

# *L'Homme et l'énergie*

*(Essai sur l'interaction de l'Homme avec la planète Terre)*

*Jacques Deferne*



*La Tour Babel,  
Abel Grimmer (1604)*

## *Avant-propos*

*Nous vivons une époque d'incertitudes. Le développement rapide de nouvelles technologies fait que nous perdons complètement pied dans l'avalanche de produits nouveaux et complexes qui nous sont imposés. L'obsolescence d'un téléphone n'a pas besoin d'être programmée, car son évolution technologique est si rapide que, même en parfait état de fonctionnement, il est très vite considéré comme désuet vis-à-vis du modèle suivant.*

*Par ailleurs, l'organisation du travail est elle-même incertaine. Les connaissances professionnelles que vous avez acquises subissent elles aussi une obsolescence qui fait que vous êtes rapidement dépassé par les exigences nouvelles de la technologie.*

*Face à cette angoisse, de nouveaux prophètes sont apparus qui vous prédisent les pires catastrophes si vous n'acceptez pas la voie qu'ils vous engagent à suivre. La punition dont ils vous menacent s'appelle le réchauffement climatique. Il nous rôtera mieux et plus sûrement que l'Enfer dont on nous menaçait naguère. Comme toutes les religions ou tous mouvements totalitaires, ils vous insufflent le sentiment de culpabilité, s'emparent de votre volonté et vous dicteront bientôt toutes vos décisions.*

*Comme dans toute situation de peur, il faut inventer des boucs émissaires. pêle-mêle, on rejette la faute sur les sociétés pétrolières, sur les promoteurs des centrales nucléaires, sur les voitures, les avions, le CO<sub>2</sub> et, plus généralement, sur tous les dirigeants du monde capitaliste. Et pourtant, ce sont eux qui nous ont apporté bien-être, confort, sécurité et qui ont contribué grandement à la diminution de la pauvreté dans le monde.*

*Les géologues comptent en millions d'années, les historiens en siècles, alors que le monde politique, qui obéit aux mouvements populaires dont les motivations n'ont rien à voir avec la science objective, n'a comme vision d'avenir que l'échéance des prochaines élections.*

*J'ai longtemps hésité à écrire les lignes qui vont suivre, car ma vision personnelle m'apparaît comme parfaitement iconoclaste et à contre courant des dogmes qu'on essaye de nous imposer aujourd'hui.*

*Je vais essayer de considérer le problème de l'impact de l'Homme sur son environnement dans une vision globale qui prend en considération l'organisation de la société humaine face à son habitat, la planète Terre.*

*Je vais tenter d'expliquer ce qu'est réellement l'énergie afin que nos responsables politiques ne continuent pas à confondre puissance et quantité d'énergie soit kW et kWh !*

*En ces temps d'imposture universelle,  
chercher la vérité est un acte révolutionnaire .*

*George Orwell*

---

## Etat des lieux

### *L'Homme est une espèce invasive*

*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, parce que les connaissances scientifiques qu'il a acquises lui ont permis de modifier le cours naturel de la vie.*

*C'est ainsi que Homo sapiens est devenu une espèce invasive qui prend une part importante dans les modifications de son environnement. L'explosion démographique incontrôlée, provoquée par le développement de l'hygiène, l'invention de la vaccination et les progrès de la médecine, a engendré un changement radical du comportement humain. Son habitat s'étend progressivement sur celui d'autres espèces animales au détriment de celles-ci.*

*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. Ses besoins sont tels qu'il doit aussi exploiter intensément le sous sol de la planète pour en extraire les métaux, les minéraux et les combustibles dont il ne peut plus se passer. 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.*

*Loin des clans primitifs de nos ancêtres, nous nous regroupons aujourd'hui dans de grands ensembles qui eux-même constituent des villes de plus en plus grandes. La subdivision du travail qui en découle fait que chacun d'entre nous n'est plus qu'un petit rouage dans l'immense usine que constitue l'organisation de notre humanité actuelle. L'école obligatoire imposée dès le plus jeune âge, façonne les individus à s'intégrer servilement dans cet immense système social. Nous sommes devenus les esclaves de notre propre génie.*



*Hier*



*Aujourd'hui*

*Beaucoup d'entre nous pensent que "c'était mieux avant", mais ils se trompent, car ils oublient que dans les décennies précédentes, le travail était beaucoup plus pénible, la pauvreté plus généralisée, la sécurité sociale inexistante et que l'accès aux soins médicaux n'était pas garanti.*

### **Tout nous semble normal**

*Nous trouvons normal de pouvoir nous déplacer régulièrement avec une tonne et demie de ferraille, d'avoir chaud quand le temps est froid et que nos habitations soient fraîches lorsqu'il fait chaud.*

*Nous trouvons normal d'avoir de l'eau lorsque nous ouvrons un robinet, d'être éclairés lorsque nous tournons l'interrupteur et de voir nos déchets disparaître lorsque nous actionnons la chasse d'eau.*

*Nous trouvons normal que nos supermarchés regorgent en permanence de produits qui paraissent indispensables à notre confort.*

*Nous trouvons normal de prendre journalièrement l'ascenseur et les escaliers roulants pour gravir les étages.*

*Nous trouvons normal de pouvoir séjourner en hiver au bord d'une mer tiède grâce à l'avion et d'aller faire nos achats de Noël à Londres ou à New-York.*

*Nous trouvons normal qu'on abatte des forêts entières pour produire le papier de nos éphémères journaux, qu'on ôte la vie chaque jour à des millions de poulets, de porcs et de vaches pour garantir notre nourriture, qu'on épande largement des herbicides, des pesticides et des fongicides pour produire en quantité suffisante les céréales nécessaires à notre alimentation.*

*Nous trouvons normal d'arracher à la croûte terrestre des milliards de tonnes de minerais pour produire tous les objets dont nous ne pouvons plus nous passer.*

*Les automobiles, les lave-vaisselles, les laves linges, les congélateurs, les téléphones portables et les ordinateurs sont devenus à nos yeux des objets de première nécessité.*

*Nous trouvons normal encore qu'il ne nous faille travailler qu'une quarantaine d'heures par semaine pour profiter de tout ce bien être, grâce à des machines gourmandes en énergie qui font le travail à notre place.*

*Par ailleurs, nous sommes catastrophés à la vue des inondations que la télévision nous présente chaque fois qu'il y a un orage quelque part. C'est la faute au réchauffement climatique aurait dit Molière. S'il fait chaud, c'est le réchauffement climatique, s'il fait froid c'est le réchauffement climatique, si le Titanic a coulé c'est probablement le réchauffement climatique qui avait envoyé un iceberg devant sa proue.*

Par contre nous ne prenons pas conscience que la circulation automobile cause quotidiennement dans le monde la mort de 3'500 personnes et plus de 50'000 blessés graves dont beaucoup seront condamnés à vie au fauteuil roulant. Elle est la cause aussi des troubles respiratoires pour des centaines de millions de personnes. C'est devenu la normalité de notre quotidien.

## Le prix de notre confort

Tout ce que nous considérons comme normal n'est possible qu'à condition de brûler quotidiennement 21 millions de tonnes de charbon, 15 milliards de litres de pétrole et 10 milliards de m<sup>3</sup> de gaz. Nous sommes devenus des dévoreurs d'énergie !

Toujours pour notre confort, on extrait annuellement de mines lointaines 1.5 milliards de tonnes de fer, 45 millions de tonnes d'aluminium, 20 millions de tonnes de plomb, pour ne citer que les principaux métaux. Voilà donc le côté obscur de notre évolution que nous qualifions de "progrès".

Ces combustibles fossiles assurent à eux seuls 83.8 % de notre consommation d'énergie, l'électricité d'origine hydraulique et nucléaire 11.2 %, l'éolien et les panneaux photovoltaïques ne représentent que 2.6% de notre consommation.

Consommation journalière d'énergie fossile	
charbon	21 millions de tonnes
pétrole	15 milliards de litres
gaz	10 milliards de m <sup>3</sup>

## Nous avons tous une addiction à l'énergie

Pour prendre conscience de la valeur de l'énergie que nous consommons, oublions les joules, les calories et les watts et imaginons une unité d'énergie plus prosaïque : **la journée de pédalage**. Si vous pédalez énergiquement sur un vélo d'appartement pendant une journée entière, vous aurez dépensé (ou produit si vous êtes relié à un générateur d'électricité) à peu près un kWh que votre fournisseur d'électricité ne vous facture que quelques centimes. Oui, l'énergie est vraiment bon marché !



Pour assurer notre confort et le bien être dans lesquels nous baignons, nous avons recours à une très grande quantité d'énergie. Toutes énergies confondues, transport, chauffage et surtout énergie grise, chaque individu de notre monde occidental induit une consommation journalière équivalente à environ 120 kWh.

*Rappelons qu'un kWh correspond à une journée de pédalage. Nous induisons donc quotidiennement une consommation d'énergie cent fois plus élevée que celle que nos muscles peuvent produire !*

*Nous avons donc une très grande addiction à l'énergie dont la plus grande part (env. 84 %) provient de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel. Sans cette énergie que nous ne voyons pas, ou plutôt que nous ne voulons pas voir, notre mode de vie confortable n'existerait pas.*

*Pour notre confort, nous consommons journalièrement cent fois plus d'énergie que nos muscles pourraient produire.*

### *Voulons nous suivre un cure de désintoxication ?*

*En faits, nous engendrons une dépense d'énergie chaque fois que nous envisageons la moindre dépense. La consommation d'énergie est donc proportionnelle au revenu de chacun, et la dépense totale d'énergie d'une communauté est proportionnelle à son produit intérieur brut (PIB).*

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

- $Q_E$  est la quantité d'énergie,
- $N$  le nombre d'individus,
- $R$  le revenu moyen de chacun.
- $k$  un facteur qui tient compte des mesures prises pour modérer la consommation d'énergie.

*Notre niveau de vie et notre confort sont étroitement liés à la facilité d'utiliser cette énergie peu coûteuse.*

*Nous sommes des victimes consentantes de notre addiction à l'énergie et nous n'avons pas vraiment l'intention de suivre une cure de désintoxication !*

---

## Qu'est-ce que l'énergie

*Ce n'est pas une notion bien facile à comprendre. L'énergie est invisible. Simplement dit, c'est quelque chose qui permet d'effectuer un travail, faire avancer une voiture, monter un ascenseur, chauffer ou éclairer une maison.*

*C'est aussi ce qui permet non seulement l'existence des vagues, du vent, des tornades, des courants marins, de la pluie, mais aussi les mouvements de nos muscles ou la croissance des plantes. C'est aussi l'énergie interne de notre planète qui est à l'origine des volcans, des tremblements de terre, de la formation des montagnes, puis de leur érosion.*

### La définition des physiciens

*Pour les physiciens la définition de l'énergie semble simple :*

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

*Il est fort probable que vous n'avez rien compris à cette définition abstraite. Essayons tout de même de faire comprendre cette notion par des exemples :*

*Modifier un état, par exemple, c'est 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, c'est à dire en perdant de l'altitude, l'eau ait entraîné la roue d'un moulin ou une turbine. Le système, ici, est l'installation technique du moulin.*

*Modifier un état c'est aussi faire passer une masse d'eau de 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 par l'intermédiaire d'un système. Ce qui est remarquable, c'est que, dans le premier exemple, l'énergie perdue par l'eau qui a changé d'altitude a été entièrement récupérée par le moulin. On peut donc, à première vue, appliquer à l'énergie la formule attribuée à Lavoisier et qui constitue aussi le premier principe de la thermodynamique :*

*Rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme.*

## *La nature consomme aussi de l'énergie*

Toute l'activité de la nature est fondée sur l'énergie. Le Soleil réchauffe la Terre d'une manière différenciée : les parties proches de l'équateur reçoivent beaucoup de chaleur, les parties proches des pôles en reçoivent peu. Il y a transfert de chaleur des basses latitudes vers les latitudes élevées par le biais des vents. Ces vents entraînent à leur tour les masses océaniques dans de vastes courants marins qui circulent tout autour de la planète. Les océans empruntent de l'énergie solaire pour évaporer l'eau superficielle et alimenter les nuages. Ces derniers sont à l'origine des précipitations qui vont ruisseler sur les pentes et utiliser leur énergie pour éroder les continents. Les vents, les précipitations, l'érosion, la croissance de la végétation et la vie animale utilisent et transforment l'énergie dans un vaste système dont les divers états se modifient en permanence pour assurer la vie sur notre planète.

## *Il y a diverses formes d'énergie*

On devine que l'énergie peut se manifester de plusieurs manières et qu'on peut distinguer diverses 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,
- *la chaleur* produite par la combustion de charbon ou d'hydrocarbures,
- *l'énergie solaire*,
- *l'énergie nucléaire* issue de la fission de l'uranium,
- *l'énergie musculaire* produite par la dégradation de nos aliments.

Dans la liste ci-dessus, je n'ai pas mentionné l'électricité qui, nous le verrons par la suite, n'est pas une énergie en soi mais un vecteur d'énergie.

## *Unités utilisées pour quantifier l'énergie*

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

- *le joule [J]* est l'énergie nécessaire pour communiquer à une masse d'un kg une vitesse horizontale de un mètre par seconde;
- *la calorie [cal]* est l'énergie nécessaire pour élever de 1° Celsius un gramme d'eau. On utilise plus généralement la *grande calorie [kcal]* qui correspond à l'élévation de 1° de 1000 g d'eau.

Une calorie [cal] = à 4.18 joules,    1 kcal = 4'180 joules.

- *le watt x seconde*, unité employée en électricité, correspond à un joule par seconde. On utilise plus fréquemment le *kilowattheure [kWh]*, (unité que nous facture notre fournisseur d'électricité) qui correspond à la consommation de 1000 watt pendant une heure, soit 3'600'000 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 ou 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 surtout à comparer entre elles les consommations globales à l'échelle des divers pays

## **L'énergie ne disparaît pas !**

Imaginez que vous faites une excursion en automobile. Vous avez parcouru une centaine de kilomètres, franchi quelques cols puis vous êtes revenu à votre point de départ. Vous avez consommé une certaine quantité d'essence. Où donc a passé l'énergie dont vous avez eu besoin pour votre périple ? L'essence, ce concentré d'énergie utilisé par votre moteur, a été entièrement dissipée dans l'environnement sous forme de chaleur produite par le mauvais rendement du moteur, le frottement de l'air, l'échauffement des freins, l'usure des pneus et du revêtement bitumineux de la route. Toute l'énergie mécanique développée par votre automobile s'est finalement diluée dans notre environnement sous forme de chaleur (pas très chaude). Malheureusement, cette nouvelle forme d'énergie, très dégradée, n'est plus utilisable.

C'est l'entropie qu'on peut définir comme étant le processus par lequel l'énergie disponible se transforme, après usage, en énergie très diluée, non disponible. On peut résumer ce principe :

*Dans un système isolé, l'énergie a tendance à se disperser le plus possible.*

## **L'entropie ne peut qu'augmenter**

Le charbon et les hydrocarbures, qui sont des formes fossiles d'énergie solaire, dispersent leur énergie lors de leur transformation en travail par le biais des machines à vapeur et des turbines. Ce sont ces combustibles qui fournissent la plus grande partie de l'énergie que le monde consomme aujourd'hui.

Dans un moteur ou une turbine, la chaleur produite a été utilisée partiellement, environ 35 %, pour produire du travail. Le solde, 65% environ, est dispersé dans l'atmosphère sous forme de chaleur un peu moins chaude dans de majestueuses tours de refroidissement et contribue ainsi à l'homogénéisation thermique de notre environnement. Cette chaleur n'est alors plus disponible pour produire un travail.

*L'épuisement progressif des énergies fossiles est la démonstration la plus évidente d'une loi de la nature :*

*L'entropie augmente inexorablement*

*Cela explique pourquoi un café brûlant se refroidit avec le temps alors qu'un café tiède ne va pas se réchauffer, que la pomme de Newton tombe de l'arbre mais remontera plus sur sa branche !*

*Tour de refroidissement : 65 % de l'énergie d'une centrale thermique est dissipée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.*



### *Le recours à l'énergie, une source de pollution*

*Le recours à l'énergie entraîne inmanquablement une pollution. Il y a une relation directe entre l'usage de sources d'énergie et la pollution. Que ce soit dans le recours à l'énergie ou dans la quantité de pollution qui accompagne notre mode de vie, on retrouve une même relation :*

$$Q_P = k (N \times R), \text{ pour la pollution} \qquad Q_E = k (N \times R), \text{ pour l'énergie}$$

*où  $Q_P$  et  $Q_E$  sont respectivement la quantité de pollution et d'énergie,  $N$  le nombre d'individus,  $R$  le revenu moyen de chacun et  $k$  un facteur qui tient compte des mesures prises pour diminuer la pollution ou modérer la consommation d'énergie. Il en ressort clairement que chaque fois que nous recourons à de l'énergie, nous induisons une pollution.*

Mais quelles sont les sources de l'énergie que nous consommons allègrement ?  
Le tableau ci- dessous fournit une réponse :

<i>Production énergétique mondiale selon la source d'énergie (chiffres fournis par l'Agence internationale de l'énergie)</i>			
<i>Énergie</i>	<i>Production en 2017</i>	<i>Production 2017 en Mtep</i>	<i>Proportion en 2017</i>
<i>Pétrole</i>	<i>92,65 Mbbbl/j</i>	<i>4 387</i>	<i>32,5%</i>
<i>Charbon</i>	<i>7 727 Mt</i>	<i>3 767</i>	<i>27,9%</i>
<i>Gaz naturels</i>	<i>3 680 Gm<sup>3</sup></i>	<i>3 165</i>	<i>23,4%</i>
<i>Hydraulique</i>	<i>4 060 TWh</i>	<i>919</i>	<i>6,8%</i>
<i>Nucléaire</i>	<i>2 636 TWh</i>	<i>596</i>	<i>4,4%</i>
<i>Éolien</i>	<i>1 123 TWh</i>	<i>254</i>	<i>1,9%</i>
<i>Solaire photovoltaïque</i>	<i>443 TWh</i>	<i>100</i>	<i>0,7%</i>
<i>Géothermie, Biomasse</i>	<i>586 TWh</i>	<i>133</i>	<i>1,0%</i>
<i>Biocarburants</i>	<i>350 TW/h</i>	<i>84</i>	<i>0,6%</i>
<i>Total énergie primaire</i>	<i>13 511 Mtep</i>	<i>13 511</i>	<i>100%</i>

*Mbbbl/j = millions de baril par jour      Mt = millions de tonnes*  
*Gm<sup>3</sup> = milliards de m<sup>3</sup>                      TWh = 1 milliards de kWh*  
*Mtep = 1 millions de tonnes équivalent pétrole*

A la lecture de ce tableau, on constate que 83.8 % de l'énergie consommée dans le monde provient de la combustion des produits pétroliers et du charbon.

Nous pensons naïvement que notre consommation d'énergie ne concerne que l'électricité que nous utilisons, que le combustible destiné au chauffage de notre logement et que la quantité d'essence nécessaire à notre auto. Que nenni : chaque fois que nous engageons la moindre dépense, nous induisons indirectement une consommation d'énergie ! Lorsque vous achetez du pain, vous avez induit la consommation de l'énergie qu'il a fallu pour labourer le champ qui a produit le blé, pour moudre le grain, pour pétrir la pâte et pour le cuire.

### ***Nous ne voyons pas l'énergie que nous dépensons***

Bercés d'illusions par les médias, ce que nous ne voyons pas, c'est ***l'énergie grise***. C'est la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication, à la consommation et à l'élimination de tous les produits que nous utilisons quotidiennement.

Cette énergie invisible est celle avec laquelle on fabrique tous les objets du quotidien, celle qui a été nécessaire pour transporter et garnir les rayons de nos supermarchés, celle qu'il faut dissiper pour produire tous les métaux nécessaires au fonctionnement de nos industries et à la construction de nos logements.

Cette énergie grise que nous ne voulons pas voir est nécessaire pour assurer notre bien-être.

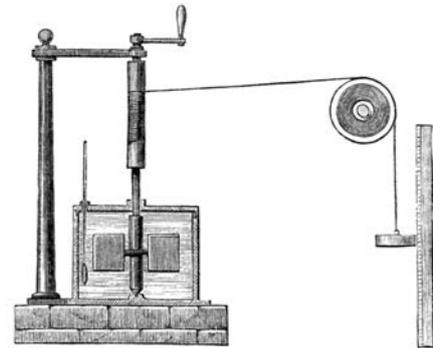
### *James Joule, un des pères de la thermodynamique*

*James Prescott (1818.1889) Joule est né à Manchester dans une famille où l'on est brasseur de père en fils. Très tôt il s'intéresse à la physique et découvre plusieurs lois importantes relatives à l'électricité. Mais sa contribution majeure à la science est d'avoir démontré que la chaleur était une forme d'énergie. Il mesura, dans un calorimètre, l'augmentation de la température de l'eau provoquée par le frottement d'une roue à ailettes entraînée, à l'aide d'une poulie, par la chute d'une masse. Dans les unités de l'époque, il énonça qu'il fallait une énergie de 773 pieds-livres pour élever d'un degré Fahrenheit une livre d'eau. La thermodynamique était née !*

*La communauté scientifique lui a rendu hommage en donnant son nom à l'unité de mesure d'énergie, de travail et de quantité de chaleur. Un joule correspond à l'énergie nécessaire pour communiquer à une masse d'un kg une vitesse horizontale de un mètre par seconde.*



James Prescott Joule



Calorimètre utilisé par Joule

*La thermodynamique est née de la question : qu'est-ce qui relie la chaleur au travail ? Elle est fondée sur plusieurs principes qui s'expriment de la manière suivante :*

- *L'énergie ne peut pas disparaître ou se créer mais seulement se transformer,*
- *il est impossible de transformer toute la "chaleur" d'une source réservoir en travail,*
- *l'évolution d'un système s'effectue dans le sens ordre → désordre.*

## Un exemple d'énergie grise

Vous aimez prendre le train. On vous dit que c'est un moyen écologique de voyager, non dévoreur d'énergie. Avez-vous déjà imaginé quelle est la quantité d'énergie nécessaire à l'établissement d'une voie ferrée ? Prenons l'exemple de la ligne Genève - Zürich. La ligne de chemin de fer à double voie mesure 278 km. Il faut donc 1024 km de rail dont le poids est de 60 kg par mètre.



Les lignes électriques en cuivre pèsent

environ 1 kg le mètre. Il faut encore 930'000 traverses en béton pesant chacune près de 100 kg et 3 tonnes de ballast par mètre de voie.

Les minerais nécessaires à la production de l'acier du cuivre ont été extraits de mines lointaines. Il faut beaucoup d'énergie pour le broyage du minerai, pour son traitement puis pour sa réduction dans des hauts fourneaux. Le concassage des roches pour la production de ballast nécessite aussi énormément d'énergie. Il en est de même pour l'extraction des graviers et la fabrication du ciment.

<i>Matériel et énergie nécessaires à la construction d'une ligne de chemin de fer entre Genève et Zürich</i>		
<i>Matériau</i>	<i>Quantité</i>	<i>Energie à la production</i>
<i>Acier pour les rails</i>	<i>66'720 t.</i>	<i>500 millions kWh</i>
<i>Cuivre pour les lignes aériennes</i>	<i>600 t.</i>	<i>8.5 millions kWh</i>
<i>Béton pour les traverses</i>	<i>96'900 m<sup>3</sup></i>	<i>700 millions de kWh</i>
<i>Ballast</i>	<i>1'500'000 m<sup>3</sup></i>	<i>env. 1 à 2 milliards de kWh</i>

Dans ce tableau, nous n'avons pas tenu compte de l'énergie qu'il a fallu encore pour réaliser les terrassements, pour creuser les tunnels, construire les ponts, ni de l'installation de plus des 4'800 portiques nécessaires au soutien des lignes de contact, ni l'énergie nécessaire à la mise en place des voies.

La construction d'une automobile nécessite elle aussi une quantité importante d'énergie. Cette énergie grise, si on l'exprime en litres de carburant, équivaut approximativement à la consommation d'essence nécessaire à ce véhicule pour parcourir 30'000 km., voire 50'000 km pour les véhicules les plus sophistiqués. Il en ressort que tout bien de consommation nécessite pour sa production une quantité d'énergie souvent très importante.

## La production d'énergie

### Le cas particulier de l'électricité

Il faut prendre conscience que l'électricité n'est pas une énergie en soi mais un **vecteur d'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).

Avec la découverte de l'électricité et l'invention des dynamos, des alternateurs et des moteurs, les industriels ont pu s'affranchir de l'obligation de rester le long des cours d'eau. Les lignes électriques ont permis d'éloigner les utilisateurs de la source productrice.

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 d'**énergie thermoélectrique** 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 une réaction nucléaire !

Les deux principaux moyens de production sont les centrales **hydroélectriques** et les **centrales thermiques**. On peut également produire de l'électricité par des panneaux photovoltaïques ou des éoliennes mais, pour l'instant du moins, les quantités produites sont marginales et leur utilisation est limitée à cause du côté aléatoire de leur production.

### L'énergie hydroélectrique



*Barrage de la Grande Dixence, situé dans le Valais, sa hauteur est de 285 m, il contient 400 millions de m<sup>3</sup> d'eau. La puissance installée est de 2'000 MW.*

*C'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. Mais si on ne tient pas compte de l'avis des poissons, on peut considérer l'énergie hydro-électrique comme globalement peu perturbatrice de l'environnement. Mais l'électricité d'origine hydraulique ne représente que 6.8 % de la consommation mondiale d'énergie et ne concerne que les régions aux reliefs accentués et où les précipitations sont abondantes.*

### **Les centrales thermiques**

*Il n'en va pas de même des centrales thermiques dont les combustibles fossiles, charbon, pétrole, gaz, biomasse polluent gravement l'atmosphère :*

- *ils consomment des quantités importantes 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 chargées de métaux lourds,*
- *ils nous laissent des quantités importantes de cendres chargées de produits toxiques.*

*L'accumulation de ces rejets dans l'atmosphère cause en premier lieu une nuisance directe importante sur la santé publique et, en second lieu, tendrait à modifier l'équilibre de l'effet de serre naturel qui contrôle la température moyenne de notre planète, si on fait confiance aux modèles utilisés par le GIEC. Ces combustibles assurent environ 83 % de l'énergie produite dans le monde.*



**Centrale thermique au charbon de Belchatow, Pologne**

*(source : Darek Redos / AFP).*

*Cette centrale consomme près d'une tonne de charbon à la seconde. Un tiers de la chaleur est convertie en électricité. Les deux-tiers restants sont dissipés dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.*

## *Le cas du combustible nucléaire*

*L'énergie dite nucléaire tire sa source du dégagement de chaleur qui accompagne le phénomène de fission de l'uranium. On doit considérer l'uranium comme un combustible dont l'impact sur l'environnement est différent de celui des combustibles fossiles. La part du nucléaire dans la consommation mondiale se monte à 4,4 %. Si la fission de l'uranium ne consomme pas d'oxygène, ne rejette ni gaz ni poussière ni ne perturbe 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.*



*Centrale nucléaire de Leibstadt, Argovie, Suisse*

*D'une puissance de 1200 MW, la centrale produit 9,5 milliards de kWh par an et couvre le 16.5 % des besoins de la Suisse en électricité.*

### *Pour assurer notre confort\**

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

*L'énergie nucléaire ne perturbe pas l'atmosphère mais fait peser sur nous des risques d'un autre ordre et nous laisse des déchets désagréables à gérer.*

*Nous devons donc impérativement choisir entre ces deux types de pollution si nous voulons faire perdurer nos sources d'électricité !*

*\* Vous pouvez m'accuser de mauvaise foi et vous auriez partiellement raison ! Je n'ai écrit ces lignes que pour souligner combien notre confort est dépendant de l'énergie !*

## *Diversité des sources de production d'électricité*

*La consommation mondiale d'énergie repose essentiellement sur l'usage des combustibles fossiles, le charbon, le pétrole et le gaz.*

*La part de l'énergie sous forme d'électricité est inférieure à 20% de la consommation mondiale totale. En 2018 cette part était de 18.9 % de la production totale d'énergie et se montait à 26'702 TWh<sup>1</sup>.*

<i>Prod. mondiale d'électricité par source (2018)</i>		
<i>Origine</i>	<i>TWh</i>	<i>Pourcentage</i>
<i>Charbon</i>	<i>10'116</i>	<i>38%</i>
<i>Pétrole</i>	<i>903</i>	<i>3%</i>
<i>Gaz</i>	<i>6091</i>	<i>23%</i>
<i>Total combustibles fossiles</i>	<i>17'110</i>	<i>64%</i>
<i>Hydraulique</i>	<i>4'339</i>	<i>16%</i>
<i>Nucléaire</i>	<i>2'724</i>	<i>10%</i>
<i>Eolien</i>	<i>1217</i>	<i>5%</i>
<i>Biomasse</i>	<i>669</i>	<i>3%</i>
<i>Solaire</i>	<i>570</i>	<i>2%</i>

*On constate que les centrales thermiques qui utilisent des combustibles, principalement le charbon, assurent encore 67 % de la production mondiale d'électricité (en comptant la biomasse). C'est une source non négligeable de pollution atmosphérique*

---

<sup>1</sup> 1 TWh = 1 milliard de kWh

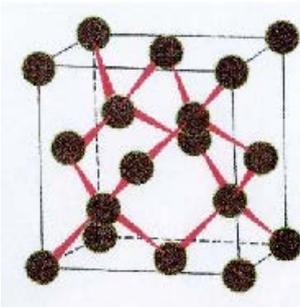
## Le carbone, notre meilleur ami

Le Carbone qui aussi nous semble abondant par le rôle important qu'il joue dans le monde vivant ne représente que 0.02 % de tous la atomes de l'écorce terrestre.

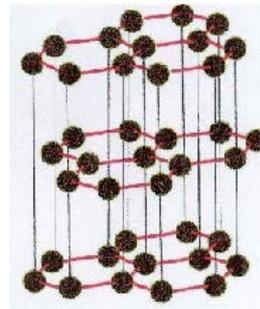
Sur le tableau périodique, appelé aussi tableau de Mendeleïev<sup>2</sup>, le carbone est le sixième élément dans la longue suite de ses congénères. On le désigne par l'abréviation  $^{12}\text{C}$ . Il possède 6 protons et six neutrons et son poids atomique est 12.011. C'est l'isotope<sup>3</sup> le plus courant du carbone. On trouve aussi deux autres isotopes,  $^{13}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$  qui renferment respectivement 7 et 8 neutrons. Mais ils sont plutôt rares.

### Le carbone peut cristalliser

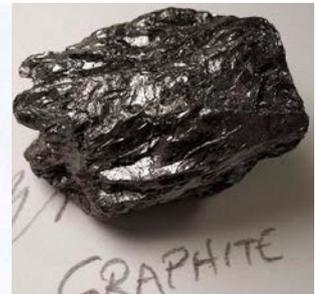
Dans le monde minéral, le carbone peut cristalliser sous deux formes distinctes : le diamant ou le graphite, deux minéraux aux propriétés diamétralement opposées. L'arrangement des atomes au sein de la structure dépend des conditions de pression et de température dans lesquelles le minéral s'est formé. Le diamant a besoin d'une pression énorme pour cristalliser alors qu'à faible pression le carbone cristallise sous forme de graphite.



structure du diamant,



structure du graphite



<sup>2</sup> Dmitri Ivanovitch Mendeleïev, chimiste russe (1834-1907), inventeur de la classification périodique des éléments chimiques.

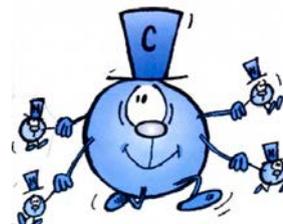
<sup>3</sup> Rappelons que le nombre de neutrons à l'intérieur du noyau d'un atome peu varier. Le carbone peut renfermer 6, 7 ou 8 neutrons. Ces atomes, légèrement différents par leur masse, sont des sortes de cousins d'une même famille. On les appelle des isotopes. Les propriétés chimiques sont semblables. Ce n'est que leur masse qui est un peu différente. Pour mesurer leurs proportions respectives, on utilise un spectrographe de masse.

## Les alliés du carbone

Contrairement aux minéraux qui sont des assemblages d'atomes liés entre eux principalement par des liaisons ioniques, le carbone est l'ami des liaisons covalentes qui lui permettent de se lier facilement à l'oxygène et à l'hydrogène pour constituer deux gaz, le **dioxyde de carbone** et le **méthane**, gaz qui jouent un rôle essentiel dans tous les processus liés à la vie.

### Avec l'hydrogène, c'est le méthane

Avec 4 atomes d'hydrogène, il forme le méthane  $\text{CH}_4$ , un gaz incolore, inodore et facilement inflammable. Il est le produit de la décomposition de matières organiques à l'abri de l'air.



C'est le "gaz naturel" que nous utilisons à grande échelle pour notre chauffage domestique et pour alimenter les centrales électriques qui se substituent aux éoliennes et aux panneaux photovoltaïques lorsque le vent vient à manquer. Le méthane est la portion la plus légère des hydrocarbures. La production annuelle de ce gaz par l'industrie pétrolière s'élève à 3'500 milliards de  $\text{m}^3$ .

### Le méthane aime jouer au lego

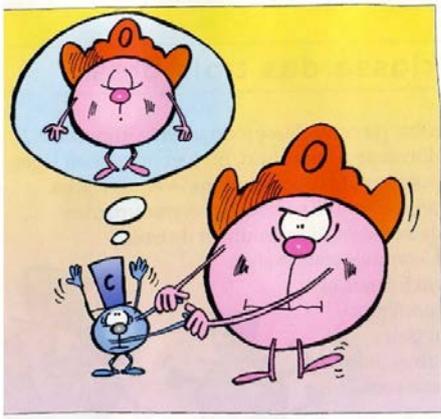
Mais le méthane est surtout la brique élémentaire qui, comme dans un jeu de lego, permet les très nombreux assemblages que sont les hydrocarbures. Par exemple 2, 3, ou 4 briques élémentaires de  $\text{CH}_4$  mises bout à bout construisent les chaînes bien connues que sont l'éthane  $\text{C}_2\text{H}_6$ , le propane  $\text{C}_3\text{H}_8$  ou le butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .



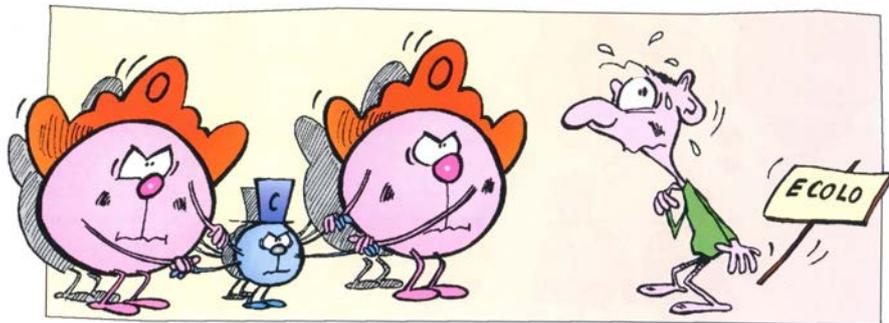
La farandole de butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  appartient à la grande famille des hydrocarbures.

### Avec l'oxygène, c'est le gaz carbonique

Au delà de sa grande affinité pour l'hydrogène, le carbone aime donc aussi beaucoup l'oxygène pour former le dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ , un gaz incolore, inodore et à saveur piquante. La combustion incomplète du charbon aboutit aussi à la formation du monoxyde de carbone,  $\text{CO}$ , un gaz incolore, inodore, non irritant et peu soluble dans l'eau. Il est produit par une combustion incomplète dans les moteurs thermiques, les turbines des avions, les feux de forêts ou les chauffages domestiques mal réglés. Il est extrêmement toxique même à des concentrations très faibles. Il se fixe sur les globules rouges du sang, empêchant ces derniers de véhiculer correctement l'oxygène.



*Le couple CO est très dangereux et peut vous asphyxier si vous ne vous méfiez pas. Il aspire toujours à séduire une seconde demoiselle Oxygène...*



*...pour former le trio CO<sub>2</sub> qui donne tant de soucis aux écologistes.*

## *De l'usage du CO<sub>2</sub>*

*Le dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère par les industries pétrochimiques ou chimiques peut-être capturé puis purifié. Il a de multiples usages dans de nombreux secteurs. Les principaux usages sont :*

- composant pétillant des boissons gazeuses,*
- adjonction de CO<sub>2</sub> dans les serres pour une meilleure croissance des plantes,*
- en emballages à atmosphère contrôlée pour éviter l'oxydation par l'oxygène,*
- pour contrôler la teneur en calcaire de l'eau potable,*
- agent propulseur de la distribution de bière dans les pubs,*
- agent propulseur de certains sprays,*
- agent caloporteur dans certains types de réacteurs nucléaires,*
- glace carbonique pour assurer la chaîne du froid,*
- neige carbonique pour lutter contre les incendies.*

## *On trouve le carbone dans la lithosphère*

*C'est dans la lithosphère (ou croûte terrestre) qu'une partie du carbone est momentanément immobilisé. Son principal réservoir se trouve dans les roches carbonatées, les calcaires du Jura, par exemple. La composition chimique de la calcite, le principal composant des calcaires, est  $\text{CaCO}_3$ . Les atomes carbone constituent le 20 % des atomes des roches carbonatées, 13.5 % si on considère le poids. On estime que les roches calcaires réparties sur les continents renferment 30'000'000 gigatonnes<sup>4</sup> [Gt] de carbone.*



### *Le Creux-du-Van,*

*C'est un cirque de roches calcaires dans le massif du Jura.*

*Le calcaire renferme 12 % de carbone, en poids. C'est un des principaux réservoirs de carbone .*

*On trouve également le carbone sous forme de charbon et d'hydrocarbures. On les exploite abondamment pour l'énergie qu'ils produisent. On estime que les gisements de charbon et d'hydrocarbures renferment 7'000'000 Gt de carbone.*



*Extraction de charbon à ciel ouvert, U.S.A.*

---

<sup>4</sup> Une gigatonne, Gt, correspond à un milliard de tonnes

## Dans la biosphère

La **biosphère** concentre l'ensemble des manifestations de la vie, soit le règne végétal et le règne animal. Son existence est intimement liée à l'interaction qu'elle entretient avec la terre végétale, l'atmosphère et l'hydrosphère. Dans la biosphère, le carbone joue un rôle prépondérant car il est à la base de toutes les réactions de la chimie organique. En particulier, grâce à la photosynthèse, le  $\text{CO}_2$  de l'air synthétise la cellulose  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ , le principal composant du bois. On estime que les forêts accumulent 2'000 Gt de carbone sous forme de bois.



*Forêt primaire en Indonésie*

*La végétation est un grand réservoir de carbone (env. 2'000 Gt).*

## Dans l'atmosphère

Nous avons vu que le carbone se lie avec l'oxygène pour former la molécule  $\text{CO}_2$ . C'est un gaz incolore, inodore à saveur piquante. On le connaît sous le nom de **gaz carbonique** ou **anhydrite carbonique**. Il représente environ 0.04% de l'atmosphère.

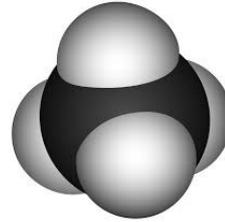
Nous avons vu que, plus rarement, le carbone peut se combiner aussi avec 4 atomes d'hydrogène pour former la molécule de méthane,  $\text{CH}_4$ . Sa teneur dans l'atmosphère est d'environ 0.0018 %. Le méthane finit par s'oxyder et se transformer en  $\text{CO}_2$  suivant le schéma :



La quantité de carbone présent dans l'atmosphère sous forme de  $\text{CO}_2$  est estimée à 750 Gt. (La masse totale de l'atmosphère est  $5,13 \times 10^6$  Gt.



Molécule de  $\text{CO}_2$



Molécule de méthane  $\text{CH}_4$

### Dans les océans

Les océans ont la capacité d'absorber le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère en grandes quantités. On estime la quantité totale de  $\text{CO}_2$  renfermée dans les océans à 39'000 Gt.

Il est intéressant de noter que la solubilité du  $\text{CO}_2$  dans l'eau dépend de la température. Les mers froides absorbent des quantités importantes de  $\text{CO}_2$ . Entraînées ensuite par les courants marins et réchauffées en atteignant les zones tropicales, les eaux rejettent alors une partie du  $\text{CO}_2$  qu'elles avaient absorbées dans les latitudes élevées.

Solubilité de $\text{CO}_2$ dans l'eau en fonction de la température			
température	solubilité (g/L)	température	solubilité (g/L)
0°	3,346	20°	1,688
10°	2,318	30°	1,257

Dans l'eau de mer, le dioxyde de carbone se retrouve sous trois formes :

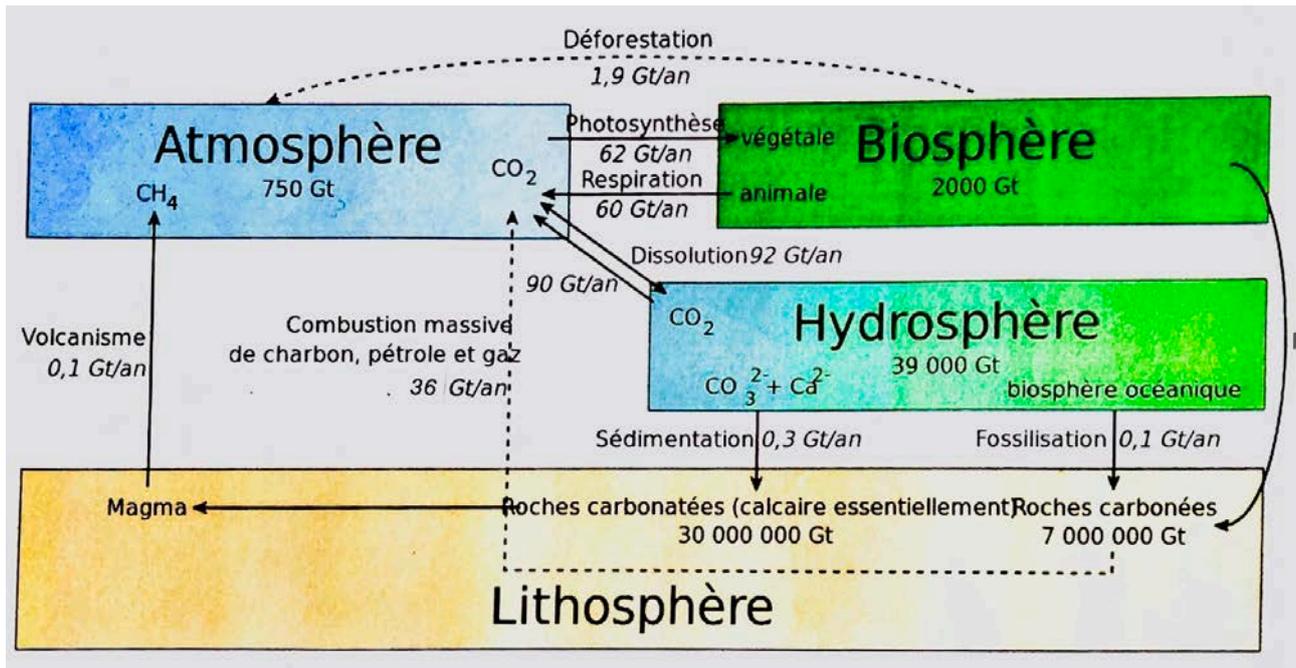
- sous forme de molécules :  $\text{CO}_2$
- sous forme d'ions hydrogénocarbonate :  $\text{HCO}_3^-$
- plus rarement sous forme d'ions carbonate :  $\text{CO}_3^{2-}$

Ces ions participent au cycle de la vie en formant les squelettes calcaires d'une partie du plancton ainsi que les coquilles des organismes marins. A la mort de ces derniers, leurs squelettes s'accumuleront sur les fonds marins sous forme des boues calcaires qui, après endurcissement, constitueront les roches calcaires de demain.

## Comment le CO<sub>2</sub> voyage-t-il ?

Le CO<sub>2</sub> voyage beaucoup car il participe activement aux processus de la vie. Les échanges entre l'atmosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère sont importants. Le schéma ci-dessous résume les pérégrinations du CO<sub>2</sub> dans la partie superficielle de notre planète.

### Pérégrinations du CO<sub>2</sub> à la surface de la Terre



Par catégorie, on estime que :

- la respiration animale rejette 60 Gt/an de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère,
- la photosynthèse reprend 62 Gt/an de CO<sub>2</sub> à l'atmosphère pour le fonctionnement de la biosphère (croissance de la végétation),
- la déforestation envoie 2 Gt/an de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère,
- les océans<sup>5</sup> absorbent 92 Gt/an de CO<sub>2</sub> pris à l'atmosphère,
- les océans rejettent 90 Gt/an de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère,
- l'activité humaine rejette 36 Gt/an de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

On constate que les échanges entre l'atmosphère et les océans occupent une part importante de la pérégrination du CO<sub>2</sub>. La respiration animale émet deux fois plus de CO<sub>2</sub> que l'activité industrielle humaine

<sup>5</sup> les mers froides absorbent beaucoup de CO<sub>2</sub>, les mers chaudes en rejettent une partie.

## Les énergies dites renouvelables

### *Le soleil est notre principal pourvoyeur d'énergie*

*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, versions modernes des antiques moulins à vent, utilisent les courants aériens engendrés par l'action du soleil. Toutes les formes de vie, en particulier la croissance des arbres et des forêts, doivent leur existence à l'énergie solaire. Le charbon et le pétrole sont les témoins dégradés des déchets d'un passé lointain. 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.*

*Mais rappelons toutefois que l'énergie solaire est produite par une gigantesque centrale nucléaire qui occupe le centre de notre Soleil !*

### *Production photovoltaïque*



*Les panneaux photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en courant continu. Le rendement est assez faible et n'atteint guère que 12% de l'énergie solaire reçue. 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 sur un toit est intéressant dans les régions éloignées non connectées à un réseau électrique, telles les maisons isolées ou les cabanes de montagne. Actuellement, sous la pression des milieux écologistes, l'état subventionne l'installation de panneaux photovoltaïques et achète artificiellement à leurs*

*propriétaires l'électricité à un prix supérieur à celui du marché. La production d'électricité photovoltaïque progresse lentement et les recherches pour améliorer leur rendement se poursuivent.*

*Actuellement, les panneaux photovoltaïques proviennent de Chine. Le soutien étatique dont ils bénéficient ne permet plus aux pays occidentaux de les produire.*

*Par ailleurs, l'affirmation que les panneaux photovoltaïques contribuent à la diminution de nos émissions de CO<sub>2</sub> et tout à fait illusoire : l'énergie nécessaire à la fabrication d'un panneau photovoltaïque correspond à environ trois années de production d'électricité dudit panneau et le côté aléatoire de sa production nécessite la construction de centrales à gaz pour assurer une production continue d'électricité pendant la nuit ou lorsque l'ensoleillement est insuffisant.*

### **Production par éoliennes**

*La production d'électricité au moyen d'éoliennes progresse aussi, stimulée artificiellement sous la pression des milieux écologistes, par des subventions étatiques importantes. Toutefois, le problème de leur rentabilité et de leur démantèlement ultérieur reste encore non résolu.*

*Les éoliennes actuelles développent en moyenne une puissance de 3 à 5 MW 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 pendant environ 8000 heures par an.*

*Une comparaison un peu simpliste montre qu'il faudrait environ un millier d'éoliennes pour égaler la production d'une centrale nucléaire, à la différence que cette dernière fournit de l'énergie quand on le lui demande et alors qu'une éolienne ne nous livre son énergie que lorsque le vent le veut bien !*

*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. Malgré ces inconvénients, la production éolienne semble avoir un certain potentiel de développement et contribuera sans doute dans une mesure non négligeable à la décentralisation de la production électrique. Toutefois, les nuits sans vent, vous serez contraints de passer votre soirée à jouer aux cartes avec vos voisins à la lueur d'une bougie si on ne maintient pas toujours en activité les moyens classiques de production d'électricité !*



## *Des éolienne en Suisse*

*La Suisse est un pays peu venteux et il n'y a pas beaucoup d'emplacements favorables à leur implantation. Par ailleurs, la forte densité de l'habitat réduit considérablement les zones où elles pourraient être implantées. En altitude, la diminution de la densité de l'air réduit notablement leur rendement énergétique et elles sont exposées au phénomène de givrage de leurs pales.*

### *Le parc éolien le plus élevé d'Europe*

*Le Valais accueille son premier parc éolien. Perché au col du Nufenen, à 2500 mètres d'altitude, il est le plus haut d'Europe. Son coût s'élève à 20 millions de francs environ.*

*Le premier mât a été posé en 2011 et les trois autres en 2016.*

*La société Grieswind SA, qui en est le propriétaire, vise une production annuelle de 10 GWh (10 millions de kWh). La première turbine aérienne était censée produire 3 GWh par année. Or, elle n'a pas dépassé 2,1 GWh en 2012 et 1,77 GWh*



*en 2014 et en 2015. Pour 2017, première année d'exploitation de l'ensemble du site, la production s'est élevée à 7,8 GWh*

---

## Aspect de la consommation électrique

L'électricité doit être consommée au moment même de sa production. On ne peut pas la stocker. Il faut donc constamment adapter la production des centrales pour satisfaire la demande instantanée des consommateurs. Cette demande est très variable et obéit à de nombreux facteurs.

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 de l'air 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, sous nos latitudes, la consommation atteint son plus haut niveau aux alentours du deuxième mercredi de décembre vers onze heures du matin. L'activité industrielle fonctionne au maximum de sa capacité; dans les bureaux toutes les secrétaires habillées légèrement ont allumé les radiateurs électriques d'appoint, les grands magasins et les rues débordent d'éclairages supplémentaires installés pour la période des fêtes et vers onze heures du matin, les cuisinières électriques commencent à fonctionner !

### Comment répondre à une 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 production des centrales, arrêtent ou mettent en marche d'autres unités de production en fonction de la demande.*

- *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. Mais on peut toujours moduler leur puissance.
- *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 la consommation diminue.

### *Production aléatoire des éoliennes et des panneaux photovoltaïques*

*La variation de la consommation de l'électricité implique la maîtrise des moyens de production. On peut moduler rapidement la puissance des centrales nucléaires, mettre en marche les centrales thermiques conventionnelles et piloter rapidement les centrales hydroélectriques.*

*Par contre, les éoliennes et les panneaux photovoltaïques échappent complètement aux moyens d'intervention des électriciens. C'est le bon vouloir du vent et de l'ensoleillement qui dicte sa loi. Si le vent cesse ou que le soleil est subitement caché derrière un rideau de nuages, la production éolienne et solaire cesse et il faut compenser instantanément cette brusque baisse de production.*

*Si le vent se lève ou que l'ensoleillement augmente, il faut diminuer immédiatement l'activité des moyens classiques de production. C'est un vrai casse-tête pour les électriciens responsables de l'alimentation électrique d'un pays. La solution serait le stockage momentané de l'électricité. Mais c'est plus facile à imaginer qu'à réaliser.*

### *Comment stocker l'électricité ?*

*Les panneaux photovoltaïques délivrent un courant continu. Il peut être stocké momentanément dans des batteries. Pour l'injecter dans un réseau il faut le convertir en courant alternatif par le biais d'un onduleur qui respecte scrupuleusement la fréquence du réseau. Le stockage par batterie ne concerne qu'une entité autonome qui n'interfère pas avec un réseau extérieur, maison isolée, cabane de montagne. L'usage de batteries est donc restreint et il n'est pas du tout envisageable de stocker des quantités importantes d'électricité au moyen de batteries.*

Les voitures électriques fonctionnent avec un courant continu. Elles ont besoin de plusieurs centaines de kg de batteries et peuvent stocker jusqu'à une centaine de kWh pour les plus puissantes.

### *On peut remonter l'eau pendant la nuit*

Mais la tendance actuelle est d'utiliser l'énergie 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 l'électricité sous forme d'énergie potentielle. Cette technique n'est possible que dans les régions de montagnes où existent déjà des installations hydroélectriques.



*Barrage de l'Hongrin*

Le barrage de l'Hongrin, situé dans les Préalpes vaudoises, retient le plus grand lac de pompage-turbinage de Suisse (55 millions de m<sup>3</sup>). Situé à 1'255 mètre d'altitude, son eau est turbinée, lors des heures de grande consommation, dans la centrale de Veytraux au bord du lac Léman, 878 mètres plus bas. En période de faible consommation, lorsqu'il y a un excédent d'électricité, de puissantes pompes alimentent le barrage en sens inverse avec de l'eau puisée dans le lac. Ce procédé qui alterne le turbinage et le pompage permet de régulariser la consommation électrique et joue le rôle d'un puissant accumulateur d'énergie. Les pertes sont tout de même estimées à 30 %.

Avec ses 900 MW, la centrale de pompage-turbinage de Nant de Drance est l'une des plus puissantes d'Europe. Située 600 mètres sous terre, entre les lacs



de retenue d'Emosson et du Vieux Emosson, sa capacité de stockage est de 20 millions de kWh. Très flexible, elle joue un rôle important dans la régularisation du réseau électrique en Suisse.

*Les deux retenues qui constituent le système turbinante pompage du Nant de la Drance.*

Mais ce procédé a ses limites et ne permettra pas de créer les réservoirs d'énergie colossaux qui seraient nécessaires au stockage qu'impliquerait un développement désordonné des sources d'énergie renouvelable.

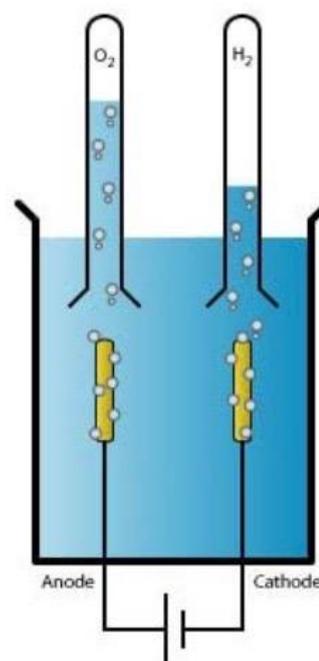
### Le mirage de l'hydrogène

Il est tentant d'imaginer qu'on puisse produire de l'hydrogène lorsqu'il y a excès d'électricité et retransformer cet hydrogène en électricité lorsqu'on en a besoin. Mais voilà, ce n'est pas si facile ! L'idée est de produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau lorsque la production d'électricité est excédentaire et d'utiliser plus tard l'hydrogène en produisant de l'électricité par le biais de piles à combustible ou directement comme combustible. Malheureusement le rendement de cette double opération est très médiocre.

### L'électrolyse de l'eau

Le procédé de l'électrolyse est bien connu : un courant continu circule dans de l'eau légèrement salée pour améliorer sa conductibilité. L'énergie électrique dissocie les molécules d'eau. L'hydrogène se dégage au dessus de la cathode, l'oxygène au-dessus de l'anode. L'électrolyse d'un litre d'eau nécessite 5 kWh et produit un mètre cube d'hydrogène à pression ordinaire. La densité énergétique de l'hydrogène est faible : 1m<sup>3</sup> d'hydrogène correspond à l'énergie contenue dans 0.3 litre d'essence. De plus, l'électrolyse n'a qu'un rendement d'environ 60%. L'énergie virtuelle enfermée dans 1 m<sup>3</sup> d'hydrogène n'est que de 3 kWh alors qu'il a fallu 5 kWh pour le produire. Il y a donc déjà là une certaine perte d'énergie. Par ailleurs l'hydrogène est un gaz encombrant qu'il faut comprimer ou liquéfier pour le stocker dans un volume raisonnable. La compression d'un m<sup>3</sup> d'hydrogène à 700 bars nécessite environ 0.45 kWh et sa liquéfaction 1 kWh.

Par ailleurs, si l'électricité peut se transformer avec peu de pertes en énergie mécanique, il n'en est pas de même pour la transformation inverse : l'hydrogène est un combustible et les lois implacables de la thermodynamique nous disent que le rendement de la transformation de chaleur en énergie mécanique n'excède guère 35 % !



Principe de l'électrolyse

## Utilisation de l'hydrogène

La combustion de l'hydrogène transforme à nouveau ce gaz en eau selon le schéma :



Cette énergie est alors restituée sous forme de chaleur et non sous forme mécanique. Si on utilise directement l'hydrogène dans un moteur à explosion, le rendement médiocre n'excède pas 35%.

On constate donc un grand gaspillage des 5 kWh originels qu'il a fallu pour produire un m<sup>3</sup> d'hydrogène. Par ailleurs, il faut des réservoirs très lourds et capables de résister à une pression de 700 bars. L'hydrogène est un gaz explosif et de faibles pertes d'hydrogène dans un milieu confiné peut conduire à de explosions dévastatrices.

On peut produire aussi de l'électricité par le biais d'une **pile à combustible**. Mais là aussi, le rendement est assez faible, de l'ordre de 60%. Par ailleurs, une pile à combustible renferme passablement de métaux rares dont du platine. Son emploi nécessite de l'hydrogène parfaitement dépourvu d'impuretés et sa durée de vie n'excède guère quelques milliers d'heures.

On voit que le stockage de l'énergie électrique par le biais de l'hydrogène est loin d'être la panacée universelle que nous vantent tant les écologistes !

---

## Niveau de vie et consommation d'énergie

Comme je l'ai déjà décrit plus haut, la consommation d'énergie est étroitement liée à notre niveau de vie et obéit à l'équation :

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

où  $N$  = nombre d'individus,  $R$  = revenu de chacun et  $k$  un facteur qui englobe les diverses mesures anti-gaspillages. Il en ressort clairement que la consommation d'énergie est directement proportionnelle au revenu de chacun.

### Ces statistiques qui nous révèlent la réalité

Il n'est pas toujours facile de trouver des statistiques reflétant la réelle quantité d'énergie dont nous avons besoin pour assurer notre mode de vie. On trouve facilement des statistiques qui font état de la consommation d'électricité, des quantités de charbon, des produits pétroliers et de gaz que nous importons. Mais il est difficile de connaître la quantité globale d'énergie qu'il a fallu dépenser pour la production de l'acier, des voitures, des immeubles, des panneaux solaires et de tous les autres produits que nous importons.

Le tableau ci-dessous montre que la consommation d'énergie est proportionnelle au niveau de vie des habitants d'une région donnée.

Consommation quotidienne d'énergie par pays et par habitant (source : Key World Energy Statistics)						
	tep/ année*	kWh/ jour			tep/année	kWh/jour
Qatar	18,5	590		Allemagne	3.82	121
U.S.A.	6,81	216		Chine	2,14	68
Russie	5,27	168		Brésil	1.42	42
France	3,86	123		Inde	0.64	20

\* tonnes équivalent pétrole par an

On constate que dans notre environnement européen, la dépense d'énergie quotidienne induite par notre mode de vie équivaut à environ 120 kWh par habitant. Plus de 80% de cette énergie provient de la combustion du charbon et des hydrocarbures.

La consommation par habitant des pays à bas revenus est beaucoup plus faible, mais, ne nous y trompons pas, leur ambition et d'atteindre le niveau de confort des pays dits développés. Chaque Chinois rêve de posséder une voiture et manger au Macdonald !

*Les chiffres exceptionnels concernant le Qatar s'expliquent par l'énergie que consomment les usines de désalinisation de l'eau de mer, par l'usage généralisé de la climatisation et par les programmes démentiels de construction de gratte-ciels.*

### ***Les combustibles fossiles nous sont toujours indispensables***

*On peut bien élever des éoliennes ou installer des panneaux solaires, mais il faudra toujours d'énormes quantités de charbon pour produire l'électricité des pays qui n'ont pas de ressources hydroélectriques, pour les hauts-fourneaux qui produisent l'acier dont nous avons besoin, du pétrole lourd pour propulser les dizaines de milliers de porte-containers qui sillonnent les mers pour nous apporter les marchandises qui nous sont indispensables, des carburants pour alimenter les centaines de milliers de poids-lourds qui alimentent nos supermarchés, et de l'essence pour faire avancer les centaines de millions de voitures qui encombrant notre environnement.*

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

*Les milieux écologistes et les autorités politiques nous assurent que le gaz naturel est 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 et ne laisse pas de cendres toxiques. C'est un point de vue ! Mais il en rejette tout de 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 trente fois plus efficace que le CO<sub>2</sub>, et que les fuites, engendrées immanquablement par les milliers de kilomètres de conduites souterraines, devraient contribuer 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.*

### ***La pompe à chaleur, une solution ?***

*Les autorités politiques suggèrent de remplacer votre chauffage à gaz (ou à mazout) par une pompe à chaleur. Selon leurs dires, vous ne consommerez plus qu'un tiers de l'énergie que vous fournissait le gaz. Cette affirmation est évidemment bien séduisante. En réalité, il s'agit d'un chauffage électrique. Ce qu'on ne vous dit pas c'est comment va-t-on assurer vos besoins en électricité et comment cette électricité sera-t-elle produite ?*

*Les panneaux solaires et les éoliennes sont plutôt avares en énergie durant l'hiver et il est presque certain qu'il faudra recourir à une centrale thermique ? Rappelons que le rendement énergétique d'une centrale thermique est d'environ 35 %. Il faudra alors dépenser la même quantité de combustible que vous*

*consommiez avec votre ancienne installation pour livrer la quantité d'électricité qui sera nécessaire à votre pompe, Le bilan écologique est donc nul. On n'aura donc fait que déplacer la source de la pollution. Les gagnants sont surtout les constructeurs de pompes à chaleur et les installateurs.*

### ***Les transports en commun sont-ils écologiques ?***

*On vous assure que les transports en commun constituent une solution efficace pour lutter contre le réchauffement climatique.*

*Mais regardons cette affirmation d'un peu plus près : les Transports publics genevois, les TPG, assurent des transports de qualité et la population genevoise en est satisfaite. On y voyage confortablement et la desserte de la plupart des villages est bien assurée. Le parc de véhicules comprend actuellement de :*

- 96 rames de tramway,*
- 90 trolleybus.*
- 226 bus à moteur thermique.*

*Le véhicules à moteur thermique consomment annuellement près de 6'000'000 de litres de fuel et les véhicules électriques 31 millions de kWh..*

*Tous ces véhicules consomment annuellement plus de 1'500 pneus qui finiront, mélangés avec le bitume, en un nuage diffus de particules fines dont pourront bénéficier les habitants voisins des routes.*

*Considérant qu'un voyage en avion Genève Bruxelles consomme environ 1'500 litres de kérosène on peut dire que la consommation en carburant des TPG équivaut à celle de 4'000 vols Genève-Bruxelles ! La pollution engendrée par les TPG n'est donc pas si anodine.*

*Peu importe le mode de transport, on voit que tout déplacement engendre une dépense d'énergie. Il faudrait donc interdire définitivement tous les modes de déplacement, hormis la bicyclette.*

---

## Nous avons besoins de ressources minérales

Pour fabriquer tous les objets qui nous paraissent indispensables, nous avons besoin de quantités considérables de matières premières. Le tableau ci-dessous montre la production annuelle de la trentaine de métaux les plus exploités.

Les prix indiqués sont très approximatifs et varient constamment en fonction de l'offre et de la demande et de la situation économique du moment.

### Production annuelle et prix approximatif des principaux métaux industriels

	prod. annuelle	réserves mondiales	teneur dans la croûte terrestre	prix approximatif
Fer	1'600'000'000 t.	très abondantes	5,6%	72 \$ la tonne
aluminium	45'000'000 t.	très	23%	2'000 \$ la tonne
chrome	29'000'000 t.	7.600.000.000	400 ppm	8'000 \$ la tonne
cuiivre	20'000'000 t.	490'000'000 t.	68 ppm	6'000 \$ la tonne
manganèse	17'000'000 t.	620'000'000 t.	1'000 ppm	1'700 \$ la tonne
zinc	13'000'000 t.	250'000'000 t.	80 ppm	2'500 \$ la tonne
plomb	4'600'000 t.	79'000'000 t.	10 ppm	2'000 \$ la tonne
nickel	1'600'000 t.	67'000'000 t.	190 ppm	10'000 \$ la tonne
magnésium	970'000 t.	très abondant	2,3%	2'000 \$ la tonne
étain	370'000 t.	6'000'000 t.	2.2 ppm	18'000 \$ la tonne
molybdène	250'000 t.	11'000'000 t.	1.2 ppm	15'000 \$ la tonne
titane	100'000 t.	2'000'000'000	6'000 ppm	3'500 \$ la tonne
cobalt	120'000 t.	7'000'000 t.	30 ppm	70'000 \$ la tonne
tungstène	87'000 t.	3'500'000 t.	1.2 ppm	26'500 \$ la tonne
vanadium (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	80'000 t.	15'000'000 t.	190 ppm	60'000 \$ la tonne
thorium	60'000 t.	6'500'000 t.	12 ppm	280'000 \$ la
uranium	60'000 t.	3'500'000 t.	1.8 ppm	300€ le kg
niobium	56'000 t.	4'300'000 t.	20 ppm	40\$ le kg
arsenic	36'000 t.	1'500'000 t.	2 ppm	3'000 \$ la tonne
lithium	32'500 t.	25'000'000 t.	20 ppm	12'000 \$ la tonne
cadmium	23'000 t.	500'000 t.	0.15 ppm	2'500 \$ la tonne
argent	23'000 t.	300'000 t.	0.08 ppm	500 \$ le kg
mercure	2'300 t.	600'000 t.		200 \$ le kg
or	3'000 t.	42'000 t.	0.004 ppm	40'000 \$ le kg
iridium	2'700 t.	42'000 t.	0.001 ppm	30'000 \$ le kg
tantale	1'200 t.	100'000 t.	2 ppm	250\$lekg
béryllium	320 t.	80'000 t.	3 ppm	500 \$ le kg
palladium	280 t.	4'500 t.	0.005 ppm	25'000 \$ le kg
platine	230 t.	13'000 t.	0.005 ppm	42'000 \$ le kg

\* rappelons qu'un ppm correspond à une partie par million.

## *Épuisement annoncé des ressources minérales*

*Oui, nous piochons allègrement dans les ressources minérales que nous offre notre planète. Nous obtenons encore assez facilement le cuivre, le plomb, l'aluminium et tous les autres métaux dont nous avons besoin pour garantir notre confort ainsi que le niveau de vie auquel nous autres occidentaux sommes habitués. Pour garantir ce niveau de vie à une population qui croît à grande vitesse et pour assouvir les besoins des centaines de millions d'humains qui n'ont pas encore atteint ce même niveau de vie mais qui rêvent de l'atteindre, il faut évidemment augmenter considérablement la production minière.*

*Sur les réseaux sociaux, on trouve de nombreux sites alarmistes qui prédisent l'épuisement et la fin des ressources minérales. Ils mettent en regard les réserves connues de minerai et la consommation mondiale actuelle. Ils divisent le premier terme par le second et prédisent dans combien d'années il n'y aura plus rien. C'est un calcul simpliste qui ne résiste pas à une vision plus large du problème.*

## *Réserves prouvées, réserves probables*

*Les sociétés minières, dans un but de prospective, mesurent la quantité des réserves sur lesquelles elles peuvent compter à coup sûr pour poursuivre leur activité. Sur la base d'études géologiques conduites par des campagnes de sondages plus ou moins profonds, elles calculent la quantité des réserves bien identifiées sur lesquelles elles peuvent compter. Ce sont les **réserves prouvées**.*

*A plus large échelle, dans un contexte géologique plus étendu, elles peuvent faire aussi une estimation des réserves sur lesquelles elles pourraient raisonnablement compter dans un avenir plus lointain. Ce sont les **réserves probables**.*

*Ces calculs sont faits sur la base de la rentabilité. Si le cours du métal exploité augmente, les parties les moins rentables des gisements entrent alors dans le calcul des réserves.*

*Il en est de même pour les ressources énergétiques fossiles. Ainsi, pour faire rouler nos voitures, il n'y a presque plus d'essence à un euro le litre mais il y en a encore beaucoup à 5 ou 10 euro le litre ! Pour les ressources minières, si le prix des métaux augmente, les gisements non rentables aujourd'hui le seront sûrement demain !*



*Mine de cuivre de Chuquibambilla dans le nord du Chili. Cette carrière géante mesure 5 km de longueur, 3 kilomètres de largeur et 950 mètres de profondeur. La hauteur de chaque gradin est de 22 mètres ! Elle assure 14% de la production mondiale de cuivre.*

---

## Ce que nous ne voulons pas voir !

### Chaque euro engendre une dépense de 1 kWh !

*Si on met en regard le revenu individuel de chacun et la quantité d'énergie que nous induisons chaque jour, un calcul simpliste montre que chaque euro dépensé induit indirectement une consommation d'énergie d'environ 1 kWh<sup>6</sup>. Et il s'agit le plus souvent de dépenses d'énergie effectuées loin de chez nous. En effet, nous ne voulons pas voir le saignées gigantesques qu'on inflige à notre planète pour en arracher le fer, l'aluminium, le cuivre et tous les autres métaux dont nous avons besoin pour notre industrie : c'est très loin de nous et il n'y a pas de mouvements écologiques pour s'y opposer. Nous ne voyons pas non plus les hauts fourneaux qui nous livrent l'acier, ni les cimenteries qui produisent allègrement du CO<sub>2</sub>.*

*Nous ne voyons pas non plus les millions d'esclaves corvéables à merci qui travaillent à l'autre bout du monde pour nous livrer les ressources minérales nécessaires à notre mode de vie ou pour confectionner les habits bon marché et les produits de luxe qui abondent dans nos magasins.*

### Les nouveaux prophètes arrivent !

*Nous vivons béatement dans nos certitudes et nous refoulons de notre esprit tout ce qui dépasse notre horizon. Il devient alors facile à de nouveaux prophètes de prendre l'ascendant sur le citoyen moyen en lui expliquant qu'il est responsable de la dégradation du climat, qu'il nuit gravement à la Planète et que tout cela entraînera la disparition de l'Humanité.*



*La peur suscite l'aveuglement. Une hystérie collective s'empare petit à petit des gens sous l'influence d'écologistes ultra-orthodoxes qui se réfèrent à des dogmes plutôt qu'à des réalités objectives. Même les enfants défilent dans la rue, appliquant le catéchisme auquel ils ont été soumis. Ils exigent que les Autorités politiques prennent en main le problème du climat.*

<sup>6</sup> Le kWh est considéré ici comme unité globale d'énergie et n'implique pas qu'il s'agisse d'électricité !

## **Que peuvent donc faire les dirigeants politiques ?**

*Malheureusement pas grand-chose ! Le monde politique hésite entre proposer des taxes sur l'énergie et sur les billets d'avion, taxes impopulaires et inefficaces. On nous certifie aussi qu'en mangeant moins de viande et en renonçant à faire des enfants cela permettrait de faire diminuer la température de la planète ! Sous l'a pression des milieux écologistes les dirigeants politiques acceptent de promouvoir le développement d'éoliennes coûteuses et peu rentables, dépendant des caprices du vent et de panneaux photovoltaïques de faible rendement, soumis eux aussi aux caprices de l'ensoleillement. Des petits emplâtres sur une jambe de bois !*

*Sensibles aux sirènes écologistes, nos politiciens prônent une transition énergétique à laquelle ils ne croient pas forcément mais dont les conséquences, qui risquent d'être désastreuses, devront être assumées par leurs successeurs. Les leaders politiques sont plutôt lâches et ils suivent les mouvements d'opinion, quels qu'ils soient. Ils veulent plaire à tout le monde pour assurer le renouvellement de leur mandat qui leur sera alors accordé par un public béat, persuadé que la transition énergétique assurera à tous une place dans un jardin d'Eden idéalisé.*

## **Certains prônent une décroissance économique**

*Evidemment, au vu de la relation  $QE = k (N \times R)$ , une manière simple de réduire notre consommation d'énergie de moitié consisterait à diviser tous les salaires par deux ou de réduire la population de moitié ! Quelle est l'autorité politique qui oserait préconiser une telle solution ?*

*Admettons un instant qu'on prennent des mesures pour faire diminuer notre croissance économique comme le suggèrent certains extrémistes. Cela entraînerait la diminution de l'activité et la fermeture de nombreuses entreprises, l'apparition d'un chômage de masse, un appauvrissement général de la population et des troubles sociaux de grande ampleur. Nous sommes donc tiraillés entre la nécessité d'une croissance économique qui maintient en équilibre précaire notre mode de vie et la peur d'être grillés par le réchauffement climatique que les prophètes verts nous promettent.*

## **Mais on peut améliorer le climat de notre environnement proche**

*Il est tout à fait présomptueux d'imaginer que l'Homme puisse faire changer le climat ! On constate effectivement un certain réchauffement du climat comme cela s'est déjà produit dans le passé mais il est peu plausible de penser que c'est uniquement l'homme qui en porte la responsabilité.*

*Les dirigeants politiques ont le devoir sinon le pouvoir de transformer et d'améliorer petit à petit notre environnement proche. Mais ils devraient rester*

*conscients qu'ils ne peuvent en aucune manière modifier le climat de notre planète.*

*Au lieu d'imaginer des mesurètes impopulaires, coûteuses et inefficaces pour "sauver le climat" , on doit en premier lieu songer à prendre les mesures qui nous permettent de nous adapter à ce réchauffement et, surtout, améliorer le climat de notre environnement immédiat.*

*Beaucoup de responsables y travaillent déjà. On sait qu'il faudrait encourager l'abandon de l'automobile privée en favorisant les transports en commun, trier mieux et valoriser nos déchets, réduire l'ampleur des déplacements pendulaires en rapprochant les lieux d'habitation des lieux de travail. Certes, il serait possible de faire baisser les niveaux de pollution atmosphérique en limitant drastiquement le droit à l'usage de véhicules utilisant des carburants fossiles. Toutefois, la généralisation des voitures électriques entrainera d'autres problèmes tout aussi désagréables. L'alimentation électrique de ces véhicules augmentera la demande d'énergie électrique et la production à grande échelle de batteries induira une pollution chimique importante.*

*L'isolation thermique des immeubles est aussi une mesure intéressante. Mais ce sont des mesures qui ne peuvent, en aucun cas, modifier le climat. Elles ne peuvent tout au plus que ralentir un petit peu l'augmentation de notre recours à l'énergie et ralentir l'augmentation de notre production de déchets.*

*Quoi que nous fassions, l'augmentation de la population mondiale ainsi que l'accession des peuples pauvres au confort dont jouissent les habitants occidentaux ne feront qu'augmenter les besoin en énergie et notre part de pollution.*

---

## Sommes-nous responsables du réchauffement climatique ?

### Etat des lieux

*Depuis plus de 3 milliards d'années, il apparaît que la température de notre planète ne s'est jamais éloignée de plus de quelques degrés de la température moyenne de 15°. Cette stabilité est remarquable en comparaison de ce qui se passe sur d'autres planètes. Elle est due à son juste éloignement du Soleil qui permet de maintenir la plus grande partie de son eau sous la forme liquide, à sa taille suffisante pour retenir une atmosphère favorable au développement de la vie. Toutefois, une variabilité lente du climat est normale et dépend des fluctuations des courants océaniques, de la variation lente des paramètres astronomiques, des variations dans l'activité solaire, d'éruptions volcaniques majeures, de légères modifications de l'albedo<sup>77</sup> et de l'effet de serre.*

*Dans le passé lointain de notre Planète, la configuration des continents a continuellement varié, entraînant des changements de latitude et des modifications importantes dans la circulation des courants marins. Ces lents mouvements géologiques ont provoqué des changements climatiques régionaux importants qui expliquent la présence, dans les roches anciennes, de fossiles représentatifs de climats qui, aujourd'hui, nous semblent exotiques.*

### Au cours du dernier million d'années

*Les géologues ont constaté que, dans le dernier million d'années d'existence de notre planète, il y a eu, dans l'hémisphère nord, alternance de périodes glaciaires interrompues par de courtes périodes de réchauffement avec une périodicité d'environ 140'000 ans. Les quatre dernières glaciations ont été clairement identifiées et datées. Cette alternance s'est accompagnée de variations importantes du niveau des mers. Depuis la fin de la dernière glaciation, il y a à peine 20'000 ans, le niveau des mers est remonté d'une centaine de mètres. Par ailleurs, chaque période interglaciaire a vu le taux de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère augmenter. Les causes de ces alternances ne sont pas vraiment connues.*

### Au cours de la période historique

*Au cours de la période historique, on sait qu'à l'époque romaine le climat était un peu plus chaud et humide qu'aujourd'hui et que le retrait des glaciers était encore plus important qu'il ne l'est aujourd'hui. Puis le climat s'est dégradé à partir de la moitié du IIe siècle, et une période plus froide s'est installée.*

---

<sup>77</sup> L'albedo est le pouvoir réflecteur d'une surface .

Entre environ 950 et 1350, une nouvelle période chaude, qu'on a appelé *l'optimum climatique médiéval*, a permis aux Vikings de coloniser le Groenland et d'y pratiquer l'élevage. La culture de la vigne s'est même étendue à tout le Nord de l'Europe.

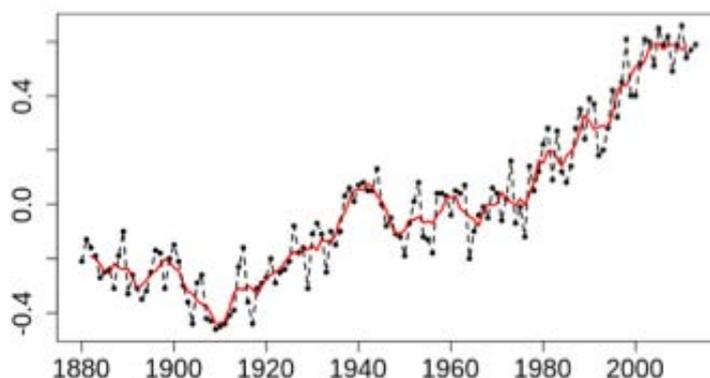
Puis à ce réchauffement succède un brusque refroidissement entre environ 1400 et 1850. On l'a appelé *le petit âge glaciaire*. Les glaciers se sont développés et les langues glaciaires avancées loin dans les vallées. Dès le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, les températures remontent lentement. Ce réchauffement est un fait bien réel et on peut le qualifier de *réchauffement climatique*.

### Les causes possibles

En observant la courbe du tableau ci-dessous, une première constatation s'impose : durant tout le XX<sup>ème</sup> siècle la température moyenne augmente.

Sur ce graphique, on voit que la température aurait diminué de 0,2° entre 1880 et 1910 puis amorcé une lente remontée avec un petit pic de température vers 1940, puis, après une petite descente vers 1950, on assiste à une lente remontée jusqu'en 1998. La dernière vingtaine d'années, soit à partir de 1998, on voit une stabilisation de cette courbe.

J'ai utilisé le conditionnel au début de ce paragraphe car les méthodes de mesures se sont affinées au cours des dernières années et leurs conditions actuelles d'enregistrement ne sont plus tout à fait les mêmes qu'autrefois.

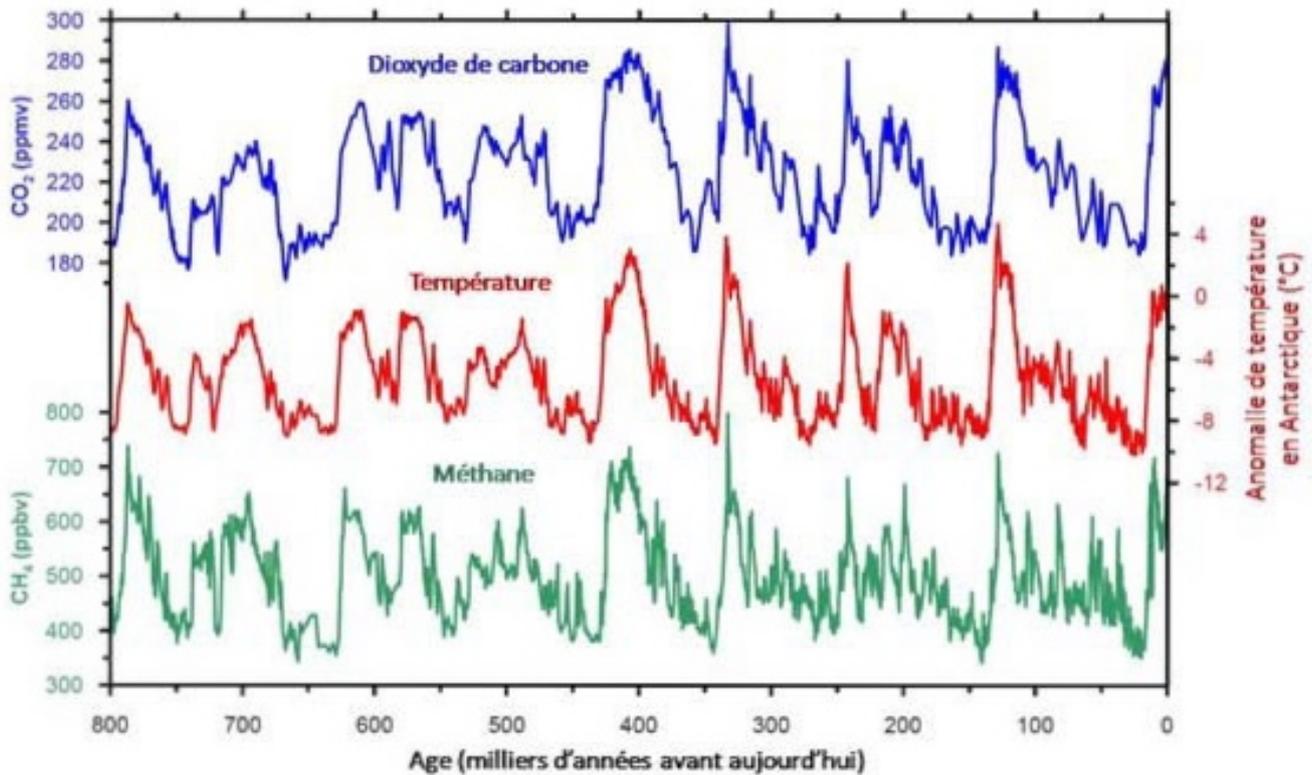


### Que disent les carottes de glace ?

Le forage le plus profond réalisé en Antarctique a atteint 3'270m. On a atteint une glace qui s'est formée il y a 800'000 ans. L'étude de la composition de l'atmosphère piégée dans la glace ainsi que l'étude du rapport isotopique  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  qui renseigne sur la température qui régnait au moment de la chute de neige, montrent que les périodes interglaciaires, c'est à dire des périodes de réchauffement, correspondent avec l'augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère ainsi que celle du méthane.

On ne peut évidemment pas attribuer ces augmentations de CO<sub>2</sub> à une activité

**Variation de la température, de la quantité de dioxyde de carbone et de méthane au cours des 800'000 dernières années.**



anthropique quelconque. On voit que la teneur en CO<sub>2</sub> oscille environ entre 200 et 300 ppm.

Aujourd'hui, on se rapproche de 400 p.p.m. ce qui pourrait laisser penser que la teneur actuelle en CO<sub>2</sub> est particulièrement élevée et que c'est l'activité humaine qui pourrait en être la cause. Mais ce raisonnement se heurte tout de même à quelques difficultés :

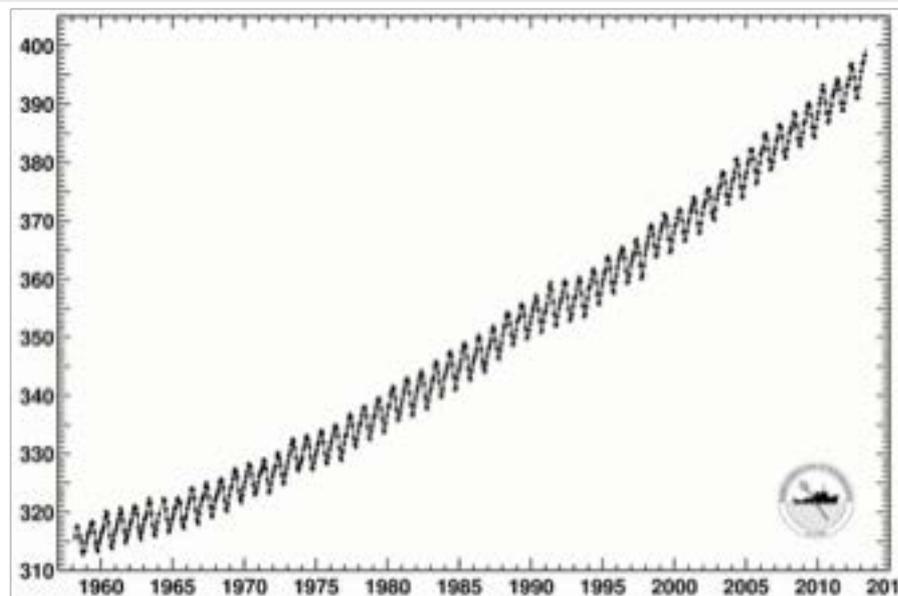
- depuis 1998, la température moyenne mondiale a cessé de grimper et elle est restée à peu près stable depuis près de 20 ans, bien que l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> ait continué de croître.
- il n'explique ni "l'optimum climatique médiéval", ni le "petit âge glaciaire".

Par ailleurs, si la courbe d'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère semble impressionnante, il faut garder à l'esprit que les unités sont des ppm<sup>8</sup> et, qu'en réalité, la teneur en CO<sub>2</sub> a passé de 0.03 % à 0.04%, ce qui semble bien peu.

Par ailleurs, on pourrait se demander si ce n'est pas l'augmentation de la température qui induit l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère ! Mon avis personnel est qu'il ne faudrait pas négliger les autres paramètres qui

<sup>8</sup> 1 ppm correspond à une partie par million, soit 0.0001 %

ont une influence sur les variations climatiques et ne pas impliquer uniquement le CO<sub>2</sub>.



*Teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère (en ppm), mesurée depuis 1960 à l'observatoire du Mona Loa, à Hawaï.*

### *Mais qui détient vraiment la vérité ?*

*Le Giec, (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a été créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade. Pour de nombreux scientifiques, les thèses du Giec ressemblent aujourd'hui surtout à une déclaration de foi :*

*C'est l'homme qui est responsable du réchauffement climatique par le biais de ses émissions de CO<sub>2</sub>.*

*La mise en doute de certaines conclusions du Giec est le résultat d'une bataille, qui relève plus d'une guerre de religion que de critères scientifiques ouvertement débattus, entre les alarmistes soutenus par les mouvements écologiste, souvent intégristes, et les renégats, baptisés climato-sceptiques, qu'on accuse d'être soutenus par les milieux économiques.*

*Le problème est si vaste et les données si fragmentaires encore que beaucoup d'interprétations restent envisageables. Par ailleurs, on sait bien que des conclusions alarmistes sont plus intéressantes pour la diffusion des médias que les propos optimistes et il est si facile de faire peur à une population en affirmant que les cyclones, les orages violents, les périodes de canicules sont le*

*résultat du réchauffement climatique bien qu'aucune preuve convaincante ne puisse étayer cette affirmation.*

*Les thèses du Giec sont évidemment soutenues par les producteurs d'éoliennes et de panneaux solaires qui jouissent de larges subventions des états apeurés, mais plus ou moins ignorées par les industriels qui ont besoin d'énergie pour satisfaire notre confort ! Les fournisseurs de gaz soutiennent aussi la politique de développement des énergies renouvelables car le côté aléatoire de leur production implique la construction de centrales à gaz pour compenser le déficit énergétique lorsque le vent fait défaut et pendant la nuit, en ce qui concerne les panneaux photovoltaïques.*

*Le Giec a dû retirer ses déclarations fracassantes qui prédisaient un engloutissement rapide de Venise ou la disparition prochaine des glaciers himalayens. De même le Giec a dû admettre que le graphique "en forme de bâton de hockey" de l'augmentation de la température exposée par le climatologue Michael Mann s'est révélée être sans fondement et que les données avaient été manipulées.*

*Ce sont les politiciens qui s'accaparent des conclusions des uns ou des autres pour étoffer leurs campagnes électorales et ce détournement politique de conclusions scientifiques encore très incertaines n'est pas très rassurant !*

*Personnellement, je ne sais pas encore dans quel camp me situer. Mais je garde à l'esprit que la mise en doute d'une vérité trop bien acceptée est un principe qui a toujours été le moteur qui fait avancer la science*

---

## Quel devenir pour l'Homme ?

### *Notre mode de vie est basé sur le recours massif à l'énergie*

*Comme je l'ai déjà dit, notre confort implique que nous ne pouvons pas faire autrement que d'utiliser le charbon pour alimenter les hauts fourneaux qui produisent l'acier, les combustibles fossiles pour produire le ciment, assurer le transport de toutes les marchandises dont nous avons besoin, nous chauffer et faire fonctionner les tracteurs de nos paysans. Il faut encore des hydrocarbures pour produire les plastiques qui ont envahi notre quotidien. Il faut encore énormément d'énergie pour arracher à la terre les minerais dont nous avons besoin. Non, nous n'arriverons pas à nous passer des combustibles fossiles, du moins dans un avenir immédiat. Le CO<sub>2</sub>, que leur combustion engendre, continuera d'alimenter l'atmosphère et participer au cycle du carbone.*

*Certes, en diminuant nos dépenses ou en envisageant une diminution de la croissance on peut faire diminuer un petit peu notre impact sur l'environnement mais cela provoquerait une crise économique considérable avec son lot de chômeurs et d'inégalités sociales.*

*L'Humanité est comme emportée sur un immense radeau entraîné par le courant d'un fleuve inconnu. Nos éoliennes et nos panneaux photovoltaïques ne sont que de faibles pagaies qui ne peuvent en aucun cas en modifier le destin de notre radeau. Nous ne connaissons ni les rapides ni les cataractes vers lesquelles nous sommes entraînés et, encore moins, comment sera la chute finale !*

*Les COP successives ne pourront en rien faire diminuer la production de CO<sub>2</sub>. L'Homme est vraiment naïf de penser qu'il pourrait intervenir sur le changement climatique. Il faudrait plutôt, dans un premier temps, songer à nous adapter à ce changement climatique si celui-ci devrait perdurer. Améliorer le climat n'est pas de la compétence des hommes, mais améliorer la qualité de notre environnement immédiat est possible.*

### *Perturbation de l'environnement*

*Une modification de l'effet de serre est 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 légèrement l'équilibre naturel de la composition atmosphérique, modifiant peut-être l'influence de l'effet de serre. Mais de là à affirmer que ce sont les activités humaines qui sont*

responsables de l'augmentation de température, c'est une hypothèse quelque peu hasardeuse.

Nous sommes effectivement dans une période interglaciaire chaude mais l'arrêt de cette augmentation de température depuis bientôt près de 20 ans nous incite à mettre en doute les affirmations dogmatiques du GIEC. Toutefois, si ce réchauffement poursuit son évolution vers le haut, 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 incertaine 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. Les courants marins jouent un rôle important sur le climat et on ne saurait imaginer les conséquences, par exemple, de la disparition du Gulf Stream qui permet une certaine douceur de vie dans tous les pays du Nord de l'Europe.

Les climats ont souvent changé dans le passé géologique mais l'homme n'était pas là pour subir ces changements ni les journalistes pour orchestrer des peurs collectives. L'alternance de glaciations et de périodes interglaciaires est parfaitement démontrée. On constate que chaque épisode de réchauffement interglaciaire, a vu une augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

## **Une fuite en avant**

L'arrivée de l'espèce humaine sur terre est un événement extrêmement récent, quelques dizaines de milliers d'années au plus, alors que d'autres espèces ont survécu sans difficultés pendant des centaines de millions d'années. Nous sommes des nouveaux venus qui avons reçu en prime un cerveau bien développé qui nous a permis d'asservir la planète pour notre confort. Nous comptons le temps en décennies alors que la planète compte en centaines de millions d'années. Une évolution lente à l'échelle de la planète nous semble catastrophique à l'échelle humaine. Il nous faudra donc évoluer avec les changements climatiques et l'assèchement de nos ressources minières et en énergie fossile.

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. Ses besoins sont tels qu'il doit aussi exploiter intensément le sous sol de la planète pour en extraire les métaux, les minéraux et les combustibles dont il ne peut plus se passer. 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'elle l'oblige à entretenir et développer des activités qui sont des sources importantes de perturbation de son propre environnement. Selon les positions orthodoxes extrêmes de certains prophètes verts, tout comme Prométhée qui avait volé le feu aux dieux, l'Homme devra subir la punition divine d'un enfer brûlant !*

*Son mode de vie le condamne à imaginer de nouvelles sources d'énergie, à trouver le moyen de ne pas couler sous les montagnes des déchets qu'il produit et à survivre dans un environnement de plus en plus souillé par la pollution. Comment peut-on donc imaginer un devenir pour cet homme si peu conscient de sa témérité ?*

*L'augmentation de la consommation de l'énergie et des matières premières progresse toujours plus rapidement. Et si nous pensons quelque peu aux peuples que nous avons un peu oubliés, la situation est encore plus problématique. Prenons simplement conscience que l'ambition de chaque chinois et de chaque Indien est d'avoir une voiture et de vivre dans le même confort que nous autres des pays dits "développés" ! Et ils sont près de trois milliards "*

*Et les habitants des pays africains qui regardent, médusés, sur l'écran de leur télévision, notre mode de vie occidental, ont tous l'envie d'en bénéficier aussi !*

### **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×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 quel avenir nous sommes entraînés.*

*L'humanité compte de nombreux individus d'une intelligence remarquable, tous capables individuellement d'entreprendre de grandes choses. 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 et de l'explosion de la consommation d'énergie.*

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

### ***La pénurie d'énergie dictera-t-elle sa loi ?***

*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 puis le tarissement de la production charbonnière, pétrolière et gazière.*

*La demande en produits énergétique augmente constamment, justement à cause de la progression du facteur ( $N \times R$ ) et les réserves de pétrole, de gaz et de charbon s'épuisent progressivement. Ni les grandes compagnie pétrolières ni les Etats du Golfe ne souhaitent révéler l'état de 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 ou dix euros le litre il y en a encore passablement !*

*En effet, il y a encore d'immenses réserves de sables et de 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 réserves servirait à produire la moitié restante. La pollution engendrée par une telle exploitation serait colossale ! Les nouvelles techniques de fracturation des roches permettent aussi d'exploiter le pétrole autrefois prisonniers des roches-mères mais à quel prix !*

*Il en est de même pour les ressources minérales qui sont de plus en plus sollicitées pour faire perdurer le niveau de vie auquel nous nous sommes habitués et qui ne suffiront peut-être plus lorsque tous les habitants des pays pauvres auront accédé à ce même niveau de vie qu'ils nous envient.*

### ***Le coût de l'énergie nous rattrapera !***

*Mais, à long terme, la production de charbon, de pétrole, de gaz n'arrivera plus à satisfaire une demande toujours croissante. Dans un avenir plus ou moins lointain, le prix des hydrocarbures va inexorablement grimper entraînant aussi dans sa spirale le prix du gaz, du charbon et de l'électricité. Les conséquences sur l'économie risquent d'être immenses.*

*En effet, comme nous l'avons dit plus haut, tout notre système économique et social est basé sur l'hypothèse que nous aurons toujours à notre disposition un réservoir inépuisable d'énergie peu coûteuse. 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.*

*La raréfaction de l'énergie provoquera certainement une inflation et un chômage important. Pour s'approprier les dernières sources d'énergie, il y aura peut-être des conflits armés entre nations. Parmi d'autres conséquences on observera la diminution progressive du trafic aérien, provoquant la disparition des revenus touristiques des pays lointains, les inégalités entre les pauvres qui ne pourront plus se chauffer ni rouler en voiture et les riches qui continueront encore un peu à vivre confortablement.*

*Le conflit qui secoue l'Ukraine, la pénurie de gaz provoquée par notre politique de sanctions contre la Russie qui entraîne à son tour l'explosion du prix de l'électricité, n'est qu'une répétition de ce qui nous attend à terme, lorsque les ressources énergétiques naturelles n'arriveront plus à assurer le train de vie confortable à 10 milliards d'individus.*

*Quant à la Planète, elle rira bien de nos malheurs et attendra patiemment que cette bizarre espèce humaine disparaisse comme bien d'autres ont déjà disparu avant elle. Elle pourra alors restaurer tranquillement ses forêts, ses lacs, ses rivières, vision imaginaire d'un paradis perdu qui symboliserait le monde d'avant l'apparition de l'Homme !*

*Cette vision apocalyptique présente certaines analogies avec les textes bibliques. Le discours prophétique des écologistes annonçant le jugement dernier, faisant porter la faute sur les industriels et les économistes est tout à fait comparables aux exhortations des prophètes bibliques qui nous promettaient l'enfer si nous ne leur obéissions pas. Seuls les écologistes angéliques seront sauvés de l'enfer et seront conduits dans le paradis imaginaire du développement durable.*

*Ces considérations quelque peu outrancières de ma part ne concernent que moi. J'ai tout de même espoir et confiance dans le génie humain qui saura, espérons le, trouver une alternative à cette situation difficile.*

*Sic transit gloria mundi !*

---

## Table des matières

<i>Avant-propos . . . . .</i>	<i>2</i>
<i>Etat des lieux. . . . .</i>	<i>4</i>
<i>L'Homme est une espèce invasive - Tout nous semble normal - Le prix de notre confort - Nous avons tous une addiction à l'énergie - Voulons nous suivre une cure de désintoxication ?</i>	
<i>Qu'est-ce que l'énergie . . . . .</i>	<i>8</i>
<i>La définition des physiciens - La nature consomme aussi de l'énergie - Il y a diverses formes d'énergie - Unités utilisées pour quantifier l'énergie - L'énergie ne disparaît pas - L'entropie ne peut qu'augmenter - Le recours à l'énergie, une source de pollution - Nous ne voyons pas l'énergie que nous dépensons - Un exemple d'énergie grise.</i>	
<i>La production d'énergie . . . . .</i>	<i>15</i>
<i>Le cas particulier de l'électricité - L'énergie hydroélectrique - Les centrales thermiques - Le cas du combustible nucléaire - Diversité des sources de production d'électricité.</i>	
<i>Le carbone, notre meilleur ami . . . . .</i>	<i>19</i>
<i>Le carbone peut cristalliser - Les alliés du carbone - Avec l'hydrogène, c'est le méthane - Le méthane aime à jouer au lego - Avec l'oxygène, c'est le gaz carbonique - De l'usage du CO<sub>2</sub> - On trouve le carbone dans la lithosphère - Dans la biosphère - Dans l'atmosphère - Dans les océans - Comment le CO<sub>2</sub> voyage-t-il ?</i>	
<i>Les énergies dite renouvelables . . . . .</i>	<i>26</i>
<i>Le soleil est notre principal pourvoyeur d'énergie - Production photovoltaïque - Production par éoliennes - Des éoliennes en Suisse - Le parc éolien le plus élevé d'Europe</i>	
<i>Aspect de la consommation électrique . . . . .</i>	<i>29</i>
<i>Comment répondre à une demande irrégulière ? - Production aléatoire des éoliennes et des panneaux photovoltaïques - Comment stocker l'électricité ? - On peut remonter l'eau pendant la nuit - Le mirage de l'hydrogène - L'électrolyse de l'eau - Utilisation de l'hydrogène.</i>	

## *Niveau de vie et consommation d'énergie . . . . . 34*

*Ces statistiques qui nous révèlent la réalité - Les combustibles fossiles nous sont toujours indispensables - Le gaz naturel, un combustible "propre" ? - Le pompe à chaleur, une solution ? - Les transports en commun sont-ils écologiques ?*

## *Nous avons besoin de ressources minérales . . . . . 37*

*Epuisement annoncé des ressources minérales - Réserves prouvées, réserves probables.*

## *Ce que nous ne voulons pas voir . . . . . 39*

*Chaque euro engendre une dépense de 1kWh - Les nouveaux prophètes arrivent - Que peuvent donc faire les dirigeants politiques ? Certains prônent une décroissance économique - Mais on peut tout de même améliorer notre environnement proche .*

## *Sommes nous responsables du réchauffement climatique? . . .43*

*Etat de lieux - Au cours du dernier million d'années - Au cours de la période historique - Les causes possibles - Que disent les carottes de glace ? - Mais qui détient vraiment la vérité ?*

## *Quel devenir pour l'Homme ? . . . . . 48*

*Notre mode de vie est basé sur le recours massif à l'énergie - Perturbation de l'environnement - Une fuite en avant - Que pouvons-nous donc faire ? - La pénurie d'énergie dictera-t-elle sa loi ? - Le coût de l'énergie nous rattrapera.*

---