

UNE IMPULSION RECENTE EN FRANCE

L'année 2000 et l'année 2005 sont, en France, deux étapes essentielles du soutien aux énergies renouvelables.

Avant cette date, leur développement est pour l'essentiel du ressort des marchés. L'éolien bénéficie toutefois à partir de 1996 d'appels d'offre lancés par le secrétariat à l'industrie pour la construction d'éoliennes dans le cadre du programme Éole 2005. L'objectif est d'atteindre une puissance installée de 250 à 500 MW en 2005. La mise en concurrence des candidats à la réalisation de projets éoliens a l'avantage de tirer les prix vers le bas. Pour les partisans et les promoteurs de l'éolien, ce mécanisme n'est pas approprié : il faut au contraire assurer des marges supérieures, pour séduire les investisseurs qui alors multiplieront les projets, ce qui déclenchera un effet d'échelle et permettra une diminution des coûts de production.

À l'occasion de la transposition de la directive européenne sur l'ouverture à la concurrence des marchés de l'électricité des États membres de l'Union européenne, la France s'engage en 2000 dans une politique plus offensive de développement des énergies renouvelables.

Le mécanisme de base pour soutenir le développement des énergies renouvelables devient l'obligation d'achat¹⁴⁷. EDF et les distributeurs non nationalisés sont tenus d'acheter l'électricité produite sur le territoire national par les installations qui valorisent les déchets ménagers, qui alimentent un réseau de chaleur (cogénération) ou qui utilisent des énergies renouvelables¹⁴⁸. Après l'adoption de la loi de 2000 sur la modernisation et le développement du service public de l'électricité, les tarifs d'achat font l'objet d'arrêtés, publiés avant la fin juin 2002.

En 2004, EDF a acheté, au titre de l'obligation d'achat, 24,2 TWh d'électricité, produite à hauteur de 71% à partir de la cogénération, de 15% par l'hydraulique et de 9% par des usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM). L'éolien compte pour 2% du total des achats d'électricité¹⁴⁹.

¹⁴⁷ Article 10 de la loi n° 2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité.

¹⁴⁸ Cette technique de soutien est toutefois encadrée à double titre. L'obligation d'achat peut être suspendue par décret si l'obligation d'achat ne répond plus aux objectifs de la programmation pluriannuelle des investissements (PPI) instaurée par la même loi. Par ailleurs, l'Etat conserve la faculté de procéder à des appels d'offres si les capacités de production ne sont pas conformes à la PPI, ni en termes de techniques de production ni en termes de localisation.

¹⁴⁹ Bilan énergétique de la France 2004, DGEMP, ministère délégué à l'industrie.

Tableau 1 : Tarifs d'achat et coût de production des énergies renouvelables pour la production d'électricité (source : DGEMP et EDF)

€/MWh	Tarif de l'obligation d'achat – France (date de l'arrêt)		Coûts de production 2005	Diminution des coûts de production probable sur 10 ans
	Base	Modulation		
Éolien terrestre	83,8 pendant 5 ans (8/6/2001)	30,5-83,8 pendant les 10 années suivantes suivant le site	55-75	- 20%
Éolien offshore	Appel d'offre	-	100-120	-30%
Hydraulique	54,9-61 (25/6/2001)	Prime : 0-15,2 en hiver selon régularité de la production	50-80	Stable
Photovoltaïque	152,5 (hexagone) 305 (Corse, DOM-TOM) (13/6/2002)	Décision nov.05 : +50% particuliers x2 grandes installations	350-550	-50%
Géothermie	76,2 (13/3/2002)	Prime efficacité énergétique : 0-3		
Cogénération	61-91,5 (31/7/2001)			
Biomasse (combustion matières végétales)	49 (16/6/2002)	Prime efficacité énergétique : 0-12	60-110	-10%
Méthanisation (déchets agricoles ou industriels)	46 (16/4/2002)	Prime efficacité énergétique : 0-12	60-150	-10%
Biogaz de décharge	45-57,2 (3/10/2001)	Prime efficacité énergétique : 0-3	60-150	-10%
Déchets ménagers (sauf biogaz)	45-50 (2/10/2001)	Prime efficacité énergétique : 0-3		
Déchets animaux bruts ou transformés (farines animales)	45-50 (13/4/2002)	Prime efficacité énergétique : 0-3		
Petites installations (< 36 kVA)	78,7-96,0 (13/3/2002)			

Deuxième étape en 2005, le soutien aux énergies renouvelables thermiques est considéré comme une priorité essentielle dans le cadre de la diversification du bouquet énergétique¹⁵⁰. La loi de programme de 2005 fixant les orientations de la politique énergétique vise une augmentation de 50% à l'horizon 2010 de la production de chaleur d'origine renouvelable.

Au final, comme dans tous les pays, le soutien aux énergies renouvelables repose sur les consommateurs. Les organismes de distribution d'électricité

¹⁵⁰ Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique.

ajoutent en effet à la facture d'électricité, un surcoût, dont le produit est reversé aux producteurs à proportion des charges qu'ils subissent du fait de l'obligation d'achat. En 2004, les surcoûts de l'obligation d'achat ont représenté environ 1,1 milliard €, soit environ 3 €/MWh ou 0,3 €/kWh. Il est à noter que la cogénération, au demeurant favorable en termes d'efficacité énergétique puisqu'elle permet la valorisation de la chaleur produite en même temps que l'électricité, représente la majeure partie des charges liées à l'obligation d'achat.

Pour le consommateur individuel, la charge du soutien aux énergies renouvelables et au développement de la cogénération, représente environ 3,5% de la facture d'électricité, et près de 7% pour un consommateur industriel¹⁵¹.

Un développement ambitieux des énergies renouvelables ne doit pas pour autant trop peser sur la facture d'électricité. C'est pourquoi un plafond de 7% du tarif de vente du kWh a été fixé en 2003 pour les surcoûts correspondant à l'ensemble des charges de service public¹⁵².

Si le développement des énergies renouvelables s'accélérait encore dans le cadre actuel, le plafond fixé en 2003 pourrait être rapidement atteint, ce qui obligerait à remettre à plat le mécanisme de financement des charges de service public, et, en particulier, le soutien au développement de ces nouvelles filières. Plusieurs pays en pointe dans ce domaine ont déjà opéré, comme on l'a vu, une révision de leurs politiques de soutien aux énergies renouvelables. La France pourrait y être conduite à son tour plus rapidement que prévu.

¹⁵¹ A ces charges s'ajoutent celles des surcoûts de production dans les zones non interconnectées, qui représentent environ 1/3 des précédentes. In Rapport pour avis n° 76 (2004-2005) par M. Roland COURTEAU, Commission des affaires économiques, Projet de loi de finances pour 2005 : Énergie, Sénat, novembre 2004.

¹⁵² De même, une limite supérieure à la contribution d'un consommateur final industriel est fixée à 500 000 € par site de consommation.

ÉOLIEN

Parmi les sources d'énergie renouvelables, aucune n'a plus d'importance médiatique ni ne suscite plus de polémiques que l'éolien, une technique pourtant visible et connue de tous depuis des temps immémoriaux.

D'un usage ancestral, les moulins étaient utilisés pour la fabrication de la farine ou le pompage de l'eau. Les premières éoliennes spécialisées dans la production d'électricité, appelées aussi aérogénérateurs, apparurent pour un usage local et rural.

L'offre d'éoliennes couvre aujourd'hui une gamme très étendue de machines dont la puissance électrique varie de 2 kW à 3,5 MW, dans un rapport de 1 à mille, et dont les dimensions respectives sont évidemment très différentes.

On distingue généralement trois catégories d'éoliennes : le petit éolien, le grand éolien et dans un futur proche, l'éolien offshore.

Permettant la recharge de batteries ou le pompage électrique, une éolienne de 2 kW, comme celle proposée par la société française Vergnet, possède une hélice de 4 mètres de diamètre et une nacelle contenant la génératrice située à 12 mètres de hauteur.

À l'autre extrémité de la gamme, les éoliennes les plus puissantes au catalogue des constructeurs fin 2005, avaient une puissance de 3,6 MW, avec des rotors de 104 mètres de diamètre et des mâts de 80 à 100 mètres de haut. L'augmentation de taille de l'éolienne et de son rotor permet d'accroître le couple de la machine et donc sa puissance, les grandes machines étant particulièrement adaptées aux sites peu ventés, comme les sites allemands de l'intérieur des terres. Au demeurant la course au gigantisme des éoliennes ne s'arrêtera pas. À la demande de l'industrie danoise, le centre de recherche Risø étudiait en 2001 la faisabilité technique de machines de 8 à 12 MW, dotées de rotors à une seule lame de 80 mètres perchés à 240 mètres de hauteur.

L'offshore est la nouvelle frontière de l'éolien. En mer, des vents plus forts et réguliers que sur les côtes et les reliefs intérieurs, permettent une production accrue d'électricité. Estimant la production d'électricité d'une éolienne installée en mer supérieure de 60 % à celle d'une machine identique située sur le rivage, les constructeurs se lancent dans cette nouvelle aventure mais ont à résoudre des problèmes difficiles de corrosion, de structures et de maintenance.

Porte-drapeau des énergies renouvelables, l'énergie éolienne connaît ainsi de nombreux développements technologiques, avec une montée en puissance et une augmentation des dimensions ininterrompues des machines installées.

L'industrie éolienne s'est également fortement structurée, avec la consolidation des firmes pionnières, notamment danoises, et l'entrée dans le secteur de grandes entreprises diversifiées.

Énergie vertueuse dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre, l'éolien a vu ses marchés se développer fortement, sous l'action de la réglementation et grâce à l'attribution de soutiens à l'investissement qui garantissent une rentabilité financière satisfaisante.

En tout état de cause, les difficultés à la mise en œuvre de l'éolien trouvent une à une des solutions. Ce type d'énergie tend donc à se banaliser dans tous les sens du terme. Son développement est plus aisé.

Mais peu à peu, apparaissent aussi l'impossibilité du tout éolien et les inconvénients du trop d'éolien.

LES PROGRES TECHNIQUES DE L'EOLIEN

La course à la puissance des grandes éoliennes

De nombreux paramètres, techniques et économiques, justifient une course à la taille et à la puissance des éoliennes.

Pour un même régime atmosphérique, le vent augmente quand on s'élève du sol¹⁵³. Or la puissance d'un aérogénérateur, désigné couramment par le terme d'éolienne, varie comme le cube de la vitesse du vent. Par ailleurs, l'énergie collectée par une éolienne dépend de l'aire du disque balayé par le rotor et donc du carré de la longueur d'une pale.

L'augmentation de taille correspond donc à la recherche d'une puissance maximale de l'installation.

¹⁵³ Non seulement les obstacles – végétation, arbres, rochers, bâtiments – mais également la nature du sol – rugueux ou lisse – peuvent ralentir le vent, ce qui milite en faveur d'une augmentation de hauteur des mâts des éoliennes.

En 2000, les éoliennes installées en Allemagne avaient une puissance de 920 kW, pour un rotor de diamètre d'environ 60 mètres et un mât de 80 mètres de haut. L'année 2004 aura vu l'installation par la société Repower d'un prototype d'éolienne de 5 000 kW (5 MW), dont le diamètre de rotor est de 126 mètres.

L'augmentation de taille et de puissance des éoliennes a également pour but de tirer parti d'économies d'échelle. Un certain nombre de coûts de fabrication et d'installation d'une éolienne ne dépendent qu'à la marge de sa puissance¹⁵⁴. Par ailleurs, on peut rentabiliser au mieux les sites les mieux ventés, disponibles pour cette activité, qui représentent une ressource rare. Enfin, les coûts administratifs d'autorisation sont mieux amortis.

Au Danemark, la puissance moyenne des éoliennes installées est passée de 750 kW en 1999 à 1800 kW en 2004, en Allemagne, de 920 kW à 1 700 kW entre les mêmes dates, et, en France, de 135 à 1036 kW.

Un nouveau marché s'ouvre pour les constructeurs d'éoliennes : le remplacement de machines anciennes par des machines nouvelles de forte puissance.

Le créneau des petites et moyennes éoliennes

Le développement de l'éolien s'est effectué à partir de machines de proximité, qui gardent tout leur intérêt pour certains types d'application.

Permettant la recharge de batteries ou le pompage électrique, une éolienne de 2 kW, comme celle proposée par la société française Vergnet, possède une hélice de 4 mètres de diamètre et une nacelle contenant la génératrice située à 12 mètres de hauteur. Dix fois plus puissante, une éolienne de 25 kW permet de fournir de l'électricité à des villages isolés de 50 foyers environ, dont la consommation unitaire est de l'ordre de 1,5 kWh en moyenne, avec une hélice de 10 mètres de diamètre et un mât de 24 mètres de hauteur. Ces éoliennes sont souvent juchées sur des mâts basculants permettant de les rabattre au sol en cas de tempête ou de cyclone.

Enfin, différents nouveaux concepts d'éoliennes sont proposés, dont des machines à axe vertical ou des machines horizontales de petite puissance – 2 à 3 kW – pour les toits des habitations collectives, dont l'avenir dira si leur installation est rentable.

¹⁵⁴ En particulier, le contrôle-commande électronique de la machine, les travaux de BTP pour la connexion au réseau routier, le génie civil pour les fondations, les lignes et les transformateurs pour la connexion au réseau, la maintenance.

Des nuisances principalement visuelles

Le bruit produit par une éolienne a longtemps été considéré comme une nuisance empêchant leur implantation. Les bruits mécaniques des engrenages sont désormais quasiment inexistantes. Avec les éoliennes modernes de puissance, dont les pales tournent à faible vitesse, le bruit de souffle des rotors n'est que de 100 décibels en pied de mât et inaudible à 200 mètres.

Les éoliennes ont également été critiquées en raison des dangers qu'elles créeraient pour les oiseaux, notamment migrateurs. Les champs d'éoliennes avec des implantations très resserrées, tels qu'il en fut construit en Californie, ont été accusés de ravager des colonies d'oiseaux protégés¹⁵⁵. Mais il a été démontré au Canada dans le Yukon, notamment, que correctement espacées, les éoliennes, même placées sur les couloirs migratoires, sont évitées par les oiseaux.

Autre critique faite aux éoliennes, le mauvais fonctionnement des télévisions dans les habitations situées aux alentours des éoliennes du fait de la perturbation de signaux électromagnétiques aériens, trouve sans difficulté des solutions techniques.

La nuisance principale des éoliennes reste donc leur impact visuel. Dans cette perspective, les projets d'implantation doivent concilier deux impératifs contradictoires. Pour maximiser la production d'une éolienne, il faut augmenter sa puissance, et donc la taille de son rotor et la hauteur de son mât. Ce progrès permet alors de diminuer leur nombre mais leur impact visuel augmente en proportion. En outre, les sites les mieux ventés se trouvent souvent sur des reliefs du littoral visibles de très loin.

Au reste, l'implantation d'éoliennes est d'autant mieux acceptée que celles-ci sont disséminées sur un vaste territoire. À cet égard, la pratique française initiale a pu susciter de nombreuses critiques, puisque le département de l'Aude concentrait à la mi-2002 plus de la moitié du parc français d'éoliennes avec près de 58 MW.

Les sites industriels en bord de mer seront probablement privilégiés à l'avenir, car ils peuvent le plus souvent accueillir des éoliennes sans engendrer d'opposition locale, comme Total l'a bien compris en installant des éoliennes de puissance à proximité de sa raffinerie de Dunkerque.

L'offshore, une nouvelle frontière éloignée de l'éolien

La localisation étant une variable fondamentale de son potentiel de production, l'offshore est longtemps apparu comme l'eldorado de l'éolien.

¹⁵⁵ Aux Etats-Unis, les éoliennes ont été accusées de faire des coupes sombres dans les rares colonies d'aigles emblématiques pour la culture américaine, comme le « *golden eagle* » et le « *bald eagle* » américains.

Bénéficiant de vents plus fréquents¹⁵⁶, plus forts et plus réguliers qu'à terre, une installation offshore devrait, selon les calculs des constructeurs, produire davantage (+60%) qu'à terre¹⁵⁷.

Toutefois, à l'usage, le coût de construction de l'éolien offshore apparaît deux fois supérieur à celui de l'éolien terrestre. Les aléas météorologiques allongent les délais de construction et de maintenance. L'importance et la difficulté de la construction réservent l'offshore à des fermes de forte puissance, ce qui exige une mise de fond importante et restreint le cercle des investisseurs potentiels. Des inconnues demeurent quant à la tenue des machines dans un environnement fortement corrosif.

Pour garantir la rentabilité de leurs investissements, les promoteurs d'éoliennes offshore demandent en conséquence, dans leurs réponses aux appels d'offre, des tarifs de rachat de l'électricité produite compris entre 120 et 150 €/MWh.

De fait, les fermes éoliennes offshore ne représentent actuellement que quelques centaines de MW dans le monde, concentrées au Danemark et au Royaume Uni. L'essor de l'offshore est toutefois recherché dans plusieurs pays, avec des appels d'offre de 400 MW au Danemark, de 500 MW en France, de plus de 8000 MW au Royaume Uni et un objectif de 6 700 MW en Allemagne en mer Baltique. Deuxième avantage de l'offshore, le régime des vents y est en général plus régulier qu'à terre, d'où une réduction théorique des efforts mécaniques sur l'éolienne.

Les limites intrinsèques de l'énergie éolienne

Le fonctionnement des éoliennes est soumis à la météorologie et non pas à la demande d'électricité.

En dessous d'une certaine vitesse de vent, en général 5 m/s, soit 18 km/h, une éolienne, ne pouvant fournir de la puissance, est déconnectée du réseau et tourne à vide ou bien est arrêtée purement et simplement. Dans le cas d'éoliennes proches les unes des autres, les phénomènes d'abri ou de turbulence peuvent entraîner l'arrêt de certaines alors que d'autres tournent normalement.

Par ailleurs, avec des vents d'une vitesse supérieure à 25 m/s, soit 90 km/h, les éoliennes doivent être stoppées, faute de pouvoir supporter les efforts mécaniques correspondants.

¹⁵⁶ La brise de terre et la brise de mer, dues à l'inertie thermique de la terre inférieure à celle de la mer, sont des vents quasi quotidiens en été.

¹⁵⁷ Les efforts mécaniques sur les éoliennes offshore sont, semble-t-il, réduits par rapport aux installations à terre, du fait de la régularité du vent.

Autre variable importante conditionnant la production d'électricité effective d'une éolienne, la vitesse moyenne du vent peut, en variant d'un facteur 1,7 faire varier la quantité d'énergie fournie du simple au triple, d'où l'intérêt d'implanter ces machines dans des zones aux régimes de vent régulier et modéré.

En France, malgré les régimes de vent favorables des bords de mer, et la compensation météorologique possible entre l'Atlantique et la Méditerranée, la durée moyenne de fonctionnement des éoliennes à leur puissance nominale ne dépasse pas 2 000 heures par an. On doit par ailleurs noter que pendant les périodes de froid ou de canicule, où la demande d'électricité est la plus forte, les éoliennes sont à l'arrêt faute de vent.

En conséquence, l'alimentation en électricité d'utilisateurs, particuliers ou industriels, ne peut en aucun cas reposer exclusivement sur des éoliennes. Des moyens de production complémentaires doivent nécessairement leur être associés.

S'il est doté d'une éolienne de moyenne puissance, un réseau de faible dimension comme celui d'une petite île non raccordée au réseau doit comprendre des panneaux solaires complémentaires, des batteries de stockage de l'électricité et un groupe électrogène.

Sur un réseau de forte puissance, l'installation d'éoliennes doit être complétée par celle des turbines à gaz ou à fioul susceptibles de les relayer lorsque les conditions météorologiques interdisent leur fonctionnement. Les calculs économiques relatifs à l'éolien doivent donc nécessairement intégrer le coût des centrales électriques additionnelles à leur adjoindre pour que les utilisateurs ne souffrent pas de l'irrégularité de cette production d'électricité.

Enfin, comparée à celles des centrales thermiques, la puissance spécifique des éoliennes est faible – 5 MW au maximum en 2005 –, ce qui, ajouté au caractère aléatoire de leur production, les rend inaptes à l'alimentation en propre de sites industriels.

L'INTERNATIONALISATION ET LA STRUCTURATION DE L'INDUSTRIE ÉOLIENNE

L'histoire de l'éolien repose sur les entreprises danoises qui, à partir de leurs activités originelles – matériel agricole ou fournitures pour le bâtiment – se sont diversifiées dans l'éolien et ont bâti l'industrie des éoliennes modernes.

La croissance des marchés et les besoins d'investissement en recherche et développement ont toutefois conduit, d'une part, à la concentration du secteur, et, d'autre part, à l'entrée sur ce marché de grandes firmes internationales.

Le leader mondial, en 2004, reste une firme danoise indépendante, Vestas, qui a toutefois absorbé son concurrent danois Neg-Micon. L'entreprise allemande, Enercon, est numéro 3 sur le marché de l'éolien. Gamesa, entreprise espagnole, numéro 4 du secteur, a absorbé la société Made.

Attirés par la croissance du marché de l'éolien, de grands groupes ont investi le secteur. Ainsi General Electric a racheté EnronWind, lors de la faillite frauduleuse en 2002 de sa maison mère, courtier américain en énergie. Quant à Siemens, il s'est installé sur le marché avec le rachat, fin 2004, de la société danoise Bonus.

Sur le marché en plein essor du grand éolien, la France a misé sur Jeumont Industrie du groupe Areva, pour combler son handicap. Cette société, spécialisée dans l'électromécanique et les composants de centrales nucléaires, a entamé une diversification dans l'éolien et compte rattraper son retard de près de vingt ans grâce à des techniques innovantes. Pour doper cette activité, Areva a pris une participation de 21% au capital de la société allemande Repower, 7^{ème} producteur mondial, spécialisée dans les machines de forte puissance.

La France est, par ailleurs, bien placée dans le petit éolien avec la société Vergnet, dont la gamme s'étend avec des machines de 1 à 220 kW, adaptées à la production locale d'électricité et à l'alimentation de réseaux électriques de petite taille. Cette société a connu des réussites importantes dans les départements d'outre-mer et en Nouvelle Calédonie.

En tout état de cause, l'industrie éolienne est réputée avoir créé, dans les pays leaders de l'éolien, de nombreux emplois : 20 000 au Danemark, premier exportateur mondial de la filière, 59 000 en Allemagne et 12 000 en Espagne, répartis entre la fabrication des machines, la construction et la maintenance des installations.

Or les éoliennes de fabrication française installées en France ne représentent qu'une infime part du marché.

S'engageant dans la multiplication des éoliennes sur son territoire, la France doit évidemment renforcer son industrie, pour en tirer des bénéfices économiques conséquents.

DES MARCHES PRINCIPALEMENT EUROPEENS, DEPENDANT DES AIDES PUBLIQUES

Berceau de l'éolien moderne, avec le Danemark et l'Allemagne, l'Europe possède aujourd'hui 74% des capacités mondiales installées, soit 34 366 MW¹⁵⁸.

Dans l'Union européenne, l'Allemagne a le parc installé le plus important, dont la puissance est deux fois plus élevée que celle du parc de l'Espagne, deuxième du classement, et cinq fois plus que celui du Danemark, troisième¹⁵⁹.

Avec 15% du parc mondial, l'Amérique du nord constitue la deuxième zone d'implantation de l'éolien, avec 6800 MW aux États-Unis en 2004 et 441 MW au Canada.

L'Asie possède 9% du parc mondial, l'Inde étant le mieux équipé avec 2800 MW en 2004 et la Chine possédant 740 MW à la même date.

L'analyse du marché de l'éolien dans les années récentes laisse penser que cette filière s'étend dans le monde. Mais son développement repose encore sur les aides publiques.

L'expansion de l'éolien hors d'Europe

En 2004, l'Europe constituait toujours, le premier marché pour les ventes annuelles des constructeurs, l'augmentation du parc européen ayant atteint 5 856 MW. Mais l'énergie éolienne semble se développer sur d'autres continents qu'en Europe.

Ainsi, l'Asie est devenue le second marché mondial, avec une augmentation de la puissance installée de 918 MW en 2004. En un an, la Chine a augmenté son parc de 24% et l'Inde de 32%. On peut donc dire que l'éolien fait partie des filières énergétiques testées par ces puissances émergentes pour faire face à la gigantesque augmentation de leur demande en énergie.

Un essor dépendant des aides publiques

L'essor de l'éolien dépend encore étroitement des aides publiques.

¹⁵⁸ Baromètre de l'éolien – janvier 2005, EurObserv'Er, Systèmes solaires, n° 165.

¹⁵⁹ Puissance installée fin 2004 : Allemagne : 16 629 MW ; Espagne : 8 263 MW ; Danemark : 3 117 MW ; Italie : 1261 MW ; Pays-Bas : 1077 MW ; Royaume Uni : 889 MW ; Autriche : 606 MW ;... ; France : 405 MW.

Si l'Espagne représente actuellement le leader mondial de l'accroissement de capacité, c'est parce que les pouvoirs publics accordent aux investisseurs, depuis 2004, une rétribution garantie sur la durée de vie complète des parcs éoliens.

De même, le Royaume Uni, pour enfin faire décoller l'éolien offshore dont il attend une contribution significative à son approvisionnement énergétique, multiplie les systèmes d'aide, avec des certificats verts, une garantie du capital investi dans l'offshore, une exemption de la taxe sur l'énergie et enfin des réductions d'impôts.

A contrario, toute révision des aides accordées à l'éolien se traduit immédiatement par un ralentissement des investissements.

Ainsi, aux États-Unis, il a suffi que la reconduction de l'aide fiscale à la production PTC (Production Tax Credit) prenne du retard en 2004 pour que l'augmentation annuelle de la puissance installée passe de 1707 MW en 2003 à 448 MW en 2004.

De même, le marché allemand a fléchi de 30% entre 2003 et 2004, en raison de la baisse de 4% en moyenne du prix d'achat de l'électricité éolienne et de sa dégressivité de 2% par an à partir de 2005.

UNE CONTRIBUTION FAIBLE A LA PRODUCTION ELECTRIQUE

Compte tenu de l'importance de son parc éolien et de la variété des caractéristiques géographiques des États membres, l'Union européenne représente un laboratoire des avantages et des inconvénients de cette forme d'énergie.

Grâce à la publication par EurObserv'ER des statistiques annuelles des puissances installées et de la production électrique éolienne de chacun des pays¹⁶⁰, on peut reconstituer le nombre d'heures de fonctionnement à pleine puissance des éoliennes d'un pays considéré et donc le facteur de charge.

Deux groupes de grands pays éoliens¹⁶¹ se distinguent en termes d'efficacité de l'investissement éolien, recouvrant logiquement le régime des vents dont chaque pays bénéficie. Rappelons qu'une année comprend 8 760 heures.

Parmi les pays dont le nombre d'heures de fonctionnement à pleine puissance a été supérieur à 2000 heures par an en 2004, figurent la Grèce (2619 heures), les Pays-Bas (2506 heures), le Royaume Uni (2218 heures) et le Danemark (2108 heures).

L'Espagne bénéficie d'une efficacité voisine avec 1936 heures. Pour les autres grands pays, l'efficacité de l'investissement éolien chute rapidement, en particulier pour la Suède (1836 heures), la France (1798 heures), l'Italie (1694 heures).

L'une des efficacités les plus faibles est celle du parc éolien allemand, dont la durée de fonctionnement à pleine puissance n'a pas dépassé 1451 heures en 2004, soit un facteur de charge de 16,5%. L'installation d'éoliennes sur les côtes allemandes de la mer du Nord ayant été sévèrement limitée pour protéger l'environnement, les éoliennes ont été disséminées sur tout le territoire, y compris des zones peu ou mal ventées.

En conséquence, l'Allemagne, avec ses 16 629 MW de puissance éolienne installée fin 2004, n'a produit que 22,6 TWh, soit 3% de sa production électrique de l'année.

Plusieurs conclusions s'imposent de l'analyse des résultats effectifs de l'exploitation éolienne, qui confirment des intuitions de bon sens.

¹⁶⁰ Baromètre de l'éolien – janvier 2005, EurObserv'ER, Systèmes solaires, n°165.

¹⁶¹ Par convention, pays dont la capacité installée fin 2004 était supérieure à 400 MW.

L'investissement éolien n'a qu'une efficacité très limitée dans les pays dont le régime de vents n'est pas favorable. Des sites bien ventés peuvent bien entendu exister et justifier un tel investissement mais une approche au cas par cas est sans aucun doute meilleure qu'une politique systématique. Ceci renvoie au fait que l'éolien est un moyen de production décentralisée de l'électricité et non pas une filière d'application générale pouvant s'imposer dans un pays au détriment des autres filières.

Par ailleurs, la production éolienne, y compris dans les pays dont le régime de vents est le plus favorable, plafonne statistiquement à 2500, voire 3000 heures par an au maximum. Or le coût d'investissement dans l'éolien est de l'ordre de 922 €/kW, contre 559 €/kW pour un cycle combiné à gaz. Le retour sur investissement est donc très long, comparativement à celui d'installations comme un cycle combiné à gaz qui peut fonctionner près de 7000 heures par an. On comprend donc que l'investissement éolien doit être fortement subventionné.

En parallèle à l'installation d'éoliennes sur son territoire, l'Allemagne a su développer une industrie solide, avec trois entreprises dans les dix premières mondiales du secteur en 2004, Enercon troisième mondial, Repower septième mondial et Nordex huitième mondial. Le chiffre d'affaires des constructeurs allemands s'est élevé à 4,7 milliards €, dont 38% à l'export, tandis que le nombre d'emplois générés est décrit comme « important » par le ministère de l'environnement.

Dans ces conditions, le soutien à l'éolien possède plusieurs dimensions, dont une dimension industrielle et sociale primordiale, qui n'a pas grand-chose à voir avec l'efficacité énergétique.

L'ÉNERGIE ÉOLIENNE EN FRANCE : BILAN ET PERSPECTIVES

Le décollage de l'éolien en France est entamé. La puissance installée a augmenté de 63% en 2004, le niveau de 405 MW ayant été atteint en fin d'année. Cet essor s'est accéléré en 2005 puisque la puissance a doublé, atteignant environ 800 MW fin 2005.

À ce rythme, l'objectif de 2000 MW installés fin 2006, posé par la programmation pluriannuelle des investissements (PPI), devrait être atteint¹⁶².

Les différents instruments de soutien introduits par les pouvoirs publics semblent, de fait, bien calibrés par rapport aux objectifs poursuivis.

Le niveau satisfaisant des tarifs de rachat de l'électricité éolienne

La rentabilité de l'investissement éolien est actuellement suffisante pour assurer son développement en France. Le tarif de rachat de l'électricité éolienne est en effet largement supérieur à son prix de revient.

D'un montant, fixé en 2001, de 83,8 €/MWh pour les cinq premières années et de 30,5 à 83,8 €/MWh pour les dix années suivantes¹⁶³, le tarif de rachat est en moyenne actuellement de 80 €/MWh, pour un prix de revient compris entre 55 et 75 €/MWh, sur la base d'un facteur de charge moyen en France de 25%¹⁶⁴.

De fait, la puissance moyenne des éoliennes installées s'élève régulièrement, ce qui devrait permettre de baisser les coûts de production¹⁶⁵.

D'après EDF, ce tarif garantit une rentabilité de 11 à 12 % par an, un niveau supérieur à la rentabilité de 8% demandée par les investisseurs. L'expérience semble montrer que cet écart est justifié par le risque pris par l'investisseur. La production d'une éolienne est en effet difficile à prévoir du fait des aléas météorologiques et de la connaissance préalable souvent insuffisante de l'exposition du site choisi.

La procédure de l'appel d'offres paraît adaptée, par ailleurs, à la spécificité des investissements offshore, dont les coûts peuvent varier sensiblement selon les sites.

¹⁶² Mme Claude NAHON, Directrice du développement durable, EDF, audition du 14 décembre 2005.

¹⁶³ Selon la productivité de l'installation.

¹⁶⁴ Soit 2200 heures à puissance nominale.

¹⁶⁵ Puissance unitaire moyenne des éoliennes installées : 736 kW en 2000, 1338 kW en 2005, 1708 kW pour les parcs en construction. Source : Mme Claude NAHON, op. cit.

Les nouvelles zones de développement éolien

La loi du 10 février 2000 avait limité aux installations éoliennes de 12 MW au plus, le soutien par le tarif de rachat.

Tout en conservant cette disposition pour les deux ans suivant son adoption, la loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique, a subordonné l'octroi de ce soutien aux installations construites dans des zones de développement éolien.

L'objectif est en effet d'ordonner l'essor de l'éolien en France, tout en le favorisant. Les zones de développement de l'éolien, proposées par les communes intéressées, sont définies par le préfet du département correspondant, en fonction de leur potentiel éolien et de leurs caractéristiques géographiques¹⁶⁶.

Cette nouvelle approche permettra d'améliorer la répartition des implantations par rapport aux paysages et au réseau électrique et de bénéficier ainsi d'économies d'échelle.

Des contraintes de gestion croissantes à anticiper

L'intermittence est une caractéristique intrinsèque de l'énergie éolienne, qui induit des contraintes de gestion non négligeables. Dans un pays comme la France, dotée de régimes de vents qui peuvent éventuellement se compenser, la puissance garantie est comprise entre 10 et 20% de la puissance installée.

La prévision à 24h des conditions de vent est relativement fiable. Mais les prévisions de l'heure de déclenchement et d'arrêt du vent sont très déficientes, ainsi que celle de son intensité réelle.

En tout état de cause, la production éolienne peut, en France, se substituer, lorsqu'elle est effective, à des échanges extérieurs et à la production des centrales thermiques mais nécessiter, lorsqu'elle est déficiente, l'entrée en service d'autres moyens de production.

D'où la nécessité d'une gestion fine du réseau, qui oblige à prévoir des moyens de production de substitution ou de stockage de l'électricité produite, par exemple le pompage.

¹⁶⁶ L'article 10-1 est ainsi rédigé : « les zones de développement de l'éolien sont définies par le préfet du département en fonction de leur potentiel éolien, des possibilités de raccordement aux réseaux électriques et de la protection des paysages, des monuments historiques et des sites remarquables et protégés. Elles sont proposées par la ou les communes dont tout ou partie du territoire est compris dans le périmètre proposé ou par un établissement public de coopération intercommunale à fiscalité propre, sous réserve de l'accord de la ou des communes membres dont tout ou partie du territoire est compris dans le périmètre proposé ».

En termes de lutte contre l'effet de serre, l'impact de l'éolien peut être inférieur aux attentes, si des moyens de production de substitution doivent être installés¹⁶⁷.

Le développement de l'éolien entraîne, par ailleurs, des coûts de gestion de réseau. Le coût de l'intermittence est évalué à 2-4 €/MWh par EDF¹⁶⁸, à rajouter au prix de revient réel de l'éolien.

Si la puissance éolienne installée devait atteindre 7 000 kW en France, il faudrait alors renforcer le réseau de transport de l'électricité. Non seulement le surcoût d'environ les deux tiers du MWh éolien par rapport au MWh nucléaire est supporté par le consommateur, mais celui-ci devra aussi prendre en charge les coûts correspondants.

Insuffisantes aujourd'hui, la vérité et la transparence des coûts de l'éolien devront progresser dans les années à venir, afin de permettre des choix rationnels de politique énergétique.

¹⁶⁷ 1 kWh éolien devrait donc au final éviter l'émission de 200-250 g de CO₂ et non pas 900 g s'il se substituait intégralement à 1 kWh charbon ou 350 g s'il se substituait intégralement à 1 kWh gaz naturel.

¹⁶⁸ Mme Claude NAHON, EDF, op. cit.