentes sources d'énergie.

A cette fin, toutes sortes de changements plus ou moins drastiques sont proposés.

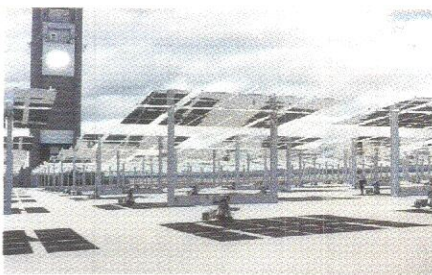
Le "Boston Centre of the Stockholm Environment Institute" préconise, dans une étude datant de 1993, d'arrêter l'emploi des combustibles fossiles d'ici l'an 2100 et de passer à des formes d'énergies renouvelables (énergie solaire, hydrogène, biomasse, énergie éolienne ...). Lorsque les taxes sur le CO₂ seront instaurées, elles ne pourront pas être appliquées aux sources d'énergie alternatives et ces formes d'énergie deviendront alors plus concurrentielles.

Quel que soit le scénario proposé, la recherche axée sur le développement de sources d'énergie alternatives s'avère être une nécessité absolue. Les différentes possibilités à notre disposition aujourd'hui, sont développées dans les chapitres suivants.

L'énergie solaire

Le soleil émet de l'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques. Une partie de cette énergie est absorbée par l'atmosphère terrestre et une autre partie nous atteint ou bien en tant que rayonnement solaire direct (environ 40%), ou bien en tant que rayonnement diffus après que l'énergie solaire se soit dispersée dans l'atmosphère sur les molécules de l'air, les particules de poussière ou la vapeur d'eau (environ 60%).

L'énergie lumineuse des rayons solaires peut être convertie en chaleur au moyen de capteurs, en électricité au moyen de cellules photovoltaïques ou en énergie chimique au moyen de la photosynthèse déjà décrite plus haut.



Conversion du rayonnement solaire en chaleur dans les capteurs solaires.

Les rayons solaires qui sont absorbés à la surface d'un objet, sont convertis en chaleur. Lorsqu'un milieu servant au transport de la chaleur (p.ex. air, eau ou un liquide à base d'huile) circule sur une telle surface, ce milieu va alors lui en extraire de la chaleur.

Chaque milieu utilisé dans un collecteur solaire présente des avantages et des inconvénients.

L'air est le milieu le plus léger, il ne pose aucun problème en cas de gelée nocturne et les fuites éventuelles ne sont jamais catastrophiques. Les capteurs solaires à air ne nécessitent pas de toitures spéciales.

L'eau est un meilleur conducteur thermique. Il est possible de la faire circuler dans des tuyaux plus fins et d'éviter ainsi tout bruit gênant. La chaleur captée à partir des rayons solaires peut être conservée pendant des semaines en stockant l'eau chaude dans une grande cuve bien isolée.

Le chauffe-eau solaire est l'application la plus courante de ce type de capteur. La chaleur accumulée sert à des usages ménagers: bain, douche, lave-vaisselle, éventuellement chauffage par le sol.

Conversion du rayonnement solaire en énergie électrique dans les cellules solaires

Les cellules solaires ou photopiles sont constituées d'un matériau semi-conducteur. Elles produisent sous l'influence du rayonnement solaire, une différence de potentiel et convertissent ainsi directement l'énergie solaire en électricité. La quantité d'électricité produite est proportionnelle à la quantité de rayonnement solaire qui atteint la cellule.

Dans de telles cellules solaires, il n'y a aucune partie en mouvement. Ces cellules ne sont donc pas sujettes à des frottements mécaniques et exigent ainsi peu d'entretien.

Le silicium est l'un des matériaux les plus utilisés. Il est présent en abondance dans le sable et dans d'autres roches. Il constitue environ 25% de l'écorce terrestre.

Il va de soi que la production d'électricité dépend des conditions climatiques. Pour assurer un apport constant d'électricité, les photopiles sont souvent utilisées pour maintenir une batterie chargée.

Les applications possibles sont: l'éclairage communal dans certains pays, l'irrigation, l'approvisionnement en énergie des plate-formes non habitées.

Le rendement des capteurs solaires et des cellules solaires est faible. Le rendement de conversion actuel des cellules solaires varie de 6 à 18%.

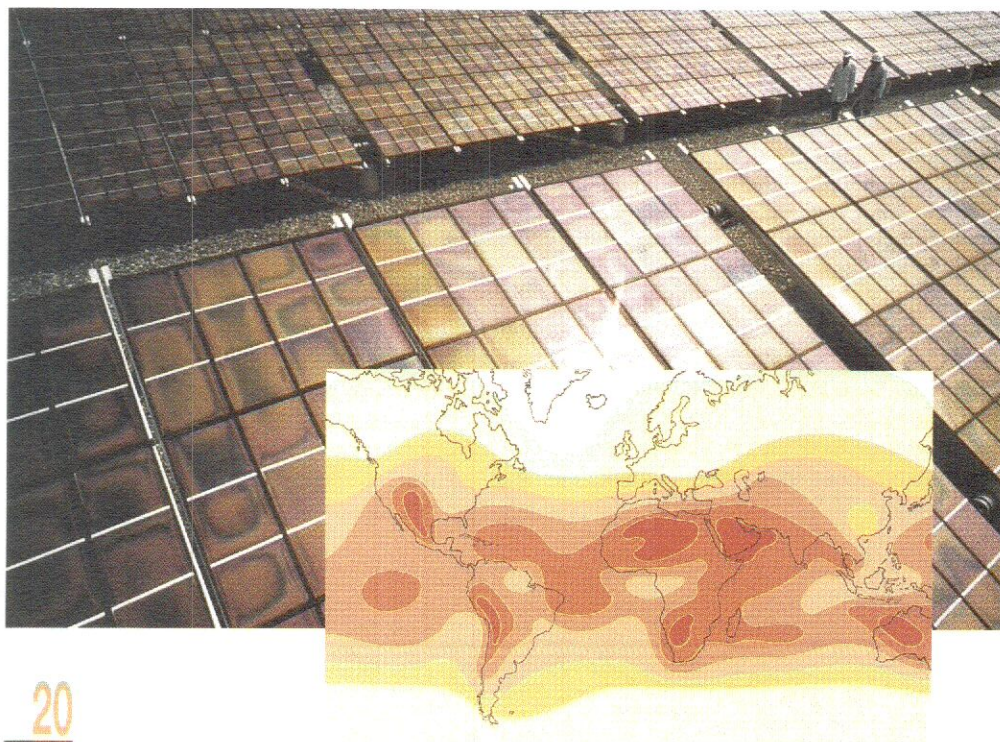
L'appareillage qui réalise la conversion et l'accumulation dans les principaux systèmes utilisant l'énergie solaire est très coûteux. En revanche, l'exploitation est bon marché car le rayonnement solaire est gratuit et de plus, elle est non polluante.

En ce qui concerne la production et le recyclage des systèmes mêmes, ils posent cependant encore de grands problèmes.

Il faut également souligner que l'apport d'énergie solaire est très irrégulier.

Rayonnement solaire sur la mappemonde en kWh

500 - 800	1700 - 1900
800 - 1100	1900 - 2200
1100 - 1400	plus de 2200
1400 - 1700	



L'énergie éolienne

Le vent est par essence le mouvement de l'air atmosphérique. Le réchauffement inégal de l'air au dessus de différentes régions de la surface terrestre entraîne la formation de masses d'air plus ou moins denses ayant des pressions différentes. Ces différences de pressions vont alors être à l'origine du déplacement des masses d'air en question.

L'énergie éolienne est issue, indirectement, du rayonnement solaire. Sur terre, l'énergie sous la forme de mouvements de l'air est environ 100 fois plus faible que celle sous la forme du rayonnement solaire.

Et pourtant, le vent possède d'énormes forces potentielles. Un vent de 10 m par seconde peut en effet produire 600 W par m².

Cependant, un moulin à vent, quel que soit son type ou ses dimensions, ne peut recueillir qu'une fraction de cette force. Les centrales à énergie éolienne devraient être construites aux endroits où la vitesse moyenne du vent dépasse les 32 km à l'heure. De tels endroits sont plutôt rares.

Il est donc évident pour toutes ces raisons, que, dans la pratique, la force éolienne ne puisse combler qu'un faible pourcentage des besoins énergétiques humains.

La quantité d'énergie générée dans une éolienne dépend de la forme et de la surface des ailes, de la hauteur du pylône et de la force du vent. La capacité est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. Pour éviter des forces d'aspiration mutuelles et pour obtenir un rendement optimal, la distance entre les éoliennes dans les parcs à énergie éolienne, doit être au moins 7 fois supérieure au diamètre de l'hélice.



Dans les parcs à éoliennes, une superficie d'environ 55 m² est requise pour la production d'1 kW.

Quoi qu'il en soit, le vent est une source d'énergie très irrégulière et très capricieuse passant du calme plat à la tempête. Il est donc nécessaire, tout comme pour l'énergie solaire, de faire appel à un système de stockage.

Tout ceci explique entre autres pourquoi l'énergie éolienne est à peu près deux fois plus chère que l'énergie provenant d'une centrale à charbon ou une centrale nucléaire.

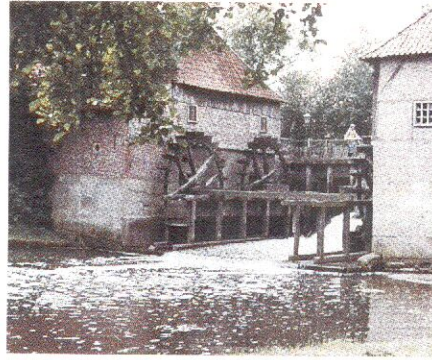
Les centrales à énergie éolienne présentent encore d'autres inconvénients spécifiques. Elles occasionnent des nuisances sonores et lumineuses (jeux de lumière, ombre) et doivent donc être distantes de plus de 300 mètres des zones habitées.

D'un autre côté, l'exploitation de l'énergie éolienne est extrêmement peu polluante. Il n'est pas nécessaire de transporter la matière première, d'utiliser de l'eau de refroidissement, il n'y a aucun rejet de gaz résiduel, pas de chaleur résiduelle...

Un autre grand avantage de l'énergie éolienne tient au fait que l'énergie mécanique peut être utilisée directement.

Les principales applications de l'énergie éolienne sont: les pompes à eau et l'irrigation, le refroidissement et le chauffage, la déminéralisation de l'eau par distillation, la production d'hydrogène, la production d'électricité couplée au réseau, l'approvisionnement en électricité dans certaines régions.





Energie hydraulique

Il y a 5000 ans, l'homme savait déjà exploiter l'énergie de l'eau courante ou tombante. Au début de notre ère, les Romains utilisaient la roue hydraulique pour moudre le grain.

Les roues à pales immergées produisent un rendement d'environ 30%, en ce qui concerne les roues à pales de surface ce rendement varie entre 70 et 90%. Au cours de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, les roues hydrauliques furent supplantées par des turbines qui assuraient alors un rendement de plus de 90%

Dans les centrales hydrauliques, le courant de l'eau fait tourner la roue de la turbine. Le mouvement de rotation est transmis à un alternateur qui produit de l'électricité. Les centrales hydro-électriques tirent profit de l'énergie cinétique de réservoirs d'eau naturels ou artificiels, de cours d'eau et de lacs.

Dans les centrales à basse pression, la dénivellation est minime mais la quantité d'eau qui s'écoule est relativement grande. Les centrales à haute pression sont utilisées au niveau des barrages.

L'énergie hydraulique est une source d'énergie bon marché et non polluante. Ses possibilités sont cependant relativement limitées. Il serait possible d'installer sur l'ensemble de la planète environ trois millions de MW. Une intensification est possible principalement en Afrique et en Asie mais peu, voire pas du tout, en Europe.

Un inconvénient économique important est le coût élevé de l'installation des barrages. En outre, les lacs de retenue posent des problèmes biologiques, humains et écologiques importants.

Généralement, une vallée fluviale relativement fertile est perdue autrement dit toute une surface agricole et habitable. En raison de l'envasement du lac, la boue fertile n'est plus déposée en aval.

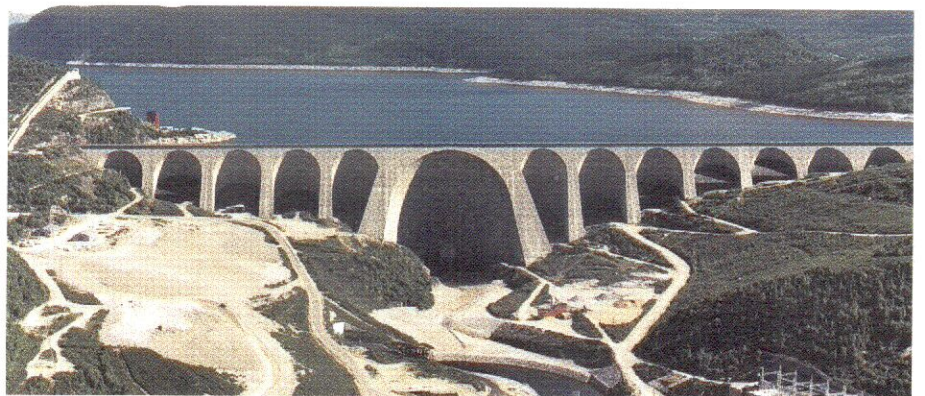
La migration des poissons devient impossible à cause du barrage qui modifie la dénivellation naturelle et le niveau naturel du cours d'eau. Ceci va également entraîner la destruction des lieux d'incubation ainsi que l'environnement de certains poissons et autres habitants aquatiques.

Les centrales hydro-électriques sont très intéressantes lorsqu'elles sont combinées avec une station de pompage et des turbines. Le projet le plus important a été réalisé en 1972 près de Churchill Falls au Labrador (Canada).

Cette centrale équipée de 11 turbines fournit une puissance totale de 5225 MW.

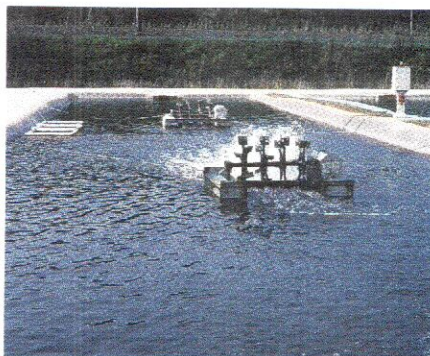
Au niveau mondial, le potentiel hydro-électrique technique est estimé à 3000 GW dont 240 GW en Europe et 0,4 GW en Belgique.

L'énergie marémotrice est une forme particulière d'énergie hydraulique. Dans les centrales marémotrices, la production du courant est basée sur la dénivellation résultant de la différence du niveau de l'eau entre la marée basse et la marée haute.



Barrages et lacs de retenue au Canada.





L'élevage des loupes de mer en Italie est réalisé grâce à de l'eau saumâtre qui est réchauffée de manière géothermique et pompée à partir de puits de forage peu profonds à une température de 25 à 30°C.

Les turbines de ces centrales peuvent fonctionner dans les deux sens, pendant le flux et le reflux.

Au niveau mondial, l'énergie marémotrice pourrait fournir 600 000 MW. Pour être rentables, ces centrales doivent être construites à des endroits où le marnage est important.

La seule centrale marémotrice d'une importance notable, se trouve à l'embouchure de la Rance dans la baie de Saint-Malo (France). Elle est en service depuis 1966 et produit environ 240 MW. A cet endroit, le marnage avoisine les 14 mètres.

D'autres idées basées sur l'exploitation de l'énergie des vagues à l'aide d'hélices de formes spéciales, ne sont, pour l'instant, pas réalisables en raison des coûts élevés que représentent l'investissement et l'entretien.

L'énergie géothermique

L'énergie géothermique provient principalement de la désintégration spontanée d'éléments radioactifs au centre de la terre.

Dans les roches en question, le magma conserve sa chaleur grâce au rayonnement et à la conductibilité thermique. La chaleur est également évacuée vers l'extérieur à travers l'écorce terrestre.

Si de l'eau souterraine se trouve à proximité de telles roches, de l'eau chaude et de la vapeur vont alors se former. Certes, la température du sous-sol croît en fonction de la profondeur mais à une profondeur donnée, elle varie aussi très fortement d'un endroit à un autre.

Aux Pays-Bas, le gradient géothermique avoisine 25°C par km. A quelques kilomètres de profondeur, l'eau est à une température de plus de 100°C. Cette chaleur peut donc être utilisée pour produire de l'électricité, à condition cependant que le débit de l'eau souterraine soit suffisamment important. En 1904, l'Italie fut le premier pays à produire de l'électricité de cette manière (365 MW).

Cependant, la température est souvent trop faible ou bien la production d'électricité est entravée par la présence de sels corrosifs.

En Belgique, on ne connaît que deux couches géothermiques éventuellement exploitables; l'une se trouve près de Turnhout (102°C à 2165 m de profondeur) et l'autre à Saint-Ghislain (90°C à 3100 m de profondeur).

De plus, les régions appropriées à l'exploitation de l'énergie géothermique sont souvent situées dans des zones sismiques actives.

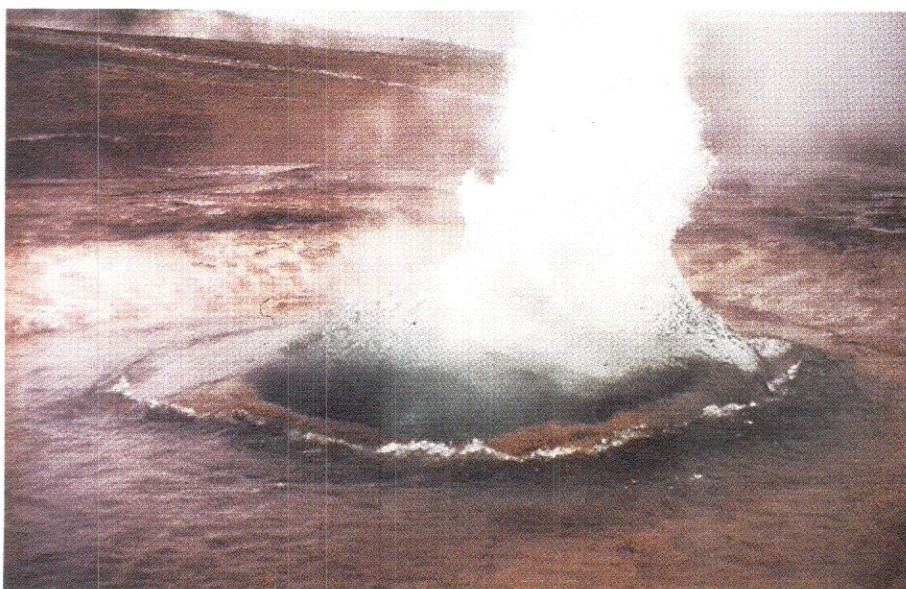
La source d'énergie géothermique n'est pas constante. Lorsqu'elle est exploitée, la chaleur est extraite du réservoir et comme la conduction de chaleur de la roche est minime, la source devient inutilisable au bout d'une période variant entre 10 et 20 ans.

Les sources géothermiques ont besoin d'environ 10 000 ans pour réchauffer de nouveau la roche.

La plus grande centrale électrique géothermique est située à "The Geysers" en Californie. C'est une source de vapeur sèche c'est-à-dire que la vapeur qui arrive à la surface de la Terre est utilisée directement pour produire de l'électricité. En 1975, elle fournissait 369 MW. La capacité maximale du terrain est estimée à 1000 MW.

L'exploitation de l'énergie géothermique peut entraîner de nombreux problèmes environnementaux:

- libération de particules et de gaz (H_2S , CO_2 et NH_3);
- affaissement du sol à la suite de l'extraction de l'eau et du refroidissement des roches;
- cause possible de tremblements de terre;
- pollution de l'eau de surface et de l'eau souterraine.



La bio-énergie

La bio-énergie est l'énergie qui est tirée des matériaux biologiques non fossiles d'origine animale ou végétale.

Le rôle primordial des plantes et des animaux non fossiles en tant que passe-plat de l'énergie solaire a déjà été abordé deux fois, à savoir dans le chapitre portant sur la chaîne alimentaire et dans la section consacrée au bois en tant que source d'énergie "traditionnelle".

Le bois et des produits agricoles fournissent de l'énergie grâce au développement de nouveaux procédés techniques.

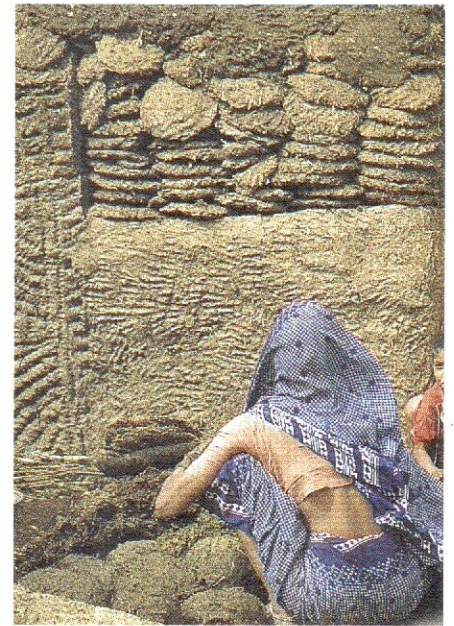
Au Brésil, un grand nombre de voitures utilisent l'éthanol extrait de la canne au sucre. Aux Etats Unis, l'éthanol extrait du maïs est transformé en un éther éthylique qui remplace le benzène carcinogène comme additif au carburant normal. En Europe, on utilise un ester extrait du colza comme carburant pour des moteurs diesel.

On peut se demander si ces bio-carburants diminuent vraiment la consommation d'énergie d'origine fossile. En effet, ces nouvelles agricultures exigent à leur tour beaucoup d'énergie, notamment des machines, des engrais, des pesticides etcétéra.

L'utilisation du bois et des déchets de bois semble offrir des avantages plus importants. Cette technologie fournit déjà de l'électricité aux Etats Unis, au Canada et en Suède. Un biométhanol extrait du bois est utilisé comme carburant pour des voitures. Ce produit, transformé en un éther méthylique, remplace également le benzène comme additif.

Actuellement, de nombreux matériaux organiques entrent en considération en tant que sources d'énergie "alternatives". Ces sources d'énergie sont souvent appelées avec un certain mépris "déchets", à tort cependant car, dans le cycle naturel perpétuel, il n'existe en fait aucun déchet sur Terre.

Certains produits comme la paille ou le fumier proviennent de l'agriculture. D'autres matériaux, en forte augmentation, issus du secteur ménager sont les déchets de légumes, de fruits et de jardin. Même l'industrie n'est pas en reste avec ses déchets de toutes sortes: déchets de démolition et d'emballage comme le papier, le carton ... et les matières plastiques.



Le fumier séché est encore souvent utilisé dans les pays du Tiers Monde comme combustible. La valeur nutritive et la bio-énergie des excédents de fumier peuvent d'autre part également servir aux plantations indispensables dans les régions tropicales (voir MENS 5: Faut-il encore du fumier?)

Serre chauffée au biogaz



Une installation de compostage à Brecht, développée par Organic Waste Systems, produit du biogaz par une méthode anaérobie, c.à.d. en absence d'oxygène.

Le biogaz est obtenu à partir de déchets organiques ramassés de 14.000 ménages. Il comprend 55% de méthane.

L'installation pilote a une capacité de 16.000 tonnes fournissant 1,5 million de kWh par an, ce qui correspond aux besoins en électricité de 250 ménages environ.



Un ester extrait du colza fournit du carburant pour des moteurs diesel

A l'échelle mondiale, les déchets organiques pourraient subvenir à 25% des besoins énergétiques des hommes.

Cette situation ne pourra cependant être atteinte qu'après une adaptation fondamentale des usages qui sont à la mode dans la société moderne du "prêt-à-jeter". C'est donc pourquoi, à juste raison, on s'active à organiser toutes sortes de nouveaux systèmes de collecte des déchets et à développer des technologies appropriées pour transformer ces déchets en énergie.

La résolution 93/C138/01 du Conseil de l'Union Européenne comprend une liste de directives pour la prévention et le recyclage des déchets. Il est nécessaire de mettre en décharge, de composter ou de brûler les déchets d'une manière plus intelligente et moins polluante.

En ce moment, le traitement des déchets est réalisé à un coût bien trop élevé et d'une manière encore beaucoup trop polluante.

Il peut être retiré encore beaucoup d'énergie d'une matière mise en décharge, d'une part sous la forme de compost utile et d'autre part sous la forme de biogaz.

De multiples projets visant à récupérer la bio-énergie sont déjà en cours. Il est question à chaque fois de petites quantités de l'ordre de quelques dizaines de MW qui sont utilisées essentiellement

pour chauffer des serres. Ces projets ne présentent qu'un intérêt modeste sur le plan énergétique, mais d'un point de vue environnemental, ils ont une grande importance.

En ce qui concerne le gain d'énergie, des succès bien plus rapides et plus importants sont réalisés grâce à l'adaptation et à l'amélioration des fours d'incinération existants ainsi qu'à la construction de nouvelles installations.

Incinération des déchets

Un rapport récent de la Commission Européenne des Normes (CEN) donne un résumé des nombreux avantages de la récupération d'énergie par incinération des ordures ménagères et des déchets d'emballage en particulier (CR 1460: 1994 E). Bien que les chiffres du rapport européen soient parfois considérablement éloignés de la situation belge et néerlandaise, les solutions proposées sont pratiquement toujours applicables.

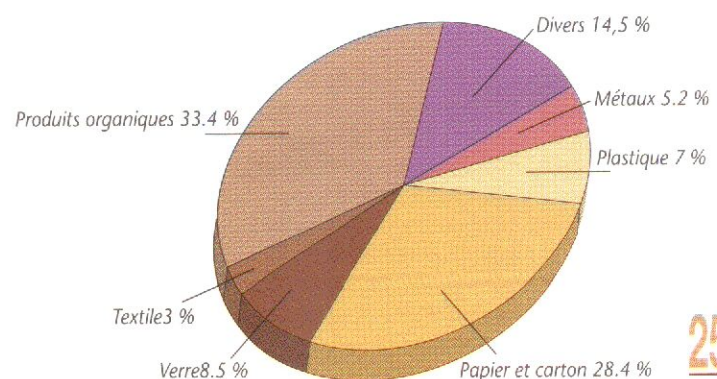
Non seulement l'incinération permet de récupérer de l'énergie utile mais en même temps, elle permet de réduire considérablement le problème posé par les montagnes de déchets qui ne cessent de croître.

Un européen moyen produit environ 400 kg de déchets par an. En Europe, le plus grand producteur de déchets est la Suisse avec 550 kg par personne et le plus petit producteur, le Portugal avec 260 kg par personne.

En tant que matériaux combustibles, les produits organiques représentent un tiers du poids total des déchets ménagers européens et le papier et le carton, plus de 28%. D'autres matériaux combustibles sont présents en plus faibles quantités comme le plastique (7%) et le textile (3%) par exemple.

Environ 20% de l'ensemble des déchets ménagers sont constitués d'emballages combustibles qui fournissent plus de 40% de l'énergie récupérable à partir des déchets.

COMPOSITION DES DÉCHETS MÉNAGERS EN EUROPE. (en poids)



REJET ANNUEL DES INSTALLATIONS D'INCINÉRATION DES ORDURES MÉNAGÈRES EN SUEDE (Ekwall, 1992)

Rejet de:	1985	1991	Diminution
Particules (tonnes)	420	45	90 %
HCl (tonnes)	8.400	410	95 %
SO ₂ (tonnes)	3.400	700	80 %
NO _x (tonnes)	3.400	3.200	6 %
Mercure, Hg (kg)	3.300	170	95 %
Cadmium, Cd (kg)	400	35	90 %
Plomb, Pb (kg)	25.000	720	97 %
Zinc, Zn (kg)	54.000	2.800	95 %
Dioxines (g TED)	90	8	90 %

Actuellement, environ 28% des déchets ménagers ramassés en Europe sont incinérés, en grande partie avec récupération d'énergie. Cela représente donc une incinération de quelque 7 millions de tonnes de déchets d'emballage.

Toutefois, la combustion de tous les emballages est à déconseiller parce qu'ils contiennent souvent trop de matières premières dignes de récupération par réutilisation ou recyclage.

Un autre avantage important de la récupération d'énergie par l'incinération de déchets ménagers est le très faible rejet de CO₂ comparé à la combustion du mazout. Au Royaume-Uni, il a été calculé que le rejet de gaz responsables de l'effet de serre serait réduit de 5% dans ce pays si toutes les ordures ménagères étaient incinérées au lieu d'être mises en décharge (Royal Commission, 1993).

Tout particulièrement d'un point de vue hygiénique, l'incinération est un procédé intéressant. La cendre obtenue est en effet exempte de toute bactérie ou autre micro-organisme indésirable qui, sur les décharges en putréfaction, peuvent être à l'origine de problèmes importants.

Néanmoins, même dans le cas de l'incinération, tout ce qui brille n'est pas d'or. Qu'en est-il de la pollution chimique résultant des systèmes d'incinération?

L'incinération des ordures ménagères, en particulier des déchets de légumes, de fruits et de jardin, n'est jamais tout à fait complète et le rejet contient donc une certaine quantité de CO. C'est pour cette raison que les matières organiques font souvent l'objet d'un ramassage séparé pour être plutôt compostées qu'incinérées. Grâce à la présence de combustibles suffisamment riches en

calories, à savoir le papier, le carton et le plastique provenant des emballages, le rejet de CO par les installations d'incinération se maintient largement dans les normes de sécurité.

Lorsque des emballages contiennent des restes de sel, il peut y avoir alors formation d'HCl dans la chambre de combustion. Le HCl qui se dissout facilement dans l'eau, doit être éliminé par des laveurs de gaz.

Dans les installations d'incinération des ordures ménagères, des systèmes tels que l'oxydation catalytique ou l'adsorption sur charbon actif sont maintenant introduits pour diminuer le rejet d'hydrocarbures toxiques comme les dioxines.

L'importante réduction du rejet observée dans les installations d'incinération suédoises entre 1985 et 1991 illustre bien les progrès réalisés dans la technologie de l'incinération ces dernières années.

D'un côté l'incinération des déchets ménagers permet la récupération d'énergie, et d'un autre côté, elle contribue dans une large mesure à solutionner durablement les problèmes posés par les déchets.

L'énergie nucléaire

De l'énergie nucléaire est libérée lors de la fusion nucléaire lorsque, par exemple, deux noyaux d'hydrogène fusionnent pour former un noyau d'hélium plus lourd. Ce processus se déroule sur le soleil à des températures de l'ordre de plusieurs millions de degrés Celsius. Pour l'instant, l'homme n'a pas encore réussi à extraire de l'énergie par fusion nucléaire. Il est difficile de prédire si cela sera même réalisable un jour.

Par contre, lors de la fission de noyaux lourds, la quantité d'énergie qui est dégagée est bien plus importante que celle recueillie dans les processus chimiques où seules les couches électroniques sont impliquées. La quantité d'énergie libérée par la fission d'un kg d'uranium est de 2 500 000 fois supérieure à celle obtenue par la combustion d'un kg de charbon.

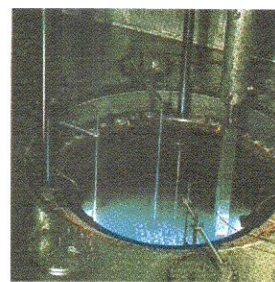
La matière fissile utilisée dans les centrales nucléaires est l'uranium radioactif dont deux isotopes sont présents dans la nature intimement mêlés : l'uranium²³⁵ et l'uranium²³⁸. Le premier, contrairement au second, est facilement fissile. Avant de pouvoir être utilisé en tant que source d'énergie, le minerai d'uranium doit être "enrichi" en uranium²³⁵. Le mélange enrichi est comprimé en pastilles céramiques.

Un élément de matière fissile standard contient 450 kg d'oxyde d'uranium enrichi. Après emploi, il reste 427 kg d'oxyde d'uranium et 18 kg de produits de fission ainsi que 5 kg d'oxyde de plutonium ont été formés.

L'oxyde de plutonium peut être récupéré et de nouveau utilisé en tant que "matériau d'enrichissement" pour l'oxyde d'uranium dans un rapport de 35 kg de plutonium pour 415 kg d'uranium. Un tel mélange d'oxydes est appelé MOX (= abréviation de Mixed Oxydes).

Le recyclage de cette source d'énergie tombe en fait sous le sens et ce procédé représenterait de grandes économies. Bien qu'un tel recyclage soit possible d'un point de vue technologique, il est rejeté par les opposants à l'énergie nucléaire.

A de nombreux égards, l'énergie nucléaire représente une source d'énergie particulièrement "propre" pour l'environnement. En effet, aucun gaz nocif n'est rejeté en quantités appréciables. Comme dans le cas des centrales classiques, il faut cependant tenir compte de la possibilité d'un réchauffement indésirable du cours d'eau à partir duquel l'eau de réfrigération est captée.

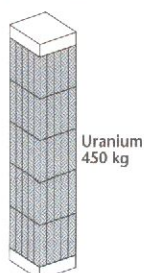


L'effet Cerenkov lors de la fission nucléaire
En éclatant, les noyaux d'uranium forment des produits de fission tels que le strontium⁹⁰ et le césium¹³⁷ avec une très petite perte de masse qui est convertie en énergie. A côté de la production de chaleur, il se produit aussi l'étrange lumière bleue du rayonnement Cerenkov.

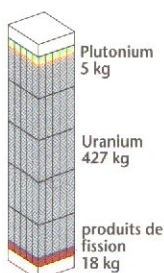


Centrale d'énergie nucléaire

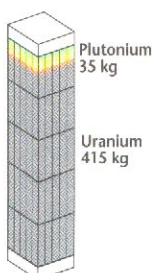
ELEMENT STANDARD
AVANT USAGE



ELEMENT STANDARD
APRES USAGE



ELEMENT
MOX



L'utilisation des tours de réfrigération ne rend pas le captage de l'eau de rivière superflu mais la quantité d'eau captée correspond en grande partie à la quantité d'eau qui est évaporée dans les tours de réfrigération. Le réchauffement de l'eau de rivière est ainsi moins important et la quantité d'eau nécessaire peut être réduite fortement.

Dans certaines centrales nucléaires, l'eau chaude est utilisée pour chauffer des serres ou pour élever des poissons qui représentent une source alimentaire à bon rendement.

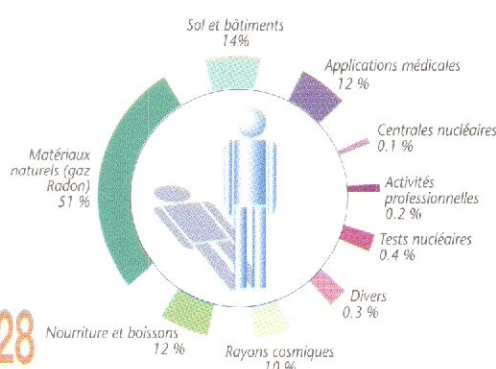
La grande résistance qui existe à l'égard de l'énergie nucléaire repose indiscutablement sur les risques de contaminations radioactives. Le stockage des déchets radioactifs pose également de grands problèmes qui n'ont pas encore trouvés de solutions définitives.

Déjà avant le début de notre ère, Tite Live(64 av.J.-C) avait dit: "Nous craignons les choses à la mesure de notre ignorance". C'est pourquoi, il est du devoir des instances officielles compétentes de délivrer une information adaptée à la population.

Cette tâche n'a pas à être remplie par ce dossier. Ce dernier se doit par contre de dispenser un minimum d'informations sur l'ordre de grandeur des quantités de radioactivité qui sont impliquées et sur les plans prévus pour le stockage des déchets radioactifs.

L'information suivante est en grande partie basée sur des brochures éditées par l'ONDRAP, place Madou 1, boîte 24/25, 1030 - Bruxelles.

SOURCES DE RADIOACTIVITÉ



Bien que les sources naturelles de rayonnement radioactif soient considérablement plus importantes que les sources artificielles, les dangers liés aux manipulations humaines sont néanmoins réels.

Cela vaut pour l'emploi des radioisotopes dans les traitements médicaux, la recherche dans les laboratoires, les activités dans les centrales nucléaires etc. Les déchets radioactifs sont divisés en trois catégories:

- Catégorie A = déchets de faible activité et de courte durée de vie; principalement des déchets émettant des rayons bêta et gamma ayant une faible activité irradiante et une période de 30 ans maximum.
- Catégorie B = déchets de moyenne activité ou déchets alpha dont la période est le plus souvent supérieure à 30 ans.
- Catégorie C = déchets de haute ou très haute activité de période moyenne ou longue.

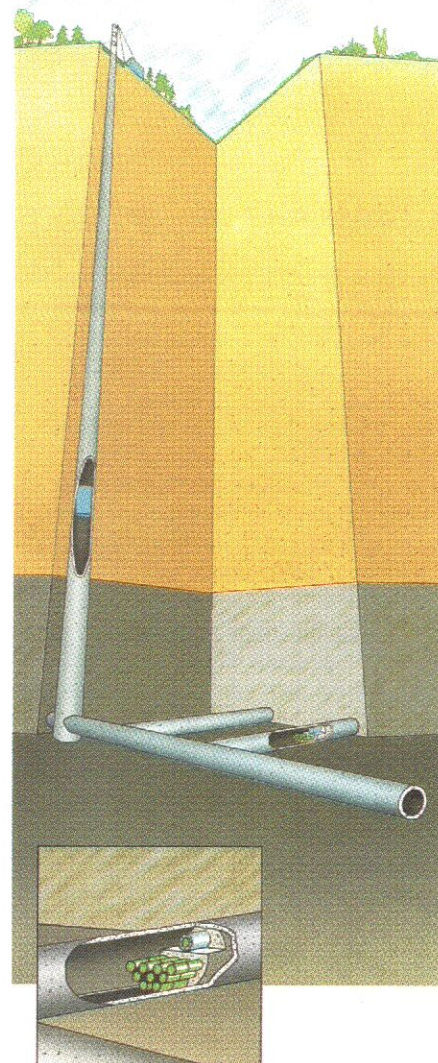
Jusqu'en 1982, la plupart des pays européens ont déversé les déchets de faible et de moyenne activité dans la mer, après les avoir "conditionnés" bien sûr, par exemple par immobilisation dans du ciment ou du bitume. De cette manière, la radioactivité est fortement dispersée.

Pour des raisons de sécurité, les 71 pays membres de la Convention de Londres ont décidé d'arrêter l'immersion des déchets radioactifs dans la mer, à l'exception cependant d'un pays: la Russie.

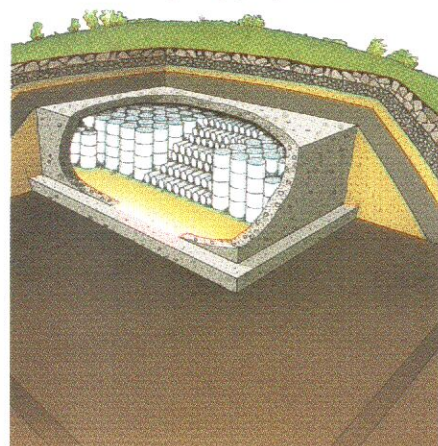
Dans l'attente d'un stockage définitif, les déchets radioactifs sont conditionnés et entreposés provisoirement. Au mois de mai 1993, l'ONDRAP en Belgique avait en gérance 7100 m³ de déchets de la catégorie A, 3300 m³ de déchets de la catégorie B et 195 m³ de déchets de la catégorie C.

On estime que d'ici l'an 2050, ces quantités de déchets monteront respectivement à 120 000, 17000 et 4600 m³. La plus grande partie des déchets radioactifs, c'est-à-dire environ 75%, provient des centrales nucléaires qui produisent de l'électricité.

Actuellement on étudie les possibilités d'un *dépôt définitif en surface* pour les déchets de période courte et de faible activité, et *dépôt définitif en couche géologique profonde* pour les déchets de période longue et/ou haute activité.



Dépôt en couche géologique profonde



Dépôt définitif en surface



En attendant leur dépôt définitif, les déchets conditionnés sont provisoirement conservés dans des entrepôts spécialement aménagés.

L'électricité en tant que porteur d'énergie

L'homme préhistorique pouvait survivre avec 8 MJ par jour sous forme d'énergie alimentaire. Il avait alors le choix entre diverses sources d'énergie: les légumes, les fruits, la viande et le poisson.

Un européen moyen ne consomme plus aujourd'hui 8 mais 400 MJ par jour. Une petite partie de cette énergie sert à la nourriture et la plus grande partie est engloutie dans le mode de vie moderne et dans l'habitat. L'homme jouit de toutes sortes de confort, absolument inimaginables dans le passé mais considérés maintenant comme indispensables.

Il est de notre devoir, par solidarité vis à vis des générations à venir, d'être aussi économe que possible avec les sources d'énergie risquant de se tarir.

Lorsque le pétrole ou le gaz naturel sert au chauffage des habitations, le combustible est donc utilisé par le consommateur, tout comme l'essence ou du gas-oil pour les transports routiers.

D'autre part, l'énergie doit parfois être convertie en une autre forme pour pouvoir la conserver plus facilement et la mettre à la disposition du consommateur au moment précis où il en a besoin.

L'électricité est alors souvent le porteur d'énergie polyvalent par excellence avec ses diverses applications. L'électricité sert entre autres à la production de lumière et de chaleur, au transport, à la communication et en tant que force motrice. En raison de son confort dans le maniement, de son économie et/ou de son aspect non polluant, l'électricité est d'une valeur inestimable comme porteur d'énergie au vingtième siècle.

Cependant, l'électricité doit être utilisée d'une manière plus rationnelle. Son emploi à grande échelle pour le chauffage des habitations représenterait en effet un gaspillage important en raison du rendement limité de la conversion de l'énergie dans les centrales électriques.

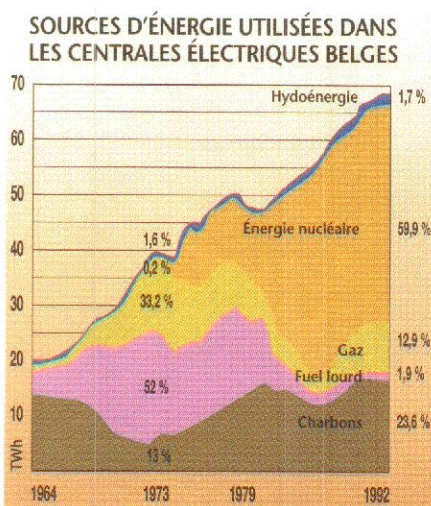
L'énergie dont on dispose pour faire le ménage correspond à celle fournie par toute une équipe de football de onze athlètes bien entraînés.



Le choix des sources d'énergie

Il existe diverses sources d'énergie permettant de produire de l'énergie électrique. Il ressort clairement des chapitres précédents que toutes ces sources présentent néanmoins des avantages et des inconvénients.

Un choix judicieux tient compte des possibilités locales et peut donc fortement varier d'un pays à un autre. Il évolue également au cours du temps. Le choix des sources d'énergie en Belgique s'est beaucoup modifié ces dernières décennies comme on peut le constater sur la représentation graphique.



Un choix judicieux des sources d'énergie tient compte de l'évolution de différents facteurs: prix, offre sur le marché mondial, évolution politique, impact sur l'environnement ...

Au début des années soixante-dix, l'exploitation des mines de charbon belges s'est avérée ne plus être rentable. Pendant cette même période, des réserves de gaz naturel ont été forées, aux Pays-Bas entre autres. C'est ainsi que du gaz naturel a été importé et est devenu, pour les centrales électriques, une source d'énergie importante. Dans les années qui ont suivies, l'énergie nucléaire s'est beaucoup développée.

Le gaz naturel et l'énergie nucléaire limitent aussi le rejet de gaz nocifs dans l'air. L'emploi du mazout a fortement diminué en raison, entre autres, de l'instabilité politique au Moyen-Orient où sont concentrés presque tous les pays producteurs de pétrole.



Centrale TGV (Turbines Gaz-Vapeur)

Des efforts intenses ont été déployés pour développer l'utilisation de l'énergie hydraulique en tant que source d'énergie. Cette forme d'énergie restera cependant, par la force des choses, toujours très limitée en Belgique.

Il n'existe aucune source d'énergie qui soit présente en quantité suffisante pour pouvoir assouvir, dans un avenir lointain, la soif en énergie de l'être humain. La recherche de nouvelles sources d'énergie, durables et si possible renouvelables est donc, plus que jamais, d'une nécessité absolue.

Le développement de techniques de production

Les sources d'énergie ne sont pas choisies uniquement en fonction des réserves existantes mais aussi en fonction des techniques de production disponibles.

Les provisions en énergie solaire sont inépuisables mais il existe toutefois des difficultés techniques pour convertir cette énergie à grande échelle en électricité, les principales raisons ayant été déjà brièvement citées: manque de terres cultivables, rendement faible, coût élevé, systèmes qui ne peuvent pas être recyclés.

Entre-temps, la technologie de production progresse également dans les centrales électriques thermiques classiques. Le rejet de gaz indésirables a fortement diminué. Un grand nombre de centrales modernes sont polyvalentes et peuvent fonctionner aussi bien avec du charbon, du gaz ou du pétrole.

Depuis peu, on utilise le gaz naturel dans des centrales TGV (turbines gaz-vapeur) dont le rendement énergétique dépasse les 50% (40% dans une centrale classique). Grâce au couplage chaleur-force, on atteint un rendement global de plus de 80%.

L'homme et l'énergie

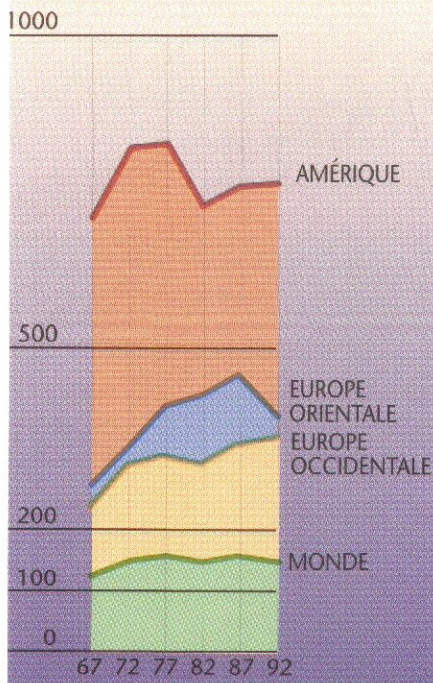
Bien que le soleil diffuse à profusion et sans interruption son énergie sur la Terre, l'être humain ne peut en maîtriser qu'une fraction très minime. En fait, il consomme les sources d'énergie à une allure exagérée et il craint, à juste titre, une pénurie énergétique dans un avenir proche.

Il se produit en effet une augmentation impressionnante de la population et une forte élévation de la consommation d'énergie par personne. Il y a des limites à cette croissance.

Il va donc sans dire que l'on doit utiliser l'énergie avec parcimonie. Cela ne signifie pas seulement qu'il faut être économe avec l'électricité, le gaz, le mazout, le bois et le charbon mais aussi avec toutes sortes de produits de consommation, y compris la nourriture et l'emballage. Ils représentent tous en effet beaucoup d'énergie.

L'homme ne doit certainement pas pour autant revenir à la situation peu confortable de l'âge de la pierre, lorsqu'il survivait avec 8 MJ par jour. Un tel mode de vie serait par ailleurs impossible à appliquer aux 5,6 milliards d'individus peuplant la Terre, en raison du manque d'espace vital.

Certes, l'économie est de rigueur, mais une mode rétro basée sur la nostalgie d'une société primitive, n'offre toutefois aucune solution pour l'avenir.



Stabilisation de la consommation énergétique par personne durant les 15 dernières années.

Ces quinze dernières années, la consommation d'énergie par personne dans le monde, s'est stabilisée. Chez les plus gros consommateurs, c'est-à-dire aux Etats-Unis et au Canada, une faible diminution a même été enregistrée. Par contre, dans d'autres régions en plein essor économique, et plus particulièrement dans l'Asie du Sud-Est, la consommation énergétique augmente en flèche.

Heureusement, de nouvelles technologies offrent maintenant la possibilité d'exploiter les sources d'énergie traditionnelles avec un rendement plus élevé tout en polluant moins.

Une diminution de la pollution de l'air est incontestablement de grande importance dans le cas de l'exploitation et de l'utilisation de la lignite et du charbon dans l'Europe de l'Est et en Asie. Le rejet des gaz d'échappement dû à la circulation automobile peut être réduit partout grâce à l'amélioration de la composition des produits pétroliers utilisés.

Néanmoins, une forme raisonnable d'économie et une application optimale des technologies connues ne sont pas suffisantes pour continuer à satisfaire la demande en énergie.

C'est pourquoi il est d'une absolue nécessité de poursuivre sans relâche la recherche de sources d'énergie alternatives. Il est difficile d'estimer les succès futurs d'une telle recherche.

Personne ne peut prévoir avec certitude quels sont les bénéfices (ou malheurs) que l'on peut encore attendre de la fission ou de la fusion nucléaire. Il est possible qu'il se produise un jour une percée dans l'application des panneaux solaires ou des cellules photovoltaïques ou dans l'emploi d'une source d'énergie à laquelle le personne n'avait encore pensé.

Quoi qu'il en soit, le développement de meilleures technologies constitue l'un des défis les plus importants pour l'homme qui doit continuellement prouver qu'il mérite bien le nom qu'il s'est choisi "homo sapiens".



PRIX DES JEUNES, ENVIRONNEMENT 1995

remis solennellement par S.A.R. le Prince LAURENT
ZOO d'Anvers, le 6 mai 1995



Lauréats du thème "Soyez bons pour les animaux"
Prix de 50.000 FB
Collège Saint Joseph (Turnhout)

Les élèves de la première année de l'enseignement secondaire ont réalisé un travail de séminaire intitulé: "Les animaux sur ton assiette". Il ont présenté des considérations à la fois très critiques et équilibrées concernant les attitudes carnivores de l'homme. Ils ont visité un abattoir et organisé des enquêtes et un colloque mené par des enseignants et les responsables du "Conseil de l'Environnement" de l'école.



Lauréats ex aequo du thème "Le chlore: comment y voir clair?"
Prix de 50.000 FB partagé par
Institut Saint Lambert (Ekeren), Institut Sancta Maria (Anvers)

Les travaux, introduits respectivement par des élèves de 6ème et 5ème année de l'enseignement secondaire, envisageaient à la fois les bénéfices et les risques de diverses applications des dérivés chlorés.

PRIX DES JEUNES, ENVIRONNEMENT 1996

THEME: "Environnement et l'énergie"

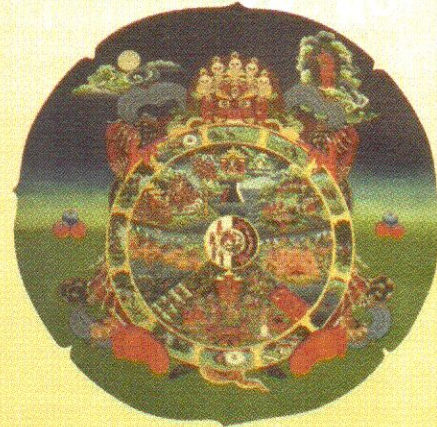
Des prix à concurrence de 100.000 FB sont prévus pour des travaux réalisés par des groupes d'élèves ou d'étudiants entre 12 et 20 ans, sous la supervision scientifique et didactique d'enseignants ou de moniteurs qualifiés. Pour gagner, il vaut mieux partir tôt comme la tortue et courir vite comme le lièvre.

Pour toute information: S. De Nollin, Te Boelaarlei 23, 2140-Antwerpen

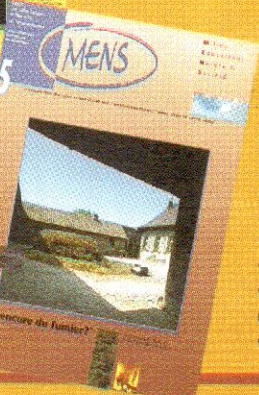
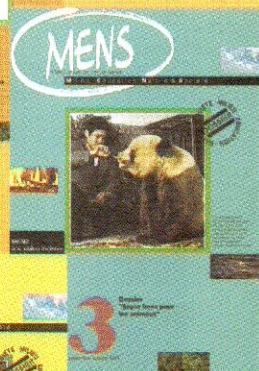
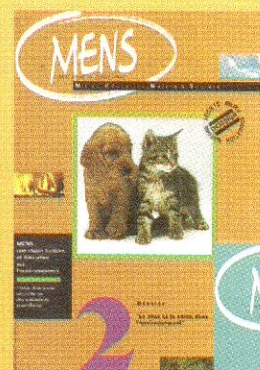
Dossier en perspective:

"LCA: Life Cycle Analysis"

"La roue de la vie" (Tibet)



en rétrospective



voir p.2