

L'Énergie c'est la vie :

l'avenir de l'Homme est-il durable ?

Philippe DEVERRE

Ah ! Le CO₂ ! On ne parle que de lui, et de son corollaire le réchauffement climatique. A qui la faute? A notre consommation des produits fossiles, dilapidation même, puisque la ressource est menacée d'extinction.

Alors... Alors, il m'a semblé opportun de dresser le bilan de notre boulimie énergétique et d'essayer de voir avec vous si l'on pourra la satisfaire *ad aeternam* : notre avenir est-il durable, en employant un adjectif cher aux écologistes ?



Vivre c'est consommer de l'énergie !

On peut mesurer l'intensité de la vie à la quantité d'énergie dissipée. Ne dit-on pas d'un homme très dynamique: quelle énergie ! En restant au repos l'homme consomme 1500 kilocalories par jour, soit une puissance moyenne de 80 watts, une bonne ampoule électrique à filament ! S'il s'agit cela monte vite. Et cela n'a pas changé depuis Cro-Magnon qui utilisait, en plus, pour la vie domestique l'équivalent d'une dizaine de kilos de bois pour cuire les aliments et se chauffer. Ensuite peu de différence quelle que soit l'époque, seules des surconsommations locales pour fabriquer des accessoires: poteries ou armes.

L'homme vivait, jusqu'il y a peu, en prélevant d'une manière durable dans son environnement proche. En plus de sa faible force, il utilisait l'animal pour tirer chars et charrues et, localement, l'eau des rivières ou le vent pour faire tourner des meules ou des pompes, voire se déplacer sur les mers. Philosophiquement plus discutable, les puissants de la Terre amélioraient leur niveau de vie en utilisant durablement la force physique du peuple. Ces machines humaines s'appelaient serfs, moujiks, métèques, combien d'appellations diverses pour nommer ces hommes-esclaves,

C'est alors que James Watt, aux alentours de 1770, mit au point la machine à vapeur qui libérait en grande partie l'homme de l'effort physique et décuplait ses possibilités en passant de l'artisanat à la production de masse. Le confort de l'homme fit un bond mais sa consommation énergétique également. Jusque-là l'homme avait abattu des arbres pour libérer des terres cultivables, faire des charpentes ou chauffer les fours à poteries. Mais le prélèvement était raisonnable au point que la forêt de Tronçais, au centre de la France, est le résultat "durable" de la construction des vaisseaux prévus par Colbert.

Très commode d'utilisation, le charbon puis le pétrole furent appelés à la rescousse pour fournir à l'homme l'énergie devenue "indispensable". Simultanément, impulsée par l'amélioration des conditions de vie, la population humaine crût en progression géométrique : 700 millions en 1750 - 1 milliard 100 millions en 1850 ; 4 milliards en 1950 - 9 milliards en 2050.

Où nous mène cette envolée de la population consommant de plus en plus d'énergie, alors que les énergies "faciles" se font rares. Que peut-on faire pour retrouver une vie "durable"? Après avoir étudié le bilan énergétique français, je vous propose de faire l'inventaire raisonné et commenté de toutes les sources d'énergie, leurs qualités, leurs contraintes, leurs nuisances, pour enfin se projeter dans un futur proche et voir l'avenir souhaitable de chacune des sources d'énergie. Je vais jouer avec vous le Candide, l'innocent voire le simple d'esprit ! Quoique, vous le verrez, simple ne veut pas dire simpliste : trop souvent, de nos jours, le bon sens s'efface devant les intérêts, qu'ils soient économiques, politiques, voire idéologiques.

Mon approche sera beaucoup plus humaine que scientifique, plus pragmatique que technique. Un exemple pour illustrer mes intentions. Pour économiser le pétrole doit-on en revenir à la traction animale ?



Figurez-vous qu'il y a peu, j'ai rencontré un agriculteur qui exploite 200 hectares en Picardie et un industriel qui fabrique du biodiesel. Grâce au premier j'ai su qu'il consommait 100 litres de gazole à l'hectare par an. L'autre m'a dit obtenir 1450 litres de biodiesel avec la production d'un hectare de colza. Il suffit de quelques règles de trois et de savoir que, pour remplacer un tracteur actuel, il faudrait environ 20 chevaux... de trait : stupéfaction, la consommation énergétique est la même et correspond à 10% de la production. Ces 10% de la biomasse produite peuvent soit nourrir des chevaux, soit nourrir un tracteur, après transformation en biodiesel. Inutile d'insister pour dire : "vive le tracteur !" fonctionnant au biodiesel, que l'on n'a besoin ni d'harnacher ni de bichonner, et qui reste sagement au garage quand on n'en n'a pas besoin, sans rejeter ni CO₂ ni méthane. Voilà déjà un faux problème résolu !

Mais revenons à l'énergie. L'énergie c'est ce qui produit du travail, c'est-à-dire de la transformation, du mouvement, de l'agitation. Quand on évoque l'énergie, se confondent deux notions : la source, c'est-à-dire le produit qui va pouvoir, en se transformant, dégager de l'énergie utile, par exemple le bois, le pétrole, et l'énergie qui travaille, plus difficile à caractériser : une masse qui se déplace, un électron qui s'agite. Le passage de l'un à l'autre, de l'énergie en conserve au travail, est une opération difficile, dont le rendement est souvent déplorable :

- Si vous voulez produire de la chaleur pour lutter contre le froid, 90% des calories dégagées dans une cheminée classique à bois s'enfuient dans le conduit vers l'extérieur. Ne parlons pas d'un feu en plein air dont on ne récupère que le rayonnement infrarouge ! Avec un insert, c'est-à-dire en enfermant le feu dans une boîte, on récupère beaucoup plus de calories et le rendement monte à 50%. Un chauffage électrique a un rendement de quasiment 100%, mais la production d'électricité par centrale au fuel a un rendement de 35%, celui du nucléaire étant de l'ordre de 27%.

- Vous voulez rouler avec une voiture ? L'essence a un pouvoir calorifique important, ce qui permet d'emmagasiner dans un réservoir de quoi faire des centaines de kilomètres. Mais à quel prix? Le rendement est très faible, de l'ordre de 30%.

Les générateurs électriques purement mécaniques (centrales hydrauliques, éoliennes, hydroliennes, usine marémotrice) ont tous un excellent rapport entre l'énergie potentielle et l'énergie électrique fournie. Par contre, dès que l'on passe par le thermique,

on retrouve M. Carnot et son rendement. Qu'a donc dit ce "brave homme": *plus la différence de température est importante entre le début du phénomène thermique et sa fin, par exemple dans un moteur de voiture la température au moment de l'explosion ou de la combustion du carburant et la température des gaz d'échappement, meilleur est le rendement.*

Mais, aux températures communément atteignables, ce rendement est inférieur à 50% et le plus souvent reste aux alentours de 30 %. Concrètement cela veut dire que, quand on produit un travail mécanique, on rejette aussitôt les deux tiers de l'énergie dans l'atmosphère ! C'est ainsi qu'entre l'énergie primaire, par exemple le tonnage du pétrole importé, et l'énergie utile, il y a en général un rapport de 3 à 1 ! Tout ceci ne simplifie pas les bilans et permet à chacun de les déformer dans le sens qui l'arrange. Les chiffres que je mentionnerai sont donc tout à fait critiquables. J'ai essayé de faire en sorte que l'ordre de grandeur soit vrai. Nous exprimerons l'énergie en KWh mais surtout en TEP, la tonne d'équivalent pétrole, le pétrole étant actuellement la source principale d'énergie et celle qui va très vite poser problème.

Notons enfin qu'il faut bien séparer les deux aspects de l'énergie: son origine éventuellement « intemporelle » et sa conservation « conjoncturelle ». En d'autres termes, d'où vient l'énergie et comment en dispose-t-on à un moment donné pour la faire « travailler » ? Ce deuxième point est tout aussi important que le premier et doit rester présent à l'esprit en permanence : on n'a pas forcément du vent au moment où l'on veut se chauffer, s'éclairer ou se déplacer en bateau, et faire rouler une voiture avec du bois n'est pas très facile même avec un gazogène.

Bilan énergétique français

La consommation française annuelle, en énergie primaire, énergie brute avant dégradation lors de l'utilisation, est de 280 millions de TEP, soit environ 4, 5 tonnes d'équivalent pétrole par personne, y compris les nourrissons au berceau !

Comment se présente cette énergie au moment où on la consomme ? Elle concerne :

- l'électricité pour 43 %, dont 80 % d'origine nucléaire ;
- le pétrole et ses dérivés pour 33 % ;
- le gaz pour 14 % ;
- le charbon pour 5 % ;
- les énergies « renouvelables » pour 5 %, dont le bois (50%), l'hydraulique (36 %), l'incinération des déchets (9%) et l'écolo » (éolien, solaire, etc., 3%).

Notons:

- que le nucléaire, énergie sans effet de serre, fournit un tiers de notre consommation énergétique totale avec un prix à la production de 3 c. d'Euro le KWh ;
- que le bois fournit actuellement moins de 3% de notre énergie ;
- que l'hydraulique fournit moins de 2%.

Comment sont consommées ces 4, 5 tonnes d'équivalent pétrole par personne ?

- 30 % pour le domestique, essentiellement le chauffage ;
- 28 % pour les transports, essentiellement la voiture individuelle ;
- 20 % pour l'industrie, dont 0. 2 % matières premières ;
- 15 % pour le tertiaire ;
- 5 % pour les services publics ;
- 2 % pour l'agriculture.

Notons aussi que la consommation individuelle, chauffage et transports, représente 58 % de la dépense énergétique en France, soit presque les deux tiers !

Un point sur les énergies disponibles sur Terre et consommées en France

Nous en préciserons à chaque fois le coût global, la disponibilité et la facilité d'utilisation et de conservation. La plupart des énergies naturelles sont du domaine de la "cueillette". On n'est maître ni de l'abondance du bien ni du moment de la cueillette. Il

faut se garder d'une trop grande captation qui déséquilibrerait la source, voire l'interromprait. En l'absence de moyens industriels de conservation de l'énergie, les énergies naturelles, dont l'intensité est aléatoire ou tout du moins fluctuante, sont difficilement intégrables dans un plan énergétique global. Elles le seront le jour où nous saurons mettre l'énergie en conserve efficacement. On essaye de le faire avec la filière « hydrogène ». Mais le rendement global est faible. On récupère pour l'instant moins du tiers de l'énergie d'origine. Nous reviendrons plusieurs fois sur ce problème.

Venons-en à l'inventaire, qui se veut exhaustif, de toutes les sources d'énergie à notre disposition. Dans cet inventaire ne sera prise en compte et chiffrée que l'énergie que l'homme manipule lui-même. Comment évaluer avec précision l'apport du rayonnement solaire à la végétation terrestre, au plancton et aux massifs coralliens qui récupèrent par photosynthèse le gaz carbonique et rejettent dans l'atmosphère l'oxygène nécessaire à la vie ? Comment évaluer l'évaporation des mers qui fournit la totalité de l'eau douce répandue par la pluie sur les terres ?

Les conclusions partielles que j'énoncerai concernent la France, ces conclusions pouvant être fort différentes en ce qui concerne l'Europe qui n'a que 11% de production d'énergie électrique nucléaire au lieu de 80% chez nous.

On peut regrouper les énergies disponibles en fonction de quatre origines:

- énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon, schiste, tourbe), toutes génératrice de CO₂ ;
- le solaire, renouvelable par nature (biomasse, panneau solaire, hydraulique, thalassothermie, éolien), sans CO₂ ou à cycle court ;
- le tellurique (marémotrice, hydrolienne, énergie des vagues, géothermie), sans CO₂ ;
- le nucléaire (nucléaire à fission, nucléaire à fusion-ITER), sans CO₂.

Les énergies fossiles

Le pétrole. Il y a des millions d'années, des matières organiques, animales et végétales, se sont accumulées en sédiments subaquatiques qui se sont transformés en pétrole : c'est de l'énergie concentrée et en conserve. Avec 10 litres d'essence, soit un peu plus de 8 kg, on peut parcourir en voiture 200 km, malgré le rendement de 30%. Le problème du pétrole est qu'il n'est renouvelable qu'en quelques millions d'années et que les réserves se comptent, au rythme actuel de consommation, en quelques dizaines d'années, au mieux 150 ans. Le prix de la T. E. P. est actuellement de 300 dollars (70 \$ le baril).



Le gaz naturel. De même origine que le pétrole, le gaz naturel, essentiellement composé de méthane, est d'un transport moins simple. En effet liquéfié il est à -163°, ce qui n'est guère facile pour une distribution et un usage domestique. Et sous forme gazeuse, à valeur énergétique équivalente, il occupe un volume 600 fois plus important que le pétrole. Les réserves mondiales sont supérieures à celles du pétrole. Le prix du gaz naturel est indexé sur celui du pétrole.

Que ce soit du pétrole ou du gaz naturel, nous n'en produisons quasiment pas en France.

Le GPL est un mélange de butane et de propane, sous-produits du raffinage du pétrole. Sous forme liquide à relative faible pression il est d'un usage très commode mais la ressource est limitée. Son prix est comparable à celui du gaz naturel.

Le charbon. Comme le pétrole et le gaz naturel, le charbon est une énergie fossile. Il est le résultat de la transformation de végétaux engloutis par les eaux, accumulés rapidement en masse et préservés du pourrissement et de l'oxydation. Il est très abondant sur terre. Les réserves estimées sont de plusieurs siècles. Sa densité énergétique rend son utilisation presque aussi facile que celle du pétrole, mais son utilisation génère de fortes pollutions en particulier à cause du soufre qu'il contient. Son utilisation prioritaire reste la métallurgie pour la réduction du minerai de fer. Avec de la vapeur d'eau à très haute température, on peut le transformer en hydrocarbures gazeux et liquides ou produire de l'hydrogène. L'exploitation de gisement sous-marin, sous la mer du Nord, est envisageable avec cette technique, si le prix de l'énergie continue d'augmenter. La Chine et l'Inde produisent majoritairement leur électricité à partir de centrales à charbon. Sur le marché mondial le charbon est à 130 dollars la tonne. Plus de deux fois moins cher que le pétrole !

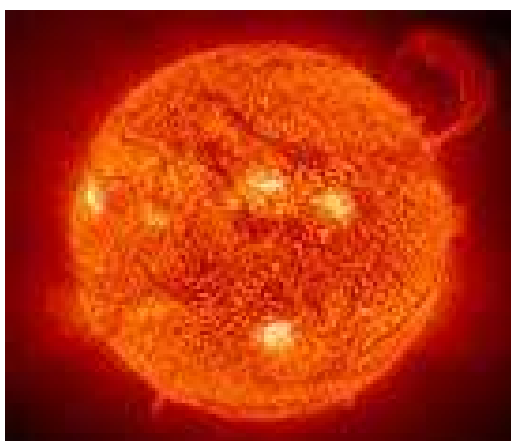
Les schistes bitumineux sont des roches sédimentaires dont on peut extraire du pétrole et du gaz combustible. Situées au Canada, on estime les réserves mondiales de schiste bitumineux à 100 ans de consommation actuelle de pétrole. Mais l'exploitation des schistes bitumineux ne devient rentable que si le pétrole dépasse les 400 dollars la tonne. On n'en est pas loin. L'exploitation des schistes est extrêmement polluante.

La tourbe est le produit de la fossilisation de débris végétaux sur 1000 à 2500 ans dans des zones marécageuses. Séchée, sa teneur en carbone peut atteindre 50% en poids, ce qui en fait un bon combustible. Il n'est pas, pour l'instant, envisagé une utilisation industrielle de la tourbe.

Il apparaît que l'utilisation de tous ces produits fossiles génère des gaz nuisibles, CO₂ bien sûr, mais aussi des dérivés du soufre. Les réserves se comptent en dizaines d'années, voire deux ou trois siècles pour le charbon. Ce ne sont pas des produits durables propres à favoriser la pérennité de l'Homme. La France n'en possède pas ou si peu qu'il nous faut les acheter à prix fort, ce qui est très mauvais pour la balance des comptes extérieurs !

Le solaire et les énergies dites « renouvelables »

Ah ! Le Soleil ! Il fournit, modulé par le rythme diurne et annuel, une énergie qui correspond à plusieurs milliers de fois ce que l'homme consomme directement. Comment récupérer cette énergie, et surtout la conserver, pour pouvoir l'utiliser au moment opportun ? La nature le fait naturellement. Les énergies fossiles sont les résidus de la vie passée enrichie par le Soleil. La nature poursuit son action en nous fournissant bois et aliments. Plus généralement le rayonnement solaire chauffe l'atmosphère, les océans et la terre, créant des phénomènes qui peuvent être violents mais aussi très bénéfiques, comme l'évaporation des océans qui génère ensuite les pluies. Enfin, seulement un millième du rayonnement solaire se retrouve dans la production de biomasse par la photosynthèse.



Etudions en détail l'apport du Soleil :

- L'ensemble de la **biomasse**, d'origine végétale ou animale (bois, déchets végétaux, déchets organiques) est susceptible de générer de l'énergie, qui se recycle à échelle humaine, le CO₂ rejeté dans l'atmosphère étant en tout ou partie retransformé en biomasse.

Rappelons que la France a une superficie de 55 millions d'hectares, à peu près 1 hectare par habitant dont un peu plus d'un quart utilisé pour l'agriculture (19 sont cultivables, prairies ou pâturages en représentent 13, les forêts 15), alors que 8 sont stériles ou stérilisés (montagnes, villes, autoroutes).

Voyons les différentes formes de biomasse utilisables pour la fourniture d'énergie :

- **Le bois** est l'énergie naturelle consommée de tout temps par l'homme. Là où le bois pousse, l'homme trouve un environnement propice à sa survie. La végétation est de plus une usine à oxygène, captant le carbone pour développer sa structure. Le faible prix du pétrole, de ses dérivés et du charbon, leur grande facilité d'emploi, ont relégué le bois à une fonction de chauffage domestique le plus souvent en milieu rural. Mais l'augmentation du prix du baril rend rentable l'utilisation industrielle du bois. Des produits dérivés avec une facilité d'utilisation se rapprochant de celle des produits pétroliers sont en train d'être développés. Le bois sous forme de bûches est de plus en plus remplacé par des briques de bois, des granulés ou des plaquettes forestières, permettent l'automatisation complète des systèmes de chauffage.

L'INRA est en train de mettre au point le "taillis de saule à très courte rotation", destiné à la production de bois-énergie. Les saules sont rabattus tous les deux à trois ans. A ce rythme, cette énergie ne concourt pas à l'effet de serre puisque le CO₂ rejeté est aussitôt recyclé par le taillis. Le rendement annuel est de 10 à 12 tonnes par hectare. Les zones cultivées en saule servent également de filtre végétal pour l'épuration des eaux usées prétraitées.



En supposant que l'on transforme toutes les forêts en usines de production de bois-énergie, à raison de 10 tonnes sur 15 millions d'hectares, on obtiendrait 150 millions de tonnes (à comparer au 20 millions actuellement "consommés"). Ces 150 millions de tonnes correspondraient à 60 millions de TEP, plus de 20% de notre consommation énergétique actuelle

Avec la biomasse on peut aussi produire des **biocarburants** :

- *Le biodiesel* est fabriqué à partir d'huile de colza, d'huile de tournesol, d'huiles industrielles usagées et de graisses animales. Il est utilisable par tous les moteurs à combustion interne, les diesels.

- *Le bioéthanol* est un mélange à 85 % d'éthanol et 15 % d'essence. L'éthanol est produit à partir de la betterave, du blé et du maïs.

L'objectif fixé par le gouvernement, conformément aux directives européennes, est d'obtenir cette année 7% de biocarburants dans la consommation totale de carburants. Pour ce faire, il faut consacrer 8% des terres cultivables. On constate que, si l'on voulait remplacer tous les carburants par des biocarburants, il faudrait y consacrer la totalité des terres. Que mangerions-nous? Les

biocarburants semblent ne devoir être qu'une solution marginale sauf pour l'exploitation agricole. On évoque des algues qui en fermentant pourraient produire du carburant. Ce sera peut-être possible un jour, mais il est plus que prématuré d'imaginer que la solution pourrait venir à court terme de cette filière.

Revenons brièvement sur la **traction animale**. Notons tout d'abord que les animaux sont dans leur ensemble des transformateurs de biomasse en protéine alimentaire. En ce domaine ils sont irremplaçables. Par contre, pour fournir de l'énergie mécanique, leur emploi est très contraignant et donc le tracteur, avec les progrès de la fermentation de la biomasse de la campagne, est une solution plus efficace en termes d'énergie.

Après la biomasse venons-en maintenant à la **captation directe du rayonnement solaire**. L'énergie directe reçue à la surface de la Terre est, rappelons-le, plus de mille fois celle qui est capitalisée par la biomasse.

L'énergie solaire peut être collectée, avec un excellent rendement, par des **panneaux-radiateurs** produisant l'eau chaude domestique mise en réserve dans un ballon isolé permettant la consommation en dehors des heures ensoleillées. Il suffit d'un m² par personne.



De nombreux pays voient les toits des habitations surmontés de tels chauffe-eau solaires. L'investissement est vite amorti et l'eau chaude produite est gratuite sans aucune pollution. Le chauffage solaire des habitations est plus difficile. En effet il faut de l'ordre d'un mètre carré de panneau par mètre carré habitable et le chauffage disponible suit le cycle du Soleil. C'est d'ailleurs au moment où l'on en a le plus besoin que le soleil est le moins efficace: l'hiver et la nuit. L'intérêt de la maison dite "solaire" réside surtout dans la parfaite isolation proposée qui réduit à très peu l'énergie nécessaire pour la climatiser, quelle que soit l'origine de cette énergie. Quant aux centrales thermiques solaires elles sont encore du domaine du rêve.

L'énergie solaire peut aussi être collectée par des panneaux dits **voltaïques** fournissant de l'énergie électrique. Mais, en l'absence d'accumulateurs de forte capacité, étant soumis au cycle jour-nuit, ils ne sont raisonnablement utilisables que pour des besoins ponctuels limités, comme, par exemple, un phare ou un relais hertzien en utilisant des batteries-tampons. Si les panneaux voltaïques envahissent les toits, c'est grâce au prix de rachat du KWh par EDF: 60 c. d'euros pour 40 c. : c'est une vraie rente de situation pour ceux qui ont pu faire l'investissement ! Par ailleurs pour égaler une tranche nucléaire de 1500 MW il faudrait une superficie de 11 000 hectares, soit un carré de 11 km de côté. Vous pouvez voir, entre Rians et Saint-Maximin, au bord du canal de Provence, le premier « champ » de panneau photovoltaïque de France.

Le Soleil génère l'évaporation, qui génère les précipitations et donc les fleuves qui nous mènent aux **centrales hydrauliques**. Elles fournissent une énergie totalement "durable" et peu chère malgré le coût d'entretien des barrages, qui n'est pas négligeable.

Les plus intéressantes sont les centrales de haute-chute (faible débit, forte pression): elles permettent de gommer les brusques appels de puissance. Dans certains cas, on y pratique le pompage inverse permettant d'accumuler de l'énergie « heures creuses ». C'est ce que l'on fait au barrage franco-suisse d'Emosson et à Grandmaison, dans l'Isère, où l'eau se promène entre le barrage haut et le barrage bas en fonction du besoin. Malheureusement les sites susceptibles d'être équipés le sont quasiment tous. Les rares endroits encore possibles sont défendus par les écologistes et il est bien difficile de les convaincre. L'hydraulique fournit à peu près 2 % de notre énergie.

Centrales thalassothermiques (ETM : énergie thermique des mers). Le Soleil chauffe les océans entraînant dans les régions tropicales une différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes de plus de 20° C. Avec cette faible différence, l'énergie est difficile à récupérer, mais elle est disponible en continu, la mer servant d'accumulateur de l'énergie thermique. Un avant-projet développé par la DCNS doit être présenté cette année pour le développement d'un prototype d'usine ETM à la Réunion.

Eolien. Petites-filles des éoliennes agricoles qui pompaient l'eau de la nappe phréatique à Sainte-Musse ou dans la plaine d'Ollioules, les éoliennes modernes s'élèvent en de nombreux endroits, profitant de subventions afin de respecter les pourcentages européens de production d'énergie "propre". Le KWh éolien est acheté 8 centimes d'euros alors que le même KWh d'origine nucléaire revient à moins de 3 centimes. Mais une éolienne ne tourne à puissance nominale que 20% du temps et d'une manière générale pas aux moments où est consommé le plus d'énergie électrique. Sans possibilité de conservation de l'énergie les éoliennes ne peuvent qu'apporter une faible contribution à la facture énergétique.

Si l'on compare l'éolien au nucléaire, en équivalence de puissance et en tenant compte du taux de disponibilité, il faut aligner 2 500 éoliennes pour égaler une tranche nucléaire. En espaçant ces éoliennes de 200 m, cela ferait un alignement de 500 km ! Je ne peux m'empêcher de vous présenter cette citation d'un connaisseur, Marcel Boiteux, ancien président d'EDF: « Dans l'éolien, ce qu'il y a de plus renouvelable, ce sont les subventions ».

Au bilan, que peut nous apporter directement ce bon Soleil, source durable qui renouvelle à cycle court le CO2 entre-autres par la fonction chlorophyllienne ? Le bois, bien sûr, bel avenir ; l'eau chaude sanitaire par les panneaux sur les toits ; l'hydraulique, en particulier les barrages de haute chute dont l'apport instantané est irremplaçable. Mais reste-t-il encore des endroits susceptibles d'être équipés même sans tenir compte des mouvements de défense de la truite arc-en-ciel ou de la grenouille ?

L'énergie thermique des mers doit faire ses preuves. On saura bientôt si nos ultramarins pourront tirer des océans leur énergie. Quant aux éoliennes leur production fantasque les rend surtout aptes à équilibrer notre bilan écologique !

Le tellurique

Que peut nous offrir notre bonne Terre comme source d'énergie? L'interaction des astres proches (Lune et Soleil) engendre des fluctuations de gravité créant de gigantesques mouvements de masse d'eau des océans, des courants marins et les marées. Les perturbations atmosphériques agitent la surface des mers et l'on peut aussi récupérer l'énergie des vagues. Enfin plus on s'enfonce en son sein plus la température s'élève. Notons que l'énergie issue du tellurique est par nature non génératrice d'effet de serre.

Les marées. L'usine marémotrice de la Rance fonctionne depuis 40 ans. Elle produit 0,15 % de la consommation électrique française, mais aux moments décidés par la seule errance des astres. Cette énergie n'est pas totalement gratuite, l'entretien des turbines étant particulièrement onéreux. Propre et inépuisable, cette énergie n'est exploitable qu'en de rares endroits. En France seul le site de la Rance est raisonnablement exploitable. Les emplacements possibles au monde sont très peu nombreux. Les Canadiens pourraient peut-être exploiter la baie de Fundy où les marées atteignent 18 mètres.

Le barrage de la Rance sert par moment d'accumulateur d'énergie. Si la marée haute a lieu en heures creuses on l'accroît en pompant la mer vers l'amont. On turbine ensuite cette eau à marée basse avec un fort dénivelé, obtenant ainsi un rendement de 3 ou 4.

On peut profiter des **courants marins**. La première turbine sous-marine en France a été immergée en mars 2008. Ce prototype repose à 19 m de profondeur dans l'estuaire de l'Odet, une rivière du sud du Finistère. Les défenseurs du projet prétendent que le potentiel des courants marins en France représente 2 à 3% de la production française. Mais cette production est à la merci des astres qui ne se préoccupent pas des heures de pointe ni du climat, et presque un tiers du temps (renverse de marée), on ne produit rien. Comment mettre en conserve l'énergie produite ? A part quelques utilisations très ponctuelles, les hydroliennes n'ont pas leur place dans un plan national de gestion de l'énergie.

La houle. Son seul intérêt, en tant que source d'énergie, est qu'elle est gratuite et non polluante, lorsqu'il y a de la houle ! Mais pour l'instant, de toute façon, son prix est un obstacle, l'énergie houlomotrice reviendrait 10 à 30 fois plus chère que les énergies thermiques. Là encore, à part quelques réalisations très ponctuelles, les centrales houlomotrices n'ont pas leur place dans un plan national de gestion de l'énergie.

La géothermie. La température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre en moyenne de 3°C par 100 m. L'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères (poche souterraine renfermant de l'eau ou de la vapeur d'eau). La géothermie est une énergie fiable et stable dans le temps. Il existe en France 60 installations dont 41 dans le bassin parisien, 15 en Aquitaine et quelques-unes en Alsace. En assurant le chauffage de 20 000 logements, elles permettent une économie de 170 000 TEP/an, c'est-à-dire 1 pour mille de la consommation énergétique française. En France l'apport de la géothermie, sans être négligeable, restera toujours confidentiel.

Je n'ai pas parlé des pompes à chaleur individuelles permettant de récupérer les calories du sous-sol proche dans votre jardin. Plaisant dans son principe ce mode de chauffage restera probablement anecdotique.

Au bilan l'énergie que notre bonne Terre nous dispense généreusement, sans être négligeable, restera toujours confidentielle, usine marémotrice et géothermie ne dépassant pas 1% de notre consommation.

Nucléaire civil

Je préfère le nommer "nucléaire industriel". En manipulant l'atome, l'homme a changé de dimension son approche de l'énergie. Avant l'ère industrielle, il n'avait que sa propre force, aidé par quelques animaux. Puis au XVIII^{ème} siècle, le cheval est devenu vapeur et l'homme a multiplié sa puissance. Enfin au XX^{ème} siècle, en cassant les atomes puis en les fusionnant, l'homme a, si j'ose dire, vu sa puissance exploser. Mais tout n'est pas simple dans le domaine du nucléaire.



Que de bêtises sont dites en son nom ou pour le moins que d'affirmations partisans ! Soyons clair, le cœur d'une centrale nucléaire ne peut pas donner lieu à une explosion atomique. Tchernobyl est une explosion d'hydrogène consécutive à une forte élévation de température dans le réacteur. Nous allons donc parler de fission et de fusion qui sont, dans leur maîtrise, fondamentalement différentes :

- la *fission* peut être explosive ou contrôlée. Elle est contrôlée dans les réacteurs et dans ce cas la température est maintenue à quelques centaines de degrés ;

- la *fusion*, quant à elle, est de nature explosive puisque la réaction ne se produit qu'à quelques millions de degrés. ITER a pour but de vérifier que l'on peut maîtriser en continu cette explosion dans une enceinte fermée et en retirer l'énergie libérée.

La **fission nucléaire**, c'est-à-dire la cassure d'un atome lourd, uranium ou plutonium, s'effectue avec un dégagement d'énergie généré par une perte de masse. Merci Monsieur Einstein ! Concrètement, cette réaction n'est facilement réalisable qu'avec de l'uranium dit 235 ou avec du plutonium. Avec 1 tonne de minerai d'uranium, on obtient 1 kg d'uranium dont 7 grammes

d'uranium 235 qui libèrent une énergie équivalent à 10 tonnes de pétrole. Les 99% d'uranium 235 restant ne sont pas fissiles mais, par contre, bombardés au sein d'un réacteur par les neutrons, ils se transforment en plutonium. C'est ce que l'on favorise dans les réacteurs dits "surrégénérateurs Phénix", ou ce que l'on appelle maintenant diplomatiquement de 4^{ème} génération. Avec les surrégénérateurs on devrait arriver à l'équivalent de 1 000 tonnes de pétrole pour une tonne de minerai.

Voyons les contraintes que présente le nucléaire:

- d'abord le principe de précaution qui impose d'installer les centrales loin des zones de forte densité humaine ;
- les centrales nucléaires manquent totalement de souplesse de fonctionnement : il faut une dizaine d'heures pour les démarrer ;
- elles nécessitent des débits importants d'eau de refroidissement ; elles doivent être installées au bord de grands fleuves ayant un débit suffisant même à l'étiage ou au bord de la mer ;
- elles n'émettent pas de sous-produits à effet de serre mais contribuent au réchauffement local. En effet, les deux tiers de la chaleur produite par le réacteur part non pas en fumée mais en vapeur d'eau dans l'atmosphère, panaches blancs que l'on voit aux sommets des grands diabolos ;
- les réserves d'uranium sont de l'ordre de 3 siècles ou 30 000 ans si surrégénération ;
- enfin, en ce qui concerne les déchets à très longue vie, on a du mal à envisager leur conservation à risque nul. La mise au point des surrégénérateurs pourrait permettre de simplifier le problème. On pourrait y incinérer, si j'ose dire, les déchets hautement radioactifs.

Rappelons, enfin, que les deux-tiers de l'énergie dégagée part dans la nature, la production passant par un cycle thermique. Merci, Carnot. Il y a là un gâchis irritant dont nous parlerons dans un instant.

La **fusion** (c'est-à-dire le projet ITER) est le rêve de l'humanité ! Nous avons vu qu'avec 1kg d'uranium on libère une énergie équivalent à celle de 10 TEP. Pour obtenir la même énergie, il suffit de fusionner 1g d'un mélange deutérium-tritium, isotopes de l'hydrogène. La réaction de fusion ne libère pas ou très peu de résidus radioactifs. Malheureusement, cette réaction ne peut se développer qu'à des températures de plus de cent millions de degrés, ce qui rend son confinement particulièrement délicat ainsi que la récupération de l'énergie. Il est peu probable que quiconque parmi nous voie fonctionner une telle centrale à fusion, si tant est que l'homme arrive un jour à dominer cette énergie des dieux !

Pour l'instant une installation internationale de validation du principe est en cours de construction à Cadarache et dans quelques dizaines d'année on saura si le rêve peut, un jour, devenir réalité.

Au bilan, le nucléaire concourt déjà largement à satisfaire notre boulimie énergétique avec le coût de production le plus faible: 3 centimes d'euro le KWh. Mais pour disposer d'une espérance de vie un peu durable, de l'ordre du millénaire, il faut développer les réacteurs surrégénérateurs, ce qui pourrait en plus permettre de résoudre en partie le problème des déchets.

Avant de voir les axes d'effort pour ne plus dilapider la ressource par nature limitée, évoquons ce qui n'est qu'une technique qui permet, en jouant avec M. Carnot, de limiter le mauvais rendement du cycle thermique : je veux parler de la **cogénération**.

Cogénération: générer en commun, produire simultanément. Au lieu de rechercher le meilleur rendement pour produire de l'électricité, rendement, souvenez-vous, de l'ordre de 30%, on va au contraire diminuer le rendement en relevant la température de fin de travail de la vapeur, aux alentours de 80° et utiliser l'eau chaude ainsi récupérée pour le chauffage urbain par exemple. Au lieu d'envoyer dans l'atmosphère un panache de vapeur d'eau, ce sont des calories gratuites que l'on envoie dans des tuyaux. Au total l'énergie utile récupérée sous forme d'électricité et simultanément d'eau chaude est très nettement augmentée. Le rendement global passe de 30% à plus de 50%.

Des centrales thermiques au bois, qui alimenteraient des chauffages urbains tout en concourant à la production électrique avec des souplesses de réponse à la charge bien plus grande que celle des centrales nucléaires, sont en cours d'étude. Il existe déjà des serres chauffées par les eaux de refroidissement de centrales nucléaires et même, à proximité de la centrale de Tricastin, une ferme où une centaine de crocodiles, caïman, gavials et autres reptiles font la sieste dans une chaleur tropicale.

La cogénération représente aujourd'hui 3 à 4 % de la production d'électricité en France, ce qui est beaucoup moins qu'aux Pays-Bas (43%). Une directive de Bruxelles relative à la promotion de la cogénération prévoit d'en augmenter la part dans la production européenne d'électricité de 9 % en 1994 à 18 % cette année.

A la recherche de solutions

Nous venons donc de faire l'inventaire de toutes les sources d'énergie disponibles. Comment les utiliser pour faire face à la boulimie des Français qui veulent tous augmenter la qualité de leur vie ? N'attendez pas de moi la solution. Si elle existait et si elle était évidente, cela se saurait. Il serait présomptueux de ma part de sortir cette solution miracle de mon chapeau. Quelques pistes me semblent, néanmoins, aller dans le bon sens, ce qui ne veut pas dire qu'elles soient financièrement et surtout politiquement faciles à mettre en œuvre.

Souvenez-vous, il y a quelques semaines, on a mis en alerte rouge la Bretagne et la région niçoise. Pourquoi ? Parce que les anti-nucléaire ont, en leur temps, empêché la construction d'une centrale nucléaire à la pointe du Finistère et que les écologistes, quant à eux, s'opposent à la grande artère électrique du Verdon permettant d'assurer l'alimentation des Alpes-Maritimes. Politique et technique ne font pas forcément bon ménage. La question concrète qui se pose est : "Comment couvrir la consommation instantanée maximale d'énergie tout en assurant le train-train habituel au moindre coût, sans utiliser les produits fossiles ? "

Au moindre coût: rappelons quelques prix de production :

- nucléaire : 3 centimes le KWh ;
- fuel : 5 centimes le KWh, en fonction du prix du pétrole ;
- éolienne de 8 centimes (à terre) à 12 centimes. (offshore) ;
- photovoltaïque : racheté 60 centimes aux particuliers ; 40 centimes ?

Constatons déjà que :

- les sources sans influence sur l'atmosphère, nucléaires, hydrauliques, solaires et autres, peuvent être utilisées sans restriction dans la mesure où elles sont disponibles au moment opportun ;
- les sources à combustibles carbonés doivent voir leurs rejets compensés par un recyclage naturel équivalent ; seule la biomasse, avec l'aide du Soleil, permet ce recyclage.

Rappelons enfin l'absence de techniques industrielles rentables de conservation de l'énergie et de son transport facile. Seul le pétrole offre une solution efficace ; or il faut nous en passer au plus vite.

- Faute de pouvoir couvrir la consommation moyenne française par les ressources naturelles renouvelables, il n'y a d'autre solution dans le futur immédiat que de consolider notre parc nucléaire, en particulier pour prendre la relève du pétrole dans de nombreuses utilisations hors heures de pointe : ferroutage, recharge nocturne de batteries électriques.

- La France possède plus du quart de sa superficie en forêts, en général mal exploitées. De ce fait, le bois a, avec la cogénération, un gros potentiel. La biomasse d'une manière générale, est bien placée pour suppléer les énergies fossiles pour la production de chaleur, que ce soit domestique (chauffage) mais aussi industrielle le tout avec beaucoup de souplesse pour réagir aux à-coups de consommation.

- Les centrales hydrauliques restent indispensables, en particulier celles de haute-chute, en réserve, toujours prêtes pour gommer les variations brusques de consommation. En effet comment faire face au démarrage simultané de millions de téléviseurs au début d'un grand match de football si ce n'est par l'ouverture en quelques secondes des vannes d'une conduite forcée ? Notons que le record de consommation se produira, pas de chance, lorsqu'aucune des énergies renouvelables ne sera disponible, en soirée au cours d'une vague de froid avec des températures de moins 15°, où le vent sera nul et où la marée sera de morte-eau. Il y a quelques semaines lors des minivagues de froid que nous avons subies, toutes les éoliennes des environs de Montélimar étaient désespérément immobiles ; par contre, le panache de vapeur d'eau au-dessus de la centrale de Tricastin était impressionnant.

Avec la consolidation de la filière nucléaire et l'intensification de la filière bois on peut diminuer la part des produits fossiles dans la production de l'énergie consommée collectivement mais, je le répète, 60 % de notre consommation actuelle d'énergie est individuelle, en particulier les dépenses domestiques, de l'ordre du tiers de la consommation totale. C'est dans ce domaine qu'il faut agir en priorité et rationaliser la consommation.

Agir sur le chauffage

- La maison "en équilibre énergétique" reste un rêve mais grâce à l'isolation des locaux on peut diviser par 2 ou 3 le bilan chauffage. Le retour sur investissement est rapide et le gain définitif.

- Il faut développer les chauffages urbains alimentés par des centrales à cogénération. Le chauffage urbain parisien à partir de l'incinération des ordures existe depuis fort longtemps !

Reste le **transport individuel urbain actuel** : c'est une aberration en matière d'énergies fossiles. Les transports en commun doivent être améliorés pour permettre au plus vite de sillonner les villes. Ces transports devraient être non-payants. Ils sont déjà en général aux deux-tiers subventionnés. Versons tout ou partie de la TIPP au développement des transports en commun : voilà une taxe carbone efficace ! Pourquoi avoir supprimé nos trolleybus des années 1950-60 ? Seuls devraient être autorisés des véhicules à propulsion électrique, les voitures individuelles se rechargeant la nuit, au moment où l'on dispose d'électricité surabondante grâce au nucléaire.

- Pour les déplacements sur de grandes distances, pourquoi ne pas développer des TGV style tunnel sous la Manche, où les passagers assis dans leur voiture se déplaceraient en toute sécurité avec une dépense énergétique 10 fois plus faible que sur autoroute et de plus électrique ? Depuis 50 ans on traverse les Alpes entre l'Italie et la Suisse de cette façon par le tunnel du Simplon. N'ayant plus à effectuer de grands itinéraires en propulsion autonome, les véhicules individuels pourraient n'avoir qu'une autonomie faible, compatible avec les batteries.

- Le solaire a un bel avenir mais doit attendre la mise au point de techniques industrielles de conservation de l'énergie pour prendre une part significative dans le bilan énergétique global. Mais, sans attendre, la production d'eau chaude domestique et industrielle par panneau solaire doit devenir la règle. Par contre, racheter aujourd'hui à un prix ahurissant une électricité d'origine voltaïque ne présente comme seul intérêt que d'honorer les quotas d'énergies renouvelables demandés par Bruxelles.

- La fermentation de la biomasse pourra peut-être un jour fournir des produits de remplacement du pétrole et du gaz en quantité non négligeable, mais il est un peu tôt pour affirmer avec certitude que les cultures d'algues ou l'utilisation de champignons fourniront du bioéthanol en quantités significatives au niveau national.

Ces mesures sont loin d'être négligeables mais ne permettent pas, à court terme, d'assurer une totale indépendance au niveau français en se passant du pétrole. Mais elles sont toutes d'application nationale, donc économiquement très positives. A long terme, on ne peut qu'espérer dans le progrès technique pour aboutir à une situation durable.

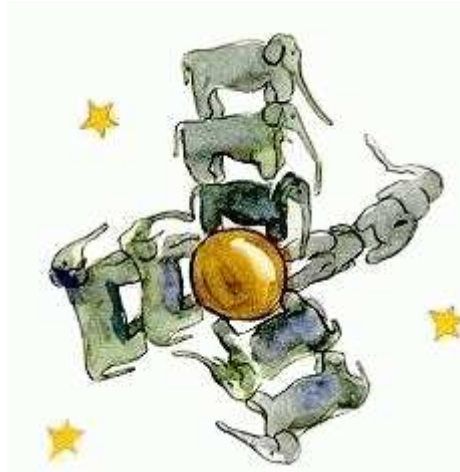
Pour l'instant les seules mesures qui nous sont proposées sont des économies de bout de chandelles, par exemple les ampoules basse-énergie : j'ai comparé mes dépenses de chauffage (au gaz) et d'électricité. Annuellement 6 fois plus de gaz que d'électricité, sachant que mon eau chaude sanitaire est électrique. Ce n'est pas avec quelques diodes électroluminescentes que l'on va résoudre le problème !

Très égocentrique je n'ai pour l'instant parlé que de la France. Allons plus loin. Soyons fous et considérons la Terre dans son ensemble et l'humanité dans sa totalité. Au nom de quoi interdirions-nous aux 80% des hommes qui vivent encore peu ou prou en autarcie rurale, comment interdirions-nous à ces presque 5 milliards d'hommes de dépenser individuellement autant d'énergie que nous ? Même si notre consommation future individuelle est divisée par deux, ce qui serait énorme, l'accession de 5 fois plus d'hommes au même "bien-être" entraînera quand même une belle augmentation.

Alors philosophons un peu. L'énergie de la vie est fournie par la réaction de carburants, des molécules carbonées, avec la vraie force vive qu'est l'oxygène. Au carbonifère, il y a 350 millions d'années, les forêts ont absorbé le gaz carbonique de l'atmosphère et, grâce à la photosynthèse, ont pu mettre l'énergie solaire en conserve sous forme de carburants potentiels. Ce carbone thésaurisé par les forêts a, entre-autres, donné le charbon. Simultanément, l'enrichissement en oxygène de l'atmosphère a rendu la vie plus riche et plus dynamique. Enfin, au fil des temps, les déchets de la vie ont enrichi la biosphère en accumulant du terreau et du pétrole.

Nos activités actuelles consistent à privilégier le phénomène inverse. Nous recombinaisons le carbone et l'oxygène. Et, summum, nous envisageons d'enfouir le résultat, c'est-à-dire le gaz carbonique dans les puits de pétrole. En réalité, en consommant sans mesure les énergies, c'est la vie future que l'on enterre. Que va laisser l'homme en héritage ? Un monde appauvri qu'un nouveau carbonifère ne pourrait plus enrichir, le Soleil ne pouvant ressusciter ce qui aura été enterré ! J'exagère : avant d'enfouir tout le gaz carbonique il y a de quoi faire ! Mais il nous faut revenir au moins à l'équilibre c'est-à-dire ne pas stériliser plus que ce que le Soleil revitalise.

L'impasse dans laquelle nous nous enfonçons est due à la conjonction de deux contraintes : l'accroissement de la consommation individuelle liée à l'aspiration au "bien-être" (en France, consommation électrique individuelle multipliée par 6 en 40 ans), et l'envolée de la population mondiale : 700 millions en 1750, 9 milliards bientôt.



De Cro-Magnon vivant de cueillette non destructrice de la nature au désert vivant des mégapoles actuelles, ce n'est même plus un changement de niveau, c'est un cataclysme.

J'entends déjà la réaction de certains: « Les pessimistes n'ont cessé au cours de l'Histoire de prédire la destruction de l'homme par lui-même. On a envisagé d'interdire au Moyen Âge les arbalètes qui sonnaient la mort de l'humanité. L'explosion de la circulation des calèches et diligences au XIX^{ème} siècle allait submerger Paris sous le crottin. L'homme a toujours su réagir et trouver une solution technique... ». C'est vrai, mais le drame est que maintenant le problème n'est plus technique mais biologique. Avant même d'agir avec sa pensée et son intelligence, l'homme est un animal, élément vivant de la biosphère. Sans consommation d'énergie la vie n'existe pas. Mais chaque élément ne peut survivre que dans une niche écologique en symbiose avec les autres vies qui l'entourent. Chaque poussière de vie se nourrit d'autres poussières et *in fine* termine en poussière. Toutes ces vibrations de vie doivent s'accorder, chaque note ne devant pas occulter les autres. L'homme a depuis peu rendu son solo assourdissant, écrasant l'harmonie de la biosphère. La vie émergente a, au fil des millions d'années, joué l'ouverture d'un opéra dont le soliste attendu semblait être l'homme. Quelle œuvre merveilleuse ! Mais l'homme pousse tellement sa voix que l'orchestre est en train de se taire et de plier bagages.

Trêve d'images. La croissance perpétuelle du nombre d'êtres humains et de leur consommation d'énergie mène à une situation absurde. Tout ce qui nous est proposé est de gagner quelques décennies, voire quelques siècles. Mais l'harmonie de la vie sur Terre s'est construite en milliers ou plutôt en millions d'années. Non, on ne peut pas dire que le développement énergétique du genre humain soit durable. Mais peut-on faire autrement que cette quête du Graal ? La réponse n'est pas technique, elle est philosophique et même eschatologique.

Je laisse à d'autres plus éclairés que moi en ces domaines de tenter de vous apporter la réponse.