

Séance du 19 décembre 2011

**Climat et énergies
Essai de mises au point**

par Guy PUECH

MOTS-CLÉS

Climat - Energies - Gaz carbonique - Environnement.

RÉSUMÉ

Notre civilisation est basée, à près de 90%, sur l'utilisation des combustibles fossiles. Mais leur épuisement se situera entre un demi-siècle pour le pétrole et deux siècles pour le charbon, et leur utilisation massive rejette dans l'atmosphère du gaz carbonique, gaz à effet de serre, responsable d'une légère augmentation de la température moyenne du globe, de l'ordre de un degré Celsius depuis un siècle. Par quoi remplacer ces combustibles fossiles de plus en plus coûteux et polluants ? Les énergies renouvelables ne répondent que très partiellement à la demande accrue d'énergie, et le nucléaire actuel présente des inconvénients majeurs. Il faut donc intensifier les recherches dans tous les domaines énergétiques, dans la photosynthèse artificielle, et surtout dans le nucléaire futur : réacteurs de fission à neutrons rapides et réacteurs de fusion (malgré les incertitudes sur leur fiabilité).

Kyoto, Marrakech, Bali, Rio, Copenhague, Paris avec le Grenelle de l'environnement, Durban, les grandes réunions sur le climat se suivent avec peu de résultats pratiques, mais avec leur cortège de déferlements médiatiques. Et la multiplicité de l'information, avec son lot de non-dits, rend difficile l'objectivité des connaissances. L'information diffusée par les médias ne peut être vraiment objective et complète : manque de formation scientifique des journalistes, recherche du sensationnel, et, il faut bien le reconnaître, pression de lobbies industriels et politiques, car le sujet est souvent devenu politisé et passionnel. Raison de plus, me semble-t-il pour essayer d'y voir clair, en restant le plus objectif possible, sur ces problèmes essentiels pour l'avenir de l'humanité.

Mais la tâche est lourde.

Il y a d'abord beaucoup d'incertitudes, et je n'ai pas la prétention d'être un spécialiste pour tous les problèmes que je vais évoquer. Je me suis référé à des documents dignes de foi et surtout aux "Libres points de vue d'Académiciens sur l'environnement et le développement durable" publiés le 25 novembre 2009 par l'Académie des Sciences et consultables sur son site internet. Je citerai au fur et à mesure les auteurs.

Il est d'autre part difficile de vouloir traiter en une petite heure de tels problèmes ; il faut éliminer des paramètres, simplifier et résumer, au risque d'être incomplet et superficiel.

Commençons par les **problèmes climatiques**.

Ils sont d'une extrême complexité, car le climat est sous la dépendance de **multiples facteurs connus ou mal connus** (Jean Dercourt) :

- la plupart naturels :
 - variations de l'énergie solaire,
 - rythmes astronomiques,
 - dynamique des océans,
 - variation des nuages liée au cycle de l'eau,
 - rayons cosmiques,
 - éruptions volcaniques, etc,
- d'autres facteurs, dont la dynamique de l'atmosphère, dépendant partiellement des activités humaines par l'effet de serre.

L'action de chacun de ces facteurs, qui sont interdépendants, est loin d'être parfaitement connue. La crédibilité des modèles mathématiques successifs élaborés pour rendre compte des changements climatiques, et pour les prévoir, reste donc discutable ; elle est fonction des données introduites (en manque-t-il ?), et de leur pondération. Le système climatique est un système non linéaire ; les équations obtenues sont d'une infinie complexité (Roger Temam).

Nous sommes en présence d'un système binaire avec un élément producteur d'énergie, le soleil, et un élément récepteur d'énergie, notre planète.

Quelles sont les questions qui se posent ?

1. A la base, les variations éventuelles de production d'énergie par le soleil et les variations des positions respectives du soleil et de la terre, éléments incontournables et à l'évolution extrêmement lente, responsables des grandes variations climatiques au cours des millénaires qui nous ont précédé ; et probablement, de nos jours, d'une très légère augmentation de la température moyenne.

2. Et, à la réception, l'influence de l'atmosphère terrestre, actuellement sous l'influence des activités humaines.

Les éruptions volcaniques sont, elles, brusques et imprévisibles. Leur influence peut être significative, mais elle reste limitée dans le temps. L'éruption du mont Pinatubo en 1991 a entraîné, par l'effet des poussières produites, un refroidissement de 0,5° Celsius qui s'est fait sentir pendant 1 à 2 ans.

Quatre cycles climatiques, dus aux variations de l'énergie solaire, et surtout aux variations des positions respectives soleil - terre, se sont succédés au cours des derniers 400 000 ans (Jean Dercourt) : cycles glaciaires – interglaciaires, de période 100 000 ans, avec une amplitude de température de l'ordre de 6 ° Celsius (c'est énorme). Depuis quelques 25 000 ans nous sommes dans une période interglaciaire, donc chaude. Mais on a constaté des pseudo - périodes de l'ordre de quelques siècles :

- période froide au tout début du Moyen-Age,
- période chaude du XII^e au XIV^e siècle ; c'était l'optimum climatique médiéval pendant lequel le Groenland était la terre verte,
- petit âge glaciaire, du XVI^e au XVIII^e siècle : les petits bonshommes de Bruegel patinaient sur les canaux gelés des Pays-Bas, et le vin gelait en carafe à Versailles (il ne devait pas être très alcoolisé),
- depuis le début du XIX^e siècle la température remonte, rythmée par de légères variations sinusoidales de l'ordre de 30 ans qui seraient dues aux variations des taches solaires.

De 1906 à 2005, en un siècle, la température moyenne du globe (paramètre représentatif du climat, qui paraît simple, mais qui ne l'est pas du tout) aurait augmenté de $0,74^{\circ}$ Celsius \pm $0,18^{\circ}$ (Claude Lorius et Jean Jouzel). Aujourd'hui elle augmenterait de $0,15^{\circ}$ Celsius par décennie (Michel Petit), ce qui est significatif. On constate que ce réchauffement est beaucoup plus marqué dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud, plus marqué aux latitudes polaires, ce qui est plutôt bénéfique, qu'aux latitudes équatoriales où il pourrait être catastrophique.

Selon Vincent Courtillot, qui se base sur les températures moyennes globales de la basse atmosphère évaluées de 1850 à 2007 par le Hadley Research Center de Grande-Bretagne, la température moyenne aurait augmenté de 1910 à 1930, diminué de 1940 à 1978, augmenté de 1978 à 1998, et descendrait légèrement depuis. Mojiv Latif, membre du GIEC (Groupement International pour l'Etude du Climat), qui dirige à Kiel une équipe de modélisateurs, le confirme en ces termes en octobre 2009 : *“Les observations ne correspondent pas aux modèles... ; d'après mon nouveau modèle, le globe va se refroidir pendant 20 ou 30 ans”*, ce qui rejoint également les prévisions d'un groupe d'astronomes hollandais (C. de Jager, S. Duhan) spécialistes des cycles solaires.

Mais ces variations mineures s'inscrivent dans le cadre général d'une légère remontée des températures.

Au cours du dernier maximum glaciaire, le niveau de la mer était 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui. La mer s'est stabilisée il y a environ 3000 ans. Elle a commencé à remonter au cours du XX^e siècle sous l'effet de la dilatation thermique des océans, de la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires ; cette augmentation atteint aujourd'hui 3,5 mm/an (Anny Casenave). Mais n'oublions pas le phénomène parallèle de l'enfoncement des sols par surcharge des sédiments accumulés dans les deltas (Camargue, et surtout delta du Gange).

Les variations passées, sous l'influence des seuls phénomènes naturels, ont été relativement lentes ; elles n'ont rien de dramatique à notre échelle humaine.

Il nous faut maintenant poser la question essentielle : quel est le **rôle de l'atmosphère** terrestre, l'élément déterminant, qui est partiellement sous l'influence des activités humaines ?

Le rayonnement solaire, essentiellement dans le spectre visible, traverse l'atmosphère; il est absorbé par la Terre qui se réchauffe et qui, de ce fait, émet un rayonnement thermique infrarouge. Ce rayonnement infrarouge est partiellement absorbé par certains gaz de l'atmosphère ; il est donc réémis, partie vers l'espace (de l'ordre de 60%), partie vers la terre qu'il réchauffe (de l'ordre de 40%). C'est l'**effet de serre**. (Hervé Le Treut).

Les gaz à effet de serre, brassés par les vents, ont une répartition assez régulière sur la surface de la planète. Leur action conditionne la vie : sans effet de serre la température moyenne à la surface de la terre, qui est actuellement de 15° C, ne serait que de -18° C avec d'énormes variations entre le jour et la nuit ; la vie serait impossible.

Rappelons que l'atmosphère est constituée à 78% par de l'azote et à 21% par de l'oxygène.

Les gaz à effet de serre sont, dans la troposphère, (selon Wikipédia) :

- la vapeur d'eau 0,3 % de l'atmosphère
- le gaz carbonique CO² 0,0387 % de l'atmosphère
- le méthane 1,7 ppm (partie par million)
- le protoxyde d'azote N²O 0,311 ppm
- les fréons 0,71 ppb (partie par billion)

L'effet de serre est sous la dépendance quasi exclusive de la vapeur d'eau et du CO². Nous ne parlerons que de ces deux gaz, puisque la concentration des autres gaz est extrêmement faible (de l'ordre de mille à 1 million de fois moins forte que celle de l'eau).

Le principal gaz à effet de serre est de très loin la **vapeur d'eau** dont la concentration dans l'atmosphère est pratiquement constante, et non influencée par les activités humaines; ses variations sont sans importance car son temps de recyclage est de l'ordre de 1 à 2 semaines, et le brassage par les vents est permanent. Mais déterminer un pourcentage moyen de concentration de la vapeur d'eau à l'échelle du globe n'est pas une mince affaire. Les chiffres divergent énormément selon les auteurs ; celui de 0,3 % que j'ai cité selon Wikipédia est situé au bas de l'échelle des valeurs. Sur ces bases, la concentration de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est pratiquement 10 fois plus forte que celle du CO².

De plus l'eau se trouve également dans l'atmosphère sous forme de nuages, ensemble de particules d'eau très fines, liquides ou solides, en suspension. Quelle est l'influence des nuages, parallèlement à l'effet de serre ? Pour Jean-Pierre Chalon, dans son ouvrage de 2002 sur les nuages, "*l'impact global des nuages sur le bilan radiatif de la planète est 40 fois supérieur à celui attribué aux variations des teneurs des gaz à effet de serre, enregistrées au cours des dix dernières années*". L'action des nuages sur l'effet de serre est généralement ignorée ou marginalisée à cause des incertitudes qui règnent en ce domaine ; c'est pourtant, selon Hervé Le Treut, "*le plus important des facteurs d'incertitude sur l'évolution future des climats* ».

Qu'en est-il du deuxième principal intervenant dans l'effet de serre, le CO² ?

Nous constatons deux choses :

- que sa durée de vie est longue : plus de la moitié du CO² émis dans l'atmosphère s'y retrouve encore 100 ans plus tard,
- que sa concentration dans l'atmosphère a augmenté de l'ordre de 40 % depuis le début de l'ère industrielle, ce qui est très significatif, passant de 2 000 milliards de tonnes à 2 800 milliards de tonnes (Anny Casenave). Il ne représente toujours que 0,0387 % de l'atmosphère.

Seule la moitié du CO_2 dégagé par l'activité humaine se retrouve dans l'atmosphère. On estime que la moitié restante est absorbée par les plantes vertes (la photosynthèse) et par les océans. Mais la capacité d'absorption par les océans baissera avec la montée des températures ; il risque même d'y avoir alors des phénomènes de rétroaction, l'augmentation des températures provoquant par dégazage l'augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère.

Le problème posé est celui des conséquences de l'effet de serre **additionnel** provoqué par les activités humaines (Michel Petit).

Les médias ne parlent que du CO_2 , mais il faut le situer par rapport à la vapeur d'eau : quelles sont les parts relatives, dans l'effet de serre, de l'action du CO_2 et de l'action de l'eau (vapeur et nuages) ? Les réponses sont rares, discordantes et souvent évatives, étant donné l'indétermination de l'action des nuages.

Il est également regrettable que la plupart des auteurs se contentent de comparer les concentrations des gaz à effet de serre, en négligeant leurs capacités respectives d'absorption des infra rouges. Suivant les sources, on trouve une contribution de l'eau à l'effet de serre variant de 50 à 95 %, ce dernier chiffre paraissant le plus proche de la réalité, étant donné que le pouvoir d'absorption des infra rouges par la vapeur d'eau est nettement plus élevé que celui du CO_2 (8 fois plus selon Robert Giraudon).

Livrons nous à un calcul arithmétique élémentaire : sans parler de l'action des nuages, il y a 10 fois plus de vapeur d'eau que de CO_2 dans l'atmosphère, et le pouvoir absorbant de cette vapeur d'eau serait 8 fois plus fort que celui du CO_2 . Lorsque le CO_2 absorbe 1, la vapeur d'eau absorberait $10 \times 8 = 80$.

Le très fort pouvoir tampon de l'eau (vapeur et nuages) limite donc très fortement l'action de "forçage" du CO_2 sur la température.

Jingjing Bu et Dorothee Robert, de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (Université Joseph Fourier), concluent même en décembre 2008 : "*La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre de loin le plus important. Les rejets anthropiques de CO_2 sont donc négligeables*"...Mais méfions nous des jugements trop extrémistes !

Quoiqu'il en soit, il faut donc très tempérer, très relativiser toutes les prédictions catastrophiques, les peurs millénaristes qui ont cours aujourd'hui concernant les conséquences de l'évolution des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère. D'ailleurs, pour l'augmentation actuelle de 40 % de cette concentration, on n'a constaté depuis une centaine d'années qu'une augmentation de 0,74 ° Celsius de la température moyenne, due probablement en partie à la conjonction d'autres facteurs (variations de l'énergie solaire ?).

Dans son ouvrage "Le CO_2 mythe planétaire", Christian Gerondeau estime que l'utilisation de la totalité des énergies fossiles jusqu'à leur quasi épuisement entrainerait un doublement de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère, ce qui induirait, selon diverses sources, une augmentation de la température moyenne de 1,1° C à 2,3° C (Andréas Schmittner, Université d'Etat d'Oregon).

L'histoire de la Terre montre qu'elle est passée par des bouleversements bien plus importants et que la vie s'est adaptée.

Ceci étant, il ne faut pas jouer à l'apprenti sorcier ; toute modification significative des équilibres peut provoquer des effets imprévus, des rétroactions; on connaît mal, par exemple, les conséquences de l'acidification possible des océans due à l'augmentation de la concentration du CO². Il n'est pas impossible qu'il y ait un jour un emballement de l'effet de serre par libération du méthane du fonds des océans ou par libération des gaz à effet de serre des sols gelés de Sibérie et du Canada. Donc essayons de tempérer nos émissions de CO², et, dans la mesure du possible, de le piéger et de le stocker.

Et de façon plus générale, rappelons que les incertitudes sur les facteurs du climat et sur leurs interactions doivent nous inciter à beaucoup de modestie ; il est naïvement présomptueux de vouloir "lutter contre les changements climatiques".

Rien n'est sur en ce domaine.

A titre d'exemple, une étude parue en 2007 dans la revue "Sciences" suggère que l'augmentation de la température dans l'hémisphère Nord de 1970 à 2000 est peut-être due à l'élimination des poussières de charbon dans l'atmosphère, ce qui a facilité l'ensoleillement,...preuve supplémentaire de la multiplicité des interactions existantes.

Précisons un dernier point sur la pluviométrie : contrairement aux idées communément admises, une augmentation des températures moyennes entraîne une augmentation des pluies, puisque s'intensifie l'évaporation sur les terres et sur toutes les mers et océans. Mais la pluie ne tombe pas nécessairement là où elle est le plus utile ; les écarts entre les régions risquent même de se creuser.

Je terminerai ce chapitre sur le climat en évoquant la controverse entre les climato-sceptiques, sous la bannière de Claude Allègre, et les climatologues bien-pensants, sous la bannière du G.I.E.C. Pour arbitrer le débat, Valérie Pécresse, alors Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, a, par lettre du premier avril 2010, demandé à l'Académie des Sciences d' "*organiser...un débat scientifique approfondi...et d'établir l'état actuel des connaissances scientifiques sur le changement climatique*".

L'Académie des Sciences a répondu à cette demande par un rapport de 12 pages en date du 20 octobre 2010. Ce rapport est très prudent. Il traite longuement de l'incertitude des modèles climatiques. Il confirme la légère augmentation des températures moyennes et l'action de forçage du CO² anthropique sur cette augmentation. Il n'apporte pas d'éléments nouveaux aux "Libres points de vue d'Académiciens sur l'environnement et le développement durable", mais il a le mérite de corriger les hypothèses exagérées et catastrophiques véhiculées par les médias.

Permettez moi cependant de regretter que le rapport de l'Académie ne parle pas des poids relatifs dans l'effet de serre de l'action de l'eau (vapeur et nuages) et du forçage du CO² anthropique, poids relatifs qu'il serait nécessaire de mieux connaître.

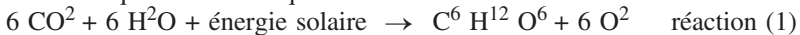
Pour nous résumer :

- les changements climatiques semblent s'être accélérés au cours des dernières décennies.

- il faut être extrêmement modeste et prudent dans notre approche de l'évolution des climats ; on est loin de tout connaître.
- c'est l'atmosphère qui commande notre climat ; l'augmentation du CO² anthropique a une action certaine sur l'augmentation moyenne des températures, mais plus faible que ne le laissent supposer les médias. Heureusement car les négociations climatiques se heurtent au manque de volonté politique des Etats ; on assiste à un retour des intérêts nationaux à court terme.

Avant d'aborder les problèmes de l'énergie, il me paraît nécessaire de dire **quelques mots sur le CO²**, le gaz carbonique, ce mal aimé des temps modernes ; car il est au cœur de tous les débats.

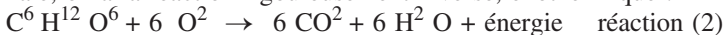
Si vous faites un sondage rue de la Loge, on vous dira que le CO² est un pollueur et qu'il est à l'origine de toutes les catastrophes que l'on nous promet. La vérité est toute autre, car sans CO² il n'y aurait pas de vie végétale, donc pas de vie animale, pas de vie humaine. Le CO² est indispensable à la vie ; c'est l'aliment de base des végétaux. Vous connaissez tous la photosynthèse ou assimilation chlorophyllienne. Cette merveille de la biochimie peut se résumer très schématiquement par la réaction chimique endothermique :



c'est-à-dire : gaz carbonique + eau + énergie solaire donnent des sucres, base de la biomasse végétale carbonée + oxygène libéré dans l'atmosphère.

Il faut évidemment quelques additifs, essentiellement de l'azote puisé par les sols dans l'atmosphère, mais aussi du phosphore, du potassium et des micro-éléments pour que les sucres produits par la photosynthèse donnent la biomasse définitive. C'est tout le problème de la richesse des sols, du cycle de l'azote, de la fertilisation éventuelle.

Et, lors de la dégradation ou lors de la combustion de toute biomasse végétale ou animale, on a la réaction rigoureusement inverse, exothermique :



c'est-à-dire: biomasse + oxygène redonnent le même gaz carbonique + de la vapeur d'eau libérés dans l'atmosphère + de l'énergie ; cette énergie, c'est la chaleur de nos feux de bois ou des diverses dégradations de la biomasse ; c'est aussi l'énergie des moteurs de nos voitures et des centrales thermiques ; c'est également l'énergie, dégagée dans nos cellules, moteur de la vie animale. Vie végétale (réaction 1, la photosynthèse) et vie animale (réaction 2, la combustion des sucres dans nos cellules) fonctionnent de façon inverse et symétrique, complémentaire ; on peut les considérer comme le recto et le verso de la Vie. La vie animale est subordonnée à la vie végétale qui l'a précédée. Ce sont des données de base qu'il ne faut pas oublier.

Voyons quelques problèmes liés au CO².

1. Forêts vierges et forêts productives.

Les forêts vierges (ou non exploitées) fonctionnent en cycle fermé ; elles ont donc un bilan nul, tant vis-à-vis du CO² que de l'oxygène, puisque le CO² initialement fixé par la photosynthèse (réaction 1) est restitué par la décomposition de la

biomasse qui retombe au sol, et que l'oxygène initialement dégagé est consommé par cette décomposition (réaction 2). On a à la fois la réaction 1 dans le feuillage et la réaction 2 au sol ; les 2 réactions s'annulent.

L'Amazonie n'a donc jamais été le "poumon de la planète". Cette formule est d'ailleurs stupide, pour ne pas dire risible, n'en déplaise aux médias, car un poumon absorbe de l'oxygène et rejette du CO².

Mais les forêts vierges ont par ailleurs une action très bénéfique sur les sols, la biodiversité et le climat.

Par contre, pour revenir au CO², les forêts aménagées, productives et régulièrement exploitées sont un puissant outil de lutte contre l'effet de serre. Les bois exploités stockent le carbone du CO² piégé dans le bois, transformé en meubles ou charpentes qui peuvent durer de quelques décennies à quelques siècles (ce n'est évidemment qu'un effet plus ou moins longtemps différé). Un m³ de bois piège une tonne de CO². Pour fixer les idées, une plantation de sapins de Douglas peut avoir une production moyenne sur sa durée de vie de 15 m³ de bois/ha/an ; elle piège donc 15 tonnes de CO²/ha/an, ce qui est loin d'être négligeable. Pourquoi les plantations de résineux ont-elles si mauvaise presse ?

2. Action du CO² sur la **production de biomasse**.

Les lois du déplacement de l'équilibre (lois de Le Chatelier), qui sont extrêmement générales, nous laissent prévoir que l'augmentation de la concentration du CO² dans l'atmosphère (+ 40 %) doit accélérer la vitesse de la réaction (1), et aboutir à une augmentation de production de toute la biomasse, végétaux terrestres, et algues et phytoplancton marin ; donc à une augmentation des productions agricoles et forestières, et à une amélioration de la chaîne alimentaire des océans, tous éléments essentiels pour combattre la faim dans le monde.

Pour situer les faits, le rendement du blé était de 10 quintaux par hectare et par an en France au début du XIX^e siècle ; il atteint aujourd'hui facilement 100 quintaux dans le bassin parisien. Mais il est impossible d'individualiser dans cette augmentation la part due au CO² de la part due à tout l'arsenal des améliorations génétiques et culturales. Par contre, dans les forêts gérées de façon totalement naturelle avec les mêmes espèces végétales et les mêmes règles sylvicoles depuis la fin du XIX^e siècle, et s'il n'y a pas de facteurs limitants, on a pu constater, aussi bien aux Etats-Unis qu'en France, des augmentations de production de 25 à 50 % (INRA, Nancy), dues uniquement aux facteurs externes : augmentation de la concentration du CO² dans l'atmosphère et légère élévation des températures. J'ai personnellement constaté que les tables de production forestière établies dans les années d'après guerre étaient aujourd'hui dépassées. C'est logique ; ce qui l'est moins, c'est que les médias ne parlent pratiquement pas de cet effet très bénéfique sur toute la production de biomasse. L'augmentation de la concentration du CO² dans l'atmosphère a suffisamment d'effets négatifs pour qu'on n'occulte pas cet effet positif.

Parlons maintenant des **énergies**.

Partons de l'existant.

Quelle est actuellement la consommation mondiale annuelle d'énergie ? Je vous cite des chiffres Wikipedia confirmés par ailleurs : 11,4, une douzaine de milliards de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole), avec une progression de 3% par an

constatée dans la décennie précédente ; en France 4 TEP par habitant et par an. Mais ce qui me paraît le plus intéressant pour nous, c'est la répartition globale entre les différents types d'énergie :

- énergies fossiles	pétrole	34%	} 87%
	charbon	29%	
	gaz	24%	
- énergies renouvelables	hydraulique	6%	} 7,04%
	éolien	1%	
	solaire	0,04%	
- énergie nucléaire		5%	5%

Selon Jean Salençon, Président honoraire de l'Académie des Sciences, la demande d'énergie devrait croître de 60% d'ici 2030, et peut-être doubler d'ici 2050, sous l'effet conjugué de la croissance de la population mondiale et de l'augmentation de la consommation énergétique par habitant.

Comment pourra-t-on y faire face dans des conditions financières acceptables et avec les risques minima pour notre planète ?

Il faut d'abord **économiser l'énergie**. La meilleure énergie, vous le savez tous, est celle que l'on ne consomme pas. Il faut éviter que nos maisons ne soient des passoires thermiques et que nos voitures consomment trop.

Passons en revue les différents types d'énergie.

Les **énergies fossiles** représentent encore près de 90% des énergies primaires commercialisées dans le monde. Elles sont en fait de l'énergie solaire transformée par photosynthèse au Carbonifère en énergie chimique contenue dans la biomasse végétale, ensuite stockée sous forme de charbon, de pétrole, de gaz.

Ces énergies fossiles ont permis le prodigieux développement de la société au cours des deux derniers siècles.

Il nous faut réduire progressivement leur utilisation car elle produit d'énormes quantités de CO² et que ces énergies sont condamnées à épuisement dans un avenir plus ou moins proche :

- 40 à 50 ans pour le pétrole conventionnel,
- 180 à 200 ans pour le charbon,
- 60 à 100 ans pour le gaz.

Elles seront donc de plus en plus chères, ce qui aidera d'ailleurs à réduire leur consommation.

Mais par quoi les remplacer ?

Les **énergies renouvelables** sont aujourd'hui à la mode, ce qui est logique : elles sont renouvelables et ne produisent pas de CO².

1. L'énergie renouvelable de très loin la plus importante est l'énergie **hydro-électrique** (6 à 7% du total). Mais sa production ne pourra qu'augmenter assez peu dans le futur, sauf dans les pays peu développés. Partout ailleurs les sites les plus favorables sont déjà équipés. L'utilisation des autres sites possibles poserait des problèmes environnementaux et humains (submersion d'habitats et de terres agricoles).

2. La **biomasse végétale** est le produit de la photosynthèse actuelle qui crée une biomasse carbonée riche en énergie. Sa combustion produit de l'énergie et du CO² (réaction 2 vue ci-dessus), mais le CO² dégagé n'est en fait que le CO² initialement stocké ; le bilan vis-à-vis du CO² est donc neutre. Et si la biomasse n'est pas utilisée, sa dégradation libre de toute façon le même CO² stocké ; donc autant utiliser la biomasse.

Je vous parlerai peu des biocarburants de première génération qui utilisent les organes de réserve des cultures, car ils seront de plus en plus en compétition avec les productions alimentaires. Leur développement est difficilement envisageable.

Les biocarburants de deuxième génération utilisent par contre des sous-produits végétaux, agricoles ou forestiers. Ils sont à l'origine de la filière gaz qui est à encourager, mais dont le développement restera limité par rapport aux besoins.

Dans la biomasse végétale une place à part est à réserver à ce qui fut la première et pratiquement seule énergie de l'humanité jusqu'au milieu du XIX^e siècle et l'est encore dans quelques civilisations ; une place à part est à réserver au **bois**, énergie verte par excellence ; elle est à développer dans les pays tempérés comme la France où la forêt a doublé de surface depuis un siècle, et reste sous-exploitée.

L'IFN (Inventaire Forestier National) estime à 100 millions de m³ de bois la production annuelle de nos forêts. 50 à 60 millions de m³ seulement sont exploités, car on manque de débouchés. Toute la production forestière (les 100 millions de m³ de l'IFN) n'est pas exploitable (il y a des forêts de haute montagne, des micro parcelles non gérées,...) Mais nous avons chez nous un gisement annuel de quelques 20 millions de m³ de bois, exploitables et non exploités. Leur exploitation produirait 6 à 7 millions de TEP. Ce serait un élément non négligeable de notre politique énergétique. Et cela redonnerait vie à nos forêts et à la France profonde, car le manque de débouchés pour les coupes d'éclaircie et d'amélioration, qui suppriment les bois présentant des défauts, handicape lourdement la gestion, la qualité future de nos forêts, et leur rentabilité.

En plus d'une meilleure utilisation du bois pour le chauffage (il sera de plus en plus compétitif), pourquoi ne pas créer, dans nos villes situées à proximité des massifs forestiers, des centrales de cogénération produisant à la fois chaleur et électricité, avec une production réglable en fonction des besoins ?

Ces problèmes ont été exposés de façon très précise dans le discours prononcé le 19 mai 2009 par le Président Sarkozy dans une scierie alsacienne ; des mesures d'accompagnement étaient prévues ; elles se mettent en place avec une sage lenteur.

3. Passons maintenant à deux sources d'énergie renouvelable, objet de bien des discussions, l'**énergie éolienne** et l'**énergie solaire**.

Je risque d'étonner ou de choquer certains d'entre vous, tant les contre-vérités abondent en ce domaine.

Restons cartésiens. Constatons que les réseaux de distribution électrique doivent être alimentés en permanence, que l'on ne sait pas stocker l'électricité, et que la caractéristique première des éoliennes, dont parlent peu leurs tenants, est d'avoir un fonctionnement intermittent, discontinu. Il y a un abîme entre la puissance nominale annoncée, qui est la puissance optimale, et l'énergie réellement produite, qui ne représente, selon les statistiques d'EDF, que 20 à 30% de la puissance

nominale. Il faut, lorsque la demande en électricité est forte, dès que le vent faiblit ou qu'il est trop fort, relayer les éoliennes par des centrales thermiques à démarrage rapide, fonctionnant aux énergies fossiles, coûteuses et génératrices de CO², pas du tout écologiques. La puissance des centrales nucléaires n'est pas assez modulable pour qu'elles puissent être utilisées en relais (Bernard Tissot).

Les éoliennes sont souvent à l'arrêt alors que les vents sont favorables, parce qu'en période de basse consommation d'électricité la production de nos centrales nucléaires est suffisante pour nos besoins ; on exporte même le surplus si la demande existe. Et, par temps très froid, le système anticyclonique ne génère pas de vent alors que la consommation électrique bat tous les records.

De plus cette énergie éolienne est très coûteuse : il faut, parallèlement aux éoliennes, construire des centrales thermiques (ou en maintenir en activité). Et les gouvernements successifs ont fixé des prix d'achat de l'électricité éolienne très incitatifs et garantis pendant 15 à 20 ans ; il en est résulté une regrettable spéculation au détriment des consommateurs que nous sommes (l'électricité éolienne terrestre est au moins 2 fois plus chère que l'électricité nucléaire, et l'électricité éolienne offshore 4 fois plus chère). Et, il faut bien le constater, l'éolien est en train de dégrader le patrimoine des paysages que nous ont laissé nos anciens et qui font le charme de la France.

Comment les choses se passent-elles autour de nous ?

Dans les pays où les centrales électriques sont en majorité thermiques, le problème est différent. Le recours à l'énergie éolienne permet d'alléger d'autant le fonctionnement des centrales thermiques, mais ce recours reste limité et coûteux.

Rémy Prud'homme, professeur à l'Université de Paris XII et à Harvard, a étudié le cas du Danemark dans un article tout récent du 24 octobre 2011. C'est le pays le plus éolien d'Europe ; son énergie est éolienne à 19%. Mais les contraintes de la gestion d'un réseau électrique avec un pourcentage important de production intermittente (problème de synchronisation des énergies), ont amené les Danois à arrêter toute nouvelle implantation d'éoliennes depuis 2004. Ils continuent à construire des éoliennes (ils ont de l'avance dans ce domaine) et les exportent en France. La Norvège voisine, riche en barrages de retenue, facilite la gestion de leur gros parc éolien. Je cite Rémy Prud'homme : *“Lorsqu'il y a trop de vent (par rapport à la demande d'électricité danoise), l'électricité éolienne danoise est vendue à la Norvège, qui l'utilise pour remplir ses barrages de retenue. Lorsqu'il n'y a pas assez de vent (toujours par rapport à la demande d'électricité), le Danemark achète, à un prix élevé, de l'électricité à la Norvège, qui la produit immédiatement en déchargeant ses barrages”*. C'est un cas particulier favorable, assez compliqué et coûteux. Toujours est-il que l'électricité danoise est deux fois et demi plus chère qu'en France et qu'elle est toujours produite à 70% par des centrales thermiques. Rémy Prud'homme conclut : *“Ceux qui veulent importer, et dépasser, le modèle danois, et qui rêvent d'une France produisant la moitié de son électricité avec des éoliennes, feraient bien de méditer les enseignements de l'expérience danoise. L'enfer aussi est pavé de bonnes intentions”*.

En Allemagne la sortie du nucléaire passe par le charbon, très polluant ; les Allemands font fi des objectifs européens qui prévoient à l'horizon 2020 une baisse de 20% des gaz à effet de serre. (N'oublions pas que, de leur côté, les Chinois construisent chaque semaine 1 à 2 centrales électriques au charbon). Les Allemands prévoient (source : le Monde du 25 octobre 2011) de développer l'éolien dans le nord du pays venté et de construire 4 500 kilomètres de lignes à haute tension pour transporter l'électricité dans le sud industrialisé. Une partie de leur fonds climat-énergie sera utilisé (au grand dam des écologistes) à subventionner de nouvelles centrales au gaz et une dizaine de centrales au charbon pour diminuer les à-coups. Et ils seront obligés d'importer davantage d'électricité.

Les Pays-Bas, troisième opérateur éolien offshore, ont décidé en mai 2011, d'arrêter, pour des raisons de coût, tout nouveau programme d'éolien offshore.

La Banque Barclays a fait réaliser en février 2011 par le cabinet Accenture une étude très complète sur la "politique climatique européenne". Elle a été chiffrée, énergie nucléaire exclue, à 2 900 milliards d'euros sur 10 ans. C'est colossal, et probablement discutable. Qu'en sera-t-il en fait, en période de crise ?

Compte tenu de tous ces éléments, le programme éolien de notre gouvernement me paraît excessif et coûteux. Il ne s'explique que par la manipulation de l'opinion publique, par médias interposés, à laquelle se sont livrés les lobbies industriels et écologiques de l'éolien. Les gouvernements, de quelque bord qu'ils soient, ont cédé à l'opinion publique, à une pensée unique manipulée

On devrait, me semble-t-il, ne développer l'éolien que de façon raisonnée et très limitée, et dans les seules zones où les nuisances environnementales restent réduites.

L'énergie solaire est surabondante et c'est, nous l'avons vu, la mère de toutes les énergies sur notre planète.

Son utilisation à des fins domestiques pour obtenir de l'eau chaude est logique et excellente : on transforme l'énergie solaire en énergie thermique, qui est stockée dans les ballons des chauffe-eau ; l'eau chaude est utilisée au fur et à mesure des besoins.

L'énergie éolienne à des fins domestiques est également une formule à développer.

Mais les programmes **photovoltaïques** actuellement mis en place pour produire de l'électricité revendue à EDF souffrent des mêmes inconvénients majeurs que l'éolien : énergie intermittente, produisant peu d'électricité l'hiver quand on en a le plus besoin ; énergie encore plus chère que l'énergie éolienne (10 fois plus chère que l'électricité nucléaire).

Ajoutons que le temps d'amortissement énergétique (temps nécessaire à une installation pour produire l'énergie qui a été utilisée à sa construction) est très élevé pour le photovoltaïque : 2 à 5 ans. Il serait de 1 à 2 ans pour les éoliennes. Ajoutons également que 90 % des panneaux photovoltaïques installés en France sont importés du Japon.

Pour les mêmes raisons que pour la filière éolienne, et en particulier à cause des problèmes de synchronisation des énergies solaires et thermiques, la filière photovoltaïque ne devrait rester que très marginale.

La technique des centrales à **concentration** est par contre nettement plus intéressante. Les rayons solaires, renvoyés par des miroirs orientables ou des surfaces cylindro-paraboliques, permettent de chauffer des fluides caloporteurs. La vapeur produite entraîne une turbine. On peut stocker dans les fluides une partie de la chaleur, ce qui permet d'augmenter la durée journalière de fonctionnement. Mais cette technique nécessite des surfaces importantes et ne peut être rentable que dans les climats très ensoleillés : sud de l'Espagne, Afrique du Nord. Et quelles seraient les pertes d'énergie dans le transport de cette électricité vers le cœur de l'Europe, qui perdrait d'ailleurs une partie de son indépendance énergétique ?

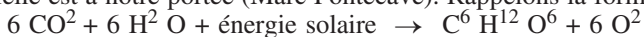
Il existe heureusement d'autres possibilités pour l'utilisation de l'énergie solaire. Elles n'en sont qu'au stade d'études, actuellement très prometteuses.

L'idée est de **transformer l'énergie solaire en énergie chimique**, stockable sous forme de carburant. Deux voies sont actuellement étudiées.

La première consiste à utiliser l'énergie solaire photovoltaïque pour fabriquer de l'**hydrogène** à partir de l'eau. Ce n'est pas encore au point, et des progrès sont à réaliser pour le conditionnement de l'hydrogène, et pour son utilisation comme carburant.

La deuxième voie paraît plus porteuse. Il s'agit (simplement) de copier la nature, de faire ce que font la plus petite pousse d'herbe, le plus petit microorganisme chlorophyllien ; il s'agit de **domestiquer la photosynthèse**.

Les progrès réalisés dans la connaissance et l'utilisation des photocatalyseurs utilisant des métaux courants, bon marché, conduisent à penser que la photosynthèse artificielle est à notre portée (Marc Fontecave). Rappelons la formule qui la résume :



De grands programmes de recherche sont en cours aux Etats-Unis et en Europe. Pourra-t-on un jour, à partir du CO_2 de l'atmosphère, et de l'eau, avec le concours de quelques ingrédients, de catalyseurs, probablement de microorganismes et d'algues, produire le carburant des transports de demain ?

On peut en rêver en espérant que les carburants fossiles nous permettront d'attendre ce jour !

Reste l'**énergie nucléaire**, à juste titre très discutée.

Posons quelques constats :

- L'énergie nucléaire est pour l'instant une énergie fossile : l'uranium, utilisé selon les techniques actuelles, aura une durée de vie qui variera, selon son utilisation, de 50 à 100 ans.
- Le nucléaire n'est pratiquement utilisé qu'en site fixe pour la production d'électricité, qui ne représente guère aujourd'hui que 30% de l'énergie totale utilisée. Le nucléaire ne représente donc qu'une solution partielle des problèmes posés, à moins que de très gros progrès ne se réalisent dans la technique des accumulateurs et que

l'électricité puisse se généraliser dans les transports terrestres. Mais n'oublions pas que la voiture électrique sera polluante tant que l'électricité restera d'origine majoritairement thermique, c'est-à-dire aujourd'hui à peu près partout sauf en France.

- Et surtout, nous ne sommes qu'aux premiers balbutiements du nucléaire. Le nucléaire actuel présente de tels défauts : risques d'emballements des réacteurs, nocivité des déchets, consommation d'uranium, qu'il ne peut être considéré que comme une solution provisoire, un mal nécessaire, dans l'attente d'autres filières nucléaires plus sûres, consommant beaucoup moins d'uranium ou utilisant la fusion nucléaire.

Il est donc urgent de réactiver l'innovation, et les études et recherches, sur le nucléaire.

En attendant l'hypothétique fusion, dont la sûreté serait totale, et la source d'énergie pratiquement illimitée, les EPR en construction (considérés comme des réacteurs de 3^e génération) auront déjà une sûreté très améliorée (facteur 10). Et les réacteurs de fission de quatrième génération à neutrons rapides permettront d'extraire 20 à 30 fois plus d'énergie de l'uranium que les réacteurs actuels ; les ressources en uranium seront alors suffisantes, et le problème des déchets sera résolu par le cycle fermé des combustibles qui permettra de retraiter les combustibles usés (Robert Guillaumon). Le retraitement des déchets actuels sera probablement possible.

Il nous faut donc attendre pour remplacer progressivement notre nucléaire actuel par le nucléaire futur. Il est irréaliste et irresponsable de vouloir sortir du nucléaire actuel avant de disposer d'une énergie de remplacement au moins équivalente en quantité d'énergie produite et en prix de revient, qui ne peut être que le nucléaire futur. Sinon, nous n'éviterons pas une accélération du réchauffement climatique par prolifération des gaz à effet de serre, ainsi qu'une accélération de l'épuisement et donc du renchérissement des énergies fossiles.

Je suis consterné de voir comment sont abordés les débats sur le nucléaire et sur les énergies renouvelables dans les campagnes électorales.

Les énergies renouvelables, même développées au maximum, resteront toujours insuffisantes. Rappelons l'origine de notre électricité en 2010 (voir vos factures EDF) : 81% nucléaire, 7,9% hydraulique, 3,4% charbon, 3% gaz, 2,8% renouvelables autres que l'hydraulique (contre 2,4 en 2009), 1,6% fioul, 0,3% autres. C'est l'énergie la plus verte d'Europe.

Mais il est évident qu'il faut imposer des normes de sécurité draconiennes au nucléaire actuel. La centrale de Fukushima, construite à tort sur un site sensible, aurait dû être mieux protégée des tsunamis connus dans la région ; l'accident a été mal géré pendant la première semaine ; il fallait immédiatement arroser la centrale d'eau de mer par bateaux pompes. Correctement gérées (c'est le cas de la France), nos centrales nucléaires ont entraîné, depuis plusieurs décennies, beaucoup moins de victimes que le gaz de ville ou les mines de charbon.

Que **conclure** de ce tour d'horizon trop rapide ?

D'abord et avant tout que l'avenir n'est pas catastrophique. Grâce au pouvoir tampon de la vapeur d'eau et des nuages, l'effet de serre additionnel dû à l'homme, au CO² anthropique, devrait rester assez limité, sauf sortie trop brutale du nucléaire actuel.

L'objectif à court et moyen terme devrait être l'intensification des recherches et la diminution progressive de l'utilisation des énergies fossiles avec une augmentation raisonnée des énergies renouvelables. A long terme on peut espérer qu'à coté des énergies renouvelables, et de quelques restes d'énergies fossiles, les deux grandes sources d'énergie soient l'énergie nucléaire future pour la production d'électricité en site fixe, et, pour les autres usages, l'hydrogène et les nouveaux carburants produits par la photosynthèse artificielle. Les émissions de CO² devraient à terme se stabiliser, puis régresser un jour.

En attendant, il nous faut maîtriser le plus rapidement possible les filières nucléaires et la photosynthèse artificielle. Les recherches dans ces deux domaines sont primordiales. L'avenir appartiendra à ceux qui en auront les premiers la maîtrise. Ne perdons pas l'avance que nous avons pour le nucléaire.

Je terminerai en m'élevant contre le pessimisme ambiant, contre la philosophie de la peur, et au fond du déclin. La maîtrise des nouvelles technologies et toutes les nécessaires adaptations de la société sont de puissants challenges. Nos petits enfants auront fort à faire. Qu'ils gardent optimisme et joie de vivre.