

# QUELLES ÉNERGIES POUR DEMAIN ?

## III- Energie nucléaire (Patrick Jourdain, ing. Alstom, Paris)

Elle n'est ni le Diable ni un Ange, méconnue dans son principe et ses risques, sa ressemblance aux centrales thermiques (photos ci-dessous) n'arrange rien, pourtant la "fumée" dans son cas n'est que de la vapeur d'eau ! Les mesures effectuées aux alentours sont rassurantes, l'émission de GES est proche de zéro, et les mesures de sécurité prises par ceux qui y travaillent n'ont pas d'équivalent dans un autre domaine, pas même l'aviation ! Reste que le stockage et retraitement des déchets (0,85 mg aujourd'hui non retraitable par kWh) et l'évacuation de l'eau chaude de refroidissement inquiètent toujours et nécessite quelques surveillances.



*L'image de Tchernobyl* telle qu'elle est toujours présentée aujourd'hui est un excellent indicateur de l'état de pensée de celui qui écoute ceux qui parlent sans savoir, ou par intérêt (on y reviendra). En effet cette centrale maudite, pauvre château de cartes, périmé et érigé à la hâte et en secret par un pouvoir totalitaire chancelant, ne peut être comparée aux réalisations très élaborées que nous avons en France, leader mondial de cette technologie.

S'il faut aujourd'hui dé-diaboliser le Nucléaire, c'est d'abord parce qu'il a toujours servi de bouc émissaire à une certaine idéologie que les Allemands eux-mêmes baptisèrent "Khmers Verts". Si l'Allemagne fut interdite de nucléaire un moment, c'est pour d'autres raisons, maintenant elle voudrait rattraper son retard. Comme on le signalait précédemment, sans le nucléaire, où serions nous sur l'échiquier européen ? De plus, arrêter le développement après tant d'années, alors que quelques tonnes de déchets attendent une nouvelle technologie pour être retraitées, et disparaître enfin de la planète, c'est faire un demi-tour sur l'autoroute. On a autorisé EDF à faire passer le "nucléaire" de 75 à 85% de la production totale contre la promesse de fermeture de centrales thermiques en nombre correspondant. Elles furent éteintes, et on les espérait enterées. Hélas elles attendent un hypothétique redémarrage "quand il n'y aura pas de vent" du côté des éoliennes... évidemment, puisque les Trusts du Pétrole veulent s'y reconverter !

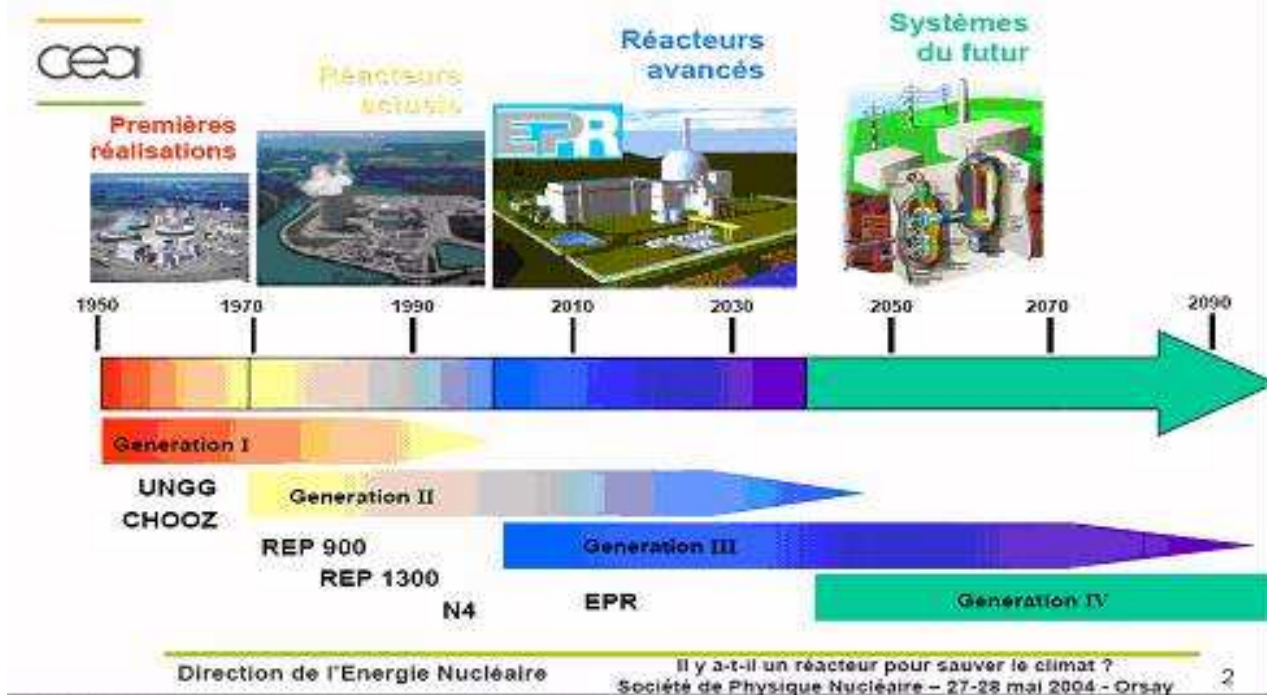
Alors 85%, ce n'est pas encore "tous les oeufs dans le même panier" et on peut s'y maintenir à condition de sécuriser la technologie, la rendre plus performante côté résidus. EDF nucléaire possède 59 unités en Métropole, bientôt 60. La technologie de quatrième génération promet une réduction notable des déchets, plus par la suite une possibilité de retraitement de déchets plus anciens.

Depuis "Zoé" il y a un demi-siècle, jusqu'au fameux projet "ITER-fusion" pour demain, l'eau aura coulé dans la rivière, mais pas de nuage pollué venant du Ciel de France : nos ingénieurs méritent bien qu'on leur rende cet hommage.

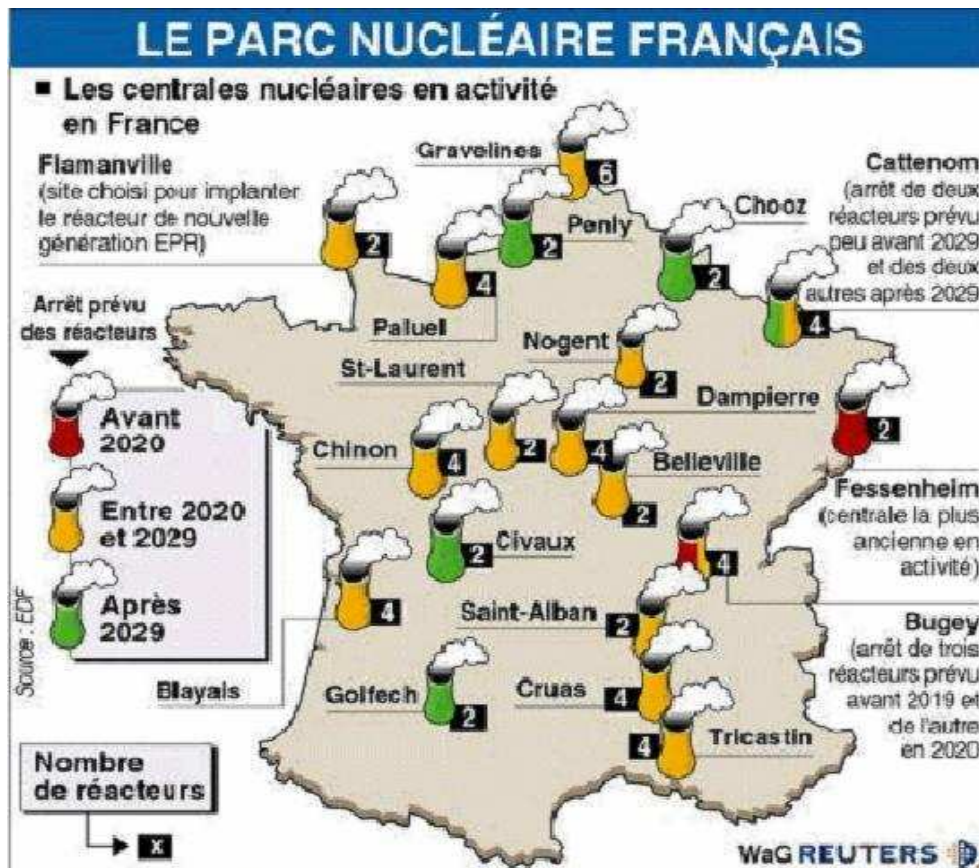
On n'est pas capable d'empêcher certains états voyous de construire la Bombe, mais on voudrait nous fermer l'électricité "propre en GES" par idéologie !

Le second croquis de la page suivante, montre l'implantation en France, avec le nombre de réacteurs. Il montre également l'espérance de vie d'un réacteur. Non seulement ce réacteur représente à lui seul 12 000 éoliennes qui travailleraient 24h/24, mais en plus il vivra quatre fois plus longtemps (on casse déjà les premières éoliennes). Il ne nécessite pas une centrale thermique de remplacement et le prix de revient au kWh est trois fois moins élevé sans ponctionner davantage sur le contribuable.

## Le calendrier des générations nucléaires



### ❖ Implantations en France





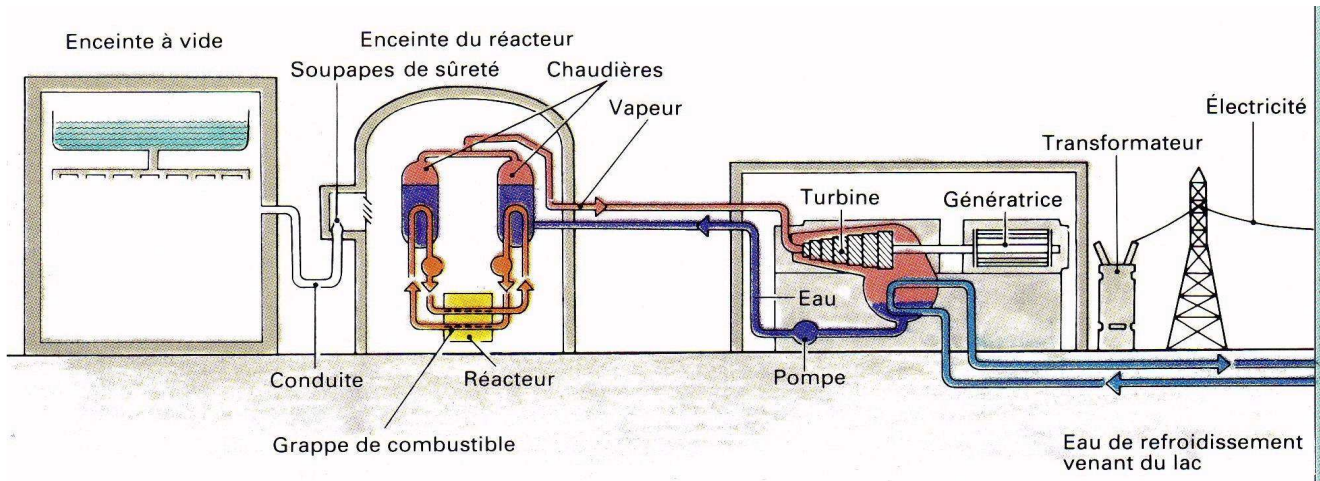
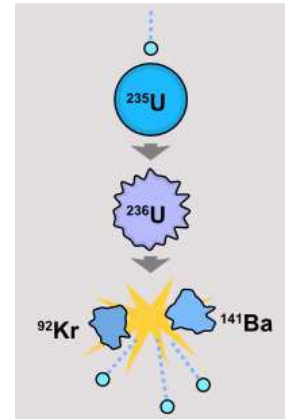
## ➤ Principe :

La matière est composée d'atomes. Les atomes, sont eux-mêmes composés d'un noyau formé de Protons (+) et de Neutrons (o), entouré d'un nuage d'Electrons (-) de nombre équivalent à celui des Protons.

- **La Fission :** Dans certains éléments, comme l'Uranium et le Plutonium, les noyaux sont extrêmement lourds (233 à 241 éléments) et comme la force de liaison est constante, ils sont beaucoup plus instables que les atomes à cinq ou dix éléments bien collés. Lors d'un éclatement du noyau, accidentel ou provoqué, les neutrons qui n'ont pas de charge électrique partent "à l'aventure" comme autant de balles perdues ... Le reste de l'atome se scinde en plusieurs petits atomes, donnant naissance à des corps plus stables, par exemple pour l'Uranium, le Krypton et le Baryum.

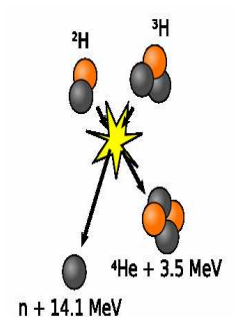
Lorsqu'un Neutron rencontre un autre noyau d'atome instable, il va à son tour faire éclater ce noyau et libérer de nombreux neutrons qui agiront de même à l'étape suivante. C'est ce qu'on appelle une "réaction en chaîne". Si elle est contrôlée, cela dégage une quantité de chaleur considérable, que l'on utilisera dans une turbine à vapeur pour produire de l'énergie. Si elle n'est pas contrôlée, c'est la Bombe A ! Une des caractéristiques de la fission nucléaire, est le rapport encombrement-énergie très favorable qui donna l'idée à un physicien Allemand de l'enfermer dans un obus.

La réaction nucléaire contrôlée s'opère dans un "cœur" supportant une très haute température, et de fortes pressions, isolé dans un bloc de béton et au fond d'une piscine. C'est ce "réacteur" qui a la forme d'un cylindre au toit bombé, sur les photos. Le reste n'est qu'une machine à vapeur, celle-ci actionne un générateur de courant électrique tout comme dans une centrale hydraulique ou thermique. La tour fumante, n'est que le radiateur de refroidissement de l'eau. Une nouvelle génération de réacteurs "pressurisés" Européenne (EPR) est en train de voir le jour. Elle est très prometteuse, mais ne doit pas être confondue avec la génération IV et l'ITER (voir plus bas) \*



- **La Fusion :** A l'intérieur du Soleil, à une température extrême, l'éclatement du noyau atomique ne se produit pas. Le Neutron additionnel se "fond" au reste du noyau avec un dégagement d'énergie considérable. Le corps résultant est le plus souvent non (ou peu) radioactif, et un neutron est libéré qui réagira en chaîne.

A partir d'atomes d'hydrogène radioactif (Deutérium, Tritium), le résidu est de l'Hélium gaz rare non radioactif. On comprend tout de suite pourquoi le projet "ITER" soulève tant de passions : plus de déchets à stocker ! Mieux, on peut envisager de traiter ceux qu'on a encore en stock et qui pourraient devenir combustibles. Enfin, certains processus sont réversibles ... donc renouvelables ! Ici encore, la France est en tête, ce qui ne plaît pas à tout le monde (suivez nos regards ...). Le passage de la théorie à la pratique demandera encore quelques années. Enfin, on reparle de la fusion nucléaire à froid ! Cette technique utilisant l'eau lourde (eau tritiée) et datant de la dernière guerre refait surface (merci aux Allemands, malgré eux). La technique se prête particulièrement bien à la neutralisation des déchets radioactifs, et est parfaitement écologique. Les résidus produits (Cuivre, Titane) sont utilisables sous forme de matière première. La source est en quantité importante dans l'eau de mer donc, renouvelable.



\*Attention: ne pas confondre le projet EPR (fission), et le projet ITER (fusion). De plus, bien que se produisant à une température proche du soleil, la fusion n'a rien à voir avec le projet nommé "Soleil" qui lui, est un synchrotron.

# QUELLES ÉNERGIES POUR DEMAIN ?

## IV. Energies solaire et éolienne (Jérôme Gosset, Ph.D., Ecole des Mines, Paris)

L'énergie qui arrive en permanence sur Terre en provenance du Soleil, anime tous les cycles naturels : le cycle de l'eau, les vents, la photosynthèse et donc la croissance des plantes. Dans tous ces circuits par lesquels l'énergie est consommée, elle est finalement réémise vers l'espace sous forme de rayonnement IR, après avoir subi de nombreuses transformations et il existe donc plusieurs façons de la récupérer, comme par exemple le solaire et l'éolien.

### ➤ L'énergie solaire

La lumière du soleil transporte de l'énergie, qui est en fait de l'énergie sous forme électromagnétique. Il y a deux façons de la collecter : soit en capturant une partie et en la transformant en électricité, soit en la transformant directement en chaleur. On peut mettre tout ceci en œuvre de multiples façons comme le montrent ces images.

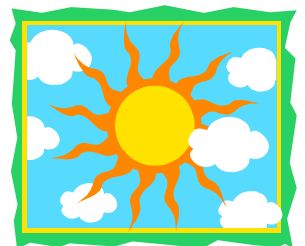


Certains pays très ensoleillés (Espagne, sud des USA, sud de la France) étudient des usines solaires : de nombreux panneaux renvoient la lumière vers des tours centrales pour atteindre des températures très élevées (ci-dessus en haut à droite). Dans les pays où l'électrification rurale est difficile à cause des distances ou du relief, des sites isolés sont efficacement électrifiés grâce à des panneaux (ci-dessus en bas à gauche).

Dans des pays au soleil capricieux (France, Allemagne), il est assez facile de mettre des panneaux par groupe de quelques-uns sur les bâtiments même qui consomment l'énergie produite. (photo en haut à gauche). Il faut comprendre que cette méthode tire son efficacité de la suppression de tout le transport de l'énergie dans les réseaux et donc des pertes associées. Il faut prendre conscience que ceci devra se généraliser si on veut limiter la production d'énergie par des grandes unités (centrales nucléaires, fermes éoliennes).

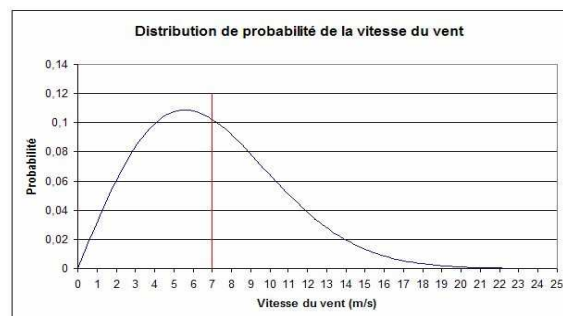
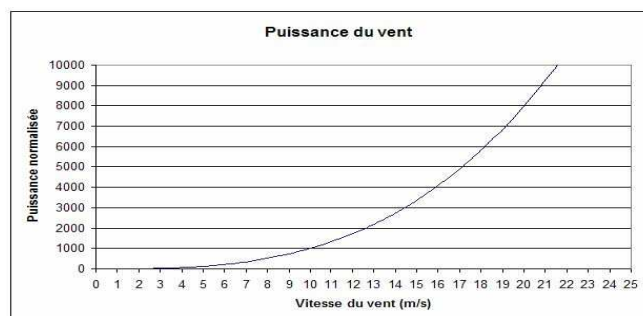
A tel point que la nouvelle réglementation thermique du bâtiment de 2005 prévoit l'intégration de la production d'énergie dans leur conception : c'est un vrai changement culturel.

Ce qui est vrai pour le neuf, est aussi et surtout vrai pour l'ancien qui représente l'immense majorité des bâtiments (1 % de renouvellement par an, durée de vie 100 ans en moyenne).

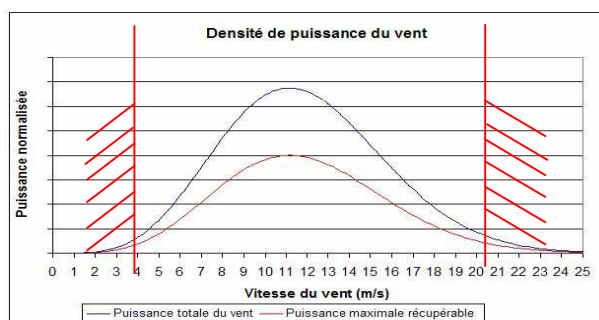


## ➤ L'énergie éolienne

Une éolienne fonctionne comme une voile de bateau ou une aile d'avion : le vent qui vient la frapper exerce une force perpendiculaire à la direction du vent, qu'on appelle la portance. En travaillant la forme de la pale d'éolienne, on peut optimiser cette portance. Evidemment, elle dépend de la vitesse du vent : plus il est fort, plus la portance est forte, et cela augmente très vite. Cette force fait tourner l'axe de l'éolienne et il est ainsi possible de transformer l'énergie cinétique du vent (sa vitesse) en énergie mécanique (rotation de l'axe), puis en énergie électrique en y couplant un alternateur. La quantité d'énergie convertie par seconde s'appelle la puissance de l'éolienne, et elle augmente comme le cube de la vitesse du vent.



**Vents trop faibles**  
Autoconsommation  
supérieure à production



**Vent trop fort**  
Surdimensionnement  
de la portance

On constate, sur la figure ci-dessus, que la probabilité d'avoir des vents entre 2 et 4 m/s pénalise la puissance de l'éolienne qui à ces vitesses est très faible. La contribution à la puissance dégagée par l'éolienne est donc faible, c'est pourquoi on ne perd quasiment pas de production en ne faisant pas fonctionner l'éolienne pour des vents en dessous de 4m/s (on y consommerait même de l'énergie à tourner le rotor dans l'axe du vent \*). De façon similaire, au vent fort, la puissance devient très importante mais ces vents sont très rares, ce qui explique qu'il est inutile de dimensionner l'éolienne pour ces régimes là, la perte de production associée est négligeable. A noter que c'est à des vitesses de vent supérieures à la moyenne que l'on trouve la plus grande partie de l'énergie récupérable.

\* Une personne travaillant pour le coulage du béton dans les socles d'éoliennes, nous faisait remarquer sa surprise de constater que parfois des éoliennes tournent sans vent aucun ! Peut-être serait-il temps de se souvenir qu'une dynamo, c'est un moteur électrique réversible ... consommerait-on l'électricité de la centrale thermique en action ?

### ❖ Coût et Taille des éoliennes

Si l'on regarde l'évolution de la taille moyenne des éoliennes installées en fonction de l'année, on constate une augmentation impressionnante. Dès que la technologie permet d'augmenter la taille, il est intéressant de le faire. Pourquoi ? Parce que la puissance produite est proportionnelle au cube de la vitesse du vent, l'énergie produite par une éolienne est proportionnelle à la surface qu'elle balaie. Ce qu'on achète et ce qu'on vend c'est du kWh, donc l'énergie. Les frais fixes sont par définition les mêmes quelle que soit la taille de l'éolienne, donc pour maximiser son revenu on a intérêt à installer la plus grande possible d'où une obsolescence rapide du matériel. Autre phénomène : la vitesse du vent est d'autant plus grande que l'altitude est élevée, à cause de la viscosité de l'air. Le modèle utilisé en 2006 mesure 150m en haut de pale, 80m à l'axe. La rentabilité ne dépend plus que d'une chose : le nombre d'heures de fonctionnement. Ceci explique que les porteurs de projets cherchent les sites ventés, la plaine de la Beauce n'est de ce point de vue, qu'en troisième position. Sur les coûts d'investissements, la croissance du marché permettrait d'amortir sur des grandes séries, la production industrielle (surtout allemande).





## ❖ Intermittence

Voyons maintenant les problèmes posés par les éoliennes en terme de production. Ils viennent principalement de l'instabilité de production : contrairement à une centrale nucléaire, hydraulique ou à gaz, on ne peut pas dire combien produira l'éolienne tel jour à telle heure, car on ne sait pas prédire le vent longtemps à l'avance. Or ce qui compte pour un électricien, c'est **la puissance garantie**, celle dont il est sûr de pouvoir disposer à un moment donné dans le futur car lorsque la demande est là, il veut pouvoir y répondre. Un exemple : pas de vent, la température monte et on voudrait utiliser une climatisation par énergie renouvelable : impossible ! C'est comme une torche électrique qui fonctionnerait au solaire ... il fait noir, pas de courant !

Pour une centrale nucléaire, hydraulique ou fossile, la puissance est égale à 95 % de la puissance nominale, (à cause des arrêts de maintenance). Pour une éolienne seule, c'est ... *quasiment 0* !

Cela pose deux graves problèmes :

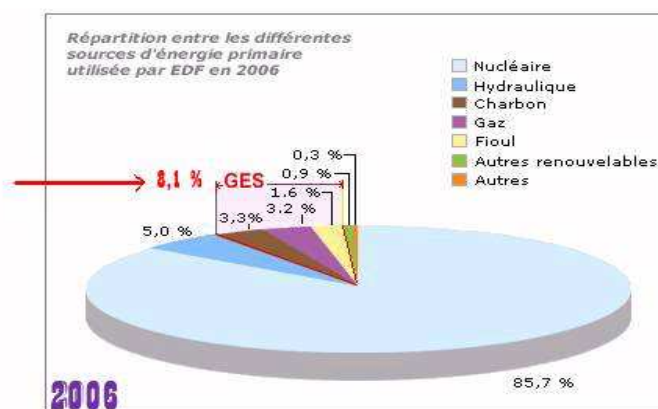
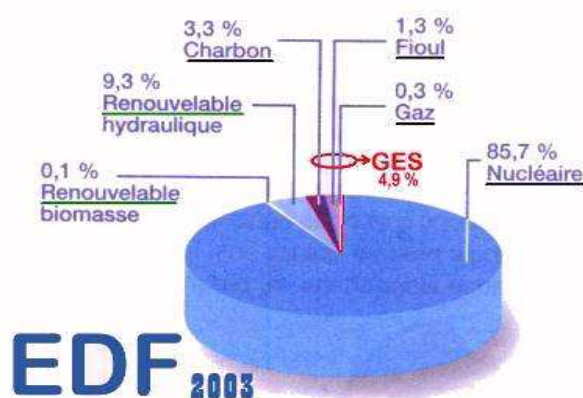
1) Une fois une éolienne installée **on n'a plus qu'à installer la même puissance en gaz ou pétrole**, de façon à pouvoir satisfaire la demande de l'Electricien quand le vent tombe, sinon pas de contrat ! En gros on investit pour rien, et sur le plan planétaire, pas d'économie de production de CO<sub>2</sub> mais pire... voir Document EDF ci-dessous.

2) La gestion des équipements de production : une centrale thermique ne démarre pas toute seule et tout de suite, il faut que les gens soient là, que les préchauffages aient été faits, il faut donc pouvoir gérer à l'avance si l'éolienne va produire ou non... ou laisser la centrale allumée (Ce qu'on fait). Donc CO<sub>2</sub> garanti même par beau temps et une belle affaire financière pour le producteur uniquement .

**Document important:** Le bilan annuel de EDF vient de tomber : **entre 2003 et 2006** le volume de production s'est accru (EDF exporte 70 milliards de Kwh par an) et les centrales nucléaires et hydrauliques sont restées inchangées. L'éolien est passé de 0,1% à 0,9% ce qui devrait satisfaire les Verts. Ce qui est plus affligeant, c'est que **le pourcentage d'énergies émettant des GES** qui pourtant était en régression, de par le nucléaire, **est passé de 4,9 % à 8,1 % aux dépens de l'Hydraulique** si propre, soit ...

**65 % de Malus** dû aux éoliennes nouvellement installées !

Comment ces Messieurs vont nous expliquer cela ? Il suffit de regarder le journal officiel: **on construit des centrales à gaz neuves !!!** Le même phénomène avait été constaté en Allemagne en 2000, mais personne n'a écouté ceux qui ont tiré le signal d'alarme.



## ❖ Foisonnement

Les chercheurs industriels ont imaginé des solutions à leur convenance, car **l'enjeu financier est colossal**.

1) On peut utiliser **le foisonnement**, c'est-à-dire la multiplication du fait que le vent ne tombe jamais partout en même temps. Avec *des milliers d'éoliennes* réparties sur plusieurs régions, on ne descendra jamais en dessous d'un certain niveau. La somme de plusieurs 0 n'est donc plus égal à 0 ? ... non, elle sera plutôt négative vu le coût du transport de l'énergie.

2) On peut essayer de mieux prévoir le vent localement sur un site. Pour la gestion des équipements on construira quand même des centrales thermiques, et on est seulement capable aujourd'hui de prévoir des incertitudes.

## ❖ Intégration

On a souvent affirmé que les éoliennes présentaient un danger pour la fiabilité des réseaux, à cause de la qualité et la régularité du courant produit, de leur action sur le réseau (chute de tension liée à un arrêt d'un autre équipement de production), problèmes que les Beaucerons connaissent déjà. Les études faites, l'expérience acquise, (Allemagne, Pays-bas, Iles), voudraient montrer le contraire : la répartition d'un grand nombre de lieux de production de moyenne puissance peut stabiliser le réseau si les éoliennes sont bien gérées (problème d'interface humaine) ... l'accident allemand de 2006 laisse perplexe. De façon assez similaire au solaire, la production éolienne est une révolution pour le réseau qui va voir sa mission de distribution depuis ses lieux de production, changer en une mission d'échanges entre une multitude de producteurs et consommateurs, voire de commerce international... juteux. Sur ce marché pharaonique, tous les coups sont permis.



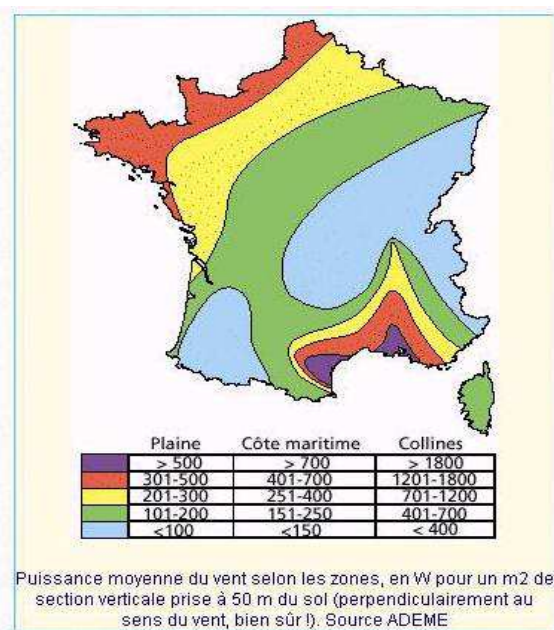
## ❖ Financement

La directive européenne sur l'électricité d'origine renouvelable recommande 18 à 22 % du total national. Par ailleurs, le modèle économique prôné depuis 50 ans en Europe est celui d'une économie de marché et d'une libéralisation des marchés sous monopole dont celui de l'énergie et donc celui de l'électricité. C'est pourquoi, aujourd'hui le développement de l'éolien repose sur un principe d'économie de marché : des investisseurs (trusts énergétiques du "fossile" cherchant reconversion rapide) proposent des projets en vue d'une *rentabilité financière*, pas forcément environnementale. Ils prennent des risques (erreur sur le vent, casse des machines, contexte local méconnu, fluctuation des prix basés sur des lois "préfabriquées"...) et en échange de ces risques ils veulent faire des bénéfices. On est pour ou contre, on croit ou pas, ou plus ou moins, à ce marché et à ses vertus. Cela ne remet pas en cause la technologie comme source d'appoint, mais appoint de quoi ? On peut être pour ou contre le principe des profits, cela ne change rien aux enjeux, au fait qu'on va "direct dans le mur" sur les énergies et le risque de changement climatique.

Par ailleurs, chose nouvelle dans nos habitudes françaises : on a affaire à une multitude de petits investissements décidés assez localement, **poussés par des entreprises financières, pas même par les constructeurs** eux-mêmes, finis les quelques gros travaux décidés à Paris par le Ministre. Ces décisions sont donc soumises aux aléas et **à la fiabilité de la vie politique locale**. Il se peut que des gens mal intentionnés utilisent un projet pour des raisons personnelles ou démagogiques, et que dans le contexte local, le projet éolien tombe mal (exemple Caen), ou tombe bien, financièrement parlant, pour l'investisseur (coût du m<sup>2</sup>, comme en Beauce).

A l'inverse, on pourrait envisager de nouvelles formes d'organisation sociale : projets de développement durable et local d'une collectivité, avec répartition des revenus, des impôts, entre les différents acteurs, l'implantation en zone industrielle locale est un exemple. Mais *que diront les actionnaires* des grands trusts ?

Le dernier volet d'un projet éolien industriel est celui du tarif de rachat. Aujourd'hui EDF *doit* racheter l'énergie éolienne à un tarif très élevé, largement au-dessus du prix normal du kWh (trois fois le nucléaire par exemple). Ceci est une forme de "subvention", à durée limitée "pour inciter le progrès technique". L'idée fut que les coûts vont baisser et que dans quelques années l'éolien serait aussi compétitif que les autres sources d'énergie, en prévision de l'arrêt de cette subvention... mauvais calcul, cependant, le consommateur lui, aura déjà payé le maximum. La rentabilité "vraie" est donc déterminante, et elle est directement fonction de **la situation géographique**. A ce sujet, l'Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME) a signalé en 2005 un scandale des dossiers trop vite "ficelés" (hypothèses non vérifiées, marges d'erreurs ... allant jusqu'à 15-20% dicit l'ADEME). On remarquera sur la carte que "nos" projets sont en 3<sup>e</sup> ou même 4<sup>e</sup> catégorie pour la Beauce .



## ❖ Paysage

Comme pour le solaire, l'éolien pourrait se banaliser. Il va donc devoir s'inscrire dans nos paysages, acceptons-nous cette évolution ? Les photos montrent qu'une intégration est possible, avec plus ou moins de bonheur, plutôt moins compte-tenu du nombre. Il est évident qu'elle s'intègre mieux en milieu industriel que dans un paysage bucolique ou un site classé ! Trop d'abus ont été signalés sur ce point, ce qui fait qu'on entend aujourd'hui au sujet des trusts : *"Ils ont même réussi à dresser les écologistes contre les éoliennes !"* (Nicolas Hulot)



## ❖ Conclusion

Parmi les énergies renouvelables, *le solaire et l'éolien* ne sont que *palliatifs* aux autres sources de production d'énergie. Elles sont nécessaires mais ne sont *pas suffisantes à elles seules*, d'autres moyens à faible émission de GES devront être développés. Pourtant le développement de ce type d'énergie *ne doit pas être un facteur de réduction* d'autres énergies propres (hydraulique, et surtout nucléaire) ni un facteur d'enrichissement pour les trusts de l'énergie, même si des investissements sont nécessaires aux recherches et développements.

*Des investisseurs qui ne souhaitent pas obtenir de manne financière, est-ce utopique ?*

*Oui, ou non, mais... " on ne déhabille pas Pierre pour habiller Paul " aurait dit la Mère Denis !*