

# Quel vent pour l'énergie éolienne ?

Rencontre du Café des techniques du jeudi 27 février 2003 au Musée des arts et métiers  
A l'initiative de l'AFAS, en collaboration avec l'Association des Amis du Musée des arts et métiers  
Avec le soutien de la Délégation à la recherche et à la technologie d'Ile-de-France

avec la participation de

**Jean-Louis Bal**, directeur adjoint du bâtiment et des énergies renouvelables, ADEME

**Dominique Métivier**, chargé de mission énergies renouvelables, Direction générale de l'énergie et des matières premières, ministre délégué à l'Industrie

**Jean-François Petit**, directeur du développement, SIIF Energies France

Rencontre animée par **Anita Castiel**, journaliste scientifique

## **Pourquoi cette rencontre ?**

*Utilisée depuis l'Antiquité, puis peu à peu oubliée, l'énergie éolienne suscite un nouvel intérêt dans le contexte actuel de respect équilibré de l'environnement.*

*Energie propre par excellence, pas d'émission de gaz à effet de serre, pas de déchets dangereux, en revanche, elle est soumise au caractère aléatoire du vent. Qu'elles plaisent ou qu'elles dérangent, les éoliennes ne passent pas inaperçues.*

*Quelle compétitivité technologique peut-on attendre des aérogénérateurs ? Comment résoudre le problème du stockage de l'énergie électrique ? Quelle peut être la contribution de l'énergie éolienne dans la production d'électricité ? Quels sont réellement les impacts et nuisances sur le milieu environnant ? Comment sélectionner les sites d'implantation des parcs éoliens ?*

*N'oublions pas que la France s'est engagée à produire, d'ici à 2010, 21 % de son électricité à partir d'énergies renouvelables. Toutes ces questions sont dans l'air du temps et le débat est ouvert.*

## **Introduction et présentation**

### **R. Klapisch :**

Bonsoir mesdames et messieurs, je vous souhaite la bienvenue à cette nouvelle rencontre du Café des techniques, organisée par l'AFAS. Nous débattons ce soir d'un sujet dont on parle beaucoup, à savoir l'énergie éolienne.

On est en train de revisiter, en raison bien entendu de l'effet de serre, des technologies fort anciennes, des moulins à vent et peut-être un jour aussi des miroirs attribués à Archimède, pour faire de l'énergie solaire une énergie stockable. On les revoit avec des technologies nouvelles qui apportent beaucoup d'espoir et d'opposition. Quels sont ces problèmes de technologie ? Anita Castiel animera cette rencontre.

### **A. Castiel :**

L'énergie éolienne est tout à fait dans l'air du temps, néanmoins il faut la réinventer pour qu'elle puisse faire partie des nouvelles technologies, même si elle est ancienne. Elle est dans l'air du temps dans la mesure où la France s'est engagée à ce que 21 % de son électricité soit produite à partir d'énergies renouvelables d'ici à l'horizon 2010, contre 15 % actuellement. En conséquence les éoliennes ont une énorme part à jouer dans ce schéma.

Avec nous, pour dresser l'état des lieux de ce secteur en termes d'enjeu énergétique et en termes de débat - nous insisterons surtout sur la dimension technique -, Jean-Louis Bal de l'ADEME, Dominique Métivier du ministère de l'Industrie et Jean-François Petit de SIIF Energies France (filiale EDF). Dominique Métivier ouvrira le débat en nous dressant rapidement un état des lieux des énergies.

### **D. Métivier :**

Le but du jeu n'est pas de vous assommer de chiffres, mais plus exactement de planter le décor.

La répartition de la production d'électricité dans le monde montre que les deux tiers de cette énergie sont assurés par des énergies fossiles et le

dernier tiers se répartit pour moitié entre l'énergie d'origine nucléaire et l'énergie d'origine renouvelable.

Au sein de cette énergie renouvelable, nous nous apercevons que l'essentiel de la production est représenté par l'hydraulique. Je n'ai pas de représentation graphique concernant la production française, néanmoins le camembert énergétique français se répartirait sensiblement de la même façon que précédemment en inversant simplement les contributions du nucléaire et du fossile. C'est la raison pour laquelle nous sommes dans une situation un peu particulière et dans laquelle personne ne comprend notre spécificité.

Concernant la production d'électricité d'origine renouvelable en France, nous constatons qu'elle ne déroge pas à la règle mondiale, à savoir une production pour l'essentiel hydraulique. La France est un pays où il y a des énergies renouvelables mais traditionnelles ; pour le reste, il n'y a pas grand-chose.

En ce qui concerne la directive, elle précise un certain nombre de choses : l'Europe doit passer d'une contribution de 14 % d'énergies renouvelables dans le marché de l'électricité en 1997, à 22 % en 2010. Pour la France, la contribution impartie à notre production est de passer de 15 %, qui est notre production en 1997, à 21 % en 2010. Pour passer de l'une à l'autre, il faudra développer des énergies renouvelables comme tous les États-membres de l'Union européenne. L'énergie éolienne occupera donc une place prépondérante dans cette progression, non pas que les Français soient plus tentés par l'énergie éolienne que n'importe qui, mais parce qu'en termes de gisements disponibles, on constate que la grande variable d'ajustement s'appelle l'énergie éolienne.

C'est un sujet incontournable quand on cherche à savoir ce qui se passera en 2010 et l'on ne peut pas faire l'économie de la contribution de l'énergie éolienne.

Ce ratio de 21 % en 2010 est le résultat d'un rapport d'une production ou contribution sur une consommation. Suivant ce que sera notre consommation en 2010, la contribution de l'éolien et de toutes les énergies renouvelables pourra varier de manière très importante selon le niveau à atteindre, qui dépendra finalement de la maîtrise de nos consommations. Je n'irai pas plus loin dans ce discours parce qu'on rentre là dans un sujet de deuxième ordre, mais nous ne pouvons avoir l'un sans l'autre si nous voulons atteindre nos objectifs. J'ai donc planté le décor, nous pouvons maintenant rentrer dans le vif du sujet à savoir le vent, les éoliennes et tout ce qui s'y rattache.

#### **J.-L. Bal :**

Pour donner des chiffres très rapidement, les nouvelles productions «énergies renouvelables» à mettre en œuvre d'ici à 2010 représentent, suivant diverses hypothèses, entre 35 et 45 TWh (térawattheure, c'est-à-dire des milliards de kilowattheure). Pour vous donner une idée, un ménage français moyen consomme 3 000 kWh/an pour ses usages personnels hors chauffage électrique. Une centrale

nucléaire représente 8 TWh par an. Par conséquent, l'effort à faire en nouvelles énergies renouvelables représente environ cinq tranches nucléaires nouvelles d'ici à 2010.

Voyons comment on peut atteindre cet objectif au niveau des ressources en énergies renouvelables car, contrairement à ce que disait Dominique Métivier, il y a beaucoup d'énergies renouvelables en France, qui sont certes très peu utilisées hormis l'hydraulique.

On a en abondance de l'énergie solaire, mais aujourd'hui les technologies de production de l'électricité à partir d'énergie solaire sont encore à des prix très élevés. Il ne serait donc pas réaliste de vouloir le faire avec le photovoltaïque.

Les autres ressources disponibles sur le territoire métropolitain sont le vent et la biomasse, c'est-à-dire toutes les ressources d'origine végétale qu'on pourrait utiliser pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Aujourd'hui, si l'on veut faire de l'électricité à partir de la biomasse, la seule technologie réellement existante commercialement est de la brûler et ensuite de faire tourner des turbines avec la vapeur produite, c'est-à-dire avec un énorme gaspillage. Si l'on veut utiliser aujourd'hui de la biomasse à des fins énergétiques, le mieux est encore de la valoriser en chaleur, ce qui est fait d'ailleurs à un niveau très élevé en France. Dans le futur, on pourra envisager, lorsque les technologies seront vraiment au point, des techniques de gazéification de la biomasse ou de production de carburant à partir de la matière lignocellulosique et l'on pourra avoir des rendements. Aujourd'hui, pour produire de l'électricité à partir de la biomasse, la seule technique possible est la cogénération, ce qui limite singulièrement les applications possibles ; cela représente, d'après nos estimations, environ 6 TWh réalisables d'ici à 2010, ce qui n'est pas négligeable.

Il y a encore un potentiel exploitable en hydraulique, qui est relativement limité techniquement, et encore plus limité quand on sait qu'il y a beaucoup d'usagers de la rivière - les pêcheurs, les sportifs et leur kayak, etc. - qui n'aiment pas avoir de centrales sur leurs rivières. Nous estimons que nous pourrions raisonnablement produire environ 4 TWh, soit l'équivalent d'une demi-centrale nucléaire, avec un développement de l'hydraulique.

Pour le reste, bien qu'il y ait encore un peu de géothermie dans les départements d'outre-mer, mais qui compte pour peu au niveau du bilan global national, on devra recourir à l'énergie éolienne. Cela représente une trentaine de TWh, ce qui correspond à une fourchette de 10 à 14 000 MW d'énergie éolienne. Ces mégawatts pourront être installés soit sur terre soit en mer. Aujourd'hui, sur terre, les technologies sont disponibles et sont proches de la compétitivité même si l'on ne peut pas les mettre en concurrence avec les énergies classiques.

Le potentiel techniquement exploitable en France est estimé à environ 66 TWh ; il est basé sur l'exploitation de l'ensemble des zones où le vent est supérieur à 6 mètres par seconde en vitesse moyenne annuelle, en exploitant 10 % de ces zones. C'est un vent élevé, qui ne se rencon-

tre pas à Paris. Cela représenterait, en surface, quelques milliers de kilomètres carrés : pour 10 000 MW d'ici à 2010, il faudra consacrer à ces machines éoliennes environ 1 000 km<sup>2</sup> de territoire car il faut les espacer pour qu'elles ne se coupent pas le vent mutuellement. Sur ces 1 000 km<sup>2</sup> de territoire - ce qui est relativement peu par rapport aux 550 000 km<sup>2</sup> de superficie de la France - consacrés à des parcs éoliens, seulement 1 % ne serait plus utilisable à d'autres usages : élevage, agriculture, voire tourisme - contrairement à ce que pensent beaucoup de personnes, l'énergie éolienne ne fait pas fuir les touristes. Finalement, pour faire 10 000 MW d'éolien, on a besoin de 11 km<sup>2</sup> de notre territoire.

Le potentiel en mer techniquement exploitable est encore plus élevé. Nous estimons, si nous nous limitons à des distances par rapport à nos côtes qui seraient au maximum de 30 km et à des profondeurs maximum de 30 m, que le potentiel exploitable serait d'environ 90 TWh. Les machines à installer en mer sont encore à mettre au point même si, dans certains pays, on a déjà des éoliennes. Les machines qu'on devra implanter en mer ne sont pas encore aujourd'hui commercialement et industriellement sur le marché. D'énormes efforts de recherche et de développement sont encore à mener pour pouvoir exploiter l'éolien en mer.

**Jacques Ruer** (Saipem) :

Je parle ici au nom du club ECRIN qui est un club d'échange entre le CNRS et l'industrie ; malheureusement le représentant du CNRS n'a pas pu venir. Le seul message que je dois donner est très important et concerne l'énergie éolienne en général. On considère souvent que ces énergies intermittentes ne sont pas stockables. Or il se trouve qu'on sait maintenant stocker ces énergies et pas seulement à petite échelle sur des batteries, mais également sur de très grandes échelles. En Allemagne, aux Etats-Unis ou en Europe, il existe maintenant des stockages à très grande échelle : on parle de dizaines de milliers de mégawattheures. C'est un simple message que je voulais annoncer dans la salle au cas où des personnes penseraient que l'éolien c'est bien, mis à part le fait que c'est une énergie trop intermittente. Merci.

**A. Castiel** :

Nous approfondirons cette idée plus tard.

## Questions

**Quelqu'un dans le public** :

Quelles sont les règles d'utilisation des terrains sur lesquels sont implantées les éoliennes à terre, notamment l'aspect sécurité ?

**J.-F. Petit** :

L'aspect réglementaire pour s'installer sur un terrain en particulier dépend d'un certain nombre de critères. Le

propriétaire foncier peut être privé ou communal. Il faut avoir son accord et, le cas échéant, celui du ou des exploitants quand il s'agit de terres agricoles. C'est la première règle, à savoir l'accord des personnes qui ont la maîtrise du terrain.

Ensuite, on a des règles d'occupation des sols, d'urbanisme, qui s'appliquent à tout projet industriel ou privé. Le cadre réglementaire existe et il n'est pas nouveau, il n'a pas été créé pour l'éolien. Depuis quelque temps, on précise certaines règles pour faire le tri dans tout le contexte réglementaire existant, pour déterminer quelles règles appliquer spécifiquement à l'éolien, mais le contexte réglementaire existe : il faut un permis de construire à partir de 12 m de haut, une enquête publique à partir de 25 m de haut pour tous les projets éoliens, et une étude d'impact à partir de 2,5 MW, ce qui constitue déjà un projet un peu plus important. Les personnes de la profession sont d'accord pour avoir de la transparence et expliquer ce qu'elles font. J'espère avoir répondu à la question.

Les règles de sécurité sont visées et passées en revue dans l'étude d'impact, et l'on demande, si nécessaire, des études de danger spécifiques quand on s'implante dans une zone industrielle, par exemple à proximité de routes ou d'habitations - mais on n'est jamais proche des habitations pour d'autres raisons. L'étude de danger est demandée spécifiquement sur un sujet particulier dans des zones portuaires de stockage pétrolier, comme par exemple le port d'Antifer où il nous a été demandé une étude de danger spécifique pour étudier le bruit de pale et les effets dominos, et une contre-expertise est même prévue. Donc tout cela est prévu et c'est la réglementation presque traditionnelle.

**A. Castiel** :

Je voulais juste une précision concernant la loi datant de janvier 2003 : les projets précédents sont-ils soumis à cette loi ?

**J.-F. Petit** :

La loi du 3 janvier ne vise que la notion d'enquête publique. Précédemment, toutes les lois et les textes réglementaires s'appliquaient déjà : le permis de construire et l'étude d'impact étaient déjà obligatoires ; la seule différence résidait dans le fait qu'il était de la responsabilité de l'entrepreneur d'avoir la transparence la plus totale possible et la communication la plus en amont possible. Maintenant cette transparence dans la communication est devenue obligatoire, c'est la seule réelle nouveauté.

**Quelqu'un dans le public** :

En ce qui concerne le potentiel possible par l'éolien, s'agit-il de puissance installée ou de production réelle compte tenu du taux d'utilisation des éoliennes ?

Ma seconde question s'adresse à M. Ruer. Pouvez-vous préciser sous quelle forme vous stockez l'énergie électrique en grande quantité, et à quel prix, la question du prix étant assez secondaire ?

**Philippe Roqueplo :**

En ce qui concerne les études d'impact, je sais qui les fait ; mais qui décide ensuite et à quel moment de la procédure ? En ce moment en France, ne sommes-nous pas dans une situation où les sociétés font jusqu'à 1, 2, voire 3 ans d'études, pour passer, au terme de ces années, devant un jury - dont on aimerait bien connaître la composition -, qui semble avoir le pouvoir suffisant pour contredire toutes les décisions administratives antécédentes ?

**Quelqu'un dans le public (Environnement 92) :**

Je voudrais compléter la question sur le stockage, j'ai entendu : à quel prix ?, mais quel encombrement ? quelle pollution ? C'est tout nouveau pour moi qu'on sache stocker de façon rentable.

**D. Métivier :**

Concernant les problèmes des études d'impact, ce sont des études de type loi Bouchardeau et la procédure mise en œuvre est celle qui existe depuis cette loi. Les résultats sont exploités de la même manière que pour toute installation soumise à cette loi, et c'est le préfet qui, en dernier recours, accorde le permis de construire.

**P. Roqueplo :**

Tout dépend du préfet et c'est donc un choix politique !

**D. Métivier :**

Ce n'est pas nouveau, et cela fait partie de ses missions ordinaires. J'ose imaginer que tous les préfets de France et de Navarre sont des personnes réfléchies.

**J.-F. Petit :**

C'est effectivement le préfet qui, en dernier lieu, décide d'accorder ou de refuser un permis de construire. Bien évidemment, il tient compte de l'avis des services de l'Etat, d'une commission des sites et maintenant de l'avis du public au travers d'une enquête publique. Il peut aller contre l'avis de toutes ces personnes, mais cela semble difficile. Quand vous dites que c'est un choix politique, c'est exact, mais faire de l'éolien est un choix politique. Il y a moyen de faire de l'énergie plus facilement qu'avec des énergies renouvelables, mais si l'on en fait, c'est un choix de société et donc un choix politique, et en tant que développeur, je ne suis pas choqué que ce soit une décision politique.

**A. Castiel :**

Revenons s'il vous plaît à la technique.

**J.-L. Bal :**

Pour revenir à la technique, j'ai volontairement exprimé le potentiel éolien en énergie annuelle, parce que je suis devant un public d'ingénieurs. J'ai parlé de 66 TWh pour le potentiel terrestre, ce, au prix d'une puissance installée qui serait de l'ordre de 30 000 MW, étant entendu que, sur terre, on a une vitesse du vent inférieure à celle en mer. En

mer, on aurait un même potentiel installé, en termes de puissance, de 30 000 MW, mais qui pourrait, avec une meilleure productivité, nous sortir en énergie annuelle 90 TWh, ce qui, par rapport à 66 TWh, vous donne la différence sur la vitesse du vent.

Pour revenir à la question politique, il est évident qu'aujourd'hui, nos préfets sont dans l'attente d'un message clair de la part du Gouvernement : faut-il ou ne faut-il pas pousser réellement l'éolien ? Aujourd'hui, il y a beaucoup de contestations - on pourra peut-être parler plus tard de la façon dont la population ressent l'éolien -, qui sont extrêmement minoritaires, mais en revanche extrêmement organisées, et les préfets ont peur d'aller au devant de ces contestations en l'absence d'un message politique clair de la part de l'Etat. A cette fin, une circulaire ministérielle est aujourd'hui en préparation, dont on espère l'annonce prochaine pour rassurer et animer les préfets du feu sacré nécessaire pour développer l'éolien sur notre territoire.

**A. Castiel :**

Quelles sont les différents types de centrales ? Des recherches sont-elles faites sur les éoliennes pour les améliorer ? Comment travaillez-vous chez SIIF Energies ?

**J.-F. Petit :**

Je ne parle pas en tant que SIIF. Je suis délégué par le Syndicat des énergies renouvelables et j'essaie de représenter la profession.

Concernant les différentes techniques, en France, beaucoup de personnes parlent de l'éolien sans trop savoir ce que c'est. Il faut relativiser : en France, on en est au début bien qu'on parle de beaucoup de projets. Un projet, ce sont des sociétés et des personnes qui travaillent pour mettre en place des réalisations futures, mais un développement éolien est très long : 2, 3, 4, 5 voire 6 ans.

Qu'est-ce que l'éolien terrestre ? Il y a plusieurs types : le petit et le grand éolien. Le grand éolien est celui dont on parle le plus, mais le petit existe et il ne faut pas le mettre de côté.

Le petit éolien est en fait l'éolien de proximité ; il a été développé surtout pour les zones qui ne sont pas raccordées au réseau électrique. Je pense aux petites éoliennes de type Vergnet (marque française) qui font entre 30 et 200 kW, qui sont des éoliennes faciles à installer, qui peuvent se rabattre. Elles sont parfaitement adaptées pour les îles des DOM-TOM, où les cyclones sont fréquents. Le petit éolien s'est beaucoup développé dans les îles, dans les zones non raccordées au réseau et dans les zones rurales, mais ce n'est pas de cet éolien dont on parle le plus dans la presse.

Le grand éolien concerne des éoliennes qui font, pour les petites, 600 kW, et pour les plus grosses, en France, 2,5 MW. Les prototypes de 3,2 MW qui existent en Espagne ne sont pas des machines industrielles. De manière industrielle, on a une gamme de machines entre 600 kW et 2,5 MW qui sont déjà des modèles de série.

En termes de taille, qu'est ce que cela représente ? On parle de la hauteur du mât, dont il ne faut pas dire qu'elle est uniquement liée à la puissance de la machine. Elle est surtout liée au potentiel du vent de la zone concernée. Des zones sont plus ou moins ventées, d'où l'établissement de cartes du vent pour donner une première approche, une première sensibilité, et tout le monde voit bien que la zone sud de Narbonne-Béziers-Perpignan-Montpellier est une zone très ventée. Après, on a toute la zone côtière depuis le sud de la Bretagne, tout le tour de la Bretagne, la côte normande et jusqu'au nord de la France. En dehors de ces zones, on a quelques projets éoliens, mais c'est moins venté. La difficulté est d'aller chercher le vent en hauteur, et c'est pour cette raison qu'on met des mâts qui font 40, 60, 80 voire peut-être 100 m de hauteur.

La puissance de la machine est choisie en fonction de ce qui existe sur le marché et de ce qu'il est possible de faire d'un point de vue réglementaire - je pense à l'altitude maximum. Plus la machine est puissante et plus le diamètre est grand. On a également des contraintes liées à la circulation aérienne de l'aviation civile et militaire.

Le second type de contraintes est qu'en France, l'habitat est assez peu dispersé, et, très vite, on va se retrouver à des distances proches des habitations. On choisit la taille des machines en fonction des distances des habitations et des niveaux acoustiques rencontrés. L'optimisation de la taille de la machine est fonction de critères locaux.

Les diamètres des rotors : une machine de 600 kW représente 40 m de diamètre, et une machine de 2,5 MW, 90 m de diamètre. Une machine de plus de 3,2 MW existe, avec plus de 100 m de diamètre. Un prototype affichant 4,5 MW est encore en usine, avec 112 m de diamètre : c'est pour demain mais ces machines seraient plutôt adaptées à de l'éolien offshore. Ensuite se posent des problèmes de transport : si vous avez des machines qui font 90 m de diamètre, c'est-à-dire deux pales de 45 m, il faut les transporter sur la route à l'aide de camions spéciaux. Ces machines ont des nacelles très lourdes. Pour prendre un exemple, le chantier de Blouin, en Vendée, est le plus gros parc éolien français en termes de taille de machine (2,5 MW) ; y arrivent, en ce moment même jusqu'à la mi-mars 2003, des morceaux de pales, de mâts, et des nacelles, démontées pour pouvoir être transportées, et qui peuvent faire plus de 90 tonnes. C'est impressionnant, difficile à transporter, d'où la question de savoir comment les transporter.

Concernant l'éolien offshore, on peut imaginer des machines plus grandes sans contraintes de transport. Il y a quelques années, l'éolien atteignait ses limites à 1 MW, et on en est maintenant déjà à 3,5, 4 voire 5 MW.

En termes d'espace occupé par les machines, une éolienne, c'est simplement le diamètre du mât. On est souvent implanté en milieu rural, et la pâture comme l'exploitation peuvent être reprises après le chantier jusqu'au pied de l'éolienne. Les massifs sont enterrés même s'ils font 10 à 12 m de diamètre : la partie importante du massif est enterrée en général à 1,2 m de profondeur, on

remet de la terre dessus et cela redevient cultivable jusqu'au pied de la machine. Néanmoins, il faut aménager un chemin d'accès jusqu'au pied de l'éolienne pour l'exploitation, la maintenance et la surveillance. Donc au sol, c'est simplement 5 m de diamètre rendus incultivables ou impropres à la pâture.

L'espacement entre les machines : en France, on ne s'oriente pas vers des parcs mono machine et on n'imagine pas avoir des machines de taille et de forme différentes réparties n'importe comment. Il faut donc des parcs de 3, 4, 5, 6 - voire 10 à 15 machines, mais cela dépasse les limites de ce qu'on a le droit de faire aujourd'hui.

Aujourd'hui, le parc moyen fait entre 10 et 12 MW avec 4 à 6 machines de 2 MW. L'espacement entre ces machines dépend de l'orientation du parc face au vent. Il faut comprendre qu'une éolienne fonctionne quand il y a du vent, et quand elle tourne, elle génère un léger tourbillon. Une éolienne ne souffle pas, la poussière ne vole pas derrière elle, au contraire l'éolienne prend l'énergie du vent et donc ralentit légèrement le vent. La turbulence qui existe est simplement due au temps que prend l'air qui est derrière l'éolienne pour reprendre sa vitesse. Le fait qu'il y ait une sorte de tourbillon derrière l'éolienne implique qu'on ne peut pas mettre les éoliennes les unes derrière les autres impunément, sinon des problèmes de mécanique, de vibrations et de turbulence surgiront. Si l'on mettait les machines les unes derrière les autres, face au vent dominant, il faudrait respecter une distance assez grande entre elles. On raisonne donc en termes de diamètres de machine, et l'on doit respecter entre 5 et 7 fois le diamètre de la machine. Avec une machine de 80 m, on doit mettre la seconde machine 500 à 700 m derrière, mais entre les deux, ce sont des champs, de la pâture sans perturbation. Si l'on peut organiser la ligne d'éoliennes plutôt face au vent, c'est mieux et on peut les espacer de 200 à 300 m.

#### A. Castiel :

Il y avait une question fondamentale sur le stockage.

#### J. Ruer :

On va parler de stockage à grande échelle. Bien évidemment, on peut stocker l'énergie produite par les petites éoliennes sur des batteries au plomb ou au nickel. Il faut savoir qu'existe le stockage gravitaire hydraulique. En France, on a des montagnes qui permettent de stocker l'énergie dans des lacs de montagne : une des plus grandes installations d'Europe, avec 2 700 MW, se trouve dans le massif de l'Oisans. En Suisse, la plupart des lacs de barrage ne produisent plus d'électricité mais en consomment : l'eau est pompée en heures creuses et retournée en heures pleines, ce qui est très rentable.

Une autre possibilité, là où l'on n'avait pas de montagne, comme au Texas ou en Louisiane ou même dans le nord de l'Allemagne, a été de créer des cavernes souterraines importantes dans lesquelles le stockage d'air com-

primé est possible. La plus ancienne de ces installations existe dans le nord de l'Allemagne et permet de stocker 290 MW pendant 2 heures.

Le rendement du stockage gravitaire hydraulique est lié au fait que vous allez consommer plus d'énergie en la stockant que vous ne pourrez en restituer en la revendant. Dans le stockage gravitaire, c'est un rendement de 65 à 80 % selon que vous avez la même machinerie pour pomper et turbiner, ou que vous décidez d'avoir une pompe et une turbine séparées.

Le stockage à air comprimé est plus difficile parce que généralement, quand on déstocke l'air comprimé, on l'injecte dans une turbine en gaz, et, *in fine*, on récupère plus d'énergie électrique qu'on en a utilisée au pompage. La différence vient du gaz naturel qu'on a utilisé.

Il existe des batteries de stockage à grande échelle, en particulier aux Etats-Unis où le problème de la libéralisation de l'énergie a créé des situations fantastiques. Ils ont des batteries au plomb où ils stockent 40 MWh pour des puissances de 10 MW. A Berlin, avant la chute du mur, il y avait, pour des raisons politiques, une installation de plusieurs mégawatts de stockage d'électricité. Les Anglais et les Japonais sont en train de développer des machines de stockage électrochimiques sur des batteries dites «à circulation» où l'on fait circuler des liquides stockés dans des réservoirs séparés qui viennent ensuite réagir électrochimiquement dans les batteries : cela concerne des installations de 15 MW (120 MWh) et, dans ce cas, le rendement est à peu près de 70 %.

Notre groupe développe aussi des systèmes de stockage différents, mais d'un rendement de 60 %, qui auraient l'avantage de stocker des milliers de mégawatt-heure sans être liés à aucun site.

#### **Quelqu'un dans le public :**

Vous venez de répondre partiellement au problème du stockage, mais je regrette que vous ne puissiez pas avoir le temps de développer ce sujet qui est le plus sensible parce que faire de l'électricité est une chose, mais pouvoir l'utiliser en est une autre.

Je voudrais compléter ma question. Pour pouvoir fabriquer de l'électricité à partir de piles à combustible, utilisant comme chacun sait l'hydrogène qui est inépuisable, les piles à combustible ont besoin d'énergie. Est-il envisageable d'utiliser l'énergie éolienne pour cela et coupler ainsi les deux énergies ?

#### **Quelqu'un dans le public :**

Quelle est l'adaptation du réseau de transport électrique concernant l'évolution du potentiel éolien qui est très important compte tenu des chiffres annoncés en début de séance ?

#### **Quelqu'un dans le public :**

Concernant les chiffres annoncés, est-ce un vœu pieux annoncé par le Gouvernement en matière d'utilisation

d'énergies renouvelables ou est-ce vraiment un engagement, avec derrière, un plan de production qui va être mis en route ?

#### **A. Castiel :**

Comment l'électricité est-elle injectée dans les réseaux ?

#### **D. Métivier :**

Le raccordement se fait par des câbles. La question n'est pas de savoir s'il faut un câble mais à quel prix ? Le prix est fixé par un tarif qui prévoit des conditions de rémunération relativement intéressantes pour les projets qui sont éligibles à cette facilité. Ce tarif ne présente pas de difficulté majeure. C'est un tarif garanti en termes de niveau et de durée, ce qui apporte de la visibilité technique et économique aux opérateurs. C'est une méthode qui fonctionne en Allemagne et en Espagne. Pourquoi pas chez nous ?

Concernant le problème de la capacité de raccordement, il est admis qu'aujourd'hui, il y aurait 6 000 MW de capacité disponible pour raccorder, mais le problème est de savoir si ces mégawatts disponibles sont là où il y a du vent. A priori cela marche, mais 6 000 MW, ce n'est pas 10 000 MW, et à ce niveau, on rentre dans des procédures de type électrique. On sait que toutes les procédures électriques sont très longues parce qu'on tombe dans des mécanismes de type utilité ou enquête publique, et construire une ligne prend entre 5 et 7 ans. Ce sont des choses qui se préparent longtemps à l'avance.

Dernier point concernant le problème de savoir si l'objectif de 21 % est un vœu pieux. La directive parle d'objectif indicatif, ce qui signifie que, finalement, si un Etat-membre n'atteint pas l'objectif, personne ne lui tapera sur les doigts, mais ces directives ne parlent pas que de pourcentage. Les Etats-membres devront s'engager à faire en sorte que les procédures d'autorisation de raccordement mises en œuvre soient simplifiées et clarifiées, et de préférence non ralenties, que les conditions d'accès soient objectives, transparentes et non discriminatoires.

Les Etats-membres ont l'obligation de fournir des rapports périodiques à la Commission, sur la base desquels ladite Commission européenne produira un rapport à l'attention du Parlement européen pour faire un premier état des lieux en 2005.

En 2005, la Commission détiendra les éléments pour dire si l'on sera ou si l'on ne sera pas, au niveau communautaire, sur la trajectoire espérée à l'horizon 2010, mais en fonction de cette conclusion, la Commission pourra faire de nouvelles propositions pour pouvoir mieux y arriver. En conséquence, ce n'est pas un vœu pieux parce qu'il y a toute une «machinerie communautaire» en place.

#### **A. Castiel :**

Les prix sont fixés et garantis, mais ne le sont que pour une quinzaine d'années.

**J.-L. Bal :**

Les tarifs sont garantis contractuellement pour 15 ans, et donc, une fois que le parc a démarré, on ne peut pas revenir en arrière sauf à casser le contrat, ce qui coûte de l'argent.

Concernant la question politique sur le vœu pieux ou non, je précise qu'un grand débat national sur les énergies va commencer dans quelques jours et, sans attendre cette évaluation par la Commission en 2005, on verra, à l'occasion des conclusions de ce débat, quelles sont les intentions politiques réelles du Gouvernement et si ses intentions sur le développement des énergies renouvelables se concrétisent.

En ce qui concerne la question de l'hydrogène, pile à combustible et couplage avec l'éolien, ce concept paraît séduisant. L'hydrogène est effectivement inépuisable, mais il n'existe pas à l'état naturel. Aussi faut-il, pour produire de l'hydrogène, commencer par consommer de l'énergie pour scinder la molécule d'eau en hydrogène et oxygène, ou le récupérer sur des combustibles fossiles ou sur de la biomasse. Lorsqu'on va casser une molécule d'eau pour récupérer l'hydrogène, on aura un rendement assez faible, et ensuite si l'on veut le restituer en électricité via une pile à combustible, le rendement global ne dépassera pas les 30 %.

C'est une possibilité pour l'avenir et je pense qu'à l'aide des techniques de gestion qui vont probablement permettre de le faire, on aura, pour gérer ces énergies intermittentes, à recourir le moins possible au stockage et donc, sur les réseaux électriques, à toujours donner la priorité aux énergies intermittentes. C'est donc à envisager sur les programmes de recherche et développement, qui n'auront pas à porter uniquement sur de la technologie de stockage, mais également sur la gestion des réseaux électriques.

**P. Roqueplo :**

Je prendrai pour acquis que la technique ne s'improvise pas et que ses conditions de mise en place supposent l'existence d'industriels ayant des intérêts à la développer.

Concernant les grosses entreprises comme le nucléaire ou même le gaz et autres, il y a d'énormes industries qui représentent, par rapport aux pouvoirs publics, un pouvoir tel qu'elles sont capables de stabiliser le système concurrentiel, mais est-il crédible en ce moment que les industries soient à la base de l'éolien ? Est-il possible de penser qu'elles réussiront à le développer alors qu'elles sont tellement dépendantes des vicissitudes des politiques ?

Ce n'est pas une loi qui fixe le tarif, mais une directive (en Allemagne, c'est une loi). Le décret ne sera pas respecté ; on est déjà à 50 % de ce qui était envisagé.

**J.-F. Petit :**

Concernant les tarifs, c'est vraiment une loi. La loi électrique du 10 février 2000 qui a été modifiée est une loi avec des décrets d'application, filière par filière. Il n'y

a pas que l'éolien, mais aussi l'hydraulique, la cogénération, le solaire, etc. : tout a été prévu. C'est peut-être long à mettre en place par les développeurs comme nous, mais maintenant, on ne peut pas dire que le tarif n'existe pas, et il nous donne une visibilité sur 15 ans. Il est vrai qu'on peut toujours faire et défaire les lois, mais c'est une loi et donc quelque chose de concret. Cela donne une visibilité pour les investisseurs, qui permet de s'y retrouver.

Certains jugent que le tarif est trop élevé et d'autres pensent qu'il est juste ; tout dépend des conditions d'implantation, mais je pense qu'il est correct. A partir du moment où l'on fait de l'éolien dans des zones qui ne sont pas très ventées, dès qu'on recule dans les terres ou dès qu'on a des raccordements un peu difficiles, on n'y vit pas et donc on ne fait pas de projet.

On entend dire qu'il y a beaucoup de projets éoliens. En volume, sur l'ensemble de la France, on compte 15 000 MW de demande de raccordement. Cela ne signifie pas qu'il y aura 15 000 MW de projets qui sortiront, mais que l'ensemble des développeurs ont déposé des demandes de raccordement pour l'équivalent de 15 000 MW.

Que ressort-il de tout cela ? Des développeurs travaillent depuis 4 ans. Aujourd'hui, cela représente 850 MW de permis déposés - c'est plus raisonnable -, et sur ces 850 MW, les 4/5<sup>e</sup> sont soumis au recours. En effet, au niveau du Syndicat, on fait un inventaire pour savoir lesquels sont soumis à recours et lesquels ne le sont pas.

Ce sera beaucoup plus simple et plus sain après le principe de l'enquête publique puisque les recours seront plus difficiles à justifier. La plupart des recours portent justement sur l'absence d'enquête publique. Or, on reproche aux investisseurs de ne pas avoir fait d'enquête publique alors même que la loi n'en prévoyait pas ; le Gouvernement n'avait pas mis plus tôt l'application d'une directive européenne en vigueur. Attaquer le Gouvernement semblerait plus logique que d'attaquer les développeurs.

**Quelqu'un dans le public :**

Je m'occupe des énergies renouvelables en général. Je profite de ce qu'on ait une table exceptionnelle avec l'industrie, EDF, et la recherche avec M. Bal. On nous dit, et je suis très content de l'apprendre, qu'il n'y a aucune objection à installer 5 000 à 10 000 MW électriques en France. J'étais au Commissariat au plan en 1978, on s'occupait du programme énergétique français et à ce moment-là, les perspectives de l'énergie éolienne étaient considérées comme rigoureusement égales à zéro, un zéro pointé ! En revanche, à la même époque, pour les surgénérateurs à l'horizon 2000, on prévoyait 50 superphénix purement et simplement. On a eu une énorme surprise industrielle. L'éolien était considéré comme impossible à maîtriser et EDF avait même conclu à la non-faisabilité technique et économique de l'éolien.

Ma question : on va construire 5 000 à 10 000 éoliennes ; sur ce pourcentage, combien seront des éoliennes de conception et de fabrication française et non pas des éoliennes importées ? Je pose la question en particulier

à SIIF Energies : pourquoi, au lieu de se tourner vers le produit qui a financé l'éolienne Jeumont, l'éolienne nationale, vous tournez-vous systématiquement vers des Vestas, Neg-Micon, etc. ?

**J.-F. Petit :**

La réponse est très claire et je suis bien placé pour répondre parce qu'il y a trois parcs qui tournent avec des machines Jeumont en France et deux de ces parcs appartiennent au groupe EDF. Sur plusieurs sites dans le nord et le sud de la France, nous participons à notre manière à l'activité de Jeumont, mais ce n'est pas notre priorité pour plusieurs raisons que je développerai après.

Les machines qui ne sont pas des machines Jeumont - Jeumont est franco-français tout le monde le sait -, sont Vestas, Nordex ou Neg-Micon ou autres, ce sont déjà des machines européennes et cela ne me choque pas. Elles ont un certain nombre d'équipements ; les personnes qui fabriquent des éoliennes sont des assembleurs qui achètent les pales à un fabricant de pales, l'alternateur aux fabricants d'alternateur, etc., et l'on s'aperçoit que, dans les parcs français, plus de la moitié des équipements, qui sont des équipements de machines allemandes, ont des alternateurs, transformateurs, équipements électriques, multiplicateurs qui sont souvent français. On retrouve des machines qui viennent de différents pays dont la France.

Petit à petit, la filière va se mettre en place et se développer. Aujourd'hui, il n'y a pas de filière française. Les constructeurs ne peuvent pas venir implanter des usines en France. En 20 ans, nous avons installé 130 MW au total, et l'on ne construit pas d'usines pour aussi peu de machines. Mais petit à petit, si la filière de l'éolien se développe, on pourra développer une industrie. En tant que développeurs, nous y participons : seront ainsi développées des entreprises de chaudronnerie pour fabriquer les mâts des machines. A titre d'exemple, on a un parc en Corse où l'on a fabriqué les 20 mâts des machines dans une chaudronnerie sur le port de Bastia. Il y a donc moyen de développer l'activité en France s'il y a réellement un marché d'un volume suffisant.

Pour en venir à Jeumont : c'est un concept de machine particulier, novateur et intéressant, mais c'est nouveau, en voie de développement. Ils n'ont pas le bénéfice des séries comme les fournisseurs étrangers. Ils ont une machine de 750 kW un peu en retard par rapport aux machines concurrentes. Les nouveaux parcs sont souvent avec des machines 1,5 ou 2 ou 2,5 MW. C'est donc historique : s'il n'y a pas eu de fabricants d'éoliennes en France aussi tôt qu'en Allemagne ou au Danemark, nous n'en sommes pas responsables.

**J.-L. Bal :**

Nous avons soutenu et nous allons continuer à soutenir le développement des aérogénérateurs de Jeumont Industrie. Il faut savoir que Jeumont s'est lancé dans l'aventure de l'éolien il y a 6 ans et avec un retard énorme sur tous les grands constructeurs qui sont en premier

danois, en second allemands et en troisième espagnols, c'est-à-dire les trois pays où l'énergie éolienne s'est développée.

Jeumont a fait le pari d'une technologie innovante qui n'est aujourd'hui utilisée que par un seul constructeur au monde, Enercon en Allemagne, avec la génératrice à attaque directe qui supprime le multiplicateur, source d'ennuis. Cela implique des problèmes mécaniques, du volume et du poids, et lorsqu'on va développer des éoliennes de 4 à 5 MW qui seront installées en mer sur des mâts qui vont monter à 100 m de haut, le volume et le poids d'un multiplicateur auront beaucoup d'importance. Ce qui est visé avec Jeumont, c'est moins le marché actuel de la gamme 1 à 2 MW que le marché futur sur lequel, de toute façon, ayant démarré en 1996, Jeumont n'aurait pas pu rattraper le retard sur les concurrents. Il faut viser l'étape suivante, à savoir celle des grandes machines, ce qui nécessite un soutien de la part des pouvoirs publics et aussi un investissement plus fort qu'il ne l'est actuellement de la part de l'actionnaire de Jeumont que vous connaissez tous.

**Quelqu'un dans le public :**

Pour situer le contexte, j'ai fait une demande de permis de construire pour une éolienne privée, je l'ai eu sans problème. Quel est le coût de maintenance ? Y a-t-il des difficultés et cela marche-t-il très bien dans le temps ?

**Un intervenant :**

Je reviens sur le caractère aléatoire du vent et notamment sur le caractère un peu moins aléatoire de la demande. Pour satisfaire la demande, il faut une excellente capacité relativement importante que certaines personnes ne comprennent pas. Si cette excellente capacité n'existe pas, on arrive à des catastrophes comme en Californie par exemple où le prix de l'électricité est devenu tellement élevé que certains industriels ont arrêté leur production de produits qui consommaient de l'électricité pour revendre l'électricité et faire du profit quand même.

En Europe, des incidents sont survenus, notamment en Espagne et en Allemagne. Heureusement, la France a subvenu aux besoins de pointe de ces pays au travers de la Belgique pour l'Allemagne, mais cela a failli saturer complètement le réseau belge.

Quand on ajoute ce caractère aléatoire des éoliennes, tient-on compte de la surcapacité complémentaire de base qu'il faut avoir et qui ne soit pas aléatoire, pour éviter justement des phénomènes de pointe ou de manque de capacité de production ?

**Quelqu'un dans le public (Agir pour l'environnement) :**

On a l'occasion de suivre le débat national sur les énergies, et pour reprendre les propos de M. Bal sur les objectifs de ce débat, on ne se fait pas trop d'illusion quant aux hypothétiques relances de l'éolien en France parce qu'on sait très bien que l'objectif inavouable de ce débat est de maintenir la surproduction électronucléaire

même si c'est une surproduction de base, et l'on pâtit de cette braderie ou de cette importation d'électricité pour continuer à faire à moindre coût. Tant que le nucléaire continuera à être relancé et à être produit, on aura du mal à développer l'éolien comme cela peut être le cas en Allemagne et en Espagne. C'était donc un constat.

#### **J.-L. Bal :**

Concernant la question du caractère aléatoire du vent et de la demande, il vaut mieux parler de caractère intermittent et non pas aléatoire, aléatoire signifiant que si vous avez du vent à l'instant  $T_0$ , vous êtes incapables de prévoir quel vent vous aurez à l'instant  $T_0+1$ . Il n'empêche qu'on doit pouvoir beaucoup améliorer la prévisibilité de l'éolien.

En Allemagne, sur un parc de 2 000 MW, la puissance a décliné de façon imprévisible de 500 MW en un quart d'heure et c'est un vrai problème. On ne le nie pas et l'on doit continuer à travailler sur la prévisibilité de la ressource éolienne. Il faut quand même rappeler que la météorologie ne s'était, avant le développement éolien, jamais penchée sur des problèmes aussi localisés et avec des prévisions aussi précises à court terme que celles dont nous avons besoin pour gérer des parcs éoliens. Je pense qu'on va faire d'énormes progrès dans ce domaine.

Il n'empêche que lorsqu'on aura, dans les parcs français, un pourcentage suffisamment élevé de puissance éolienne, on aura à résoudre ces problèmes de surcapacité et ce sera probablement grâce au stockage qu'on y parviendra plutôt qu'avec des capacités excédentaires.

Aujourd'hui, le problème ne se pose vraiment pas parce que l'excédent de capacité en France est phénoménal : je vous rappelle que 20 % de notre production d'électricité est exportée, et la puissance installée dépasse encore largement la puissance de pointe, même si l'on bat des records régulièrement.

#### **J.-F. Petit :**

Concernant la maintenance des machines, au quotidien, ce n'est pas grand-chose. En fait, des visites sont faites sur des fermes dans les parcs éoliens par un mainteneur dont le profil est électromécanicien. Il s'agit d'une visite de routine tous les 15 jours environ, au minimum une fois par mois. Il rentre dans l'éolienne, observe les cadrans, monte dans la nacelle pour vérifier les vibrations, les fuites d'huile. S'il n'y a pas de maintenance corrective, c'est juste du contrôle visuel.

Deux fois par an, il y a une maintenance préventive plus poussée : on arrête la machine pour une ou deux journées, on ouvre les capots, certains carters, on change quelques joints ou des filtres, on fait un appoint d'huile et c'est terminé. C'est donc très sommaire. Ensuite, c'est du tout-venant, du correctif quotidien : par exemple, à cause du vent, on va changer la girouette ou les cartes électroniques qui auraient grillé.

Le gros correctif grave peut être des bris de pales qui sont liés à des effets de foudre, mais c'est rare. Il peut

arriver aussi que des éoliennes se plient, c'est encore plus rare, et les dégâts induits sont nuls. En fait, le rayon des dégâts se situe dans un diamètre de pale. Nous faisons des études de danger pour éviter tout problème, comme par exemple en Corse où l'on installe les éoliennes à moins de 400 m d'un port où des gens circulent.

Je reviens à la maintenance légère et lourde. Concernant la maintenance préventive, la vraie grande révision se fera au bout de 15 à 20 ans. Aujourd'hui, on ne peut pas dire si ce sera 15, 16 ou 17 ans, car cela dépend des conditions de site, de turbulences, de vent. Sur des sites avec peu de turbulences et des machines bien espacées, les machines ne seront pas fatiguées et l'on pourra tenir 20 ans, mais dans d'autres cas, ce sera 15 ans.

Que faut-il donc entendre par grosses révisions ? On n'a pas un retour réel et concret. Les technologies ont évolué ces 10 ou 15 dernières années, on fera peut-être des rembobinages d'alternateur dans 15 ou 20 ans, on aura peut-être quelques réducteurs à modifier, mais quand on en sera là, d'autres solutions seront mises en œuvre comme la modification des machines avec des pales aux profils mieux étudiés. Je ne sais pas répondre pour les réparations dans 15-20 ans. Il faut provisionner, dans les comptes d'exploitation, un volume pour une grosse révision dans 15 ou 20 ans, ce qui est la durée moyenne d'une éolienne, mais ce peut être plus parce qu'en remplaçant quelques organes, une éolienne peut repartir pour 15 ou 20 ans. Mais d'ici là faudra-t-il encore faire de l'éolien ? Je suis optimiste, l'éolien porte aussi un débat sur l'organisation des espaces et des paysages. Il faut accepter l'éolien parce que cela se voit et suscite des débats, mais l'avantage par rapport à d'autres moyens de production d'énergie est la facilité pour démonter et recycler les éoliennes, et si dans 20 ans, d'autres solutions énergétiques existent, on pourra démonter, remettre les sites en état et recycler l'installation à 95 %.

#### **A. Castiel :**

Jean-Louis Bal, pouvez-vous nous parler de votre enquête ?

#### **J.-L. Bal :**

Je voulais dire quelques mots sur ce que les Français pensent de l'éolien.

On a déjà évoqué ce soir quelquefois les réactions négatives à l'égard de l'éolien, les recours contre les permis de construire, j'ai déjà dit qu'il s'agissait de réaction de gens ultra minoritaires, mais bien organisés, avec des sites Internet dont je tairai le nom.

Il nous a paru, à l'ADEME, extrêmement important de savoir quelles sont les perceptions réelles de la population française sur l'énergie éolienne. Nous avons donc fait un premier sondage au plan national en janvier 2002, par l'institut de sondage Démoscopie, sur 2 500 personnes, avec un sondage plus particulier sur un nouvel échantillon de 300 personnes dans le département de l'Aude c'est-à-dire là où tournent des parcs éoliens

depuis plusieurs années et où donc les gens savent ce que c'est.

Les résultats du premier sondage montrent que les Français savent ce qu'est l'énergie éolienne, que sa notoriété est grande. La plupart des Français ont déjà vu des éoliennes soit en France au bord des autoroutes, soit lors de voyages à l'étranger. Interrogés sur l'éolien, ils parlent en relative connaissance de cause. La première conclusion sur l'ensemble du panel national montre que les Français sont favorables au développement de l'énergie éolienne à plus de 90 %, pour des raisons écologiques c'est-à-dire d'énergie propre, ce qui n'est pas vraiment une surprise.

En revanche, la surprise vient plutôt du fait que les Français restent très favorables au développement de l'énergie éolienne même à proximité de leur domicile. La perception positive de l'énergie éolienne augmente fortement dans le département de l'Aude c'est-à-dire là où les contestations sont les plus importantes aujourd'hui. La perception est nettement plus positive dans les communes d'implantation c'est-à-dire chez les gens les plus proches de ces éoliennes. En revanche, les personnes des communes voisines, qui ne disposent pas des retombées de la taxe professionnelle, trouvent les éoliennes beaucoup plus bruyantes et beaucoup plus laides. Les inconvénients sont donc perçus de façon plus forte dans les communes limitrophes que dans les communes d'implantation. Globalement, dans les communes d'implantation, le bilan tiré après installation des parcs éoliens est de 86 % d'opinions positives sur l'implantation de parcs éoliens dans leur commune. Ce sondage date d'un an.

Nous avons fait un deuxième sondage dont un communiqué de presse au Salon des énergies renouvelables à Lyon vient de présenter les résultats. Ce nouveau sondage porte sur 2 500 personnes interrogées au plan national, avec une bonne répartition sur l'ensemble des régions, sur toutes les couches sociales, c'est-à-dire suivant des méthodes scientifiques. Puis nous avons refait une focalisation sur le département de l'Aude pour voir comment l'opinion avait évolué après un an de manifestations de toutes ces associations anti-éoliennes bien documentées. Et nous avons fait une seconde focalisation sur un autre département, celui du Finistère, où des parcs éoliens fonctionnent depuis plusieurs années.

Nous avons constaté les mêmes résultats qu'un an plus tôt au plan national, avec toujours une grande volonté de développer l'énergie éolienne. Sur le département de l'Aude, les opinions positives sont passées de 86 à 81 %, et sur le département du Finistère, les résultats sont les mêmes, à savoir 82 % d'opinions positives. On observe donc une légère érosion.

Quelques chiffres intéressants : lorsqu'on demande aux Français, sans suggérer de réponse : « que voyez-vous comme inconvénients à l'énergie éolienne ? », un Français sur cinq au plan national répond « aucun inconvénient », soit 19 %. Quand la même question est posée dans les deux départements cités, 40 % des habitants de l'Aude

et 44 % des habitants du Finistère ne trouvent aucun inconvénient à l'énergie éolienne. La proximité fait donc accepter plus facilement l'éolien.

Concernant l'esthétique, c'est la même chose : seulement 37 % des Français trouvent les éoliennes esthétiques ; ce taux monte à 50 % dans l'Aude et à 56 % dans le Finistère.

Globalement et de la même façon, les Français estiment, et c'est encore plus fort dans l'Aude et le Finistère, que les parcs éoliens ne font pas fuir les touristes et ne dégradent pas l'image des produits régionaux. La perception de l'énergie éolienne par les Français est donc très bonne.

#### **A. Castiel :**

En d'autres termes, si des problèmes apparaissent, c'est par manque de connaissance du sujet ou en raison d'une communication insuffisante sur cette thématique.

#### **J. Ruer :**

Je voulais revenir sur la variabilité de l'énergie éolienne. C'est un sujet qui est étudié au sein de notre groupe parce que nous nous intéressons à l'énergie offshore. Effectivement, beaucoup de recherches financées par la Commission européenne sont faites en Europe en ce moment et les principaux sujets de recherche sont la prédictibilité du vent.

Dans la plupart des pays, il est nécessaire de vendre l'électricité le lendemain c'est-à-dire de prévoir ce que le parc pourra vendre demain de 16 à 18 heures. C'est donc un pari, et c'est un vrai problème parce que si vous n'avez pas le vent et que vous avez vendu, vous êtes pénalisés. Ces situations se sont produites au Danemark où le vent est passé à quelques kilomètres du parc, ce qui suffit pour être complètement déventé.

Le stockage peut être un moyen pour réguler tout cela, mais moins on l'utilise et moins on dépense d'argent.

La solution : en Europe du Nord, en Allemagne, il y a déjà 13 000 MW d'éoliennes installées, ce qui est 100 fois plus qu'en France. Ils voient l'avenir très rose parce qu'ils se disent que le jour où il y aura des grandes lignes de transport à travers toute l'Europe au sens large c'est-à-dire du Maroc aux Pays baltes, la variabilité du vent permettra de garantir la puissance électrique éolienne liée, au plan européen, avec une fiabilité aussi bonne que celle des centrales nucléaires.

Enfin concernant l'acceptabilité des éoliennes : en Angleterre, une éolienne a été installée, avec une tour de visite en haut, et les personnes qui vivent à côté de cette éolienne sont maintenant tout à fait contre le fait qu'un projet similaire s'établisse ailleurs dans le Royaume-Uni en raison de la masse de touristes qu'ils ne veulent pas voir fuir ailleurs.

#### **Quelqu'un dans le public (juriste allemand) :**

Je pense qu'il est vraiment important de préciser que ce sont les citoyens qui ont développé l'énergie éolienne

en investissant dedans et je pense qu'il serait très important en France que ce soit les citoyens qui forment des parcs éoliens. En Allemagne, près de la frontière germano-néerlandaise, ce sont des paysans qui ont acheté 90 éoliennes, ce qui montre que ce ne sont pas forcément les grandes sociétés comme EDF qui doivent développer cette énergie, mais plutôt les citoyens en investissant.

**J.-F. Petit :**

Je suis d'accord avec votre remarque. En France comme ailleurs, tout le monde peut faire de l'éolien, même un particulier. Certes c'est un peu compliqué, d'où la nécessité de faire appel à des professionnels dont c'est le métier pour la mise en œuvre. En revanche, en ce qui concerne l'investissement, l'ensemble de la profession, et pas seulement SIIF Energies, filiale du groupe EDF, s'intéresse à ce produit en permettant d'offrir aux privés de participer et d'investir. Or, la grande difficulté vient du système réglementaire français qui impose des lois protégeant certains lobbies ou certaines activités, en l'occurrence le lobby bancaire. Si par exemple, on invite publiquement les personnes à investir dans un parc éolien quelque part, cela s'appelle de l'appel public à l'épargne (APE) et les seuls pouvant le faire sont des établissements bancaires. Néanmoins, les développeurs préparent actuellement ce type de produits, mais avec des facilités moindres comparées à celles existant en Allemagne, en Belgique ou au Danemark. Les avantages fiscaux associés ne sont pas non plus les mêmes.

**J.-L. Bal :**

Un colloque est organisé le 14 mars 2003 à la Villette sur ces problèmes de financement de l'éolien, vous pouvez trouver les informations à ce sujet sur le site web du CLER (Comité de liaison des énergies renouvelables) : cler.org.

**Quelqu'un dans le public :**

Quelle est la rentabilité qu'on pourrait espérer si l'on avait la possibilité en France d'investir dans une ferme éolienne en tant qu'investisseur privé sur une période de 15 ans, en prenant en compte l'investissement de base, les frais d'exploitation et de maintenance, etc., avec l'attrait du coût intéressant consenti par EDF ?

**Quelqu'un dans le public :**

L'étude de l'ADEME est-elle disponible sur son site web ?

**J.-L. Bal :**

Oui, depuis ce matin.

**Quelqu'un dans le public :**

Dans combien de temps la France envisage-t-elle de rattraper son retard par rapport à ses partenaires ?

**P. Roqueplo :**

Quel intérêt EDF a-t-elle de se lancer dans cette affaire ?

**Quelqu'un dans le public :**

Pouvez-vous nous parler du prix de revient du kilowattheure, compte tenu des investissements et de l'entretien, comparé aux autres énergies ?

**Quelqu'un dans le public :**

Comment dimensionnez-vous votre éolienne ? Comment choisissez-vous le nombre de pales ?

**Quelqu'un dans le public :**

Il y a 50 ans, j'ai connu quelqu'un qui avait installé une éolienne dans sa propriété parce qu'il n'était pas desservi par l'EDF, et quand la ligne est parvenue à son niveau, il a été sommé de démonter son installation, pourquoi ?

**D. Métivier :**

A l'époque, on était sous la loi de 1946 qui conférait le monopole de la production d'électricité à EDF, c'est donc vraisemblablement une affaire de ce genre à laquelle vous faites allusion.

Concernant la question sur les raisons de l'intérêt d'EDF à l'énergie éolienne, c'est la conséquence directe de la loi de février 2000 qui instaure un certain nombre de choses. Sa principale nouveauté, qui n'a pas fait beaucoup de bruit, réside dans le fait que cette loi a libéralisé le marché de la production sous certaines réserves. EDF s'est donc retrouvée confrontée au grand marché de l'électricité, et à ce titre, EDF trouve le même intérêt que n'importe quel autre producteur d'électricité à produire de l'énergie éolienne selon les tarifs connus de tout le monde. Il y a un intérêt à se développer dans un secteur réputé prometteur d'un point de vue économique. Il n'y a pas de philanthropie là-dedans.

**J.-F. Petit :**

Concernant l'aspect rentabilité des projets, que l'investisseur soit privé ou public, la rentabilité est quasi identique à une nuance près, à savoir la taille des projets développés. Si vous faites du petit éolien, le coût d'investissement au kilowatt ou au mégawatt installé est bien supérieur à celui d'une ferme éolienne de 10 MW, mais globalement, en France, si l'on raisonne en TRI de projet sur 15 ans c'est-à-dire avant impôt sur les sociétés, vous allez avoir des rentabilités de 10 à 13 %, et si l'on raisonne en temps de retour brut, ils sont entre 5 à 8 ans avant de payer la banque c'est-à-dire les emprunts.

Concernant le nombre de pales : pourquoi deux, trois et pas plus ? En fait, le rendement d'une machine serait meilleur si l'on mettait seulement deux pales, mais cela poserait un problème d'ordre acoustique pour des rai-

sons de vitesse de rotation. Sur les éoliennes terrestres, on évite donc de mettre des bipales parce qu'elles sont plus acoustiques que les tripales.

Le deuxième aspect concerne l'aspect visuel : avec les éoliennes bipales, un effet de battement dans l'œil est observé. Quand les pales sont verticales, on ne voit plus qu'un grand trait et quand elles sont écartées, on voit quelque chose de très large. Il y a un donc un battement et les riverains vivant à proximité des éoliennes supportent moins bien les bipales que les tripales qui ont un mouvement lent et harmonieux.

Cela peut paraître simple, mais ce sont les deux plus grandes raisons qui expliquent qu'aujourd'hui les éoliennes soient des tripales.

Pour l'éolien offshore de grande puissance, étant donné l'éloignement des côtes, il n'y aura plus de problème visuel et acoustique et donc, vraisemblablement, on reviendra sur du bipale pour ces grosses machines offshore.

En ce qui concerne le coût : quand le ministère de l'Industrie a établi les tarifs, des comparaisons ont été faites par rapport aux coûts de production de l'électricité par le nucléaire, par la turbine à gaz.

Le tarif mis en place correspond en moyenne, sur 15 ans, pour un site éolien moyen - tout est variable en fonction de la vitesse réelle du vent -, à 7 centimes d'euro du kilowattheure. Le tarif va diminuer de 3,3 % chaque année, à savoir que les contrats passés cette année ne diminuent pas chaque année de 3,3 %, mais le contrat qui sera passé l'année prochaine débutera avec un tarif de 3,3 % inférieur à celui de cette année afin de pousser l'industrie de l'éolien à diminuer ses coûts et donc à progresser. Une diminution supplémentaire de 10 % s'ajoutera à ces 3,3 % annuels lorsque les 1 500 MW seront atteints.

On compare également l'énergie éolienne à la semi-base. Quand on fait de la production d'électricité, il y a la production de base qui fonctionne toute l'année. C'est aujourd'hui uniquement de l'énergie nucléaire. Dans l'avenir, ce ne sera probablement pas du nucléaire si on laisse le marché jouer, mais plus probablement de la turbine à gaz à cycle combiné, et le coût de l'électricité de base est de l'ordre de 3 centimes d'euro. Mais l'éolien va plutôt venir se substituer à de l'électricité produite en semi-base et qui fonctionne à 4 000 heures par an. En semi-base, le coût de production pour la turbine à gaz, le moyen le plus compétitif, s'élève à 4,4 centimes d'euro par kWh. Il reste donc à franchir un cap - qui est programmé -, entre l'éolien et la turbine à gaz en semi-base. Les coûts environnementaux ne sont pas comptés et l'on pense aux émissions de CO<sub>2</sub> parce que la turbine à gaz - même si GDF dit que le gaz est une énergie propre - est moins sale que les autres mais produit du CO<sub>2</sub>. En fonction du prix accordé à ces émissions, le coût réel est plus élevé, mais je ne veux pas rentrer dans ce débat sur les coûts du CO<sub>2</sub>.

#### **Quelqu'un dans le public :**

Avez-vous pris en considération, dans les modes de stockage, le chauffage de l'habitat, parce que c'est une très grosse charge thermique en France ?

#### **Quelqu'un dans le public :**

Vous êtes les représentants de la filière éolienne qui est en plein développement, et la France dispose du second gisement éolien d'Europe. En revanche un problème persiste : actuellement un bon nombre de projets, sur les Côtes d'Armor par exemple, sont en train d'être plus ou moins remis en cause du fait des associations ; est-il possible de changer la politique de communication au niveau des collectivités locales et au niveau des populations pour faire accepter plus facilement ces projets, et ensuite de faire intervenir au plan financier les entreprises, les collectivités et les particuliers, sur l'exemple de l'éolienne de La Rochelle de 2 MW ? Ne serait-ce pas une direction pour faire développer votre filière ?

#### **Quelqu'un dans le public :**

A quelle époque envisage-t-on de rattraper l'Allemagne en éolien ?

#### **D. Métivier :**

Je ne sais pas ce que veut dire «rattraper» ; la question qu'on peut se poser est plutôt : que peut-on avoir comme éolien à l'horizon 2010, 2015 ou 2020 ? On s'aperçoit que les courbes d'apprentissage de l'Allemagne et de l'Espagne, qui ont utilisé le tarif d'achat, sont curieusement assez semblables, et que celle de la France devrait leur être analogue. Partant de ce constat, il n'y a aucune raison de penser qu'il n'y aura pas d'éolien en grande quantité en 2010. Quel est le niveau qu'on peut atteindre ? De manière très raisonnable, en 2010, on pourra avoir plus de 7 000 MW en terrestre sans difficulté majeure. Si l'on veut aller au-delà, il faudra vraisemblablement des mesures complémentaires à celles qui existent aujourd'hui. C'est à partir des courbes d'apprentissage observées dans ces deux pays qui ont utilisé le tarif d'achat qu'on est arrivé à ces résultats.

#### **J.-F. Petit :**

Concernant la communication des projets, il existe plusieurs niveaux de communication. Les développeurs eux-mêmes font un gros travail de communication à l'occasion de leurs projets, mais également à l'occasion de réunions comme celle-ci ; cela se décline partout en France avec les différents réseaux au travers desquels on intervient pour apporter une information, et l'important est de la faire localement.

La notion d'apprentissage est donc importante parce que l'éolien doit être apprivoisé, d'où la nécessité d'une information qui serait peut-être nationale, neutre, dans la mesure où lorsque c'est un développeur qui vient com-

muniquer autour de l'éolien, il est forcément partie prenante : il apporte quelque chose, il vient développer son activité, et l'on peut donc le suspecter de ne pas être complètement objectif. Il faut les deux communications, une communication institutionnelle, qui dirait seulement que l'Europe nous oblige à faire des énergies renouvelables. Selon moi, faire des énergies renouvelables est une nécessité qui a été traduite par une directive, c'est le grand débat avec le réchauffement de la planète, l'émission de gaz à effet de serre.

Il faut donc débattre de ces thèmes en expliquant les conséquences, pour ensuite pouvoir parler des énergies

renouvelables, et après, les industriels peuvent prendre le relais.

Le besoin d'une communication institutionnelle est donc primordial. C'est un travail qui a été fait en Allemagne, et en effet, l'Allemand est plus convaincu que le Français moyen de faire appel à l'éolien.

**A. Castiel :**

Nous sommes obligés de nous arrêter. Pour plus d'informations, je vous conseille l'excellent numéro *Systèmes solaires* de janvier-février 2003 consacré aux éoliennes.

Merci à tous. Bonsoir.