

## **Dispendieuses éoliennes**

### **Faut-il édifier en France**

#### **des éoliennes raccordées au réseau électrique général ?**

#### **Le contexte français**

**Jean NICOLAS (écrit pour le groupe Energie de la SFP)**

La production électrique [4] a été en France pour l'année 2000 de 540 TWh, assurée de la manière suivante :

- par le nucléaire à raison de 415 TWh (77 %),
- par le thermique classique à raison de 52 TWh (9,5 %)
- par l'hydraulique à raison de 73 TWh (13,5 %).

En enlevant la part de cette énergie (30,7 TWh) utilisée par les auxiliaires de cette production-même, il est resté 440 TWh pour la consommation intérieure (38 % de l'énergie totale consommée) et 69,9 TWh pour l'exportation.

Cette production croît actuellement au rythme d'environ 1,5 % par an. Il faut évidemment prévoir comment la faire évoluer à cause de l'augmentation de la demande, mais aussi en vue du remplacement des installations actuelles lorsqu'elles arriveront en fin de vie. Cette nécessaire démarche est matière à discussions et polémiques.

Le nucléaire a ses farouches détracteurs qui craignent des catastrophes majeures du type Tchernobyl. Ils s'inquiètent aussi de l'avenir des déchets radioactifs qui pourraient nuire à la santé des êtres vivants, spécialement de celle des générations humaines qui nous succéderont.

Le thermique classique est confronté aux conséquences des gaz à effet de serre qu'il produit, spécialement du dioxyde de carbone. Les scientifiques spécialisés dans ce domaine tirent de plus en plus vigoureusement le signal d'alarme. Ils disent que si l'activité humaine continue à générer des gaz à effet de serre à la cadence actuelle, des modifications profondes, néfastes et incontrôlables peuvent intervenir, avec une probabilité non négligeable, sur le biotope de notre planète. Ils recommandent instamment, en application du principe de précaution qui a à tout son sens, un changement des comportements pour obtenir une réduction drastique de l'émission de ces gaz. Le protocole de Kyoto, qui en prévoit pour les pays développés une réduction de 8 % en moyenne en 2010, est un modeste début de réponse à cette demande. Mais on sait que sa mise en oeuvre se heurte à de nombreux obstacles et réticences. S'ajoute à cette préoccupation la constatation que les réserves en combustibles fossiles de la planète sont limitées. Au rythme actuel de leur consommation, les réserves prouvées sont de quelques centaines d'années. Il faudra bien un jour trouver autre chose.

Dans ces conditions quoi de plus naturel que de faire appel, pour un développement durable, aux énergies renouvelables ?

Déjà depuis longtemps l'énergie hydraulique est mise à contribution. La France a fait un effort particulièrement important dans ce domaine, mais ses possibilités sont assez réduites : les meilleurs sites sont déjà équipés. Il ne faut pas nier non plus que l'hydraulique a ses inconvénients. Somme toute, c'est une énergie assez peu efficace, comme les chiffres le montrent. L'ensemble Sarrans qui est l'une des réalisations, déjà ancienne, les plus importantes de France avec un barrage de 220 mètres de long, 105 mètres de haut, une épaisseur à la base de 85 mètres, un bassin de 1 000 hectares de 35 km de longueur retenant 300 millions de m<sup>3</sup> d'eau, a une puissance électrique de 318 MW qui produisent annuellement une énergie d'environ 1 TWh. Les autres grandes réalisations françaises sont à l'avenant : les 405 MW de Génissiat produisent annuellement 1,7 TWh, les 385 MW de Serre-Ponçon 0,7 TWh. Ce sont des productions 5 à 10 fois plus petites que celle d'une seule tranche nucléaire de la génération actuellement en activité. L'hydraulique n'est pas non plus sans danger. Des ruptures de barrages, catastrophes de grande ampleur faisant des centaines de morts, n'ont pas épargné la France dans le passé. Les lachers, rendus nécessaires par les trop-pleins et les purges de barrages, sont trop souvent meurtriers. Ils ont encore tué dans les Alpes des enfants et leur monitrice il y a peu. L'écologie n'y trouve pas non plus son compte et des oppositions de plus en plus actives se dressent contre ces réalisations. Il faut avouer qu'elles modifient profondément de vastes zones naturelles et immergent des villages.

L'énergie solaire et celle du vent apparaissent dès lors comme des aubaines. Mettons-les donc en oeuvre dans un couplage au réseau électrique et nous disposerons ainsi de sources inépuisables d'énergie, ce qui règlera durablement nos problèmes. Malheureusement cette vision idyllique ne résiste pas aux dures contraintes de la technique. L'une d'elles est que l'on a affaire à des énergies intermittentes et aléatoires, alors qu'il faut fournir la demande, même lorsqu'il n'y a pas de soleil ou pas de vent. Qu'à cela ne tienne : stockons l'énergie quand ces moyens sont en mesure de produire et restituons-la lorsqu'on en a besoin. Mais là aussi il faut déchanter. Stocker et déstocker de l'énergie ne peut se faire qu'avec un rendement relativement faible, ce qui accroît d'autant l'énergie à produire (vraisemblablement d'un facteur 3 à 4 si l'on voulait se convertir au tout solaire ou au tout éolien). On aboutirait à des coûts exorbitants et des surfaces prohibitives (une partie importante du territoire national). De plus les quantités d'énergie en jeu imposeraient des moyens de stockage monstrueux, actuellement et certainement pour longtemps, hors des possibilités de la technique (pour plus de détail voir sur internet <http://perso.club-internet.fr/mirobola/vulgarisation8>)

Force est donc de se rabattre sur un objectif plus modeste : fournir au réseau électrique général l'énergie produite par ces sources intermittentes, sans moyens de stockage, en comptant que la demande sera satisfaite par les autres moyens lorsqu'elles ne sont pas en état de le faire. On s'aperçoit que, malgré tout, l'énergie d'origine solaire est beaucoup trop chère et qu'en définitive seule celle fournie par le vent serait principalement à considérer. C'est ainsi que l'on assiste à un début de réalisation basé sur des éoliennes.

### **Une volonté politique.**

Un objectif a été fixé à l'échelle européenne, concrétisé par une proposition de directive du Parlement européen et du Conseil (<http://europa.eu.int/eur-lex/fr>), qui n'a toujours pas été adoptée définitivement à ce jour (23/10/01). Sa justification tient essentiellement en considérant que : *" l'utilisation accrue d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables est non seulement nécessaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi pour réduire les autres émissions nocives, telles que les émissions de SO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> "*.

Pour la France cela se traduirait par une obligation de faire progresser sa consommation d'électricité en provenance de sources à énergie renouvelable de 15 % en 1997 à 21 % (soit 112,9 TWh/an) en 2010. En y excluant les grandes installations hydrauliques, l'accroissement devrait être dans cette période de 2,2 à 8,9 %. Le scénario prévoit une contribution de l'énergie éolienne à cet objectif comprise entre 33 et 35 TWh/an en 2010 (<http://ademe.fr/htdocs/actualite/dossier/enr02.htm>).

La France, avec le programme Eole 2005 lancé en 1996 à la demande des Pouvoirs publics, s'est engagée sur cette voie, bien avant la publication de cette directive européenne. On y a sélectionné 55 projets éoliens totalisant 361 MW.

### **Le projet éolien français actuel**

Un nouveau programme gouvernemental a été annoncé portant sur l'implantation à l'horizon 2010 de plus de 5 000 MW. Le gouvernement incite les producteurs à construire des éoliennes en leur garantissant une obligation d'achat, à un tarif très avantageux, par le distributeur (EDF). Ces conditions d'achat ont été fixées par l'arrêté du 8 juin 2001, publié au Journal officiel du 22 juin 2001. Pour une durée annuelle de fonctionnement inférieure à 2 000 heures (correspondant à un taux de disponibilité de 22,8 % rarement dépassé dans la pratique), le **prix d'achat garanti pendant 15 ans est de 8,38 cE/kWh (55 cF/kWh)** hors TVA. Ce prix est valable pour la France métropolitaine sous des conditions peu restrictives. Il est assorti d'une indexation garantissant le risque dû à l'inflation.

La puissance des grosses éoliennes actuelles étant de l'ordre du MW, le programme pourrait être réalisé par 5 000 éoliennes d'une puissance nominale de 1 MW. On peut estimer que, dans de bonnes conditions, elles produiraient annuellement (avec un taux de disponibilité de 22,8 %) :

$$5\,000 \times 8\,760 \times 0,228 = 10\,000\,000 \text{ MWh} = 10 \text{ TWh.}$$

### **Surcoût dû aux éoliennes**

Dans une première démarche on peut évidemment comparer ce prix d'achat de 8,38 cE/kWh (55 cF/kWh) avec le coût de production de l'électricité nucléaire ou thermique classique. La Commission de régulation de l'électricité (CRE) donne dans son avis du 5 juin 2001 (accessible par <http://www.cre.fr>) les chiffres suivants :

- Nucléaire 1 300 MW : 3 cE/kWh (19,7 cF/kWh)

- Cycle combiné gaz : 3,3 cE/kWh (21,65 cF/kWh), sans tenir compte d'une valeur d'émission de CO<sup>2</sup>

On trouve ainsi un coût de l'éolien 2,5 à 2,8 fois plus élevé que celui de ses concurrents directs. Mais cette simple comparaison, déjà assez défavorable à l'éolien, ne suffit pas à l'estimation du surcoût qu'il entraîne. En effet, simple lapalissade, les éoliennes ne produisent que lorsqu'il y a du vent. Lorsqu'il n'y a pas de vent, il faut bien disposer des moyens pour satisfaire la demande. Les éoliennes ne peuvent donc que venir doubler des moyens de production existants. Leur construction n'évite absolument pas de faire par ailleurs tous les investissements nécessaires à la fourniture de l'électricité, spécialement en période de pointe. Il en résulte que la production électrique des éoliennes raccordées au réseau électrique général

n'a pour valeur économique que celle du "combustible" qu'elles permettent d'économiser sur les autres moyens en place, comme le fait très justement remarquer Pierre Bacher [2]. Cette constatation est à la base du calcul des surcoûts effectué par la CRE dans le rapport déjà cité. Le coût d'un kWh est décomposé de la manière suivante :

- Pour le nucléaire : coût fixe de 2,1 cE/kWh, coût variable de 0,9 cE/kWh

- Pour le cycle combiné gaz : coût fixe de 0,8 cE/kWh, coût variable de 2,5 cE/kWh.

L'hydraulique n'intervient pas dans le raisonnement. Pour moitié il est "au fil de l'eau " donc sans possibilité de modulation. Les hautes chutes, au contraire d'intervention très souple, sont destinées à intervenir lors des pointes de la demande.

### ***Première hypothèse.***

C'est une simple constatation de la situation actuelle, le thermique classique y a une position marginale. L'éolien viendrait donc pour l'essentiel remplacer du nucléaire, et c'est d'ailleurs bien comme cela que le présente ses promoteurs. On peut donc, grosso modo, raisonner de la manière suivante dans le cas de 5 000 éoliennes raccordées au réseau général. Une production éolienne annuelle de 10 TWh correspond à 2,4 % de la production électrique nucléaire (de l'an 2000).

Si l'on considère qu'un kilowattheure électrique provient, en moyenne, de 97,6 % du nucléaire et de 2,4 % de l'éolien, son coût peut être approché par :

0,976 fois le coût venant du nucléaire =  $2,1 + (0,976 \times 0,9) = 2,98$  cE par kWh

0,024 fois le coût venant de l'éolien =  $8,38 \times 0,024 = 0,20$  cE par kWh

TOTAL = 3,18 cE par kWh

On constate un renchérissement de 0,18 cE par rapport au kWh nucléaire, soit un surcoût annuel de :  $0,0018 \times 415$  milliards = 0,75 milliards d'euros (4,9 milliards de francs). Sur 15 ans le surcoût est de 11,25 milliards de d'euros (73 milliards de francs).

Le calcul du surcoût peut aussi s'effectuer directement de la manière suivante. Le coût évité par kWh éolien produit est de 0,9 cE (combustible nucléaire), alors que le coût ajouté est de 8,38 cE. Le surcoût est donc de 7,48 cE/kWh. Une production éolienne de 10 TWh entraîne donc un surcoût annuel de 0,75 milliards d'euros.

### ***Deuxième hypothèse***

On pourrait supposer que les besoins futurs soient satisfaits par la réalisation de centrales à cycle combiné gaz. La fourniture éolienne viendrait alors économiser du gaz. Le coût évité par kWh serait alors de 2,5 cE, auquel il conviendrait d'ajouter une valeur d'émission de CO<sup>2</sup>, estimée par la CRE à 0,8 cE, alors que le kWh éolien coûte toujours 8,38 cE. Le surcoût s'établit à :

$8,38 - (2,5 + 0,8) = 5,08$  cE/kWh

**Le surcoût annuel** engendré par la production de 10 TWh (10 milliards de kWh) s'élève à :  
 $0,0508 \times 10$  milliards d'euros = **0,51 milliards d'euros (3,35 milliards de francs)**

**Sur 15 ans le surcoût est de 7,65 milliards d'euros (50 milliards de francs).**

Les calculs plus raffinés de la Commission de régulation de l'électricité (montée progressive en puissance, montants cumulés jusqu'en 2025, prise en compte de l'intérêt de l'argent) aboutissent à des résultats voisins : 11,1 milliards d'euros dans l'hypothèse 1, et 7,2 milliards d'euros dans l'hypothèse 2. A la suite de cette étude, la CRE donne, le 5 juin 2001, un avis défavorable sur le projet d'arrêté en cause. Celui-ci n'en sera pas moins adopté le 8 juin 2001 et publié au Journal officiel du 22 juin 2001.

### Surfaces des installations

Pour produire un TWh/an électrique les surfaces vont de 25 (Etats-Unis) à 65 km<sup>2</sup> (Europe avec des machines plus espacées), d'après A. Laali (EDF - R&D - *Flux*, revue des ingénieurs Supélec, N° 213 avril 2001).

Avec le chiffre américain une éolienne de 1 MW produisant 0,002 TWh/an occupe une surface de 0,05 km<sup>2</sup>, l'espacement entre éoliennes étant de 223 m. Avec le chiffre européen, la même éolienne occupe une surface de 0,13 km<sup>2</sup>, l'espacement entre éoliennes étant de 360 mètres. Cinq mille éoliennes nécessitent 250 km<sup>2</sup> (cas américain) ou 650 km<sup>2</sup> (cas européen). Ces surfaces sont très importantes, le dernier chiffre représente 11,5 % d'un département moyen français.

### Les éoliennes constituent-elles une solution généralisable ?

Nous venons de traiter le cas de 5 000 éoliennes de 1 MW, c'est à dire ce que prévoit le projet actuel qui permettrait une production correspondant à 2,4 % de la production nucléaire française de l'année 2000. A quoi aboutirait-on en accordant une place plus importante à l'éolien ? La CRE a fait une estimation de surcoût pour 12 000 éoliennes de 1 MW. Nous donnons également dans le tableau ci-dessous des valeurs approchées pour des quantités plus importantes, y compris celle correspondant à 34 TWh/an (scénario de la nouvelle directive européenne en préparation), soit à 17 140 éoliennes de 1 MW.

Taux d'énergie éolienne	Nombre d'éoliennes	Surcoût cumulé dû aux éoliennes réf. nucléaire	Surcoût cumulé dû aux éoliennes réf. gaz	Surfaces nécessaires	Base de calcul du surcoût
nucléaire 2000 %	de 1 MW	Milliards d'euros (de francs)	Milliards d'euros (de francs)	espacement "européen" (360 m) km <sup>2</sup>	

		0			
2,4	5 000	11,1 (73)	7,2 (47)	650	CRE
5,76	12 000	25,9 (170)	17,4 (114)	1560	CRE
8,23	17 140	38,1 (250)	24,7 (162)	2230	Estimation
20	41 600	93,2 (611)	63,25 (415)	5410	Estimation
30	62 500	140 (918)	94,8 (621)	8125	Estimation

La solution éolienne pour fournir de l'énergie électrique au réseau général trouve là des limites. Du point de vue économique l'éolien souffre du fait qu'il ne peut venir que doubler des investissements faits par ailleurs. Il en résulte des surcoûts exorbitants. Le considérant n° 20 de la proposition de directive du Parlement européen énonce : " *L'aide publique à l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables part du principe que, à long terme, celle-ci pourra entrer en concurrence avec l'électricité produite à partir de sources conventionnelles.* " Concernant l'énergie éolienne, cette perspective relève de la pure utopie : comment obtenir une réduction d'un facteur 10 dans ce domaine ? Voilà qui, pour le moins, remet en cause la légitimité d'une telle aide publique.

Du point de vue de l'environnement, les surfaces nécessaires vont déjà constituer une limitation très sévère. Pour fixer les idées, 5 400 km<sup>2</sup>, c'est la surface d'un département français. Il faut considérer aussi toutes les contraintes et les destructions d'espaces naturels que ce type de réalisation implique. Elles seront ressenties comme prohibitives, lorsque des installations importantes verront le jour, sans parler d'autres nuisances, comme le bruit. L'impact sur l'environnement commence d'ailleurs, pour des réalisations pourtant extrêmement modestes, à provoquer des réactions de rejet. Pour toutes ces raisons il est pratiquement impossible d'envisager une généralisation de la solution constituée par des éoliennes raccordées, en France métropolitaine, au réseau électrique général.

### **La vraie question**

La question posée est donc simple. Vaut-il la peine de construire 5 000 éoliennes (voire 17 140), de dépenser d'énormes sommes d'argent, de gâcher l'environnement de sites souvent admirables et de consommer de grandes surfaces, pour économiser 2,4 % (voire 8,2 %) de combustible nucléaire ?

Chacun peut apporter sa réponse. Pour ma part je pense que l'éolien raccordé au réseau électrique général constitue une immense ânerie qui risque d'être payée au prix fort par le consommateur et le contribuable. Qu'est-ce que cela change d'avoir quelques % de combustible nucléaire en moins à approvisionner et à traiter ? Ce qui plaide aussi contre la solution éolienne, c'est qu'elle n'est pas généralisable et donc qu'elle n'a pas d'avenir. En effet son coût devient très vite exorbitant et les surfaces nécessaires deviennent prohibitives si l'on cherche à la généraliser, comme nous venons de le montrer.

La proposition de directive européenne relative à la promotion de l'électricité produite par des éoliennes néglige complètement cette analyse technico-économique. De plus elle s'appuie essentiellement sur une nécessité de réduction de gaz à effet de serre, qui n'a aucune pertinence dans le cas français où l'énergie électrique est surtout d'origine nucléaire.

### **Conclusion**

Il n'y a aucune illusion à se faire. Manipuler de grandes quantités d'énergie est et restera une activité dangereuse.

Actuellement l'énergie qui se montre la plus dangereuse en France est l'énergie utilisée sous forme cinétique. Dans les transports, elle représente environ 240 TWh par an, soit 60 % de l'énergie produite par le nucléaire. Elle est particulièrement meurtrière (d'après Jean Flory, président de la prévention routière - [http://www.inca.nc/prnc/president\\_france.htm](http://www.inca.nc/prnc/president_france.htm)) :

- Par an : 8 500 morts, 10 000 handicapés très graves, 170 000 victimes
- Depuis 1950 : 500 000 morts et 10 millions de blessés.

L'énergie chimique fait également son lot de victimes, qu'elle se présente sous forme de réactions exothermiques (incendie) ou de réactions explosives de différentes matières. Les accidents dûs aux gaz explosifs (gaz de ville) sont relativement fréquents et meurtriers.

L'énergie nucléaire comporte des dangers insidieux. Cependant en France les centrales électriques utilisant l'énergie nucléaire ont présenté, sur une longue période, un taux d'accidents graves particulièrement bas, en comparaison de ce qui s'est passé avec les autres formes d'énergie. Cela est dû à la rigueur toute particulière dont elle a fait l'objet. Mais si cette rigueur, cette vigilance et cette compétence de haute technologie font défaut, les catastrophes de type Tchernobyl deviennent possibles. Que se passerait-il en cas de généralisation de l'énergie nucléaire à des pays insuffisamment développés du point de vue technique ?

Il ne faut pas croire qu'il y a des solutions-miracles et sans risque, en matière de production et de manipulation d'énergie. Nous sommes au contraire particulièrement désarmés et un travail énorme de recherche et développement reste à faire pour assurer notre avenir et surtout celui des générations futures.

En France, dans l'état actuel des choses, la moins mauvaise solution reste le nucléaire pour produire l'électricité dont nous avons besoin, comme le montre bien H. Nifenecker [1], [3], [5]. En effet c'est une énergie sûre, efficace, compétitive, peu polluante et qui ne procure pas de gaz à effet de serre. Vouloir la remplacer par quelque chose de mieux est évidemment fort légitime, car elle n'est pas sans défaut. Mais la remplacer par quoi ? La solution éolienne qui économise seulement 2,4 % du combustible nucléaire (sans pouvoir diminuer l'importance des installations) en édifiant 5 000 éoliennes est une très mauvaise solution, dispendieuse et néfaste pour l'environnement. Brûler 2,4 % de moins de combustible nucléaire en dépensant 11,1 milliards d'euros (73 milliards de francs) de plus, qui peut soutenir que ce soit vraiment une bonne et intelligente opération ? Prévoir, comme les instances européennes semblent y inciter, d'aller jusqu'à édifier en France plus de 17 000 éoliennes d'un MW pour un surcoût de 38 milliards d'euros (250 milliards de francs), n'est-ce point un manque complet de réalisme et de bon sens ? Il faut mettre ces sommes considérables en face de ce que l'on pourrait en faire d'autre. Pour fixer les idées, le surcoût procuré par 5 000 éoliennes, c'est 12 % du budget de recherche de la France ; pour 17 140 éoliennes, c'est 41 % de ce budget. Je vous laisse imaginer cent autres activités utiles dans les domaines de la santé, de l'éducation, de la culture, de la sécurité, de l'environnement ou de l'aide aux pays sous-développés... Messieurs les décideurs, à la bonne vôtre !

Jean NICOLAS

### *Références*

[1] - L'énergie en quelques chiffres - Hervé Nifenecker - Bulletin de la SFP - 118 - mars 1999

[2] - Quelle énergie pour demain ? Pierre Bacher - Nucléon - janvier 2000

[3] - Verts qui rient, écolos qui pleurent - Hervé Nifenecker - Bulletin de la SFP - 126 - octobre 2000

[4] - L'énergie en France - repères, édition 2001. Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie

[5] - Global warming or nuclear waste - which do you want ? H. Nifenecker and E. Huffer - Europhysics news - March/April 2001