

# Pourra-t-on maîtriser un jour la pollution et la consommation d'énergie !

## Avertissement

*L'essai qui vous est proposé ici n'est pas une vision habituelle de la pollution que vous propose généralement les milieux écologistes, les troupes anti-nucléaires, les défenseurs des espèces menacées ou les politiciens qui l'utilise à des fins électorales.*

*C'est plutôt une sorte de vision globale de l'ensemble des conséquences pour notre l'environnement du développement anarchique de l'activité humaine.*

*J'essaie de quantifier d'une manière globale l'importance de la pollution et d'analyser les causes réelles de celle-ci au delà de la vue simpliste dite du "pollueur/payeur" qui plaît tellement aux politiciens.*

*J'essaie encore d'imaginer comment la pollution évoluera dans les décennies à venir et si des remèdes efficaces pourront améliorer la santé du malade !*

*J'essaye d'analyser le rôle que joue l'énergie bon marché dans le processus malsain qui nous entraîne vers une impasse probable dans le demi-siècle qui se présente à nous.*

*Cet essai n'engage que moi, mais je voudrais, à travers les lignes qui vont suivre, faire réfléchir mes lecteurs sur le sujet existentiel probablement le plus important de notre époque et leur ouvrir les yeux sur tout ce que nos responsables ne nous disent pas !*

Jacques Deferne

# Table des matières

## Pourra-t-on maîtriser un jour la pollution ?

### *Que savons-nous vraiment de la pollution ?*

Ce qu'on nous raconte - Mais qui sont donc ces pollueurs ? - Chaque dépense engendre une pollution - Nous polluons en prenant l'avion - Peut-on quantifier la pollution ? - Une équation qui analyse le phénomène - Tout repose sur le facteur  $k$  - L'expansion démographique - Comment contenir l'accroissement de la pollution ? - On ne peut donc agir que sur la variable  $k$  - Le facteur  $k$  varie d'un pays à l'autre - Le coût du facteur  $k$ .

### *Notre planète se rit de la pollution*

La planète est-elle menacée par la pollution ? - Mais qu'est-ce que l'équilibre naturel ? - L'équilibre naturel et les climats varient constamment - L'homme est la principale victime de la pollution.

### *Tout dépend du Soleil*

Le bilan énergétique de la Terre est en équilibre - La Terre emprunte de l'énergie solaire - Les tribulations du dioxyde de carbone - La vie est agréable grâce à l'effet de serre.

### *Le Statut précaire du climat*

Les moteurs qui animent le climat - Le niveau des mers - Les climats récents.

## Ce que nous devons savoir sur l'énergie

### *Que devons-nous savoir sur l'énergie ?*

L'énergie décuple l'impact de l'homme sur l'environnement - Qu'est-ce que l'énergie ? - L'énergie, telle qu'elle est définie par les physiciens - Il y a diverses formes d'énergie - Unités utilisées pour exprimer une quantité d'énergie - Il y a deux qualités d'énergie - L'énergie mécanique - La fée électricité nous a beaucoup aidé - Mais l'électricité n'est qu'un vecteur d'énergie ! - La chaleur, une forme dégradée d'énergie - Ces deux formes d'énergie ne sont pas de même qualité.

### *La production d'énergie, source de pollution*

L'énergie hydroélectrique - Les combustibles fossiles polluent l'atmosphère - Le gaz naturel un combustible "propre" ? - Et l'hydrogène ? - Le cas du combustible nucléaire.

### ***Comment produire l'électricité***

L'électricité d'origine hydraulique - L'électricité d'origine thermique - Dissipation de la chaleur par les centrales thermiques - Cas du combustible nucléaire - La décroissance radioactive - La fission nucléaire - Etat de la production classique d'électricité. - Production photovoltaïque - Production par éoliennes - Aspects de la consommation électrique - Comment donc se présente cette variation ? - Comment répondre à cette demande irrégulière ?

### ***Peut-on maîtriser la consommation d'énergie ?***

Les postes de travail consomment de l'énergie - Dans les pays froids, il faut chauffer ! - Dans les pays chauds, il faut climatiser ! - L'énergie grise - Les combustibles fossiles - Epuisement des combustibles fossiles.

### ***Et l'énergie solaire ?***

Comment peut-on utiliser l'énergie solaire ? - Panneaux solaires et cellules photovoltaïques

### ***L'énergie interne de notre Planète***

La Terre est un radiateur géant - Exploitation de l'énergie géothermique.

### ***Conclusion provisoire et personnelle***

Nous n'arrivons pas à contenir la progression du facteur N - Le facteur R est intouchable - Nous ne pouvons agir que sur la facteur k - Que pouvons-nous faire ? - Quel scénario peut donc nous réserver l'avenir ? - La pénurie d'énergie va peut-être nous sauver - Comment sera la vie à 5 euros le litre d'essence ? - Qui survivrait à un scénario si pessimiste ? - Et si nous révisions nos préjugés sur l'énergie nucléaire ! - L'homme, une espèce animale à part ?

# Que savons-nous vraiment de la pollution ?

## Ce qu'on nous raconte

*La presse, la radio, la télévision, les écologistes, les politiciens et bien d'autres groupements de personnes s'accordent à critiquer les industries chimiques lorsqu'un accident provoque le rejet de produits polluants dans les fleuves. De leur côté, les usines d'incinération d'ordures ménagères sont l'objet d'une méfiance générale et l'on mandate des commissions d'experts pour contrôler les fumées et les poussières qui s'en échappent. On traque*



*sans pitié les usines d'aluminium qui, inévitablement, rejettent des quantités non négligeables de fluor dans l'atmosphère. On manifeste contre le transport de matières dangereuses par la route ou le rail. On met au banc des accusés les paysans de montagne qui épandent le purin sur leurs pâturages. On désigne du doigt les éleveurs de porcs qu'on accuse d'empoisonner les nappes d'eau souterraines et les paysans de plaine qui, par les engrais, les herbicides et les pesticides*

*qu'ils emploient, souillent les eaux courantes et provoquent l'asphyxie des lacs. Les centrales nucléaires font l'objet d'attaques systématiques de la part de groupes constitués qui mobilisent sous leur bannière des troupes apeurées par le symbole de destruction que renferme le terme "nucléaire", inévitablement associé à celui de "bombe atomique" ou de Tchernobyl.*

*Plus encore, l'automobile est devenue le symbole de l'objet maléfique qui corrompt l'air que nous respirons, auquel on impute le réchauffement de l'atmosphère, la montée du niveau des océans ainsi que les catastrophes écologiques qui, comme une punition divine, viendront mettre un terme à notre orgueil qui aura voulu dominer et asservir la nature à son profit.*



*Bref, le prétexte de la pollution permet à des groupes politiques constitués d'accroître leur emprise sur nous par le biais de la culpabilité que nous finissons par ressentir lorsque nous montons à bord de notre voiture ou que nous réglons en hiver notre thermostat sur 21° C.*

## Mais qui sont donc ces pollueurs ?

*Il convient d'ouvrir enfin les yeux contre cette vue des choses un peu simpliste que les groupements écologiques, les dirigeants politiques et les médias s'efforcent d'ancrer dans nos esprits.*

*S'il est bien vrai que les usines polluent, que les paysans engraisent leurs champs de produits dont les effets secondaires sont désagréables, que les transporteurs acceptent les risques liés au transfert des matières dangereuses, que les centrales nucléaires ne sont pas exemptes de risques et que ces chères automobiles détériorent l'atmosphère, il faut tout de même admettre en réalité, que c'est à la demande du consommateur<sup>1</sup> lui-même que les activités de ces industries contestées se sont développées. C'est pour vous, pour moi qu'elles travaillent. Sans elles notre vie serait beaucoup plus pénible et nous ne pourrions pas être si nombreux sur notre planète.*

*Nous sommes donc les bénéficiaires d'une évolution dans laquelle nous avons été entraînés et qui implique, comme contrepartie, la pollution de notre environnement. Sans la production d'engrais, de pesticides et d'herbicides, nous n'obtiendrions pas en quantité suffisante les céréales nécessaires à la production de notre pain quotidien et à l'engraissement des animaux de boucherie, les fruits non véreux, les légumes vigoureux, produits qui tous garnissent nos tables en abondance.*

*C'est bien pour mettre à notre disposition les objets en matière plastique qui ont envahi notre quotidien, les emballages séduisants, les bouteilles légères qui protègent nos boissons préférées que les transporteurs véhiculent le dangereux chlorure de polyvinyle. C'est pour notre plaisir qu'on produit des piles électriques par milliards. C'est pour nous faciliter la vie qu'on extrait de la terre des milliards de tonnes de minerais, de charbon, de pétrole.*

*La consommation instantanée de pétrole dans le monde est égale au débit de l'Arve en légère crue.*

*C'est pour notre nourriture quotidienne qu'on sacrifie chaque jour des millions de vaches, de cochons, de moutons, de poules.*

*C'est pour que nous soyons toujours bien informés, non seulement des événements politiques, mais plus précisément encore, des objets de consumma-*

---

<sup>1</sup> On peut évidemment épiloguer sur la notion de besoin, en particulier sur les causes qui font naître ce besoin que nous finissons par croire indispensable !

*tion que nous pourrions encore acquérir, qu'on abat les milliers d'hectares de forêts nécessaires à la production de nos éphémères journaux.*

## **Chaque dépense engendre une pollution**

*Nous polluons notre environnement avec plaisir et bonne conscience lorsque nous mangeons une simple plaque de chocolat ! En effet, pour produire cette innocente friandise, il a fallu cultiver les fèves de cacao, les transporter, les transformer, leur ajouter du sucre, du lait (produits qui ont eux-mêmes nécessité l'emploi de tracteurs et l'usage d'engrais), travailler le tout dans des machines qui consomment de l'énergie, l'entourer d'une feuille d'aluminium, elle-même aboutissement d'un long processus industriel dévoreur d'énergie, produire et imprimer le papier qui sert d'emballage.*



## **Nous polluons en prenant l'avion**

*Si vous allez en vacances à l'île de la Réunion avec votre femme et vos deux enfants, l'avion qui vous amène à destination emporte dans ses réservoirs 300 kg de kérosène par personne et par voyage. Vous aurez ainsi consommé plus de deux tonnes de carburant pour le plaisir de vos vacances!*

*En réalité, vous êtes monté dans un avion citerne dont la charge utile est constituée de trois quarts de carburant et un quart de passagers.*

*Nous polluons encore lorsque nous achetons un journal car la production de la pâte à papier exige et dégrade de grandes quantités d'eau, et l'encre d'imprimerie utilisée renferme ces métaux lourds dont nous ne savons pas comment nous débarrasser.*

*Nous polluons toujours, pour manger à notre faim, pour chauffer nos maisons, pour assurer notre hygiène corporelle et vestimentaire. Nous polluons à tous les stades de notre activité et notre système est tel, qu'on peut dire que nous polluons indirectement notre environnement chaque fois que nous engageons la moindre dépense.*

*Puisque nous sommes donc tous complices de cette pollution, pourquoi voudrions-nous en faire porter la responsabilité sur quelqu'un d'autre !*

## **Peut-on quantifier la pollution ?**

*La quantification globale de la pollution que nous produisons est difficile à établir. On ne peut pas l'exprimer en une "unité de pollution" comme on*

*exprime la température en degrés celsius, les volumes en mètres cubes ou les dépenses en francs. On peut tout au plus établir des mesures partielles, telles les teneurs en CO<sub>2</sub>, en NO<sub>2</sub> et en ozone de l'atmosphère d'une ville, ou les teneurs en métaux lourds de certains sols ou encore les charges chimiques de lacs ou des cours d'eau. On peut pressentir encore que l'effet de serre risque d'augmenter la température de notre planète ou constater que la couche d'ozone stratosphérique s'amincit.*

*Par contre on connaît assez bien les facteurs qui influencent l'importance de la pollution. En reprenant l'exemple de la plaque de chocolat, il est facile de comprendre que si l'on a les moyens de s'offrir deux plaques de chocolat au lieu d'une, on double la pollution que chacune engendre. Il est bien évident aussi que si mille personnes consomment une plaque de chocolat, la pollution sera le double de celle qui aurait été provoquée par la consommation de cinq cents personnes mangeant chacune une plaque.*

### **Une équation qui analyse le phénomène**

*On voit donc apparaître le fait marquant que l'importance de la pollution est directement proportionnelle au nombre d'individus d'une population, multiplié par le pouvoir d'achat moyen de chacun d'eux. La quantité de pollution  $Q_p$  peut donc être exprimée par une équation simple, compréhensible de tous :*

$$Q_p = k (N \times R)$$

*dans laquelle:  $Q_p$  = "quantité de pollution".*

*$N$  = nombre d'individus d'une population.*

*$R$  = revenu moyen de chaque individu.*

*$k$  = "facteur polluant".*

*Les termes  $N$  et  $R$  sont faciles à exprimer :*

- $N$  est un nombre sans unité, c'est le nombre de consommateurs d'une aire géographique déterminée ;*
- $R$  est le revenu moyen de chaque consommateur. On peut l'exprimer en dollars, en euros ou en toute autre unité monétaire. Autrement dit, la parenthèse ( $N \times R$ ) exprime le pouvoir d'achat d'une population donnée.*

## Tout repose sur le facteur k

*Par contre, la composante k est impossible à exprimer dans une unité quelconque, car il s'agit d'une variable qui englobe d'innombrables paramètres, très différents dans leur diversité. Parmi ceux-ci, on peut citer en vrac la sophistication des systèmes de filtration des fumées d'usines, la température des appartements en hiver, la qualité de l'isolation des maisons, la consommation moyenne en carburant des automobiles, l'emploi ou non de catalyseurs, l'efficacité des stations d'épuration, les méthodes utilisées en agriculture, celles qui sont utilisées pour la production de l'électricité, ou encore des modes de vie, comme la quantité de piles électriques consommées, la distance entre l'habitation et le lieu de travail ou les habitudes alimentaires.*

*En examinant cette équation, une première constatation nous montre que le produit ( $N \times R$ ) augmente constamment. Et si chacun se réjouit de l'augmentation du niveau de vie, aucun politicien ne semble prendre conscience que cette augmentation est directement liée à celle de la pollution.*

## La pression de l'expansion démographique

*Quant à l'expansion démographique, que les progrès de l'hygiène et de la médecine ont transformée en explosion démographique dès le dix-neuvième siècle, personne n'est capable de trouver le moyen de la contenir et toutes les tentatives qui ont été faites dans ce sens ont échoué.*

<i>Evolution de la population mondiale</i>	
<i>Epoque du Christ</i>	<i>170 à 400 millions</i>
<i>500</i>	<i>190 à 206 millions</i>
<i>1000</i>	<i>250 à 350 millions</i>
<i>1500</i>	<i>400 à 540 millions</i>
<i>1600</i>	<i>550 à 580 millions</i>
<i>1700</i>	<i>600 à 680 millions</i>
<i>1800</i>	<i>0.813 à 1.125 milliards</i>
<i>1900</i>	<i>1.55 à 1.76 milliards</i>
<i>2000</i>	<i>6.085 milliards</i>
<i>2005</i>	<i>6.6 milliards</i>
<i>2010</i>	<i>6.8 milliards</i>

*Et, si certains gouvernements des pays en voie de développement voient avec consternation leurs efforts pour améliorer le bien-être de leurs concitoyens réduits à néant par une explosion démographique galopante, d'autres pays se désolent de la baisse de leur taux de natalité car ils ont peur que*

*les jeunes générations ne puissent plus supporter la charge sociale des personnes âgées toujours plus nombreuses, ou craignent encore qu'il y ait pénurie de main d'œuvre au cours du vingt et unième siècle !*

*En réalité - mais il semble que personne n'ose le dire - ces gouvernants sont pris de panique à l'idée qu'ils seront peut-être un jour submergés par les migrations potentielles des gens qui ont faim et qui décideraient d'aller voir du côté de ceux qui possèdent un garde-manger bien garni.*

*Le nombre d'individus vivant aujourd'hui sur Terre est à peu près égal à celui de toutes les générations qui ont précédé la notre durant les vingt siècles de l'ère chrétienne.*

## Comment contenir l'accroissement de la pollution ?

*La première Conférence de Rio a bien montré l'impuissance des hommes à vaincre la pollution. L'Eglise a clairement fait savoir qu'elle ne voulait à aucun prix qu'on agisse sur l'augmentation de la population (facteur N).*

*Les impératifs de notre système économique font qu'il est impossible de toucher aux revenus (facteur R) sous peine de l'effondrement du système social. Par ailleurs, l'ensemble des populations nanties ne veut pas renoncer aux facilités que leur mode de vie leur procure et les populations défavorisées ne rêvent que d'accéder aux privilèges qui constituent l'ordinaire des habitants des pays riches.*

## On ne peut donc agir que sur la variable k

*On constate qu'on ne peut agir que sur la variable k, ce qui paraît bien dérisoire comparé à l'augmentation constante des autres termes de l'équation.*

*Sous la pression des milieux écologistes, dont le grand mérite est d'avoir fait prendre conscience de l'importance de ces problèmes à la population et aux dirigeants de tous les courants politiques, les industriels ont été obligés de trouver des solutions techniques pour diminuer la valeur de k. Ainsi les fumées des usines se sont un peu éclaircies, la consommation d'essence des automobiles a diminué, l'usage du catalyseur s'est répandu, on recycle le verre, le papier, on contrôle les décharges, on incinère les ordures et on multiplie les stations d'épuration des eaux usées. Le facteur k a donc déjà diminué dans des proportions appréciables dans les pays qui ont les moyens de supporter la charge financière qu'imposent toutes les mesures antipollution.*

*Toutefois, si cet effort est jugé insuffisant par les milieux écologistes, les milieux industriels trouvent que les contraintes que ces mesures impliquent de-*

*viennent trop lourdes et les automobilistes rechignent à changer leurs habitudes pour emprunter les transports en commun.*

## **Le facteur $k$ varie d'un pays à l'autre**

*Par contre, la variable  $k$  demeure encore importante dans les pays du tiers-monde, car la lutte contre la pollution est une opération coûteuse que seuls les pays riches peuvent s'offrir. Dans ces pays, bien que le facteur  $R$  soit faible (bas revenus), le facteur  $k$  est si grand que la pollution y est bien plus importante que dans les pays développés. Par ailleurs, le principal souci de ces pays, à court terme, est de donner du travail à tout le monde et de faire augmenter le revenu national. Une des tâches les plus difficiles sera de rendre toutes les entreprises moins polluantes. Le prix à payer sera énorme et, au vu de la situation économique de ces pays, on ne voit pas comment, à court terme, cet effort pourra être financé.*

*La conséquence de cette différence entre les pays riches et pays du tiers monde, implique qu'il devient momentanément facile pour les premiers d'exporter non seulement leurs déchets et leurs ordures vers les seconds mais encore de reporter vers eux l'élimination des biens de consommation que nous jetons avant qu'ils ne soient inutilisables.*

*Par exemple, grâce aux normes de sécurité qui nous obligent à en changer dès qu'ils atteignent un certain degré d'usure, les pneus que nous jugeons usagés finissent leur carrière sur les routes africaines et la responsabilité de leur élimination ultérieure ne nous concerne plus.*

## **Le coût du facteur $k$**

*Le prix des efforts que nous consentons pour faire diminuer la valeur de la composante  $k$  est chaque fois plus élevé que le prix de l'effort précédent. Nous avons déjà réussi à l'abaisser dans des proportions notables, mais nous tendons vers une limite où le prix à payer ne pourra plus être supporté.*

*Malheureusement l'augmentation inexorable de la population et de son niveau de vie nous porte à constater que l'abaissement du facteur  $k$  ne parviendra pas à faire diminuer la pollution mais qu'il aura tout au plus pour effet d'en infléchir sa progression.*

*A travers tous nos efforts pour faire diminuer le facteur  $k$ , nous ne pouvons tout au plus qu'infléchir la vitesse d'accroissement de la pollution !*

# Notre planète se rit de la pollution

## La planète est-elle menacée par la pollution ?

*Nous commençons à nous inquiéter des possibles modifications du climat qui règle l'ambiance dans laquelle nous évoluons. Des pluies diluviennes, des coups de vents inhabituels, des débordements de rivière toujours plus fréquents, un apparent de réchauffement de l'atmosphère, tous ces phénomènes nous semblent sonner comme une sirène d'alarme.*

*Il est vrai que par ses activités, l'homme modifie l'équilibre naturel de son environnement. Il modifie l'extension des espèces végétales, il fait varier les populations des différentes espèces animales, il modifie la composition chimique des eaux, perturbe le subtil équilibre de l'atmosphère et bouleverse certaines parties des continents au risque de provoquer des changements climatiques dont les conséquences sont imprévisibles. Ce ne sont là que les termes habituels de n'importe quel discours écologiste.*

*Mais comment notre planète ressent-elle ce "chatouillement" ? Reprenons le problème un peu en arrière. Lorsque la population humaine était limitée sur terre à quelques dizaines de millions d'individus. Son intervention sur l'environnement était négligeable. Non seulement la population était restreinte, mais encore la pression sur l'environnement de chaque individu était très faible : il ne disposait que de ses mains et de quelques outils primitifs. Il vivait sans perturber son environnement et se contentait des produits naturels que la nature lui offrait.*

*Aujourd'hui notre planète héberge plus de six milliards d'individus, dont beaucoup disposent d'une énergie bon marché, permettant à chacun d'eux d'amplifier considérablement son intervention sur l'environnement. De ce fait, ce que nous appelons **l'équilibre naturel** s'en trouve menacé.*

## Mais qu'est-ce que l'équilibre naturel ?

*Avant toute chose, il faudrait commencer par s'entendre sur le terme d'équilibre naturel, lui donner une définition claire et fixer un étalon de référence de cet état afin de pouvoir constater l'importance des modifications que nous lui faisons subir.*

*Une première remarque s'impose : cet équilibre naturel est tout à fait relatif. A nos yeux, c'est celui qui s'est progressivement instauré, il y a à peine une dizaine de milliers d'années, après le retrait des glaciers qui recouvraient le nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique. L'eau libérée par la fonte des glaces a*

*rejoint les océans qui ont atteint alors le niveau que nous leur connaissons aujourd'hui. Le Gulf Stream, disparu durant la période glaciaire, est revenu. Le climat dit "tempéré" s'est installé et la forêt a recouvert la plus grande partie de l'Europe. Dans notre subconscient, c'est ce qui nous paraît être l'étalon de référence en regard duquel nous comparons l'état actuel de la planète. Cet état idyllique correspond probablement au mythe du Jardin d'Eden. De notre point de vue très limité dans le temps, il nous semble que cet état idéalisé est celui qui a toujours existé avant l'arrivée de l'homme et vers lequel nous voudrions pouvoir retourner. Mais nous péchons par orgueil et nous oublions que l'homme n'a pris la mesure de la planète que depuis quelques siècles alors qu'elle existe depuis quatre milliards et demi d'années !*

## **L'équilibre naturel et les climats varient constamment**

*Laissons toutefois ces milliards d'années et ne considérons, du point de vue géologique, que le dernier million d'années. Dans ce très court laps de temps (à l'échelle géologique), les climats se sont modifiés, plusieurs glaciations ont recouvert l'hémisphère nord, entraînant des variations notables du niveau des mers. Des éruptions volcaniques ont par moments rejeté dans l'atmosphère des quantités de CO<sub>2</sub> beaucoup plus considérables que celles que nous produisons aujourd'hui. Des espèces animales et végétales d'alors ont péri ou se sont déplacées, d'autres se sont installées à leur place. Mais aucun média n'était présent pour déplorer les modifications climatiques et écologiques que ces changements d'équilibre ont provoqués. Personne n'était là pour les constater. L'équilibre naturel est donc essentiellement variable à l'échelle géologique et les climats se modifient constamment.*

*Si on sait lire dans la succession des roches qui constituent nos continents, on découvre que chaque modification dans la nature des couches géologiques correspond à une modification souvent importante de l'équilibre naturel. Les limites que les géologues ont choisies pour marquer le passage de l'ère primaire à l'ère secondaire ou celui de l'ère secondaire à l'ère tertiaire, correspondent à des changements majeurs dont les causes sont encore difficiles à expliquer. Ces périodes de transition sont marquées par l'extinction de très nombreuses espèces animales et végétales, remplacées à leur tour par d'autres espèces. Notre bonne vieille planète s'est toujours bien remis de tous ces changements et, si l'homme venait un jour à disparaître, quelques dizaines d'années suffiraient largement à rétablir la situation antérieure. La Terre mesure l'écoulement du temps en dizaines de millions d'années alors que l'homme ne compte qu'en décennies. L'un et l'autre ne parlent pas du tout le même langage. Notre existence sur terre est fragile et bien que nous*

*imaginons être une espèce animale un peu différente des autres, nous connaîtrons le même sort qu'elles, si d'aventure, les causes qui ont provoqué les grandes extinctions devaient se reproduire dans un avenir prochain. La durée de notre Humanité ne représente encore qu'un instant d'une extrême brièveté comparée à l'âge de la Terre et l'ère du pétrole ne représentera qu'un pic étroit dans l'histoire technologique de l'Humanité.*

## **L'homme est la principale victime de la pollution**

*C'est donc la communauté humaine qui est la principale victime de la pollution. Par extension nous imaginons que c'est la planète qui souffre, mais celle-ci en a vu d'autres et doit bien rire du souci que nous nous faisons pour elle. Que des millions de tonnes de cuivre soient déplacées de leurs gisements "naturels" du Chili, de Zambie ou du Zaïre pour être réparties plus uniformément sous forme de conducteurs électriques ou de conduites d'eau, la planète s'en moque éperdument. De même la planète se rit du plomb qui imprègne les bords des autoroutes, des nitrates et des phosphates, des défoliants et des herbicides que les paysans déversent dans leurs champs, du fréon et du méthane que nous envoyons allègrement dans l'atmosphère. Notre planète a vu passer les dinosaures et encore bien d'autres espèces aujourd'hui disparues. Elle attendra patiemment que l'homme ait disparu ou que sa population ait considérablement diminué pour restaurer ses forêts, rétablir sa couche d'ozone, purifier ses cours d'eau et assainir son atmosphère. Nous nous inquiétons d'un changement possible du niveau des mers de quelques dizaines de centimètres alors que dans des passés géologiques pas si lointains ce même niveau a varié de plusieurs dizaines de mètres.*

*C'est la communauté humaine qui est la principale victime de la pollution et non la Planète comme nous nous plaisons à le croire !*

*La pollution concerne donc essentiellement nous-mêmes. Elle agit comme une auto-intoxication vis-à-vis de laquelle nous développons une dépendance de plus en plus marquée. Nous sommes dans la situation du drogué qui connaît très bien les effets nocifs de sa drogue mais ne peut plus s'en passer. Et en toute bonne foi, nous trouvons normal de nous déplacer en voiture pour aller ingurgiter notre repas de midi. Nous avons peut-être un autocollant du WWF ou un sigle antinucléaire collé à l'arrière de notre véhicule, mais, reconnaissons-le, nous ne voyons pas l'anomalie qui consiste à nous*

*déplacer de dix kilomètres ou plus avec une tonne de ferraille dans le seul but de glisser une livre de nourriture dans notre estomac !*

---

## Tout dépend du soleil

### Le bilan énergétique de la Terre est en équilibre

*La température moyenne de notre planète dépend en premier lieu du rayonnement solaire. C'est un rayonnement électromagnétique comprenant des rayons ultraviolets, de la lumière visible ainsi qu'une composante infrarouge. Le tiers de ce rayonnement est directement réfléchi dans l'espace par les nuages, la neige et les glaciers. La quantité restante est tout de même considérable : elle correspond en moyenne à 240 watts par mètre carré. Toutefois la Terre finit par restituer la totalité de l'énergie solaire reçue sous la forme d'un rayonnement infrarouge. Si ce n'était pas le cas, la température augmenterait constamment.*

*Les régions proches de l'équateur reçoivent plus de chaleur que les régions polaires. Pour compenser ce déséquilibre il y a transfert de chaleur des régions équatoriales vers les régions de haute latitude par l'entremise des vents dominants, des courants marins et du cycle évaporation/précipitation. A ce titre, on peut considérer l'énergie hydroélectrique comme de l'énergie solaire.*

### La Terre emprunte de l'énergie solaire

*Nous pouvons emprunter momentanément - à l'échelle géologique - l'énergie solaire, principalement par l'intermédiaire des végétaux qui en ont besoin pour synthétiser la cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ ). Les végétaux absorbent donc l'énergie solaire. Ils la restitueront le jour où on les brûlera. Le bois, le charbon et le pétrole sont donc des stocks d'énergie solaire ancienne ! Mais inexorablement, la chaleur dégagée par le pourrissement du bois ou par la combustion ultérieure du charbon, du pétrole et du gaz est restituée à l'espace interplanétaire !*

*Cet emprunt n'est donc que provisoire - il peut tout de même durer plusieurs dizaines de millions d'années - et cette énergie empruntée finit toujours par retourner à plus ou moins brève échéance vers l'espace interplanétaire.*

*En fait, l'énergie solaire est directement responsable:*

- *des situations climatiques, des régimes des vents, des courants marins et du cycle évaporation-précipitation,*
- *elle permet le maintien de la vie sur la terre,*
- *elle assure la croissance du monde végétal,*
- *elle est indirectement responsable de l'altération des roches, de la destruction des reliefs montagneux et de la formation des roches sédimentaires.*

## **Les tribulations du dioxyde de carbone**

*Quant au CO<sub>2</sub>, il provient essentiellement des émanations volcaniques et du pourrissement des feuilles des arbres. L'Homme participe pour une très petite part à l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en brûlant les combustibles fossiles. Ce gaz est partiellement absorbé par les plantes qui en extraient le carbone pour en faire du bois. Le solde est absorbé par les océans au sein desquels des myriades d'organismes microscopiques l'utilisent pour construire leur squelette de calcite CaCO<sub>3</sub>. À la mort de ces derniers, leur squelette participera à la formation des roches calcaires. Les calcaires sont donc, à l'échelle géologique, les réceptacles d'une partie de l'excès de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.*

*Durant la période carbonifère, l'émission de CO<sub>2</sub> par les volcans a été considérable, favorisant non seulement la croissance d'immenses forêts qui ont produit le charbon que nous exploitons aujourd'hui, mais participant aussi à la formation de volumes importants de roches calcaires.*

## **La vie est agréable grâce à l'effet de serre**

*L'équilibre entre l'énergie solaire reçue et celle qui est restituée a pour principale conséquence de maintenir sur Terre une température moyenne de 15° à 18°. Cet équilibre n'est atteint que grâce à un certain effet de serre dus principalement au dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, qui joue le rôle d'une couverture qui protège la terre et lui évite de trop se refroidir. S'il n'y avait pas cet effet de serre naturel, la température du globe serait certainement inférieure d'au moins une quinzaine de degrés à celle que nous lui connaissons aujourd'hui.*

### *L'effet de serre*

*Le rayonnement solaire qui réchauffe la Terre a une longueur d'onde comprise entre 0.2 et 4 microns. La partie la plus visible de ce rayonnement est la couleur jaune (0.6 microns). La terre, beaucoup plus froide que le soleil, émet à son tour dans l'espace interplanétaire un rayonnement infra rouge dont la longueur d'onde est comprise entre 4 et 80 microns. Si la plupart des gaz de l'atmosphère laissent passer le rayonnement visible du Soleil qui baigne notre planète, ils constituent un écran qui absorbe partiellement le rayonnement infra rouge émis par cette dernière, constituant une sorte de couverture qui empêche la Terre de trop se refroidir. Les gaz qui sont responsables de l'effet de serre sont la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub>, le méthane et, dans une moindre mesure, les CFC.*

*Au cours des temps géologiques, cet effet de serre s'est fréquemment modifié sous l'influence de processus naturels, principalement les exhalaisons volcaniques. Mais, encore une fois, nous n'étions pas là pour en déplorer les effets.*

## Le statut précaire du climat

### Les moteurs du climat qui animent le climat

*L'énergie que nous recevons du soleil est beaucoup plus importante dans les régions équatoriales que dans les régions polaires. L'air surchauffé des régions équatoriales s'élève dans la haute atmosphère et crée une dépression qui aspire l'air plus frais des régions tempérées. C'est le moteur qui anime le régime des vents qui s'établit tout autour de notre planète. Ces vents se chargent d'humidité au-dessus des océans. Nous avons là tous les ingrédients qui conditionnent le régime des vents et des précipitations qui homogénéisent quelque peu la température sur notre globe.*

*Plus discrets, mais terriblement plus efficaces, de lents courants marins parcourent les océans, selon un circuit très complexe dont on commence tout juste à élucider le fonctionnement. On connaissait déjà ceux qui circulent en surface, on découvre maintenant ceux qui circulent en profondeur. Dans ce circuit complexe, celui qui nous intéresse le plus est le Gulf Stream qui circule d'est en ouest dans l'Atlantique, arrive dans le Golfe du Mexique, puis s'en retourne en remontant vers le nord est, retransverse l'Atlantique nord et vient lécher et réchauffer l'Islande, les Iles britanniques et la Scandinavie, assu-*

*rant à ces pays un climat beaucoup plus clément que celui que le rayonnement du Soleil seul pourrait lui offrir sous de telles latitudes.*

## **Le niveau des mers**

*La croûte terrestre est morcelée en une dizaine de plaques épaisses d'une centaine de kilomètres et qui se déplacent les unes par rapports aux autres de quelques centimètres par année. Comme d'immenses radeaux, ces plaques s'enfoncent si on les surcharge ou, au contraire s'élèvent lorsqu'elles sont déchargées du poids des sédiments que l'érosion arrache à leur surface. Ainsi la Scandinavie, allégée du poids des glaciers qui la recouvraient, il y a trente mille ans, s'élève d'un centimètre par an.*

*Honolulu, au-dessous de laquelle l'activité volcanique a cessé depuis un million d'années, s'enfonce dans l'océan à raison d'un centimètre par an. Mais le phénomène le plus influent sur le niveau des mers est la **dilatation thermique de l'eau**. Une augmentation moyenne de 1° de la température de l'eau pourrait entraîner une élévation de son niveau de plusieurs mètres.*

## **Les climats récents**

*Par l'étude des sédiments du fond de l'Atlantique et par l'étude aussi des forages réalisés dans les glaciers du Groenland et de l'Antarctique, on a pu reconstituer les climats du dernier million d'années de notre planète. Le climat est marqué par une alternance de périodes chaudes et de périodes glaciaires. Le cycle dure environ 140'000 ans. Aujourd'hui, il semble que nous sommes à la fin d'une période chaude et que nous nous acheminons vers une période glaciaire (attendue pour dans cinquante mille ans au moins, rassurez-vous). Ce qui se dégage de toutes ces études, c'est surtout l'extrême précarité des équilibres climatiques.*

*Mais répétons le encore une fois, le géologue et l'homme n'ont pas la même notion de la longueur du temps. Si nous nous dirigeons, à long terme, vers un refroidissement, à court terme il ne fait aucun doute que les rejets de l'activité humaine dans l'atmosphère contribuent à l'augmentation de l'effet de serre et concourent au réchauffement momentané de la planète.*

*A court terme, on remarque que le passé récent (à l'échelle géologique) a été marqué par des variations séculaires inexplicables. Ainsi de -200 à +200, l'époque de l'apogée de l'Empire romain, le climat était encore plus doux qu'aujourd'hui et les glaciers encore plus en retrait.*

*Le climat est donc essentiellement variable et les causes de ces variations sont encore incertaines.*

## Ce que nous devons savoir sur l'énergie

*Les hommes primitifs ne disposaient que de leur énergie musculaire dont ils ont amélioré lentement l'efficacité en inventant quelques outils. Puis ils ont réussi à domestiquer le feu qui leur a permis de se réchauffer, de cuire leurs aliments, d'éloigner les animaux dangereux et, plus tard, à l'avènement de l'agriculture, de défricher la forêt. Ils ne polluaient leur environnement que d'une manière négligeable, car non seulement ils n'étaient pas nombreux, mais surtout ils ne pouvaient pas amplifier leur impact sur l'environnement au moyen d'énergie extérieure.*

### L'énergie décuple l'impact de l'homme sur l'environnement

*Aujourd'hui l'homme utilise une quantité colossale d'énergie bon marché pour se chauffer, se réfrigérer, se déplacer, pour construire les maisons, pour les démolir, pour produire les objets de consommation dont il ne peut plus se passer. On voit que le recours à l'énergie a décuplé l'emprise de l'homme sur son environnement. On peut affirmer que le volume des déchets que nous produisons est directement proportionnel à la quantité d'énergie que nous consommons.*

*Mais qu'est donc cette énergie qui, comme le pacte de Faust avec le Diable, nous donne richesse et facilité mais risque finalement de conduire notre humanité à la mort ?*

### Qu'est-ce que l'énergie ?

*Ce n'est pas une notion facile à comprendre. Simplement, l'énergie est quelque chose qui permet d'effectuer un travail ou de se chauffer : faire avancer une voiture, monter un ascenseur, chauffer ou éclairer une maison.*

*On pourrait faire une comparaison avec l'argent qui permet d'acquérir un bien de consommation, de faire exécuter un travail ou d'obtenir divers avantages. On voit apparaître, en quelques sortes, que l'argent permet de disposer d'énergie.*

## L'énergie, telle qu'elle est définie par les physiciens

*"C'est la capacité d'un **système** à modifier un **état**, à produire un travail entraînant un mouvement, de la lumière ou de la chaleur".*

*C'est un peu abstrait pour le lecteur moyen. Essayons de faire comprendre cette notion par ses exemples :*

***Modifier un état** c'est, par exemple, faire passer une masse d'eau d'une position élevée à une position basse. Cela produit un travail à condition bien évidemment qu'en changeant d'état elle ait entraîné la roue d'un moulin.*

***Le système**, ici, est l'installation technique du moulin.*

*C'est aussi faire passer une masse d'eau à 60° à 40°, la différence ayant servi, après avoir traversé un système de radiateurs, à chauffer votre maison.*

*Dans les deux exemples choisis, il y a eu modification d'un état et présence d'un système.*

## Il y a diverses formes d'énergie

*On peut deviner que l'énergie peut se manifester de plusieurs manières et qu'on peut distinguer plusieurs formes d'énergie. Ce sont principalement :*

- l'énergie cinétique renfermée dans un corps en mouvement,*
- l'énergie potentielle d'une masse située dans une position élevée,*
- l'énergie électromagnétique,*
- la chaleur.*

## Unités utilisées pour exprimer une quantité d'énergie

*(on n'est pas obligé de lire ce paragraphe)*

*Suivant la forme d'énergie considérée on peut adopter des unités différentes qui sont les suivantes :*

- un **joule** [J] est l'énergie nécessaire pour communiquer à une masse d'un kg une vitesse de un mètre par seconde,*
- une **calorie** [cal] est l'énergie nécessaire pour élever de 1° un gramme d'eau. On utilise plus généralement la grande calorie qui correspond à l'élévation de 1° de 1000 gr. d'eau.*
- le **watt/seconde**, unité employée en électricité, correspond à un joule. On utilise plus fréquemment le **kilowatt/heure** [kWh], (unité que nous facture notre fournisseur d'électricité) qui correspond à 3.600.00 joules.*

On utilise encore d'autres unités, mais il n'est pas utile de les signaler toutes ici. Mentionnons tout de même l'énergie que renferme une tonne de pétrole et une tonne de charbon. On parle de tonne équivalent pétrole, [tep] ou de tonne équivalent charbon, [tec] :

- 1 tep = 41,868 milliards de joules,

- 1 tec = 29.3 milliards de joules

Ces deux dernières unités servent à comparer entre elles les consommations globales à l'échelle des divers pays.

## Il y a deux qualités d'énergie

L'énergie peut se présenter sous deux formes selon la façon dont elle est utilisée. Sans entrer dans les lois compliquées de la thermodynamique, on peut donner une explication simple de ces deux formes d'énergie.

- La première est la forme noble : c'est **l'énergie mécanique**.

- La seconde est une forme dégradée : c'est **la chaleur**.

Nous verrons plus loin les raisons de cette discrimination.

## L'énergie mécanique

C'est **l'énergie potentielle** que possède un corps situé dans une position élevée et qui la restitue en passant à une station plus basse. C'est, par exemple, l'énergie qu'on peut retirer directement de la dénivellation d'un cours d'eau par l'intermédiaire du moulin qui, à son tour, entraîne une meule pour moudre le grain ou anime les scies qui débitent les troncs d'arbres en planches. Dans les siècles qui nous ont précédés, les industries qui avaient besoin d'énergie s'installaient par nécessité le long des cours d'eau.

L'énergie potentielle est proportionnelle à la masse [M] multipliée par la différence d'altitude [h] et l'accélération de la pesanteur [g], soit :

$$E_{\text{pot}} = M \times g \times h$$

C'est aussi **l'énergie cinétique** que possède un corps en mouvement et qui la restitue en ralentissant. Elle est proportionnelle à la moitié de la masse en mouvement multipliée par le carré de la vitesse soit :

$$E_{\text{cin}} = \frac{M \times v^2}{2}$$

On peut aisément comprendre qu'une voiture roulant à 50 Km/h délivre beaucoup d'énergie lorsqu'elle s'écrase sur un obstacle. L'énergie a servi à tordre les tôles et à endommagé l'obstacle. En doublant la vitesse, soit

*100km/h, on quadruple l'énergie produite et les dégâts sont beaucoup plus importants !*

*Si la voiture avait tout simplement freiné, l'énergie produite l'aurait été sous forme de chaleur dissipée par les disques de freinage.*

## **La fée électricité nous a beaucoup aidé**

*Avec la découverte de l'électricité et l'invention des dynamos, des alternateurs et des moteurs, on a pu s'affranchir de l'obligation de rester le long des cours d'eau, et les lignes électriques ont permis d'éloigner les utilisateurs de la source productrice. Les pertes d'énergie qui se produisent inévitablement dans l'échauffement des alternateurs, des moteurs et des lignes électriques sont assez faibles et une bonne partie de l'énergie produite par le turbinage des eaux est effectivement utilisable par l'intermédiaire de la fée électricité.*

### **Le prix d'une ascension au Mont-Blanc**

*La quantité d'énergie acquise (ou dépensée!) par un touriste dont le poids (bagage compris) est de 80 kg, qui se déplacerait à pied de Chamonix au sommet du Mont-Blanc (dénivellation. 3'700 m.) est égale à :*

$$E = 80 \times 3700 \times 9.81 = 2'903'000 \text{ [joules]}$$

*Soit un peu moins d'un kwh, ou encore env. 0.20 Euros.*

*L'énergie, c'est vraiment bon marché !*

## **Mais l'électricité n'est qu'un vecteur d'énergie !**

*Il faut bien prendre conscience que l'électricité n'est pas une énergie en soi mais un **vecteur de l'énergie**. Dans le cas d'une production hydroélectrique, c'est la chute d'eau qui produit l'énergie. Ainsi l'énergie consommée par les déplacements d'un ascenseur dans un immeuble est produite du côté de l'usine électrique par la perte d'altitude d'une certaine quantité d'eau (on analysera plus loin les autres procédés de production de l'électricité).*

*On parle incorrectement d'énergie électrique; on devrait être plus rigoureux et parler **d'énergie hydroélectrique**, terme dans lequel on reconnaît la vraie source de l'énergie: la chute d'une certaine quantité d'eau ou **énergie ther-***

*moélectrique* lorsque l'origine de l'énergie est une centrale thermique. Dans ce dernier cas, il faut encore préciser quel combustible est utilisé pour produire la vapeur : le charbon, le pétrole, le gaz ou un réacteur nucléaire !

## La chaleur, une forme dégradée d'énergie

*C'est une forme d'énergie qu'on pourrait qualifier de bâtarde ou de dégradée. En réalité, il faut préciser que lorsqu'on dit chaleur, on entend source de chaleur par rapport à un environnement plus froid.*

*Une source de chaleur peut produire de l'énergie mécanique (énergie noble) par l'intermédiaire d'une **machine thermique**. Les principales machines thermiques que nous connaissons sont les machines et les turbines à vapeur, les moteurs à combustion interne, les turbines à gaz (réacteurs d'avion).*

*Toutes ces machines sont soumises aux lois inexorables de la thermodynamique qui ne leur accordent qu'un rendement assez faible. Ainsi les vénérables locomotives à vapeur gaspillaient la plus grande partie de l'énergie - qu'elles tiraient de la combustion du charbon ou du mazout - à chauffer le ciel, car elles n'utilisaient guère que le 20% de cette énergie pour faire avancer le train.*

## Ces deux formes d'énergie ne sont pas de même qualité

- *L'énergie mécanique peut se transformer (et se transforme inexorablement) en chaleur avec un rendement de 100 %.*
- *Une source de chaleur ne peut être transformée en énergie mécanique qu'avec un rendement limité à 35 % environ, dans le meilleur des cas. Les 65 % perdus restent sous forme de chaleur (un peu moins chaude).*

*Ce sont ces propriétés qui nous conduisent à parler d'énergie noble pour la première et d'énergie bâtarde (ou énergie dégradée) pour la seconde. Ainsi le pétrole, le charbon, le gaz ou les combustibles nucléaires sont des formes d'énergie bâtarde dans la mesure où on veut les transformer en énergie mécanique, puisqu'on ne peut guère récupérer que le 35 % de l'énergie mécanique qu'ils renferment. Par contre, ces combustibles peuvent restituer toute leur énergie si on se contente d'utiliser la chaleur qu'ils peuvent produire à des fins de chauffage (chauffage domestique, eau chaude, fours à ciment, métallurgie).*

### *Bilan énergétique d'un voyage en automobile*

*Si vous faites un voyage en auto de plusieurs milliers de kilomètres, puis revenez à votre point de départ, votre véhicule possède alors la même énergie potentielle à l'arrivée qu'au départ. La totalité de l'essence que vous avez consommée a finalement servi à réchauffer l'atmosphère: le rendement d'un moteur à explosion étant de l'ordre de vingt-cinq pour cent, le septante-cinq pour-cent de l'énergie contenue dans l'essence a donc été immédiatement gaspillé en chaleur, le solde ayant été dissipé par le biais de l'échauffement des freins, de la route, des pneus et de l'air.*

*Dans tous les cas, la totalité de l'énergie que nous utilisons finit par se dégrader. Elle se transforme inexorablement en chaleur qui est diffusée dans l'espace interplanétaire sous forme d'un rayonnement infrarouge.*

### **Chauffage domestique**

*Si vous désirez chauffer votre habitation, vous n'avez besoin que de la forme dégradée de l'énergie et un combustible (charbon, bois, pétrole ou gaz) fera parfaitement l'affaire. Vous pouvez, bien entendu, vous chauffer par l'intermédiaire de l'électricité, mais c'est dégrader une forme d'énergie noble qui serait plus judicieusement utilisée pour un usage mécanique ou électronique. Le chauffage électrique constitue un gaspillage considérable. Pouvez-vous imaginer un instant que vous achetiez un kilo de viande, que vous en consommiez 300 grammes et jetiez le reste ? Non, bien sûr, vous vous sentiriez terriblement coupable d'un pareil gaspillage. Eh bien, c'est le même genre de perte qui se produit lors du chauffage d'un local par l'électricité !*

## **La production d'énergie, source de pollution**

### **L'énergie hydroélectrique**

*L'énergie hydroélectrique est la seule énergie qui n'implique aucune charge polluante notable pour notre environnement, si ce n'est l'impact de l'implantation des barrages sur le régime des rivières et sur la faune. Quelques barrages ont cependant été élevés sans qu'on mesure vraiment les conséquences que leur construction allait entraîner. Le barrage d'Assouan a bien régularisé le débit du Nil, mais il a aussi supprimé l'enrichissement en limon*

*des terres autrefois périodiquement inondées et a fait disparaître les bancs de sardines - autrefois abondants - au large du delta du fleuve, entraînant du même coup la disparition des activités de pêche.*

*Cependant, si on ne tient pas compte de l'avis des poissons, on peut considérer l'énergie hydroélectrique comme globalement peu perturbatrice de l'environnement.*

## **Les combustibles fossiles polluent l'atmosphère**

*Il n'en va pas de même des combustibles fossiles, charbon, pétrole, qui polluent gravement l'atmosphère :*

- Ils consomment des quantités non négligeables d'oxygène,*
- ils rejettent des gaz nocifs à la vie (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> etc...),*
- ils rejettent des poussières souvent chargées de métaux lourds.*

*L'accumulation de ces rejets dans l'atmosphère cause en premier lieu une nuisance directe importante sur la santé publique et, en second lieu, tend à modifier l'équilibre de l'effet de serre naturel qui contrôle la température moyenne de notre planète.*

## **Le gaz naturel un combustible "propre" ?**

*Les milieux écologistes et les autorités politiques nous assurent que le gaz naturel et plus "propre" que le mazout ou le charbon.*

*C'est partiellement vrai dans le sens, qu'à production de chaleur égale, le gaz naturel rejette environ 30% de CO<sub>2</sub> de moins que le pétrole ou le charbon. C'est un point de vue ! Mais il en rejette quand même des quantités considérables !*

*Mais ce qu'on ne nous dit pas c'est que le gaz naturel est constitué essentiellement de méthane, un gaz à effet de serre vingt fois plus efficace que le CO<sub>2</sub> et que les fuites engendrées inmanquablement par les milliers de kilomètres de conduites souterraines contribuent largement à l'augmentation de l'effet de serre. Le gaz naturel n'est donc pas si innocent qu'on veut bien nous le faire croire.*

## **Et l'hydrogène ?**

*Monsieur Schwarzenegger, gouverneur médiatique de la Californie, préconise sa solution: utiliser l'hydrogène comme carburant pour la voitures.*

*Oui, la combustion de l'hydrogène ne rejette dans l'atmosphère que de l'eau et, à ce titre, cela semble séduisant. Mais il ne nous dit pas où prendre l'hydrogène !*

*Il y a plusieurs façons de produire l'hydrogène mais toutes sont dévoreuses d'énergie. Là aussi, comme l'électricité, l'hydrogène n'est qu'un **vecteur d'énergie**. En brûlant, il ne fait que restituer l'énergie qu'on a dû dépenser pour le produire. Et si sa consommation est non polluante, sa production elle est très polluante car il faut des centrales électriques pour sa production. Monsieur Schwarzenegger ne fait donc que déplacer la pollution du site de consommation vers le site de production.*

## **Le cas du combustible nucléaire**

*L'énergie dite nucléaire est à classer dans les énergies que nous avons qualifiées de bâtardes ou dégradées. Elle tire sa source du dégagement de chaleur qui accompagne le phénomène de fission<sup>1</sup> de l'uranium. On doit considérer l'uranium comme un combustible dont l'impact sur l'environnement est différent de celui des combustibles fossiles. Si la fission de l'uranium ne consomme pas d'oxygène, ne rejette ni gaz ni poussière ni ne perturbe pas l'effet de serre, son utilisation est soumise à des risques d'un autre ordre et les déchets radioactifs qu'elle produit posent des problèmes d'entreposage et de stockage. Nous analyserons plus loin la nature de ces risques.*

*Les **combustibles fossiles** polluent gravement l'atmosphère, attentent à notre santé et contribuent au réchauffement de la Planète.*

*L'**énergie nucléaire** ne perturbe pas l'atmosphère mais nous laisse des déchets désagréables à gérer !*

*Nous devons donc choisir entre ces deux types de pollution pour faire perdurer notre confort !*

---

<sup>1</sup> Pour comprendre la fission, consultez, sur ce même site, «Le Monde étrange des atomes».

# Comment produire l'électricité ?

*Nous avons vu que l'électricité n'était qu'un vecteur d'énergie et que c'est son mode de production qui implique une perturbation de l'environnement. Les deux principaux moyens de production sont les **centrales hydroélectriques** et les **centrales thermiques**. On peut également produire de l'électricité par des panneaux solaires ou de éoliennes mais, pour l'instant du moins, les quantités produites sont dérisoires et leur utilisation est limitée à quelques situations très particulières.*

## L'énergie d'origine hydraulique

*Les sources de production hydroélectrique sont les barrages au fil de l'eau qui exploitent de grandes quantités d'eau sous des chutes peu importantes - quelques dizaines de mètres au plus - et les bassins d'accumulation en altitude qui permettent de turbiner dans les vallées de plus faibles quantités d'eau, mais avec des pressions importantes correspondant à des différences de niveau de plusieurs centaines de mètres.*

*Les centrales hydroélectriques ont des puissances très diverses, allant de la petite installation régionale à des barrages géants, tels que Mauvoisin ou la Grande-Dixence, dans les Alpes suisses, desservant plusieurs paliers d'usines de production. La puissance produite par ces usines est modulable rapidement et peut être adaptée en quelques secondes aux fluctuations de la demande des centres de consommation.*

*Ce type de production n'engendre aucune pollution atmosphérique. Par contre il est indéniable que la construction d'un barrage sur un cours d'eau peut entraîner des modifications de l'équilibre écologique le long de ses rives. De même, la création en montagne de grands barrages porte un certain préjudice au régime hydrologique des vallées sises en aval.*

*Par ailleurs, les ressources hydroélectriques ne sont disponibles que dans les régions où les précipitations sont suffisantes et les reliefs bien marqués. Elles sont nulles dans les pays arides et difficilement exploitables dans les pays plats. Par ailleurs, dans les pays qui disposent d'importantes ressources hydrologiques, les aménagements hydroélectriques possibles sont presque tous achevés et l'on ne peut guère envisager d'en augmenter le nombre.*

## L'énergie d'origine thermique

*Dans les centrales thermiques, c'est l'utilisation d'une source de chaleur qui est à l'origine de la production électrique. Cela peut être le charbon, le pétrole, le gaz naturel ou un réacteur nucléaire. La source de chaleur sert à produire de la vapeur d'eau à des températures de l'ordre de 300° à 500° et des pressions de plus de 200 atmosphères. Cette vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur qui produit l'électricité.*

*Les centrales thermiques peuvent atteindre des puissances de production considérables. La complexité de leur fonctionnement fait qu'on ne peut pas moduler leur puissance rapidement. Il faut quelques heures pour arrêter ou mettre en marche une centrale alimentée au charbon, au gaz ou au pétrole, et environ vingt-quatre heures pour une centrale équipée d'un réacteur nucléaire.*

*On peut aussi entraîner un alternateur au moyen d'un moteur à explosion. On parle alors de groupe électrogène. Cela va du petit générateur juste suffisant pour faire fonctionner les quelques ampoules d'une caravane de camping jusqu'aux puissants générateurs qui alimentent en électricité une petite agglomération isolée. Ces groupes ont un rendement encore plus faible que les grandes centrales thermiques et elles ne sont utilisées que lorsqu'on ne peut pas faire autrement. Ce sont surtout des groupes de secours qui sont mis en marche lors d'une panne éventuelle du réseau ordinaire.*

## Dissipation de la chaleur par les centrales thermiques

*À la sortie de la turbine, la température et la pression de la vapeur ont fortement diminué, mais il faut toutefois la refroidir encore dans des condenseurs pour qu'elle revienne à l'état liquide avant de pouvoir être injectée à nouveau dans les corps de chauffe. Il y a donc une grande perte d'énergie sous la forme d'eau tiède qui passe dans le circuit de refroidissement.*

*L'eau qui sert au refroidissement est parfois rejetée directement dans une rivière. Le réchauffement des rivières et des fleuves par ces rejets modifie considérablement les conditions de la vie aquatique. Aussi a-t-on plutôt recours à ces immenses tours de condensations qui rejettent la chaleur dans l'atmosphère. De loin elles sont reconnaissables par le majestueux panache de vapeur d'eau qui s'en échappe.*

*L'énergie dissipée en chaleur est deux fois plus importante que l'énergie produite sous forme d'électricité. Une centrale d'une puissance électrique de 1000 mégawatts dissipe encore 2000 mégawatts supplémentaires sous forme de chaleur - pas très chaude - non récupérée.*

## Cas du combustible nucléaire

*L'uranium est le dernier élément naturel du tableau périodique de Mendeleïev. Il renferme deux isotopes en proportion inégale : 99.3 % d'Uranium 238 et 0.7% d'Uranium 235. On désigne ces deux isotopes par les symboles  $U^{238}$  et  $U^{235}$ .*

*Le noyau de chaque isotope compte 92 protons. L' $U^{238}$  comporte en outre 146 neutrons ( $92+146 = 238$ ), et l' $U^{235}$  143 neutrons ( $92+143 = 235$ ). Les nombres 238 et 235 indiquent donc le nombre total des particules renfermées dans chacun des noyaux. Ces deux isotopes de l'uranium sont instables et se transmutent naturellement en d'autres éléments stables. Cette transformation peut se faire selon deux processus très différents l'un de l'autre :*

- 1. la décroissance radioactive,*
- 2. la fission nucléaire.*

### La décroissance radioactive<sup>1</sup>

*Les deux isotopes de l'uranium émettent naturellement des particules radioactives issues de leur noyau. Elles sont de trois types:*

- les particules  $\alpha$ , constituées chacune de 2 protons 2 neutrons. Elle correspond au noyau de l'atome d'hélium.*
- Les particules  $\beta$ , qui sont des électrons issus d'un neutron (qui se transforme alors en proton);*
- Un rayonnement électromagnétique  $\gamma$  semblable aux rayons X.*

*A chaque perte d'une particule  $\alpha$  ou  $\beta$  l'uranium se transforme en un autre élément et, après une série d'états intermédiaires successifs, chaque isotope aboutit à un atome stable qui est le  $Pb^{206}$  pour l' $U^{238}$  et le  $Pb^{207}$  pour l' $U^{235}$ . Cette décroissance radioactive s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Mais comme la vitesse de transformation est très lente, ce dégagement de chaleur est économiquement inutilisable. Par ailleurs on ne peut pas utiliser ce phénomène pour produire de l'énergie car la décroissance radioactive est un phénomène aléatoire que les physiciens n'ont jamais réussi ni à accélérer ni à ralentir.*

### La fission nucléaire

*L'instabilité des atomes d'uranium peut se manifester d'une autre manière. Parfois, spontanément, un atome d' $U^{238}$  se divise en deux atomes plus petits dont le total des masses est presque égal au poids de l'atome originel. La*

<sup>1</sup> Les phénomènes de décroissance radioactive et de fission nucléaire sont expliqués de manière plus détaillée dans *Le Monde étrange des Atomes*, du même auteur.

très faible différence de masse perdue dans l'opération se transforme en énergie (sous forme de chaleur) en obéissant à la fameuse loi d'Einstein :

$$E = m \times c^2.$$

En clair, cela signifie que l'énergie dégagée [E] est égale à la perte de masse [m] multipliée par le carré de la vitesse de la lumière [c<sup>2</sup>].

Cette quantité d'énergie est colossale. De plus, les physiciens ont trouvé le moyen d'accélérer cette réaction nucléaire qui, dans la nature, est un phénomène d'une extrême rareté. On peut donc moduler à loisir les réactions de fission de l'uranium. C'est à ce titre que l'uranium est utilisé dans les centrales dites nucléaires.

L'inconvénient de cette source de chaleur réside dans la nature des atomes créés par la fission de l'uranium : ce sont des éléments communs du tableau périodique mais dont les noyaux renferment tous un excès de neutrons. Ce sont donc des **isotopes instables** de ces éléments qui tendent à se transformer ensuite plus ou moins rapidement en d'autres atomes stables par le biais du phénomène de la décroissance radioactive. Ils émettent donc des particules radioactives pendant toute la durée de leur transformation vers leur état stable et, à ce titre, ils ne peuvent pas être abandonnés sans précautions dans la nature. Ce sont les **déchets nucléaires**.

## Etat de la production classique d'électricité.

Actuellement, une grande partie du potentiel hydroélectrique est exploitée. Le nombre des centrales nucléaires plafonne sous la pression des milieux antinucléaires qui exploitent la peur de la population.

Par contre, les centrales thermiques alimentées par des combustibles fossiles ne cessent d'augmenter. Il y en a environ 550 en fonctionnement rien qu'aux U.S.A. Certaines consomment près de 300 kg de charbon par seconde. En Chine, chaque semaine on inaugure une nouvelle centrale à charbon.

## Production photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en courant continu. Le rendement est assez faible et le coût du kWh obtenu est encore très supérieur à celui des autres sources d'électricité. La production est directement liée à l'ensoleillement, ce qui rend la production instantanée aléatoire.

*Par contre, couplés avec des batteries, l'usage de panneaux photovoltaïques est intéressant dans des régions éloignées non connectées à un réseau électrique, telles les cabanes de montagnes.*

*Actuellement, sous la pression des milieux écologistes, l'état subventionne indirectement l'installation de panneaux photovoltaïques en achetant à leurs propriétaires l'électricité à un prix bien supérieur à celui de marché.*

## Production par éoliennes

*La production d'électricité au moyen d'éolienne progresse rapidement. Les éoliennes actuelles développe en moyenne une puissance de 5MW et fonctionnent environ 2000 heures par an. Pour avoir une idée de leur importance sur le marché de la production, notons qu'une centrale nucléaire fonctionne avec une puissance de 900 à 1300 MW sur environ 8000 heures par an.*

*Une comparaison un peu simple montre qu'il faudrait environ 800 éoliennes pour égaler la production d'une centrale nucléaire.*

*Les éoliennes sont efficaces là où il y a des vents réguliers et dans des zones peu habitées. Malheureusement elles sont dépendantes du vent et les électriciens ne sont pas maîtres de leur production instantanée.*

## Aspects de la consommation électrique

*L'électricité doit être consommée au moment même de sa production. On ne peut pas la stocker<sup>1</sup>. Il faut donc constamment adapter la production des centrales pour satisfaire la demande instantanée des consommateurs. Comment donc se présente cette variation ?*

### Comment donc se présente cette variation ?

*Il y a tout d'abord une variation diurne de la demande : elle est forte la journée lorsque toutes les usines et les entreprises fonctionnent à plein rendement, elle est faible la nuit lorsque l'activité humaine est ralentie. À cette variation diurne se superpose une variation saisonnière attachée à la température et à la longueur du jour. Au mois d'août, une partie de la population est en vacances, certaines entreprises sont fermées, la durée du jour est longue. La consommation est faible.*

*En hiver, dans nos latitudes, la consommation atteint son plus haut niveau aux alentours du deuxième mercredi de décembre vers onze heures du matin :*

---

<sup>1</sup> A l'exception des piles et des batteries qui ne stockent que du courant continu à basse tension et qui, en regard de leur poids, de leur encombrement et de leur courte durée de vie, ne sont que de piètres réservoirs d'électricité.

*l'activité industrielle fonctionne au maximum de sa capacité ; dans les bureaux toutes les secrétaires ont allumé leur radiateur électrique d'appoint, les grands magasins et les rues débordent d'éclairages supplémentaires installés pour la période des fêtes et vers de onze heures du matin, les cuisinières électriques commencent à fonctionner !*

## **Comment répondre à cette demande irrégulière ?**

*Les producteurs d'électricité doivent toujours être en mesure de répondre instantanément aux fluctuations de la demande. La variation de consommation peut être brusque et de grande amplitude au niveau d'une petite agglomération. Par contre ces variations sont atténuées si on considère une plus vaste région. En effet, la variation instantanée de la demande de deux régions ne se fait pas nécessairement au même instant et la compensation instantanée de ces variations atténue leur amplitude. D'un autre côté il n'est pas possible à une seule centrale régionale de s'adapter instantanément sa production à la demande locale. Pour cette raison, la plupart des centrales sont liées les unes aux autres. C'est **l'interconnexion des réseaux électriques**. Et c'est ici qu'apparaît l'importance des lignes de transport électrique à très haute tension. Elles doivent être conçues pour pouvoir supporter la charge maximale des pointes de consommation et pour répartir sur un vaste territoire l'énergie des régions productrices vers les régions consommatrices.*

*L'allure générale de la variation de la consommation est bien connue et les producteurs augmentent ou diminuent la puissance des centrales, arrêtent ou mettent en marche d'autres unités de production en fonction de la demande.*

*Les centrales thermiques et, en particulier, les centrales nucléaires qui ont besoin de près de 24 heures pour être arrêtées et remises en marche, assurent la production de base et fonctionnent quasiment en permanence. Les centrales thermiques qui ont besoin d'environ 2 heures pour être mises en marche, assurent les fluctuations lentes. Les centrales hydroélectriques, dont on peut moduler le régime de production en quelques secondes, sont mises en marche rapidement pour assurer les pointes de consommation, puis arrêtées lorsque celle-ci diminue.*

*Par contre la production des éoliennes ou des panneaux photovoltaïques échappe en grande partie au contrôle des électriciens responsables de réguler la production instantanée.*

*Pendant la nuit, la production électrique reste largement excédentaire et les consommateurs peuvent obtenir des prix très avantageux. C'est le seul*

*moment où l'on pourrait envisager de transformer l'électricité en chaleur, en particulier pour chauffer l'eau sanitaire qui servira aux besoins du jour suivant, car autrement elle serait perdue.*

*Mais la tendance actuelle est d'utiliser cette énergie nocturne excédentaire pour remonter l'eau d'un bassin d'accumulation au moyen de pompes puissantes, vers un autre bassin situé à plus haute altitude. C'est une manière indirecte de stocker de l'énergie.*

## Peut-on maîtriser la consommation d'énergie ?

*Dans les lignes qui suivent, on considère la totalité des moyens de production d'énergie, soit les combustibles fossiles, l'énergie nucléaire et hydroélectrique. La consommation d'énergie obéit à une équation générale tout à fait analogue à celle que nous avons déjà vue pour la pollution :*

$$Q_E = k (N \times R)$$

dans laquelle :

- $Q_E$  = quantité d'énergie consommée.
- $N$  = nombre d'individus d'une population.
- $R$  = revenu moyen.
- $k$  = "facteur de consommation".

*Ici, la variable  $k$  englobe de nombreux paramètres qui comprennent aussi bien le rendement des moyens d'utilisation, le climat, le degré d'industrialisation, les habitudes de vie, la qualité de l'isolation des maisons, ou la consommation en essence des automobiles.*

*De toute manière, la parenthèse  $(N \times R)$  est en constante augmentation et là encore on ne peut agir que sur le facteur  $k$ .*

*Il faut malheureusement constater que le produit  $(N \times R)$  augmente plus vite que ne diminue le facteur  $k$ .*

## Les postes de travail consomment de l'énergie

*La productivité du travail, tabou du monde globalisé, ne peut progresser que grâce au recours à toujours plus d'énergie. Un poste de travail dans le*

*secteur tertiaire implique une consommation annuelle<sup>1</sup> d'environ 5'500 kWh. Dans l'industrie légère, cette consommation est de 7'000 kWh. Elle peut atteindre 20'000 kWh dans l'industrie lourde. L'augmentation du nombre des postes de travail - avec l'augmentation de la population - accroît inexorablement la consommation d'énergie. Là encore l'homme est en contradiction avec lui-même : d'une part, il préconise l'amélioration de la productivité et d'autre part il souhaite lutter contre la consommation d'énergie. Il ne prend pas conscience que ces deux aspirations sont contradictoires.*

*De nombreuses voix se sont élevées, demandant que les pouvoirs publics prennent des mesures efficaces pour suggérer ou imposer des programmes d'économies d'énergie. Là aussi, les autorités politiques se sont montrées totalement impuissantes. Bien que beaucoup d'appareils électroménagers fonctionnent aujourd'hui avec des puissances d'utilisation moins élevées qu'auparavant, la croissance de la consommation électrique a inexorablement continué de progresser car le nombre des appareils consommant de l'électricité augmente rapidement. Malgré l'effort consenti par de nombreux propriétaires pour renforcer l'isolation thermique des immeubles, la consommation de combustibles de chauffage n'a cessé de croître car le nombre des maisons a augmenté.*

*Les entreprises privées ou publiques qui essayent de ne pas dépasser la température 20° dans leurs locaux en hiver, ne parviennent pas à empêcher la plupart de leurs employés d'enclencher leur radiateur électrique d'appoint dans leur bureau pour atteindre les 22° ou 23° auxquels ils sont habitués.*

*On voit donc que sans mesures coercitives, il est difficile de faire diminuer la consommation d'énergie.*

## **Dans les pays froid, il faut chauffer !**

*Les pays industrialisés occidentaux dont le niveau de vie moyen est élevé sont situés pour la plupart entre 30° et 60° de latitude nord. Ces pays ont un besoin immense d'énergie, non seulement pour faire fonctionner leurs usines, mais surtout pour chauffer les maisons en hiver. En effet, près de la moitié de l'énergie consommée par ces pays sert à chauffer les habitations pendant la saison froide.*

*Le chauffage constitue donc une des données essentielles dans le problème de l'énergie. Il s'agit de la forme bâtarde de l'énergie, c'est-à-dire que n'im-*

---

<sup>1</sup> Valeurs pour l'année 1991 à Genève, d'après l'annuaire genevois des statistiques.

porte quelle source de chaleur peut être utilisée. Allègrement nous brûlons, avec les conséquences polluantes que nous connaissons, mazout, gaz et charbon pour assurer notre confort en maintenant la température de nos habitations aux environs de 20° à 24° C.

Là aussi, la quantité d'énergie dépensée obéit à la loi  $Q_E = k (N \times R)$ . Le facteur  $k$  englobe la latitude, la qualité d'isolation des maisons et le rendement des installations de chauffage. Le facteur  $R$  (revenu) influe directement sur les habitudes domestiques des individus. En effet on observe que les populations à hauts revenus vivent dans des habitations bien chauffées, alors que celles qui sont démunies se contentent - par obligation - de températures beaucoup plus basses.

## Dans les pays chauds, il faut climatiser !

Depuis une vingtaine d'années, plusieurs pays dits "du Sud" (Taiwan, Corée, Singapour, Indes, Brésil, etc..) ont vu leur développement économique s'envoler, leur population augmenter et leur niveau de vie s'élever d'une manière extrêmement rapide. Le produit  $(N \times R)$  y augmente plus rapidement qu'ailleurs et le facteur  $k$  reste encore une préoccupation secondaire. Si la situation géographique de ces pays leur évite de consacrer de l'énergie au chauffage des habitations, la chaleur accablante qui y règne souvent implique par contre le recours à des installations de climatisation tout aussi dévoreuses d'énergie. Les problèmes énergétiques liés à la réfrigération des immeubles sont plus complexes que ceux liés à leur chauffage: il faut des "pompes à chaleur" qui fonctionnent à l'électricité. Pour peu que l'électricité utilisée provienne de centrales thermiques - caractérisées, rappelons-le par leur faible rendement - la quantité d'énergie est aussi comparable à celle utilisée pour le chauffage dans les pays tempérés.

## L'énergie grise

Sous ce terme, on désigne la quantité d'énergie qui a été nécessaire pour produire un objet de consommation.

Il faut tenir compte de cette valeur lorsqu'on envisage d'investir dans des travaux en vue de réaliser des économies d'énergie. Ainsi, lors de l'installation de panneaux solaires destinés à la production d'eau chaude, l'économie ne sera effective que lorsque la quantité d'énergie économisée, relativement à des sources conventionnelles, aura dépassé notablement la quantité d'énergie grise qu'il aura fallu pour construire et installer les panneaux.

*La construction d'une automobile nécessite une quantité importante d'énergie. Cette énergie grise, exprimée en litres de carburant<sup>1</sup>, équivaut à la consommation d'essence nécessaire à ce véhicule pour parcourir 30'000 km.*

*Il en ressort que tout bien de consommation a nécessité de l'énergie pour sa production.*

## Toute dépense entraîne une consommation d'énergie

*Cela implique que chaque dépenses induit inmanquablement une consommation d'énergie. Notre système d'organisation sociale avec sa division du travail et la productivité que la concurrence impose, implique que chaque dépense que nous effectuons entraîne une consommation d'énergie. Cela confirme bien la règle qui montre que la consommation d'énergie est proportionnelle au produit intérieur brut d'une communauté :*

$$Q_E = k (N \times R)$$

## Les ressources d'énergie sont-elles inépuisables ?

*Nos ressources énergétiques proviennent essentiellement des combustibles fossiles et, dans une moindre mesure, de la production hydroélectriques. Nous sommes donc effroyablement dépendants des réserves de combustibles fossiles. Les géologues des compagnies qui exploitent ces ressources ont évalué et mesuré les réserves mondiales effectives de charbon, de pétrole, de gaz et d'uranium. Leurs conclusions est que nous nous acheminons sans aucune contestation possible vers une pénurie des ressources énergétiques et leur épuisement dans les décennies à venir.*

## Les combustibles fossiles

*Les gisements de charbons sont le produit de l'accumulation, dans le passé, des arbres morts d'immenses forêts, qui ont été fossilisés à l'abri de l'air.*

*Les hydrocarbures sont le produit de la décomposition de déchets organiques enfouis également à l'abri de l'air sous l'accumulation de sédiments qui les ont protégés jusqu'à aujourd'hui.*

*Aujourd'hui les forêts croissent toujours. Les mêmes causes, qui autrefois ont contribué à la formation du charbon et du pétrole, existent toujours aujourd'hui dans quelques grands bassins fluviaux et dans les deltas qu'ils en-*

---

<sup>1</sup> Ces chiffres sont très difficiles à obtenir et on observe une certaine rétention d'information à ce sujet. Les estimations montrent que l'énergie grise d'un véhicule correspond à un parcours compris entre 25'000 et 50'000 km suivant le type de véhicule.

*gendrent. Le pétrole et le charbon continuent de se former aujourd'hui, mais à un rythme probablement 100.000 fois moins rapide que la consommation que nous en faisons !*

## **Epuisement des combustibles fossiles**

*Si on met en balance les réserves connues de charbon, de pétrole et de gaz et notre consommation actuelle de ces ressources, il est indéniable que nous aurons épuisé le charbon dans un peu moins d'un siècle, le pétrole dans une trentaine d'années et le gaz dans une quarantaine d'années.*

*Nous nous acheminons vers une pénurie d'énergie et la différence toujours plus grande entre la demande et l'offre va se traduire, dans un avenir pas très lointain, par une augmentation constante du prix de l'énergie.*

	<i>Consommation annuelle</i>	<i>Fin des réserves*</i>
<i>Charbon</i>	<i>5901 milliards de t.</i>	<i>vers 2080</i>
<i>Pétrole</i>	<i>3906 milliards de t.</i>	<i>vers 2050</i>
<i>Gaz</i>	<i>2865 milliards m<sup>3</sup></i>	<i>vers 2070</i>
<i>Uranium</i>	<i>56'200 t.</i>	<i>vers 2070</i>

*\*Ces chiffres sont très difficile à estimer car les producteurs rechignent à communiquer les estimations qu'ils ont faites. Mais l'erreur d'estimation est assez faible et dépend aussi du prix que vous êtes prêts à payer. A un euro le litre à la pompe, il n'y a plus beaucoup de carburant. A cinq euros le litre, il y en a encore passablement !*

## **Et l'énergie solaire ?**

### **Comment peut-on utiliser l'énergie solaire ?**

*Tout comme Monsieur Jourdain faisait de la prose sans le savoir, nous utilisons depuis longtemps l'énergie solaire sans nous en rendre compte !*

*L'énergie hydroélectrique est de l'énergie solaire car les précipitations qui alimentent les bassins d'accumulation et les fleuves proviennent des nuages, eux-mêmes produits par l'évaporation des eaux superficielles des océans sous l'effet du rayonnement solaire.*

*Les éoliennes, version moderne des antiques moulins à vent, utilisent les courants aériens engendrés par l'action du soleil.*

*Toutes les formes de vie, en particulier les arbres des forêts, doivent leur existence à l'énergie solaire. Le charbon et le pétrole sont les témoins métamorphosés des déchets de la vie. Leur consommation aujourd'hui ne fait que restituer l'énergie solaire empruntée, il y a des dizaines ou des centaines de millions d'années. Les aliments que nous mangeons ont été produits grâce à l'énergie solaire, ce qui implique que notre énergie musculaire est indirectement de l'énergie solaire.*

*Le charbon et le pétrole sont des formes fossiles d'énergie solaire. Les régimes des vents et des précipitations sont des formes presque instantanées (à l'échelle géologique) de cette même énergie. Il n'y a en réalité que l'énergie nucléaire qui ne soit pas une forme d'énergie solaire.*

*Aujourd'hui les forêts croissent toujours. Les mêmes causes, qui autrefois ont contribué à la formation du charbon et du pétrole, existent toujours aujourd'hui dans quelques grands bassins fluviaux et dans les deltas qu'ils engendrent. Le pétrole et le charbon continuent de se former aujourd'hui, mais à un rythme probablement 100.000 fois moins rapide que la consommation que nous en faisons !*

## **Panneaux solaires et cellules photovoltaïques**

*Les combustibles ne se renouvellent donc pas aussi rapidement que nous les consommons et l'on peut imaginer des procédés qui permettent d'utiliser instantanément et directement l'énergie solaire. Ces procédés existent : ce sont les **panneaux solaires** et les **cellules photovoltaïques**.*

*Les panneaux solaires sont utilisés pour la production directe d'eau chaude. Le principe en est simple et notre propos n'est pas d'en faire une description technique. Ils ne sont utilisables que lorsqu'il y a du soleil. Toutefois l'eau chaude qu'ils produisent peut être stockée quelques heures, ce qui permet d'en différer quelque peu l'utilisation. La température de l'eau chaude est beaucoup trop faible pour envisager son éventuelle transformation en énergie mécanique. Par ailleurs, le côté aléatoire de l'ensoleillement dans les pays industrialisés ne lui confère qu'un rôle d'appoint. Son utilisation est donc restreinte à la production d'eau chaude sanitaire en été et, partiellement, au chauffage des maisons et à la production d'eau chaude en hiver dans les régions où l'ensoleillement hivernal est suffisant. Malheureusement les gros consommateurs d'énergie ont besoin de se chauffer en hiver, lorsque le soleil fait défaut. Ce système de récupération de l'énergie solaire*

*ne peut donc jouer qu'un rôle marginal parmi les autres sources classiques d'énergie.*

*Quant aux panneaux photovoltaïques, ils sont constitués d'un assemblage d'une grande quantité de petites unités produisant chacune un courant de quelques millivolts. Le principe de la transformation de l'énergie lumineuse en courant électrique est complexe. La fabrication des unités photoélectriques est encore très coûteuse et le rendement reste assez faible. Le prix de l'électricité produite est encore très élevé. Pour l'instant, l'usage de l'électricité d'origine photovoltaïque se limite à des situations bien particulières : alimentation de stations de télécommunication éloignées d'un réseau de distribution, cabanes de montagnes, alimentation de calculatrices de poche. Quelques centrales photovoltaïques expérimentales ont été construites, dont les puissances ne dépassent guère quelques centaines de kW lorsqu'il fait jour. Elles sont totalement dépendantes de l'ensoleillement et nécessitent de grandes surfaces. Dans l'état des connaissances actuelles, la production d'électricité par cette méthode reste extrêmement marginale. Toutefois, les progrès de la technologie pourraient rendre cette forme d'énergie intéressante.*

## L'énergie interne de notre Planète

### La Terre est un radiateur géant

*Tel un radiateur géant, la Terre dégage en permanence de la chaleur. Ce flux de chaleur est variable suivant les régions :*

- il est intense dans les régions volcaniques,*
- il est faible au coeur des socles continentaux anciens.*

*La quantité moyenne de chaleur dissipée par toute la Terre est égale à :*

*50 calories/cm<sup>2</sup>, par an ou 0.06 watt/m<sup>2</sup>*

*La moitié environ de ce flux de chaleur provient des couches très chaudes des profondeurs du globe. C'est la partie résiduelle, non encore dissipée, de la chaleur originelle issue du processus de formation de la terre, il y a quatre milliards et demi d'années. L'autre moitié est la conséquence de la décrois-*

*sance radioactive naturelle de l'uranium et du thorium, éléments toujours présents en faibles quantités dans les roches de composition granitique.*

*Ce flux de chaleur peut paraître faible: en imaginant qu'on puisse récupérer la totalité de la chaleur dégagée sous la surface d'une casserole posée au sol, il faudrait 4 ans pour faire bouillir un litre d'eau! Toutefois la totalité de la chaleur dégagée par les profondeurs de la Terre suffirait pour faire bouillir le lac Léman en quinze jours!*

## **Exploitation de l'énergie géothermique**

*Malheureusement la récupération de ce flux de chaleur pour une utilisation domestique n'est possible que dans quelques rares cas. Ce sont surtout les habitants des régions volcaniques qui utilisent les sources thermales pour chauffer leurs habitations. Parfois, il est même possible d'extraire par forage la vapeur d'eau nécessaire pour faire fonctionner de petites centrales électriques. Mais, à part l'Islande qui est située sur la grande faille atlantique, l'utilisation du flux de chaleur terrestre demeure extrêmement limitée.*

*L'exploitation de l'énergie géothermique n'est possible que dans quelques situations géologiques particulières. Il faut tout d'abord forer à une profondeur de trois à cinq kilomètres pour que la température de la roche soit un peu supérieure à 100° C.*

*La seconde condition est que les roches atteintes soient à la fois poreuses et perméables, ce qui n'est que rarement le cas. Il ne faut donc pas fonder trop d'espoir sur cette technique.*

*Par contre, à l'échelle de la planète, c'est ce flux de chaleur interne qui permet à la Terre d'avoir une vie géologique active. En effet, c'est lui qui produit les magmas générateurs des roches éruptives, génère les roches métamorphiques en modifiant les assemblages minéralogiques des roches pré-existantes, et qui, par les lents mouvements de convection qu'il engendre en profondeur, déplace les plaques continentales et soulève les chaînes de montagnes.*

# Conclusion provisoire et personnelle

## Données du problème:

*Que ce soit le volume de la pollution ou de la consommation d'énergie, le problème est résumé par la relation que nous avons mise en évidence:*

$$Q_p = k (N \times R)$$

*Nous sommes donc dépendants des trois facteurs  $k$ ,  $N$  et  $R$ . Une première réflexion nous amène à constater que :*

## Nous n'arrivons pas à contenir la progression du facteur $N$ .

*Les études démographiques montrent que cette progression va se poursuivre encore pendant de nombreuses années, bien que des signes de fléchissement soient nettement sensibles dans les pays développés. En un siècle, la population mondiale a passé de un milliards d'habitants à plus de six milliards aujourd'hui !*

## Le facteur $R$ est intouchable

*Notre système économique repose sur un équilibre si précaire, que la moindre stagnation de sa croissance entraîne inmanquablement une crise économique, avec son lot de chômeurs et de tensions sociales. Le facteur  $R$  semble donc intouchable ! Par ailleurs, le développement rapide des économies des pays du Sud-Est de l'Asie va contribuer à le faire progresser encore davantage.*

## Nous ne pouvons agir que sur le facteur $k$ .

*Les autorités politiques des pays riches s'y appliquent avec bonne volonté et des progrès notables ont été faits. Mais il n'en demeure pas moins qu'il est impossible de faire diminuer ce facteur indéfiniment, dans des proportions qui permettraient de contrer les effets du produit ( $N \times R$ ).*

*Ce sont les progrès qui nous ont toujours semblé favoriser le bien-être de l'humanité, tels l'hygiène, la santé publique, le perfectionnement des méthodes agricoles, la domestication de l'énergie, qui nous ont conduits à cette situation inextricable. Les grandes pestes appartiennent à l'histoire passée, les maladies infectieuses ne tuent plus et la production agricole est prospère. Rien ne s'oppose plus sérieusement à l'augmentation de la population. Sur*

*le plan des idées, de nombreux mouvements religieux, dans le but souvent inavoué de domination, prêchent en faveur de l'augmentation du nombre de leurs fidèles et participent donc à l'augmentation du facteur N.*

*Les syndicats luttent pour l'augmentation des revenus, les autorités politiques travaillent dans le même sens afin que la fiscalité reste florissante, les économistes cherchent à faire progresser la croissance, les institutions internationales aident les pays du tiers-monde à augmenter leur niveau de vie. Bref, tout le monde s'accorde, avec la meilleure conscience du monde, à faire avancer le progrès social, faisant progresser du même coup le produit ( $N \times R$ ).*

*Les chances semblent donc très inégales entre les chauds supporters de N et R et ceux du facteur k. Et ce qui est le plus paradoxal, c'est que la plupart des individus sont simultanément supporters des deux camps ! Ils sont alternativement supporters en toute bonne foi de ( $N \times R$ ) et de k, et ils ne prennent pas conscience du paradoxe.*

#### *Paradoxe politique*

*En octobre 1995, les services de contrôle de la pollution informent la population parisienne que le niveau de pollution de l'air a atteint la cote d'alerte N°3 et qu'il faudra peut-être limiter la circulation automobile.*

*Dans le même temps, le gouvernement français, propose des mesures d'encouragement à l'achat de voitures pour soutenir la production nationale.*

*L'augmentation de la consommation d'énergie et de matières premières augmente toujours plus rapidement. Et si nous pensons un peu aux peuples que nous avons un peu oubliés, la situation est encore plus problématique. Prenons simplement conscience que l'ambition de chaque chinois est d'avoir une voiture et de manger au Mac Donald ! Et ils sont près d'un milliard et demi !*

#### *Que pouvons-nous donc faire ?*

*À première vue, nous ne pouvons pas faire grand-chose. Nous paraissions donc comme entraînés sur un radeau difficilement manœuvrable qui s'alourdit constamment du produit ( $N \times R$ ). Nous pouvons perfectionner un peu la nature des rames, améliorer l'efficacité du gouvernail, augmenter un*

*peu la surface de la voilure, mais le radeau se charge de toujours plus de passagers et la vitesse du courant augmente constamment. Nous ignorons où il nous conduira et, au stade actuel de la recherche scientifique sur les divers scénarios possibles pour le futur, nous n'arrivons pas vraiment à savoir vers quels rapides il sera entraîné, ni de quelle nature sera la chute.*

*L'humanité compte de nombreux individus d'une intelligence remarquable, tous capables individuellement d'entreprendre de grandes choses.*

*Il semble plus facile d'organiser un match de football sur la lune que de maîtriser collectivement la pollution !*

*Malheureusement, l'intelligence globale d'une communauté n'est que le reflet d'un consensus général autour de compromis qui ne heurtent personne et, pour cette raison, aucune décision efficace qui serait évidemment contraignante pour beaucoup, ne peut être prise.*

*L'absurdité de la situation est telle, qu'il nous semble beaucoup plus facile aujourd'hui d'organiser un match de football sur la Lune que d'arriver à maîtriser collectivement la menace toujours plus sournoise de la pollution.*

*La solution pourrait nous être imposée par des phénomènes naturels extérieurs sur lesquels nous n'avons aucune prise ou par des phénomènes sociaux d'immense envergure qui résulteraient de la surpopulation et des inégalités toujours croissantes entre les pays riches et les pays pauvres.*

## **Quel scénario peut donc nous réserver l'avenir ?**

*Une modification de l'effet de serre est tout à fait plausible et il n'y a plus aujourd'hui beaucoup de scientifiques pour nier cette éventualité. Nous avons vu que les constituants de l'atmosphère terrestre produisent déjà naturellement un certain effet de serre. C'est lui qui nous garantit une certaine douceur climatique sur terre. Sans lui, la température serait beaucoup plus basse et la vie n'aurait peut-être pas pu naître sur notre planète. Par ses activités industrielles, l'homme modifie très légèrement l'équilibre naturel de la composition atmosphérique, augmentant du même coup l'influence de l'effet de serre. Les conséquences de ce faible déplacement d'équilibre sont encore difficiles à imaginer. Toutefois, s'il se manifeste, il s'agira d'une évolution très lente à laquelle les communautés les plus favorisées (les plus riches) sauront certainement s'adapter et dont les conséquences toucheront plus sûrement les populations les plus démunies.*

*Les palmiers pousseront peut-être en Suisse et les skis prendront place dans les musées, la vigne se développera en Angleterre, les Hollandais surélèveront leurs digues alors qu'en Afrique des peuples entiers risqueront de disparaître, chassés par une possible désertification. Cette vue apocalyptique n'est toutefois pas pour demain, et de nombreuses questions demeurent en suspens. En particulier, les océans constituent, par leur volume immense, un volant thermique colossal dont il faut tenir compte dans l'établissement d'un modèle prévisionnel de modification du climat.*

*On ne peut exclure non plus l'intervention subite d'un phénomène physique naturel, limité dans le temps, qui viendrait modifier de manière importante l'état de l'atmosphère. Je pense aux rejets dans l'atmosphère de produits volcaniques occasionnés par l'augmentation subite de l'activité de certains volcans. Rappelons à ce propos, que l'explosion du volcan Tambora en 1815, dans les îles de la Sonde, entraîna indirectement la mort de 80'000 personnes l'année suivante, en Europe et en Amérique du Nord, à cause du refroidissement momentané provoqué par la couche de cendre qui s'était répandue dans la stratosphère. La diminution catastrophique de la production céréalière due à la baisse du rayonnement solaire, avait provoqué famine et inflation, provoquant mort et désolation dans de nombreuses régions.*

*Il n'est pas exclu non plus, qu'au lieu d'un réchauffement engendré par l'augmentation de l'effet de serre, nous assistions au retour d'une période glaciaire qui pourrait peut-être être provoqué conjointement par la disparition du Gulf stream, par les poussières qui s'accumulent dans l'atmosphère ou une légère diminution de l'activité solaire. N'oublions pas qu'il y a moins de 30'000 ans - à peine un instant à la montre géologique -, le bassin genevois était recouvert de plusieurs centaines de mètres de glace et que le glacier du Rhône s'étendait jusqu'à Lyon. On a aussi pu démontrer que, dans certaines périodes géologiques, la température moyenne du globe a été inférieure de plusieurs degrés à la température actuelle, sans qu'on ait pu donner à ce phénomène une explication convaincante.*

## *Les glaces du Groenland et de l'Antarctique mémoire des climats du passé.*

*L'étude des dépôts morainiques et l'examen des sédiments de la Mer du Nord nous indiquent que l'ère quaternaire est caractérisée par une alternance de glaciations et de périodes chaudes se produisant avec une périodicité d'environ 140'000 ans. La dernière glaciation a vu son maximum d'extension, il y a environ 30'000 ans. Nous sommes actuellement dans une période chaude, marquée, dans les Alpes, par le retrait spectaculaire des glaciers.*

*La glace compacte des glaciers est le résultat de la transformation lente de la neige par tassement. En se comprimant, la neige emprisonne l'air atmosphérique qui nous renseignera plus tard sur la composition de l'atmosphère de l'époque. Les carottages effectués sur les glaciers antarctiques et groenlandais permettent de reconstituer la température moyenne de l'atmosphère ainsi que sa composition chimique pour les 200'000 années qui nous ont précédés. Ces études montrent:*

- que les périodes glaciaires sont plus longues que les périodes chaudes;*
- que la dernière période interglaciaire a eu son maximum d'extension il y a 130'000 ans et qu'elle était probablement un peu plus chaude que la période actuelle;*
- que la quantité de CO<sub>2</sub> et de méthane (CH<sub>4</sub>), ainsi que l'abondance de poussières renfermées dans les glaces sont directement proportionnelles à la température atmosphérique de l'époque.*

*La chute d'une météorite géante qui modifierait durablement l'environnement n'est pas à exclure non plus, bien que la probabilité d'un tel impact soit extraordinairement faible.*

*Il est certain qu'on ne peut en aucune manière prédire avec certitude ce qui va se passer sur le plan climatique. Tout au plus, on peut supposer que notre environnement pourrait subir quelques modifications très mineures du point de vue de la planète mais plus lourdes de conséquences du point de vue de l'humanité.*

*Par contre, il faut examiner l'éventualité de la diminution de la résistance de la machine humaine aux germes pathogènes qui l'entourent. En effet, ceux-ci semblent développer avec le temps une résistance aux divers antibiotiques que l'homme a mis au point pour lutter contre eux. Des virus nouveaux apparaissent, tel celui du sida ou encore celui de la fièvre d'Ebola, contre lesquels une lutte gigantesque est engagée. D'autres peuvent surgir encore à tout moment. Il existe donc une course permanente entre l'évolu-*

*tion capricieuse des virus et des bactéries d'une part, et l'effort de recherche du monde médical d'autre part. Pour l'instant, la science médicale est en tête. Mais que se passerait-il si elle finissait par être rattrapée, puis dépassée par le monde imprévisible des virus ? Je pense que personne n'est à même d'établir un scénario dans ce domaine. Mais est-il improbable? Seul l'avenir nous le montrera.*

## **La pénurie d'énergie va peut-être nous sauver**

*De plus en plus de responsables économiques et quelques rares responsables politiques commencent à entrevoir la crise majeure que provoquera, dans un avenir qui semble de plus en plus proche, la diminution et le tarissement de la production charbonnière, pétrolière, gazière et de minerais d'uranium.*

*La demande en produits énergétique augmente constamment, justement à cause de la progression du facteur (N x R) et les réserves de pétrole s'épuisent progressivement. Ni les grandes compagnie pétrolières ni les Etats du Golfe ne souhaitent révéler l'état des leurs réserves. Ce sont des raisons stratégiques pour les premiers et politiques pour les seconds qui conduisent à une certaine opacité de leur part.*

*Il est par ailleurs difficile de répondre à la question : "dans combien d'années les réserves de pétrole seront-elles épuisées". Au prix de un euro le litre d'essence il n'y en a plus beaucoup. A cinq euros le litre il y en a encore passablement !*

*En effet, il y a encore d'immenses réserves de sables et schistes bitumineux au Nord du continent américain. Mais leur exploitation est extrêmement problématique car il faut pratiquement brûler presque une tonne de pétrole pour produire une autre tonne ! Autrement dit, la moitié des réserve servirait à produire la moitié restante. La pollution engendrée par une telle exploitation serait colossale !*

*A long terme, le prix des hydrocarbure va inexorablement grimper entraînant aussi dans sa spirale le prix du gaz et du charbon. Les conséquences sur l'économie seront immenses.*

*En effet, tout notre système économique et social est basé sur l'hypothèse que nous aurons toujours à notre disposition un réservoir inépuisable d'énergie. Les économistes, les chefs d'entreprise, les puissants qui tiennent les leviers du pouvoir, tous ne calculent qu'à court terme pour un profit rapide sans penser un seul instant aux générations futures qui devront payer le prix de cet aveuglement.*

*Nous avons besoin d'énergie pour faire avancer nos voitures et chauffer nos maisons. Nous le savons bien puisque nous devons payer notre essence à la pompe et régler la facture de chauffage. Mais, plus sournoisement, notre consommation d'énergie est directement proportionnelle à notre niveau de vie puisque chaque objet que nous achetons à nécessité une certaine quantité d'énergie pour sa fabrication.*

## **Comment sera la vie à 5 euros le litre d'essence**

*Imaginons un peu les conséquences d'un renchérissement important de l'énergie. Dans un premier temps, la plupart des individus renonceront à leur voiture et seuls les riches rouleront encore.*

*Les pulls chauds, les robes de chambres, les caleçons longs, les écharpes et les bonnets suppléeront à la diminution du chauffage domestique.*

*Le pouvoir d'achat sera ruiné par l'inflation car le prix de l'énergie grise renfermée dans chaque bien de consommation provoquera une forte hausse de prix de toutes les marchandises. Le chômage de toutes les entreprises liées à l'industrie automobile créera une crise économique sans précédent. Chaque secteur économique devra s'organiser pour lui-même. Ainsi, les paysans produiront les carburants dont ils ont besoin pour faire fonctionner les tracteurs et les machines agricoles. L'aviation commerciale connaîtra un effondrement et les destinations touristiques lointaines seront abandonnées. Les pays exotiques lointains qui ne vivent que du tourisme seront ruinés.*

*Le prix des matières premières augmentera dans des proportions inimaginables et le prix de la construction explosera.*

*Les rentrées fiscales diminueront dans une telle proportion que le soutien social de l'Etat sera ruiné et l'Etat lui-même ne pourra plus faire face à ses obligations.*

*Ce scénario apocalyptique ne se produira sans doute pas de cette manière et je fais confiance dans l'Homme pour imaginer une vie sociale différente de celle d'aujourd'hui.*

## **Qui survivrait à un scénario si pessimiste ?**

*Les Amishs, cette communauté qui vit comme au XVIIe siècle, sans électricité, sans voiture et qui labourent leurs champs avec une charrue tirée par des chevaux, ne percevront pas la différence pour eux-mêmes mais ils assisteront au désarroi de leur environnement.*

*Les Islandais qui sont assis sur des sources inépuisables de chaleur et d'énergie s'adapteront sans trop de difficultés. Ils ont déjà envisagé d'utili-*

*ser leur surproduction d'électricité pour produire l'hydrogène nécessaire pour faire rouler les véhicules.*

*Les populations des pays pauvres qui survivent tant bien que mal de médiocres cultures vivrières et qui n'utilisent que leur propre énergie musculaire, poursuivront leur mode de vie ancestrale et ne verront plus passer les "investisseurs" ni les "exploiteurs" habituels.*

*Les habitants des pays alpins pourront compter encore, en économisant beaucoup, sur une énergie hydroélectrique qui sera distribuée avec parcimonie.*

*Le reste de l'Humanité plongera probablement dans des conflits dont l'enjeu sera la main mise sur les régions dont les ressources énergétiques ne seraient pas complètement épuisées.*

## **Et si nous révisons nos préjugés sur l'énergie nucléaire ?**

*Actuellement, l'énergie nucléaire est vouée aux gémonies sous l'influence de groupes aveugles encouragés, sans le savoir eux-mêmes, par le puissant lobby du pétrole. Mais il ne faut plus se faire d'illusions : nous serons obligés de développer les centrales nucléaires pour compenser l'amenuisement des ressources énergétiques fossiles. Mais ne nous voilons pas la face : ce ne sera qu'une solution transitoire car l'épuisement des réserves d'uranium nous menace aussi.*

*Les centrales nucléaires ont un rendement misérable lorsqu'il s'agit de produire de l'électricité. Mais si on les utilisait pour leur production de chaleur et pour assurer le chauffage à distance des collectivités ? Nous diminuerions d'une manière considérable la consommation d'hydrocarbures et les émissions de CO<sub>2</sub>. Nous pourrions alors tenir les engagements que nous avons pris avec un peu à la légère sur la diminution des émissions de CO<sub>2</sub>.*

*De telles centrales travailleraient dans des limites de température beaucoup plus basses que celles destinées à la production d'électricité, ce qui simplifierait les problèmes de sécurité. Oui, le problème des déchets nucléaires sera bien présent, mais le problème de leur stockage n'est pas du tout insoluble. Les déchets nucléaires sont visibles et tangibles et nous nous préoccupons de leur stockage alors que le CO<sub>2</sub> que nous produisons par millions de tonnes est invisible, pour ainsi dire virtuel, et nous ne nous occupons pas de son stockage puisque nous le répandons allègrement dans l'atmosphère !*

*Nous avons choisi de vivre dans une société dépendante de l'énergie, il nous faut donc aujourd'hui en assumer les conséquences et vivre avec les déchets que nous produisons.*

## L'homme, une espèce animale à part ?

À travers les lignes qui précèdent, on constate que l'homme apparaît comme une espèce animale un peu différente des autres, d'une part parce que sa maîtrise de l'énergie lui a permis de centupler l'impact qu'il impose à son environnement et, d'autre part, par ce que les connaissances scientifiques qu'il a acquises lui ont permis de modifier le cours naturel de la vie.

Son intervention sur les équilibres naturels ne s'est pas faite sans conséquences, et la première d'entre elles a été l'augmentation non contrôlée de sa propre population. Pour subvenir aux besoins de cette population toujours plus nombreuse, il est obligé aujourd'hui - et le sera surtout demain - de recourir à une agriculture intensive, gourmande d'engrais, de pesticides et d'herbicides. Par ailleurs, le système économique dont il s'est doté ne peut subsister qu'à travers une expansion continue, une sorte de fuite en avant nécessaire à son auto-entretien.

En pensant trouver une liberté nouvelle dans la domestication de l'énergie et de la nature, il se trouve aujourd'hui prisonnier des conséquences de son inventivité, conséquences alarmantes, puisqu'elles l'obligent à entretenir et développer des activités qui sont des sources importantes de perturbation de son propre environnement.

Drôle d'espèce animale qui, au lieu de vivre en bonne harmonie avec son environnement naturel, lui impose sa loi, sans se soucier de savoir quelle sera sa réaction dans les siècles ou même les décennies à venir !

Mais ici encore, la planète se rit de la vanité de l'homme, et elle attendra patiemment que cette espèce perturbatrice passe et disparaisse comme l'ont déjà fait toutes celles qui l'ont précédées !

*Sic transit gloria lundii !*

Jacques Deferne