

# Le développement de l'éolien dans le monde

Certaines énergies renouvelables, comme le bois ou l'hydroélectricité, sont utilisées massivement depuis très longtemps. Aujourd'hui, c'est l'énergie éolienne qui se développe à un rythme soutenu dans presque tous les pays du monde, avec une croissance de 30 % par an.

*« Six raisons principales expliquent ce succès rapide : l'énergie éolienne est abondante, bon marché, inépuisable, disponible presque partout, propre et sans impact sur le climat. Aucune autre source d'énergie ne possède toutes ces qualités. »*

Le plan B, Lester R. Brown

## Une énergie en pleine croissance

L'énergie éolienne est développée par de très nombreux pays et connaît une croissance très importante : + 30 % par an en moyenne depuis 10 ans (+ 22,5 % en 2010). En 2010, plus de 35 000 MW de nouvelles capacités éoliennes ont été installés dans le monde, et les 200 000 MW installés ont été presque atteints fin 2010. L'éolien représente 2,4 % de la consommation totale d'électricité dans le monde et a attiré un total d'investissements de 47,3 milliards d'euros (65 milliards de dollars). Les experts du GWEC (Conseil mondial de l'énergie éolienne) prévoient le maintien d'une croissance soutenue de l'éolien, conduisant à un parc installé de près de 460 000 MW en 2015.

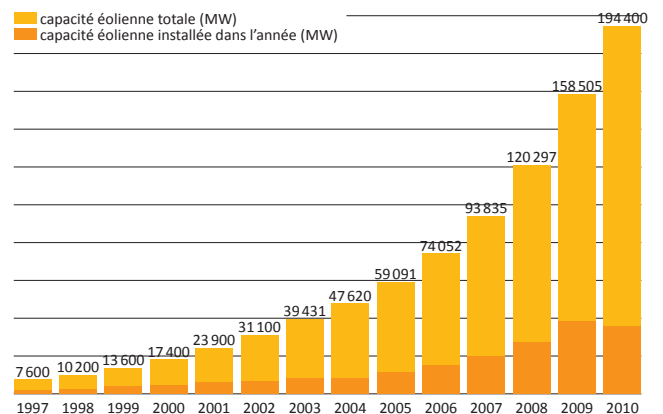
## Une filière européenne très dynamique

L'Europe a pris une longueur d'avance en matière d'énergies renouvelables en affirmant son ambition d'atteindre l'objectif de 20 % d'énergies renouvelables dans sa consommation finale d'énergie en 2020. L'éolien contribuera à l'essentiel de cet objectif, en ce qui concerne la production d'électricité. Fin 2010, 84 278 MW éoliens sont installés en Europe, pour une production annuelle de 181 millions de MWh, soit 5,3 % de la consommation électrique européenne.

Plusieurs pays ont annoncé des plans de développement massif : outre le Danemark (3 180 MW), l'Allemagne (23 903 MW) et l'Espagne (16 740 MW), locomotives historiques de l'éolien en Europe, le Royaume-Uni a récemment annoncé un programme d'investissement dans les énergies renouvelables de 100 milliards de livres d'ici 2020, dont une importante partie consacrée à l'énergie éolienne qui devra totaliser 28 000 MW en 2020. De son côté, la Norvège a dévoilé un programme d'investissement à grande échelle visant à créer entre 5 000 et 8 000 MW de capacités supplémentaires.

Capacité éolienne installée dans le Monde entre 1997 et 2010 (MW)

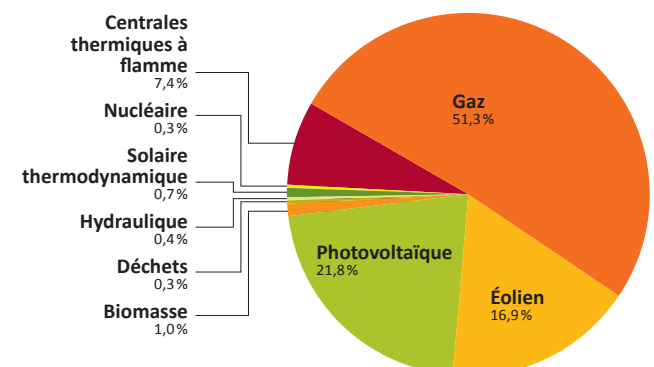
source : GWEC



**La nouvelle capacité installée en énergies renouvelables a été plus importante en 2010 que toutes les autres années, soit une augmentation de 31% par rapport à 2009.**

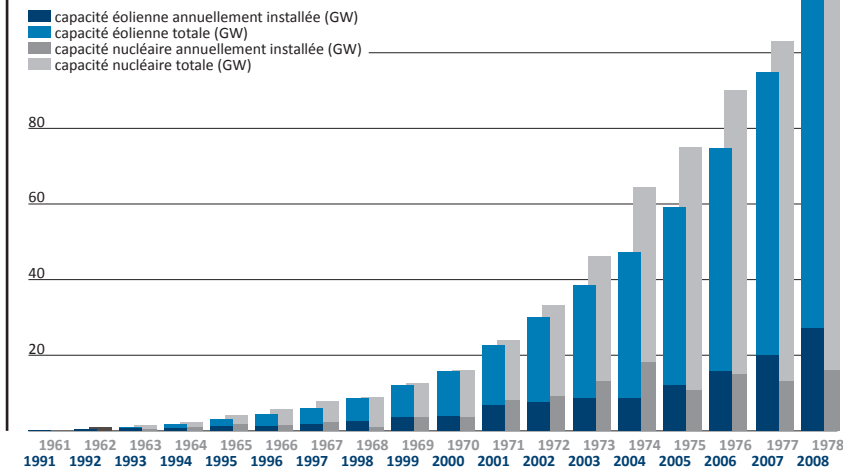
Nouvelles capacités de production électrique installées en Europe en 2010

source : EWEA



## Développements comparés des énergies éolienne et nucléaire sur les périodes 1991-2008 et 1961-1978 en Europe

source : EWEA



En moyenne, depuis 1997, la capacité de production éolienne installée en Europe croît de 30 % par an. Cette hausse est comparable à celle qu'a connu le nucléaire dans les années 1970.

## La Chine et les États-Unis en tête

En 2010, la Chine cumule 42,3 GW d'énergie éolienne et devient le premier pays en termes de capacité installée totale, dépassant les États-Unis qui figuraient à la première place depuis 2007. Le pays a installé 16,5 GW en 2010, ce qui constitue un nouveau record par rapport aux 13,8 GW de 2009. Cela met la Chine sur la bonne voie pour atteindre les 200 GW de puissance éolienne installée d'ici 2020 et produire 15 % de son électricité à partir de sources renouvelables. Pour atteindre ce résultat, le gouvernement a identifié en 2008 les six régions les plus ventées et leur a affecté des objectifs de capacité installée – compris entre 10 GW et 23 GW – à atteindre d'ici 2020.

Durant le même temps, la Chine est aussi devenue le premier producteur mondial d'éoliennes avec 7 entreprises dans le top 15 mondial des fabricants. En 2010, le constructeur chinois Sinovel (11 % du marché) se hisse à la deuxième place, derrière le danois Vestas mais devant l'américain General Electric (10 %) qui est relégué au troisième rang, ex-aequo avec un autre chinois, Goldwind, qui détient lui aussi 10 % du marché. Aux États-Unis, un ensemble de mesures, prises en 2009, ont été très bénéfiques pour maintenir la dynamique dans le secteur lors du ralentissement économique de la période 2008-2009. À la fin de l'année 2009, l'industrie éolienne américaine employait 85 000 personnes.

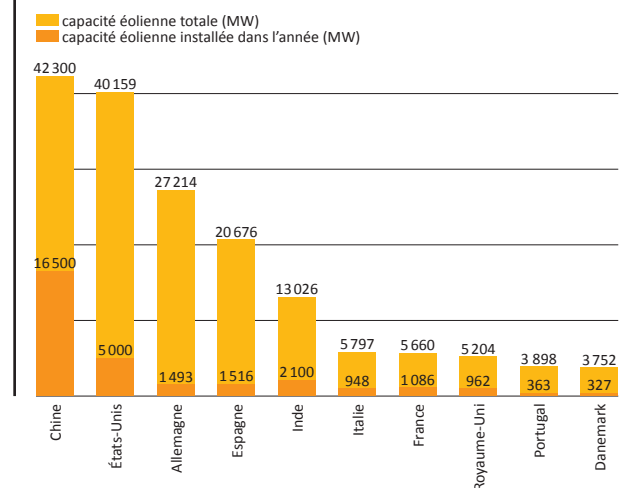
## L'éolien en Inde et en Afrique

L'Inde est le cinquième marché mondial de l'éolien avec plus de 13 000 MW installés fin 2010. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, la puissance installée pourrait atteindre 65 GW en 2020. Suzlon, son principal opérateur industriel, est devenu l'un des premiers constructeurs mondiaux.

De son côté, l'Afrique bénéficie d'un vaste potentiel pour le développement de l'énergie éolienne, surtout dans le Nord, le long des côtes et en Afrique du Sud. À la fin de l'année 2009, environ 96 % des installations éoliennes du continent (763 MW) se trouvaient en Egypte (430 MW), au Maroc (253 MW) et en Tunisie (54 MW). En Afrique du Sud, 7 000 MW sont actuellement en développement.

### Capacité éolienne installée par pays au 31/12/2010

source : GWEC



Syndicat des énergies renouvelables  
France Énergie Éolienne  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
www.enr.fr - www.fee.asso.fr

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



# ■ L'énergie éolienne en France : chiffres clés (au 1<sup>er</sup> janvier 2011)

La puissance éolienne raccordée au réseau au 31 décembre 2010 est de 5 660 MW en France. Avec 1 086 MW raccordés pendant cette année, la France se place ainsi pour la première fois en troisième position en Europe, juste derrière l'Espagne (1 516 MW) et l'Allemagne (1 493 MW). L'énergie éolienne est indispensable pour atteindre les objectifs du Grenelle de l'Environnement pour 2020 : elle comptera pour un quart des 20 millions de tonnes équivalent pétrole produits par les énergies renouvelables en 2020. Pour la filière éolienne, 25 000 MW éoliens sont prévus, dont 6 000 MW en mer, soit environ 8 000 éoliennes incluant les 3 700 déjà installées.

## ■ En 2020, l'énergie éolienne produira jusqu'à 10% de notre consommation électrique

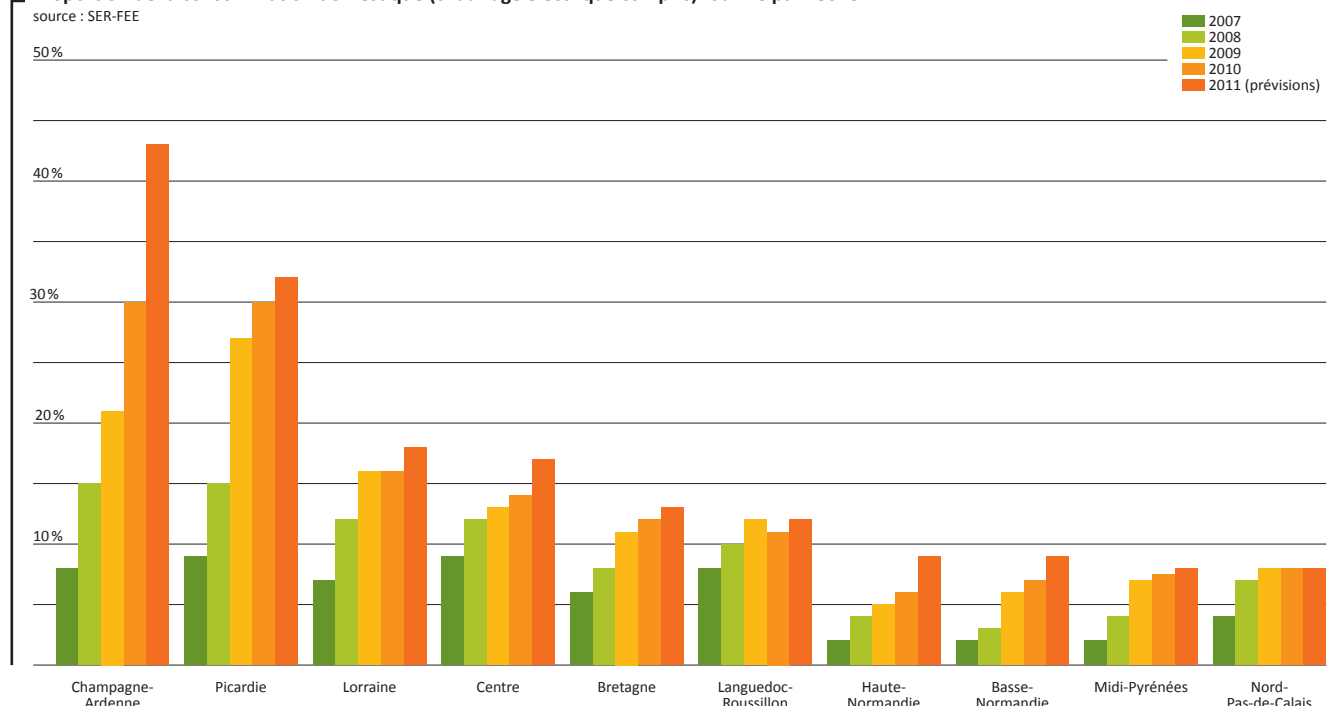
En 2010, le parc éolien français a produit plus de 9,6 millions de MWh d'électricité, soit 1,9% de notre consommation intérieure d'électricité. Cela représente l'équivalent de la consommation domestique, chauffage compris, de près de 4 millions de personnes. Fin 2010, l'énergie éolienne représente 30% de la consommation domestique des régions Picardie et Champagne-Ardenne et environ 15% des régions Lorraine et Centre. Ces quatre régions comptent 250 à 350 éoliennes chacune, soit en moyenne un parc éolien toutes les 45 communes.

Fin 2011, la région Champagne-Ardenne sera en mesure de produire l'équivalent de plus de 40% de sa consommation domestique avec ses éoliennes, et 11 départements produiront plus de 50% de leur consommation domestique, chauffage compris, à partir de l'énergie éolienne : l'Aisne, les Ardennes, l'Ariège, l'Aube, l'Aude, la Lozère, la Haute-Marne, la Meuse, l'Eure-et-Loir, l'Indre et la Somme.

En 2020, selon les projections du Grenelle de l'Environnement, le parc éolien français produira 55 millions de MWh, soit 10% de la consommation électrique de notre pays.

Proportion de la consommation domestique (chauffage électrique compris) fournie par l'éolien

source : SER-FEE





© ENEA / BERNAUX

## Combien y a-t-il d'éoliennes en France ?

- 5 660 MW, répartis dans 500 parcs éoliens, sont installés en France.
- 3 275 éoliennes sont actuellement en service en France métropolitaine, et 445 dans les DOM-COM.
- Fin 2010, on comptabilise près de 3 740 MW de puissance en attente de raccordement (sources : ERDF et RTE).
- Chaque année, environ 500 éoliennes sont mises en service en France, soit plus de 1 000 MW, l'équivalent de la puissance d'une centrale thermique et demie.

## ■ L'évolution du parc éolien français

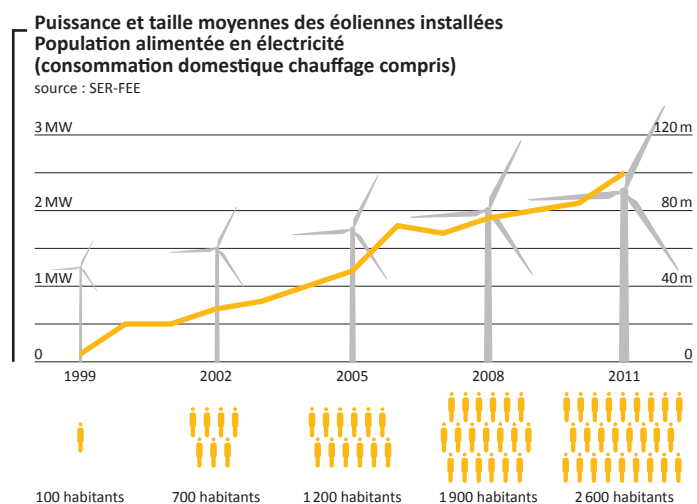
Évolution de la puissance installée et cumulée depuis 2000 en France

Année	Puissance annuelle installée (MW)	Puissance cumulée (MW)	Énergie produite (GWh)	Estimations de la population alimentée (consommation domestique y compris chauffage électrique)
2000	40	61	70	29 000
2001	31	92	131	54 000
2002	52	144	245	100 600
2003	100	244	363	150 000
2004	146	390	577	237 000
2005	367	757	963	395 000
2006	810	1567	2 169	890 000
2007	888	2 455	4 140	1 725 000
2008	1 030	3 486	5 653	2 500 000
2009	1 088	4 574	7 800	3 492 000
2010	1 086	5 660	9 600	3 954 000

source : SER-FEE

## ■ Des parcs de plus en plus puissants

La puissance d'une éolienne a été multipliée par 10 entre 1997 et 2007. Dans les années 1980, une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité. Aujourd'hui, une seule éolienne de 2 MW fournit de l'électricité pour 2 000 personnes, chauffage compris. La puissance moyenne d'une éolienne était de 0,5 MW en 2000, de 1,7 MW en 2007, pour atteindre 2,1 MW en 2010. Un parc éolien de 12 MW, composé de quatre à six éoliennes, couvre les besoins en consommation d'électricité de près de 12 000 personnes, chauffage inclus, et permet d'éviter l'émission de 8 000 tonnes de CO<sub>2</sub>.



Design graphique: THINK UP communication éco-responsable® www.thinkup.fr



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## ■ L'énergie éolienne contribue à la protection de l'environnement en réduisant nos émissions de CO<sub>2</sub>

L'énergie éolienne est une solution efficace pour lutter contre le réchauffement climatique et limiter nos émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, les éoliennes convertissent en électricité l'énergie du vent sans produire de déchet ni émettre de gaz à effet de serre. Cette électricité, propre et renouvelable, se substitue à celle produite par des centrales polluantes.

### ■ Aucune émission de gaz ni production de déchet

Alors que les installations de production conventionnelles utilisent pour l'essentiel différents combustibles – gaz, charbon, pétrole – dont elles tirent de l'énergie au moyen d'une réaction physico-chimique qui émet un certain nombre de déchets et/ou de gaz à effet de serre, l'énergie éolienne, reposant sur une utilisation mécanique de la force du vent, permet de produire de l'électricité sans combustible, et donc sans émission de CO<sub>2</sub> ni rejet.

### ■ Le potentiel de l'énergie éolienne

Parmi les énergies renouvelables électriques, l'énergie éolienne est de loin celle qui détient le potentiel de développement le plus important. Ce fait a été confirmé à l'occasion du Grenelle de l'Environnement : en effet, l'éolien représentera en 2020 un quart de l'objectif de 20 millions de tonnes équivalent pétrole de production

d'énergies renouvelables en France, soit 25 000 MW de capacités de production installées.

Cet objectif ambitieux a été accepté par tous : experts, industriels, organisations gouvernementales et non gouvernementales, représentants des collectivités territoriales et des services centraux de l'État.



© MPICS / FOTOLIA



© MINWIZ / FOTOLIA

## ■ Une substitution de l'éolien à la production thermique



© WITKOMMER / FOTOLIA

L'existence de trois grands régimes de vent décorrés, combinée aux autres particularités du système électrique français (très fortes capacités hydraulique et d'interconnexion), permet une gestion optimale de la production (cf. fiche « L'énergie éolienne, une énergie fiable et sûre »).

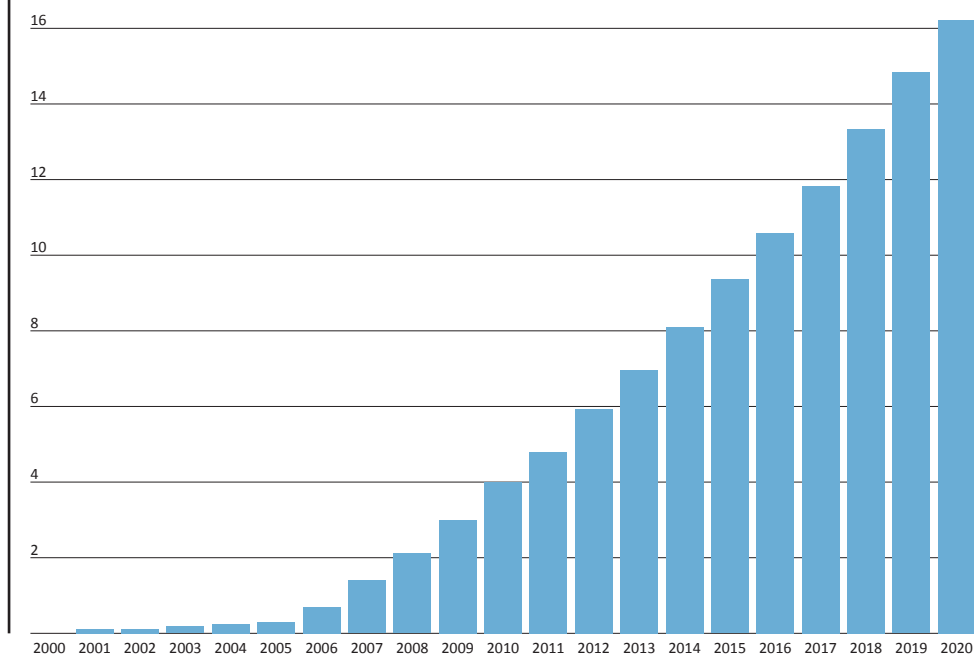
L'éolien se substitue, la plupart du temps, à des moyens thermiques : selon le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, la production d'électricité éolienne s'est substituée en 2006 à la production thermique 75 % du temps. Cette substitution de l'éolien au thermique à flamme a des conséquences directes sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du parc électrique français :

« En 2020, un parc de 25 000 MW devrait permettre d'éviter l'émission par le secteur énergétique de 16 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an », selon la note d'information publiée le 15 février 2008 par le Ministère en charge de l'énergie et de l'environnement et l'ADEME. Concrètement, cet objectif en 2020 représente l'équivalent des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de près de 8 millions de voitures.

En 2010, une petite partie du chemin a été parcourue et le parc éolien français, avec 5 660 MW installés à la fin de l'année, a permis d'éviter l'émission de près de 4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>.

Émissions de CO<sub>2</sub> évitées en France grâce à l'énergie éolienne pour la période 2000 - 2020 (millions de tonnes de CO<sub>2</sub>)

source : SER



Soit l'équivalent de :

100 000 voitures en 2004

1 million de voitures en 2008

3 millions de voitures en 2012

5 millions de voitures en 2016

8 millions de voitures en 2020



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



# ■ L'énergie éolienne, une énergie fiable et sûre

Les éoliennes sont de plus en plus performantes : leurs puissances moyennes augmentent régulièrement, et les services R&D des constructeurs les améliorent sans cesse. Quant à l'électricité fournie, son accueil sur le réseau est bien maîtrisé : les machines tournent 80 % du temps et leur production est connue à l'avance grâce aux modèles de prévision météorologique. De plus, l'existence, en France, de trois grands régimes de vent décorrélés permet une meilleure régularité de la production : à tout instant, sur notre territoire, le vent souffle quelque part.

## ■ Une meilleure maîtrise des variations du vent à grande échelle

Le vent est capricieux et peut fluctuer d'un jour à l'autre. Dans ces conditions, comment utiliser la production issue du vent pour satisfaire les besoins réguliers de la population ? La réponse consiste à ne pas prendre en compte l'énergie produite par une seule éolienne mais à considérer l'énergie totale produite par l'ensemble du parc français.

Les éoliennes sont implantées là où le vent souffle suffisamment pour produire de l'électricité environ 80 % du temps. La quantité d'énergie produite va dépendre de la puissance du vent mais il est très rare qu'elle soit nulle. Lorsque certaines éoliennes ne tournent pas à pleine puissance sur un parc, les machines présentes sur d'autres sites peuvent, elles, fournir le maximum de leur capacité.

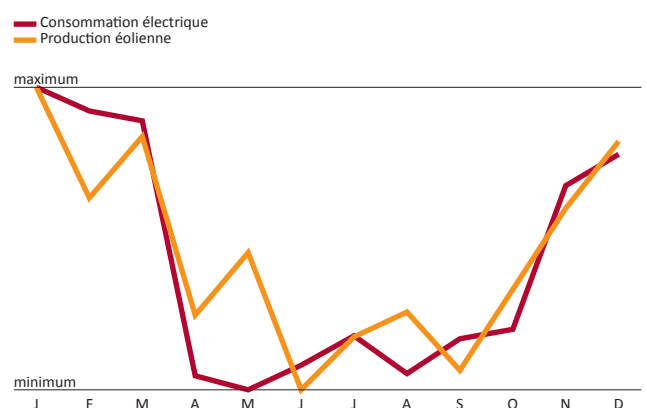
## ■ Trois régimes de vent : un atout pour la France

La France dispose de trois zones géographiques où s'appliquent des régimes de vent différents : façade Manche-Mer du Nord, front atlantique et zone méditerranéenne. Les variations de la production éolienne s'équilibrent ainsi au niveau national. Grâce à ces trois régimes de vent, les prévisions sont améliorées et la fiabilité de l'éolien pour le système électrique est renforcée comme l'explique le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, dans son bilan prévisionnel publié en 2007 : « *La décorrélation des vitesses de vent est quasi-totale entre la zone Méditerranée et la zone Manche ; de plus, à l'intérieur de cette dernière, la corrélation entre Nord-Picardie d'un côté et Bretagne de l'autre est faible. Un parc éolien développé de manière géographique équilibrée entre ces zones autorise la compensation de variations régionales, et permet une plus grande régularité de la production nationale* ». En France, les éoliennes sont présentes dans la quasi-totalité des départements où la ressource en vent disponible est favorable à leur implantation.

**La production éolienne est globalement plus importante en hiver qu'en été, ce qui correspond à nos besoins de consommation électrique saisonniers.**

Variations saisonnières comparées de la consommation électrique et de la production éolienne

moyenne 2004-2006  
source : SER-FEE



## ■ La complémentarité de l'éolien avec le parc hydraulique français

La France possède le plus important parc hydraulique européen. Cet atout permet d'utiliser au mieux l'énergie du vent car l'hydroélectricité et l'énergie éolienne sont deux énergies complémentaires.

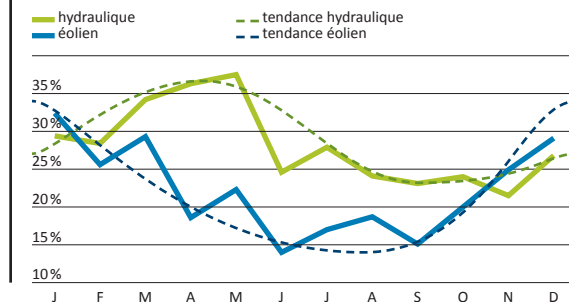
En hiver, le vent souffle davantage et permet aux barrages de reconstituer plus facilement leurs réserves, grâce à cet apport de production et à une économie quant à l'utilisation de l'eau disponible. En été, quand le vent est généralement plus faible, l'hydraulique prend le relais, assurant ainsi une continuité et une substitution optimale à la production thermique.

### Fonctionnement comparé de l'hydroélectricité et de l'éolien sur une année (facteur de capacité en %)

moyenne 2004-2006

source : DGEC, RTE, SER-FEE

Le facteur de capacité est le rapport entre la production moyenne et la production maximale théorique



## ■ L'éolien, une technologie décentralisée en progrès constant

Les éoliennes font partie des installations de production d'électricité les plus fiables. Le facteur de disponibilité des éoliennes, qui mesure le pourcentage du temps pendant laquelle une installation est en état de fonctionnement, s'établit à plus de 98% et est largement supérieur à celui des centrales conventionnelles (de l'ordre de 70 à 85%). Par ailleurs, lorsqu'une éolienne cesse de produire, le reste du parc éolien continue de fonctionner, assurant la continuité de la production. Ainsi, l'énergie éolienne, du fait de son foisonnement et de son caractère décentralisé, ne nécessite pas de disposer de réserves de production pour faire face à d'éventuels dysfonctionnements. En revanche, ce type de réserve « de secours » est prévu en cas d'incident sur une centrale électrique. Ce phénomène se produit régulièrement et peut priver le réseau d'une puissance pouvant atteindre jusqu'à 1 600 MW, sans aucune prévision possible.

## ■ La forte capacité française d'interconnexion avec ses voisins

Les interconnexions permettent de répartir la production éolienne au niveau de l'Europe entière : lorsque le vent souffle fort en France, une partie de l'électricité produite peut être exportée en Espagne, en Allemagne ou en Italie. Cette mutualisation des capacités permet une meilleure régularité de la production éolienne. A l'inverse, lorsque le vent souffle plus chez nos voisins que chez nous, les importations nous permettent de bénéficier d'une électricité à moindre coût et sans émission de CO<sub>2</sub>. Avec 33 lignes transfrontalières à très haute tension (dont 17 en 400 000 Volts), soit plus de 13 000 MW de capacités d'interconnexion avec ses voisins, la France dispose d'une marge de manœuvre importante pour utiliser au mieux l'énergie du vent.



### Le système électrique français est prêt à accueillir les 25 000 MW éoliens inscrits dans le Grenelle de l'Environnement

Le gestionnaire du réseau de transport de l'électricité confirme qu'il est « prêt à accueillir l'électricité éolienne sur son réseau, à la hauteur des objectifs que s'est fixés la France », soit un objectif de 25 000 MW en 2020. L'éolien représentera alors 10% de notre consommation électrique, ce qui n'est pas marginal mais reste beaucoup plus faible que ce qui est atteint aujourd'hui au Danemark (20%) ou en Espagne (15%).



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)



## Le financement de l'électricité éolienne

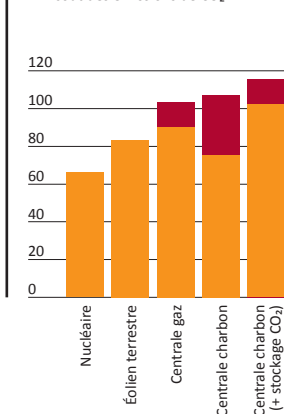
L'énergie éolienne est une filière très prometteuse. Comme pour toutes les filières énergétiques en développement, les pouvoirs publics ont décidé de lui apporter un soutien économique afin de faciliter son essor. Un tarif d'achat a été créé, garantissant l'achat par EDF de l'électricité produite à un prix fixe et garanti, pour sécuriser les investissements et donner une visibilité à long terme aux acteurs de la filière. Ce soutien garantit également, sur 15 ans, un prix indépendant de toute augmentation du coût des matières premières.

### Le mégawattheure éolien de plus en plus compétitif

Comparaison du coût de l'éolien avec celui des autres moyens de production d'électricité (€/MWh)

source : emerging-energy.research, juillet 2008

■ coût des émissions de CO<sub>2</sub>



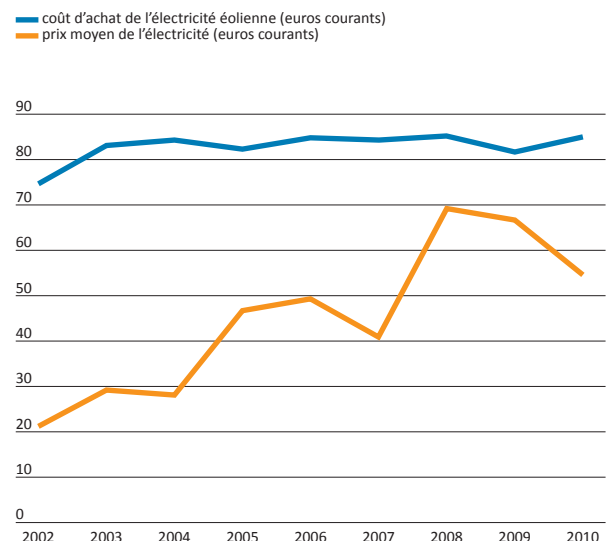
L'écart entre le prix d'achat d'un MWh éolien et le prix de l'électricité sur le marché diminue d'année en année sauf en cas de conjoncture exceptionnelle comme en 2010. Dans quelques années, en France, le prix de l'électricité éolienne pourrait être inférieur au prix de l'électricité sur le marché. L'éolien constitue donc un moyen de production compétitif. Il contribue à diminuer la dépendance des consommateurs aux combustibles fossiles et les protège ainsi du risque d'augmentation des prix.

### L'énergie éolienne : un prix stable dans un marché instable

- Entre 2003 et 2009, le prix de l'électricité sur le marché européen a augmenté en moyenne de 20 % par an. Le prix de l'électricité a, en revanche, diminué en 2010 du fait de la conjoncture économique.
- Le coût de l'électricité éolienne est stable car indépendant des énergies fossiles dont le prix est très volatile : le prix du baril de Brent est passé de 36 € début 2010 à 82 € en mars 2011.

Comparaison entre le prix moyen de l'électricité et le coût d'achat de l'électricité éolienne (€/MWh)

source : SER-FEE, CRE



## ■ Comment les pouvoirs publics accompagnent-ils le développement de la filière ?

Chaque kilowattheure d'électricité produit par une éolienne est acheté par EDF à 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon la productivité du parc. Ce tarif a été fixé par le Gouvernement pour permettre aux projets de trouver des financements. Le système de tarif d'achat fixe et garanti constitue en effet le meilleur système de soutien pour la collectivité, car il permet de mutualiser, à grande échelle, les risques associés aux projets individuels et d'obtenir le prix le plus bas.

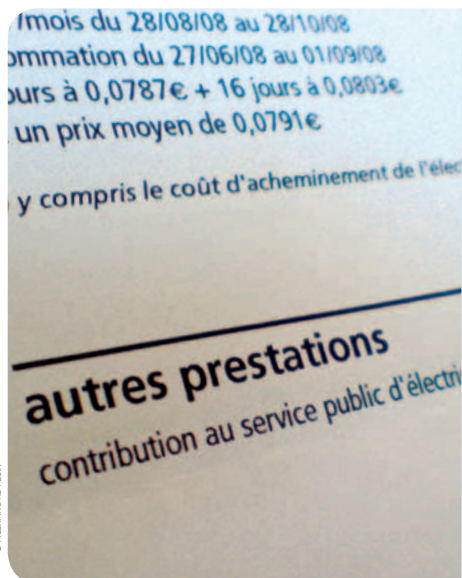
Cette intervention publique n'est pas spécifique à l'éolien : les filières nucléaire et hydraulique ont historiquement bénéficié d'un fort soutien public.

S'agissant de l'efficacité des différents systèmes de soutien, la Commission Européenne a souligné en 2005 le caractère moins coûteux et plus efficace du système de tarif garanti par rapport aux systèmes d'appels d'offres ou de quotas.

Les pays qui ont fortement développé les énergies renouvelables et en particulier, l'éolien, ont d'ailleurs tous mis en œuvre ce type de mécanisme.

À l'inverse, dans les pays qui utilisent des systèmes d'appels d'offres ou de certificats verts, le niveau du tarif d'achat éolien peut s'avérer extrêmement élevé. En Italie, par exemple, le MWh éolien terrestre coûte 180€ et le pays a d'ailleurs choisi de remplacer à partir de 2012 son système de certificats verts par un tarif d'achat garanti.

Étant donné que le développement de l'éolien résulte d'une politique publique visant à diversifier nos moyens de production d'énergie et à développer les énergies renouvelables, le surcoût de l'électricité éolienne achetée par EDF est répercuté sur la facture d'électricité de chaque consommateur, parmi les charges de la CSPE (Contribution au Service Public de l'Électricité).



### Que finance la CSPE ? (Contribution au Service Public de l'Électricité)

La CSPE, payée par tous les consommateurs d'électricité, ne recouvre pas seulement les surcoûts engendrés par l'achat d'électricité de source renouvelable, elle vise aussi à supporter plusieurs missions de service public, telles :

- l'obligation d'achat de l'électricité produite par la cogénération (production d'électricité et de chaleur) ;
- la péréquation tarifaire, c'est-à-dire le surcoût de la production électrique dans certaines zones insulaires (Corse, DOM-COM, îles bretonnes, etc) ;
- les dispositions sociales, soit le coût supporté par les fournisseurs en faveur des personnes en situation de précarité.

## ■ Le coût de l'éolien pour le consommateur

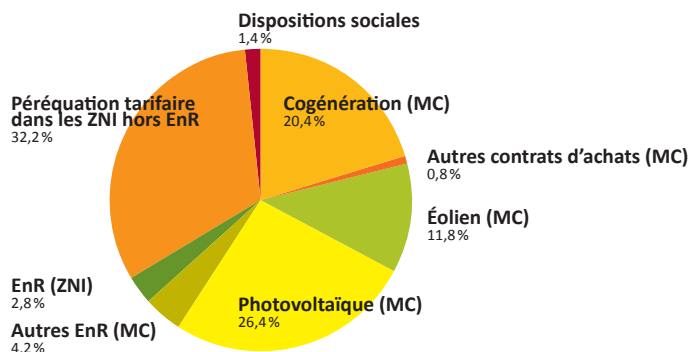
Selon les prévisions données par la CRE (Commission de Régulation de l'Énergie), le montant de la CSPE en 2011 est de 7,5€/MWh.

L'énergie éolienne ne représente que 11,8% de ce montant, soit une charge de 0,09 c€/kWh par habitant. En moyenne, pour un ménage français consommant 2 500 kWh par an, le coût annuel est d'environ 2,25€.

### Répartition de la CSPE en 2011

source : CRE

EnR : énergies renouvelables - MC : métropole continentale - ZNI : zones non interconnectées



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



# ■ L'éolien, une filière dynamique et créatrice d'emplois

L'énergie éolienne est désormais entrée dans une phase industrielle marquée par un dynamisme important et une croissance de près de 30 % par an depuis 10 ans. En 2010, la filière représente un marché de plus de 40 milliards d'euros et 670 000 emplois dans le monde. En France, le montant des investissements et le nombre d'emplois ne cessent d'augmenter : 11 000 personnes pour un marché de 2,4 milliards d'euros en 2009, qui pourrait atteindre 3,7 milliards d'euros en 2012 selon les prévisions de l'ADEME.

## ■ Un vent porteur pour une croissance internationale

Le chiffre d'affaires de l'industrie éolienne double tous les trois ans et, en 2010, 47 milliards d'euros ont été investis dans le monde pour les nouvelles installations. Avec un taux de croissance annuel de près de 30 % par an depuis 10 ans, la filière éolienne a permis la création de plusieurs centaines de milliers d'emplois. En 2009, on comptait plus de 192 000 emplois en Europe : 40 000 emplois directs en Allemagne, 24 000 au Danemark, 20 000 en Espagne, etc.

Cette dynamique ne s'essouffle pas : la prise de conscience de l'urgence liée au changement climatique, à la raréfaction et à l'augmentation des coûts des ressources fossiles, conduit les différents pays à multiplier les projets de parcs éoliens. Selon le rapport 2010 du Conseil Mondial de l'Énergie Éolienne, près de 200 GW étaient en service dans le monde fin 2010 et cette capacité devrait doubler d'ici à 2014.

## ■ L'éolien : un véritable enjeu pour l'avenir de l'industrie française

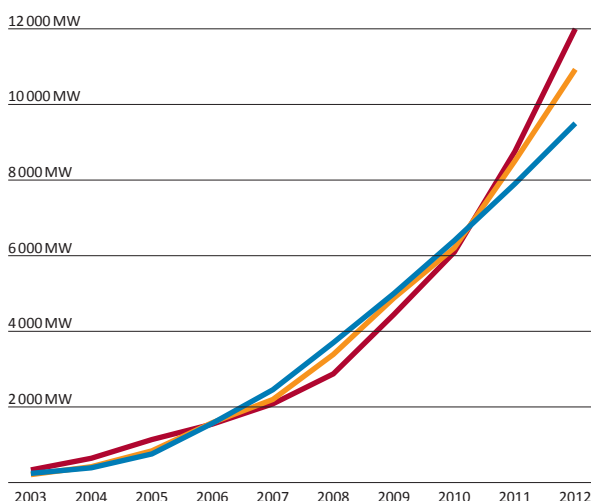
En 2010, 17 % des nouvelles capacités de production d'électricité construites en Europe étaient des installations éoliennes. La France dispose d'une expérience reconnue dans le secteur énergétique, que ce soit en matière de nucléaire, d'hydraulique, de pétrole ou de gaz.

Elle doit aussi maîtriser le vent pour profiter du formidable potentiel de cette énergie. Notre pays, qui dispose du 2<sup>ème</sup> gisement éolien d'Europe, a les capacités pour devenir l'un des pays leaders de cette filière dans l'Union. Nous avons pris du retard par rapport aux champions européens que sont l'Allemagne et l'Espagne, mais l'évolution de la filière éolienne française suit les courbes de croissance allemande (avec un décalage de 10 années) et espagnole (avec un décalage de 7 années), comme l'indique le graphique ci-contre.

Comparaison de l'évolution des parcs éoliens français avec les leaders européens (MW installés)

source : SER « Feuille de route Grenelle de l'Environnement », 2007

■ France  
■ Espagne - 7 ans  
■ Allemagne - 10 ans



## Windustry France, l'industrie éolienne française

Windustry France constitue une vitrine du savoir-faire industriel français transposable à l'industrie éolienne terrestre comme maritime. Cette démarche rassemble déjà près de 200 entreprises actives sur l'ensemble de la chaîne de valeur (mâts, génératrices, freins, système d'orientation des pales et de la nacelle, composants électriques, électronique de puissance, etc.) et les activités connexes, comme l'aménagement des sites, la connexion au réseau électrique, les travaux de génie civil, le transport des composants de l'éolienne, ainsi que leur assemblage et leur stockage. De très nombreux acteurs issus de l'industrie traditionnelle (automobile, aéronautique, mécanique, construction navale...) sont aussi prêts à rejoindre cette démarche qui mobilise également les principales zones d'activités portuaires françaises (Dunkerque, Cherbourg, Rouen / Le Havre, Brest, Nantes Saint-Nazaire, Bordeaux...).

### ■ Vers une filière industrielle française forte

La filière éolienne française, lancée après celle des pays précurseurs que sont le Danemark et l'Allemagne, rattrape son retard. En 2010 la production éolienne s'élevait à 9,6 TWh soit 1,9% de la consommation française totale. Par rapport à 2009 (7,8 TWh), la production d'origine éolienne a augmenté de plus de 2 TWh, l'équivalent de la consommation domestique électrique (chauffage électrique compris) d'environ 950 000 Français.

En 2010, la France a constitué le troisième marché européen de l'éolien derrière l'Allemagne et l'Espagne. Encouragés par cette dynamique, les professionnels de l'éolien se renforcent en France et poursuivent l'objectif de développer leurs positions sur des marchés en pleine croissance dans le monde. De manière générale, les entreprises du secteur poursuivent un rythme de croissance fort, notamment les constructeurs, leurs fournisseurs et sous-traitants. Des composants de toute sorte sont fournis par des sous-traitants français : Aerocomposite Occitane, Rollix-Defontaine, Mersen, AREVA T&D, CDE SA, SIAG, SPIE, Laurent SA, Céole, Baudin-Chateaufort, etc. De nombreux bureaux d'études, entreprises de génie civil, construction ou transport profitent de cette croissance. Plus de 170 entreprises ont déjà été identifiées comme sous-traitants actifs de l'industrie éolienne, travaillant pour les grands constructeurs. Une étude de 2010 menée par CapGemini, recense près de 150 autres entreprises en mesure de se positionner pour devenir également sous-traitants de l'industrie éolienne. L'industrie éolienne représente donc une véritable opportunité de diversification pour le tissu industriel français, qui possède toutes les compétences pour répondre aux exigences de cette industrie.

### ■ L'énergie éolienne, source d'emplois et de richesses au niveau local

Aujourd'hui, la filière éolienne en France représente l'équivalent de 11 000 emplois directs (Etude ADEME / In Numeri de 2010), en forte croissance depuis quelques années. Avec un marché de 25 000 MW, plusieurs unités de construction de mâts, de pales et autres gros composants d'éoliennes devront s'implanter en France. En 2020, l'énergie éolienne sera en mesure d'employer 60 000 personnes. L'installation et la maintenance des parcs nécessitent de faire appel à des entreprises locales ; des emplois sont ainsi créés directement dans les zones où sont implantées les éoliennes.

### ■ De nouvelles formations, de nouveaux métiers

La croissance de l'énergie éolienne est telle que les professionnels rencontrent d'importantes difficultés à recruter le personnel qualifié nécessaire au développement et à l'exploitation. Pour cette raison, de nombreuses formations ont été mises en place, notamment pour la maintenance de ces nouvelles installations de production d'électricité.

Ainsi, après le lycée Bazin de Charleville-Mézières, le lycée Dhuoda de Nîmes a récemment mis en place une formation de technicien de maintenance éolienne. De très nombreuses formations en énergies renouvelables abordent également les sujets éoliens, allant du Bac technologique au master en passant par les licences professionnelles ou les Instituts Universitaires de Technologie.

Les métiers de l'éolien sont multiples : chef de projet, responsable études environnementales, ingénieur technique, juriste, responsable HSE / QSE, chef de chantier, technicien de maintenance...



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## ■ L'insertion des éoliennes dans le paysage

L'intégration paysagère des éoliennes est soigneusement étudiée et constitue un point fondamental lors du développement d'un projet de parc éolien. Les maîtres d'ouvrage soumettent le projet aux riverains et à leurs élus, organisent une concertation pour une insertion harmonieuse des éoliennes dans le paysage qui les accueille.

### ■ Le rendu visuel du parc est évalué avant sa construction

Lorsqu'un parc éolien est en projet, une étude paysagère est systématiquement menée dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement. Pour réaliser cette étude, les développeurs éoliens associent à leurs projets paysagistes, bureaux d'études spécialisés, élus locaux et riverains, le plus en amont possible, afin de déterminer la meilleure implantation possible en fonction des contraintes. Deux outils principaux sont utilisés par les spécialistes et paysagistes afin d'étudier les évolutions du cadre de vie suite à l'implantation de nouvelles éoliennes :

- des photomontages permettant de visualiser le paysage définitif avant même la construction du parc. Des logiciels permettent de représenter le futur parc éolien depuis différents points de vue ;
- des cartes de co-visibilité, permettant la représentation sur une carte IGN des lieux à partir desquels les éoliennes pourront être visibles.

Ces différents documents sont présentés aux riverains, élus locaux et à la population locale pendant la concertation menée lors de la phase de développement du projet. Ils permettent des échanges et une prise en compte optimale des différentes remarques pour l'implantation du parc.

La Commission départementale de la nature, des paysages et des sites ainsi que les Architectes des Bâtiments de France sont consultés pour donner un avis sur le volet paysager de l'étude d'impact. Les éventuelles co-visibilités avec les bâtiments et sites historiques inscrits ou classés sont systématiquement étudiées, dans un périmètre dépassant souvent 20 km. Les projets éoliens doivent respecter les exigences fixées dans le code de l'urbanisme pour la protection des monuments historiques et des sites protégés pour obtenir une autorisation.

### ■ La méthodologie mise en œuvre pour l'installation des éoliennes

La méthodologie utilisée par les professionnels du paysage est conçue à partir du guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens réalisé par le Ministère en charge de l'énergie et de l'environnement (MEDDTL) et l'ADEME. Elle comprend trois phases :

- analyse des composantes du paysage existant (perception, pratique, transformation dans le temps) ;
- choix de l'implantation des éoliennes (nombre, espacement, positionnement...), à partir des caractéristiques paysagères et des principaux enjeux relevés sur le site ;
- étude la plus objective et exhaustive possible des éventuels effets visuels générés par le parc éolien (réalisation de photomontages sur le terrain).



## ■ Objectif 2020 : 8 000 éoliennes

Aujourd'hui, le parc éolien français compte un peu plus de 3 700 éoliennes, dont près de 445 « petites éoliennes » situées dans les départements et collectivités d'outre-mer. Les premières éoliennes ont été installées dans les zones les plus ventées, c'est-à-dire à proximité des côtes et dans la vallée du Rhône ; les parcs les plus récents occupent les vastes plaines de la Beauce et du Nord-Est. À l'horizon 2020, pour un parc de 25 000 MW correspondant à l'objectif du Grenelle de l'environnement, 5 500 éoliennes supplémentaires devront être installées :

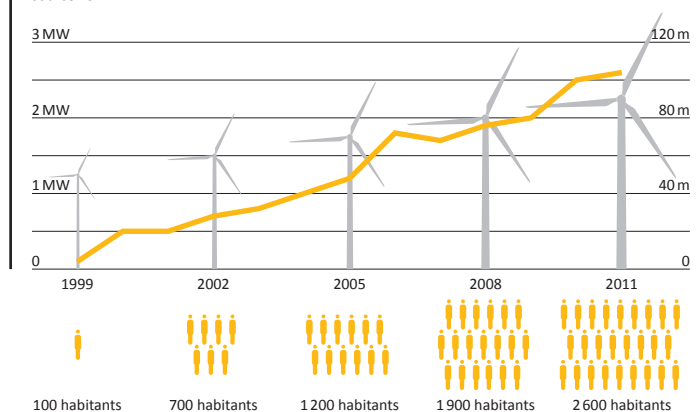
- 4 500 éoliennes terrestres  
d'une puissance moyenne de 2,75 MW ;
- 1 000 éoliennes en mer  
d'une puissance moyenne de 5 MW.

**« Saisir les opportunités ouvertes par le Grenelle suppose (...) de développer considérablement la construction des éoliennes » avec « 6 000 éoliennes », soit « trois fois plus que le parc actuel. »**

Nicolas Sarkozy, Président de la république, extrait du discours sur la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement à Orléans le 20 mai 2008.

**Puissance et taille moyennes des éoliennes installées**  
**Population alimentée en électricité**  
**(consommation domestique chauffage compris)**

source : SER-FEE



## ■ Les Français sont favorables à l'énergie éolienne



Aujourd'hui, de nombreux exemples montrent que les parcs éoliens peuvent s'inscrire de façon très satisfaisante dans les paysages ; en témoigne l'affluence des visiteurs observée aussi bien lors de la construction qu'à chaque inauguration de parcs éoliens.

Les différents sondages d'opinion réalisés montrent que les éoliennes sont bien acceptées par les Français (74 % des Français sont favorables à l'installation d'éoliennes en France - source : baromètre ADEME 2010 sur les Français et les énergies renouvelables).

Ces études confirment également que l'acceptabilité augmente avec la proximité d'un parc.

À l'occasion d'une étude réalisée en juin 2009 par le Commissariat Général au Développement Durable, intitulée « L'acceptabilité sociale des éoliennes : des riverains prêts à payer pour conserver leurs éoliennes », près de 60 % des personnes interrogées par téléphone déclarent, qu'à l'époque de la construction des éoliennes, elles étaient favorables au projet. Aujourd'hui, la proportion de personnes favorables aux éoliennes est plus importante (76 %).



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## Éoliennes et acoustique



Au pied d'une éolienne, le niveau sonore s'élève à 55 décibels, soit le bruit de l'intérieur d'une maison. Quand le vent souffle fort, on peut tenir, juste au pied d'une éolienne, une conversation normale.

Un rapport de l'Afsset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), relatif à l'impact sanitaire du bruit généré par les éoliennes, indique que les éoliennes ne peuvent avoir de conséquences sanitaires directes sur les riverains.

© RACHEL DONAHUE / ISTOCKPHOTO

### Origines des émissions sonores

Le bruit d'une éolienne provient du souffle du vent dans les pales. Le son augmente avec la vitesse du vent. Cependant le bruit ambiant (bruit du vent dans les arbres...) s'amplifie plus rapidement que le bruit émis par les éoliennes. Les émissions sonores dépendent également de l'environnement, de la topographie du site, de la végétation et de l'urbanisme.

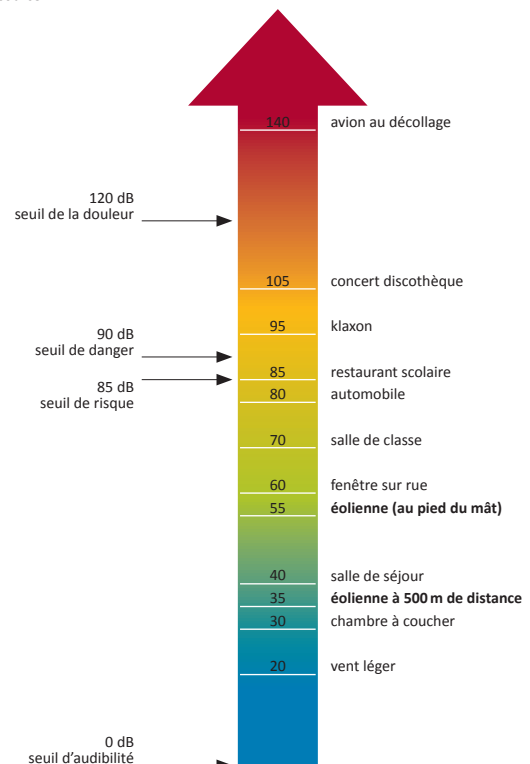
Les bruits perceptibles au pied d'une éolienne sont d'origine mécanique ou aérodynamique ; le bruit mécanique, qui était perceptible avec les premières éoliennes, a aujourd'hui quasiment disparu. Le bruit aérodynamique, provoqué par le passage des pales devant le mât, a également été fortement réduit par l'optimisation du design des pales, et des matériaux qui les composent.



© PICTURELAKA / FOTOLIA

### Échelle du bruit (dB)

source : ADEME



## ■ Une implantation étudiée pour minimiser l'impact sonore

La procédure de permis de construire, à laquelle toute installation éolienne est soumise, impose la réalisation d'une étude d'impact. Celle-ci intègre une étude acoustique très précise, permettant de déterminer une implantation optimale.

Il est possible, grâce aux simulations acoustiques réalisées par des spécialistes, de prévoir la propagation du son autour de plusieurs éoliennes et de limiter ainsi tout risque de nuisance sonore.

Des logiciels permettent de tracer les courbes isophoniques (d'égal niveau sonore) autour des éoliennes. Ces courbes matérialisent la propagation du son. Le modèle de calcul tient également compte de la topographie, de l'occupation du sol, et de son absorption acoustique, de l'atténuation atmosphérique et des données météorologiques enregistrées sur le site. La propagation du son est bien sûr plus importante dans le sens des vents dominants. Dans certains cas, la modification du schéma d'implantation des éoliennes peut être rendue nécessaire après analyse des différentes simulations d'implantation.

Les études des acousticiens, qui interviennent lors du montage d'un projet de parc éolien, sont validées par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) qui, compte tenu des niveaux d'émergence autorisés, peut imposer une distance minimum entre l'éolienne et la première habitation. Actuellement, l'AFNOR élabore une norme spécifique de mesure du bruit pour les éoliennes. Cette dernière prévoit une procédure pour mesurer le bruit une fois les éoliennes installées.



© DAVE & LIES JACOBS / GETTY IMAGES

**Le volume sonore d'une éolienne en fonctionnement à 500 mètres de distance s'élève à 35 décibels, soit l'équivalent d'une conversation chuchotée. Afin d'éliminer tout risque de gêne sonore pour les riverains, les développeurs de projets éoliens respectent un éloignement minimum de 500 mètres entre les éoliennes et les premières habitations.**



© DANIEL VEDRAMUTHI / FOTOLIA

## ■ Infrasons

Les éoliennes, tout comme le vent dans les arbres ou la circulation automobile, émettent des infrasons, c'est-à-dire des sons de basse fréquence, au-dessous du seuil audible par l'oreille humaine. Mais l'impact des infrasons sur la santé humaine n'a été observé que dans de très rares situations et jamais dans le cas de parcs éoliens.

**« Aucune donnée sanitaire disponible ne permet d'observer les effets liés à l'exposition aux basses fréquences et aux infrasons générés par les éoliennes ».**

Agence Française de la Sécurité Sanitaire, de l'Environnement et du Travail, mars 2008.




**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## ■ Biodiversité et énergie éolienne



La protection de la biodiversité fait partie des priorités de l'Union européenne, qui a adopté plusieurs directives depuis 1992 pour la protection des espèces et de leurs habitats, en particulier des oiseaux. L'Europe s'est en outre engagée à consommer 20 % d'énergies renouvelables et à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % d'ici 2020, afin de limiter la responsabilité des activités humaines dans le changement climatique et, ainsi, contribuer à la préservation de la faune et de la flore. L'énergie éolienne contribue à la réalisation de ces deux objectifs.

### ■ Respect de la faune et de la flore

Lors de la construction d'un parc éolien, les travaux peuvent perturber les animaux sauvages et en particulier le gibier, en modifiant leur habitat. Des mesures simples de diminution des impacts sont mises en œuvre par les maîtres d'ouvrage lors de la phase de chantier du projet. Par exemple, les travaux ne sont pas menés pendant les périodes de nidification ou de migration des oiseaux.

Hormis cette phase très courte de 6 à 9 mois, les éoliennes n'ont pas d'impact sur la faune locale, qui adapte son comportement à la présence de ces nouvelles voisines. Quant à la flore, elle est prise en compte par les études d'impact et les différentes propositions d'implantation des parcs éoliens. Les impacts au sol des éoliennes sont très limités et concernent essentiellement les terres agricoles, ce qui limite les effets sur la flore.

### ■ Avifaune et éoliennes

Les développeurs éoliens travaillent de concert avec les associations environnementales (notamment la Ligue de Protection des Oiseaux), pour étudier la sensibilité environnementale de la zone envisagée pour le projet. Les études sur l'avifaune identifient toutes les espèces, leurs activités, ainsi que le tracé de leur trajectoire migratoire. Les résultats permettent de déterminer au mieux l'implantation des éoliennes et leur disposition les unes par rapport aux autres. Une attention renforcée est consacrée aux projets d'implantation de parcs éoliens dans des zones protégées comme les parcs naturels ou les zones Natura 2000. L'implantation d'éoliennes sur des sites reconnus sensibles est évitée.

Concernant l'avifaune migratrice, de nombreuses espèces effectuent leur migration à des altitudes bien supérieures à celles des éoliennes. Les autorisations qui sont délivrées pour la construction des parcs éoliens après consultation de nombreux services, notamment des Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), prévoient des mesures pour compenser les impacts des éoliennes sur la biodiversité (mise en place d'un suivi avifaunistique, réhabilitation de mares, création d'un sentier botanique...). Ces mesures viennent s'ajouter à celles habituellement appliquées par les développeurs lors de la phase de chantier. Dans de nombreux cas également, des mesures de suivi sont appliquées durant les premières années d'exploitation.

### Programme « éolien-biodiversité »

Le programme « éolien-biodiversité » réunit le Ministère de l'Écologie, la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO), l'ADEME et SER/FEE. Il a pour but de financer et mettre en avant des actions exemplaires de prise en compte de la biodiversité dans le cadre du développement de l'éolien. Le programme « éolien-biodiversité » est partenaire d'initiatives en ce sens comme le projet Chirotech. En outre, interpréter les données issues des suivis de reproduction et de comportement nécessite de distinguer objectivement les causes de la perturbation. Il est donc primordial de disposer d'un référentiel de comparaison dans le temps et dans l'espace et la mise en œuvre d'une méthode standardisée est très importante pour obtenir des résultats exploitables. Dans le cadre du programme « éolien-biodiversité », la LPO propose à cet effet des protocoles standardisés.



## ■ Éoliennes et chiroptères

Les comportements des chauves-souris sont peu connus. De nombreuses études sont en cours pour connaître leur comportement en présence d'éoliennes. Nous savons qu'elles vivent dans des espaces peu exposés au vent, tels que sous-bois ou lieux protégés, non propices au développement de l'éolien. De plus, elles ne sortent que de nuit et s'aventurent peu lorsque le vent est trop fort. De ce fait, le risque éolien reste faible pour les chiroptères, contrairement aux autres risques comme l'activité agricole (pesticides, destruction des milieux favorables) et les transports.

Afin d'identifier les enjeux, une expertise chiroptérologique est toujours intégrée au contenu de l'étude d'impact réalisée préalablement à l'implantation d'un parc éolien. L'emplacement et la disposition des éoliennes sont ainsi étudiés afin de réduire au maximum cet impact par l'éloignement des éoliennes des lisières des forêts (zones les plus exposées) ainsi que par l'adaptation du fonctionnement du parc ; la programmation du fonctionnement des éoliennes peut être modifiée en conséquence.



### Protocole d'étude chiroptérologique sur les projets de parcs éoliens

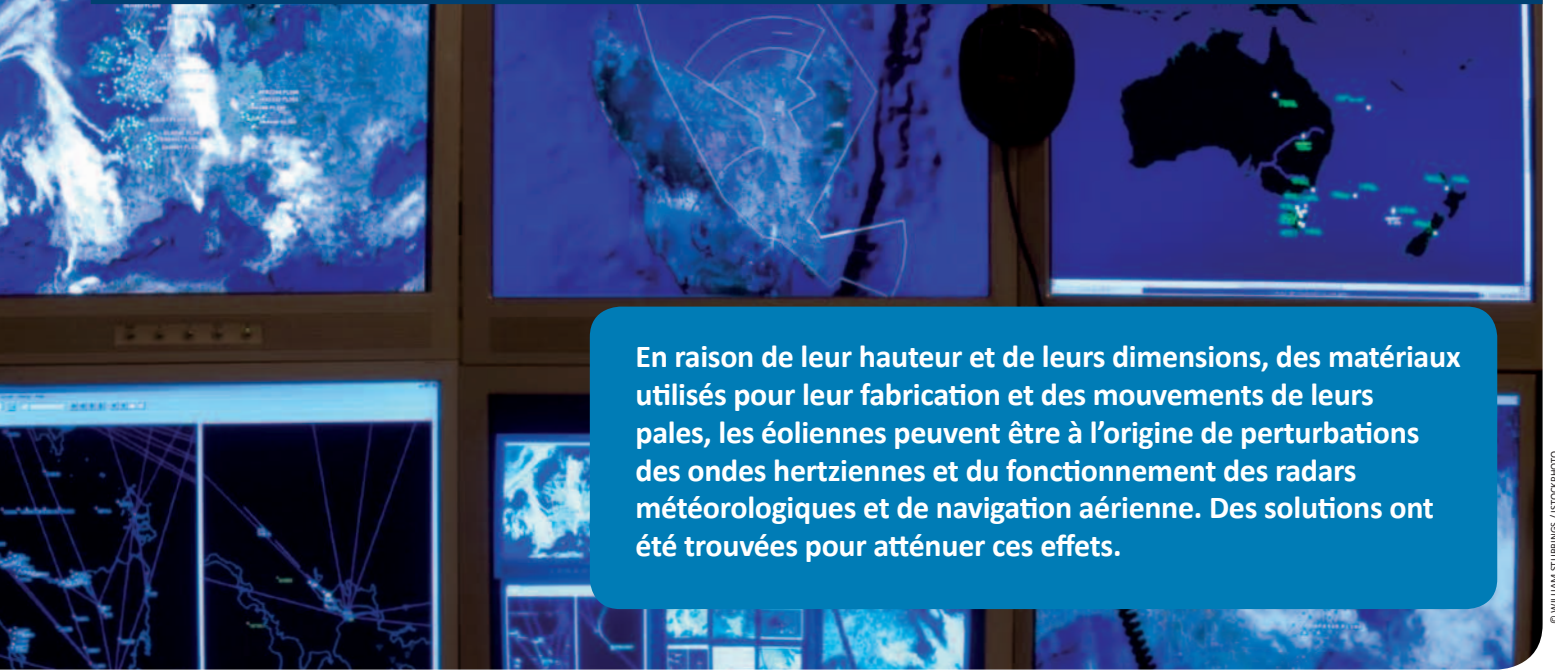
La profession éolienne, la Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFEPM) et la Ligue de Protection des Oiseaux travaillent ensemble à la rédaction d'un protocole d'étude commun pour la réalisation d'expertises chiroptérologiques. Un document de cadrage de la démarche d'expertise, première étape de ce protocole commun, a été signé en août 2010. Il est issu des retours d'expérience des professionnels éoliens et de chiroptérologues et sera suivi d'un protocole définissant de façon plus approfondie la démarche technique à mettre en œuvre tant sur les études d'impacts que sur les mesures de suivi en cours d'exploitation.



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)



## ■ Perturbations hertziennes et radars



En raison de leur hauteur et de leurs dimensions, des matériaux utilisés pour leur fabrication et des mouvements de leurs pales, les éoliennes peuvent être à l'origine de perturbations des ondes hertziennes et du fonctionnement des radars météorologiques et de navigation aérienne. Des solutions ont été trouvées pour atténuer ces effets.

### ■ Les perturbations hertziennes

#### *Un phénomène physique bien appréhendé*

Des phénomènes de perturbation des ondes hertziennes (radio, télévision, antennes de relais de téléphonie mobile...) par les éoliennes ont été constatés depuis le début du développement de l'éolien et ont fait l'objet d'études dans plusieurs pays. Ces perturbations sont générées par la réflexion et la diffraction des ondes électromagnétiques sur les pales des éoliennes. Dès 2002, l'ANFR (Agence nationale des fréquences) a identifié ce phénomène de perturbation, qui concerne surtout l'implantation d'éoliennes dans les zones dégagées. Les études préalables à l'implantation de parcs éoliens prennent en compte l'ensemble des servitudes radioélectriques, par une consultation des organismes concernés (ANFR, Télédiffusion de France...). Ces derniers sont consultés et indiquent les zones de servitudes établies par décret, qui fixent une limitation de la hauteur des obstacles dans des zones établies autour des centres d'émission ou de réception et sur le parcours des faisceaux hertziens.

#### *Les solutions mises en œuvre*

Une modification de l'implantation des éoliennes permet le plus souvent, d'éviter les perturbations. Cependant, si une implantation alternative est difficile à mettre en œuvre, le développeur éolien devra, à ses frais, installer un réémetteur ou mettre en place un autre mode de réception de la télévision comme le satellite. En cas de plainte des riverains, le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel est consulté et réalise une expertise pour proposer des solutions alternatives.

**Environ 95 % des cas sont réglés à l'amiable avec l'installation d'un réémetteur par le développeur éolien.**





## ■ Perturbations du fonctionnement des radars par les éoliennes

Les radars météorologiques et de navigation aérienne sont sensibles à la présence d'ouvrages de grande hauteur dans leur zone de surveillance. Dans le cas des éoliennes, il peut s'agir d'un effet de désensibilisation, d'une réflexion des signaux radars par les surfaces fixes ou de faux échos par réflexion sur les parties mobiles.

### La procédure à adopter

L'ANFR a publié, ces dernières années, plusieurs études sur les effets constatés de la présence d'éoliennes sur le fonctionnement des radars. Ces rapports préconisent des zones d'exclusion (le plus souvent de 5 km) des parcs éoliens autour des radars et des zones de coordination (entre 5 et 30 km).

Lorsqu'un projet de parc se trouve dans une zone dite de coordination, une concertation doit avoir lieu entre les développeurs éoliens, les opérateurs radars concernés et les services de l'État en charge de l'instruction des dossiers éoliens. Ces phases de dialogue peuvent aboutir éventuellement à la modification de l'implantation des éoliennes afin de diminuer la gêne pour les radars.

**Tout obstacle de grande hauteur occasionne des perturbations sur les radars.**

### Les solutions apportées

En France, pour mieux comprendre le phénomène et réduire l'impact des éoliennes sur les radars, deux études financées par les pouvoirs publics sont en cours de réalisation. La première cherche une solution technologique pour diminuer l'écho des signaux radars sur les pales. La seconde vise à modéliser les mécanismes physiques encore peu connus qui provoquent les perturbations du fonctionnement des radars. Cette dernière étude devrait aboutir à un outil permettant d'optimiser l'implantation des éoliennes par rapport aux radars.

En Allemagne, le ministère de l'environnement a intégralement pris en charge le financement d'études visant à cerner précisément ce problème. Au Royaume-Uni, des travaux d'études ont été menés grâce au co-financement du ministère de l'économie et des professionnels de l'énergie éolienne. Aujourd'hui, des solutions sont en phase d'expérimentation dans ces deux pays.



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)



# Le fonctionnement d'une éolienne



La fabrication d'électricité par une éolienne est réalisée par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait au cours de différentes étapes, qui font appel à des technologies très diverses.

## La chaîne de transformation énergétique

Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes :

### La transformation de l'énergie par les pales

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

### L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1 000 à 2 000 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur. Certains types d'éoliennes n'en sont pas équipés, leur générateur est alors beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd.

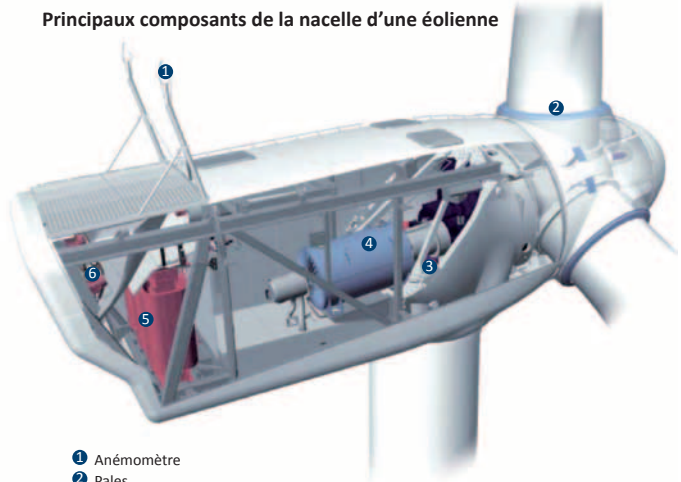
### La production d'électricité par le générateur

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension d'environ 690 volts.

### Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur

Cette électricité ne peut pas être utilisée directement ; elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est élevée à 20 000 Volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation, pour être injectée sur le réseau électrique, puis acheminée aux consommateurs les plus proches.

Principaux composants de la nacelle d'une éolienne



- 1 Anémomètre
- 2 Pales
- 3 Multiplicateur
- 4 Alternateur
- 5 Transformateur
- 6 Systèmes de refroidissement

Composants électroniques dans le mât d'une éolienne



- 1 Convertisseurs
- 2 Armoire de commande
- 3 Transformateur
- 4 Fondation de la tour

## ■ Différents facteurs de productivité

L'énergie produite par une éolienne dépend de plusieurs paramètres : la longueur des pales, la vitesse du vent et la densité de l'air. La puissance produite par une éolienne augmente avec le carré de la longueur des pales, et avec le cube de la vitesse du vent. Ainsi, une éolienne produira quatre fois plus d'énergie si la pale est deux fois plus grande et, lorsque la vitesse du vent double, la production sera multipliée par 8 ! La densité de l'air entre également en jeu : une éolienne produit 3 % de plus d'électricité si, pour une même vitesse de vent, l'air est 10 degrés plus froid. Pluie ou neige n'ont, quant à elles, aucune influence.



© SUNDEV / FOTOLIA

### Vitesse du vent en fonction de l'altitude

source : SER-FEE



## Pourquoi la plupart des éoliennes ont-elles trois pales ?

Le vent étant freiné par les obstacles au sol, la vitesse du vent augmente avec l'altitude. De ce fait, le vent en haut d'une éolienne soufflera plus fort qu'en bas du rotor. Dans le cas d'une éolienne à une ou deux pales, la variation de la force sur le moyeu est alors importante car lorsqu'une pale est au plus haut (captant davantage le vent), l'autre pale est au plus bas (peu de vent), obligeant alors la mise en place de systèmes spécifiques. En revanche, l'installation de trois pales permet une compensation de ces différences et une moindre variation de puissance à chaque rotation du rotor.

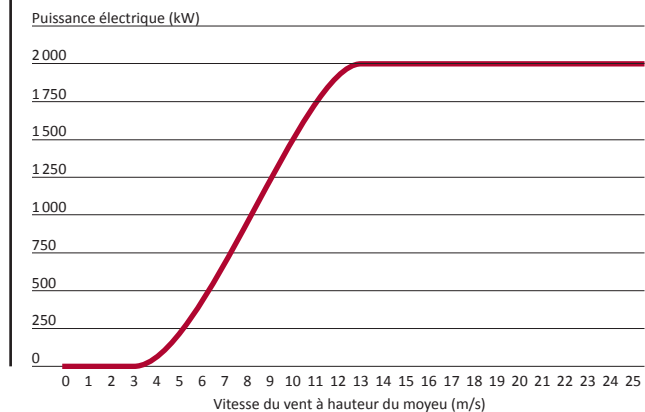
## ■ La régulation de la puissance de l'éolienne

La production électrique varie selon la vitesse du vent :

- Lorsque le vent est inférieur à 10 km/h (2,8 m/s), l'éolienne est arrêtée car le vent est trop faible. Cela n'arrive que 15 à 20% du temps.
- Entre 10 et 36 km/h (2,8 et 10 m/s), la totalité de l'énergie du vent disponible est convertie en électricité, la production augmente très rapidement.
- À partir de 36 km/h (10 m/s), l'éolienne approche de sa production maximale : les pales se mettent progressivement à tourner sur elles-mêmes afin de réguler la production.
- À 45 km/h (12,5 m/s), l'éolienne produit à pleine puissance. Les pales sont orientées en fonction de la vitesse du vent. La production reste constante et maximale jusqu'à une vitesse de vent de 90 km/h.
- À partir de 90 km/h (25 m/s), l'éolienne est arrêtée progressivement pour des raisons de sécurité, et les pales sont mises en drapeau. Cela n'arrive que sur les sites très exposés, quelques heures par an, durant les fortes tempêtes.

### Puissance d'une éolienne en fonction du vent

source : REpower Systems AG



Une éolienne dispose de trois freins principaux (chacune des trois pales), mais est également équipée d'un frein mécanique afin d'assurer l'arrêt rapide de la machine et son immobilisation lors de la maintenance.



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
13-15, rue de la Baume  
75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60  
Fax : +33 1 48 78 09 07  
[www.enr.fr](http://www.enr.fr) - [www.fee.asso.fr](http://www.fee.asso.fr)

© CHRISTIAN WAGNER / FOTOLIA



## ■ L'énergie éolienne en mer

L'éolien en mer est une filière très prometteuse. Son potentiel de développement est immense, avec des vents marins très forts et très réguliers. Cette filière est aujourd'hui en très forte croissance et pourrait représenter de 13 à 16% de la consommation électrique de l'Union Européenne en 2030. En France, l'objectif est d'installer 6 000 MW en mer à l'horizon 2020, soit 3,5% de la consommation d'électricité française.

### ■ Un vaste potentiel encore inexploité

L'Europe est l'une des zones au monde les plus adaptées au développement de l'éolien offshore. En effet elle dispose d'un espace maritime peu profond, en particulier dans les mers du Nord et Baltique. Ces zones bénéficient, par ailleurs, d'un gisement de fort potentiel en vent. Enfin, ces mers sont situées à proximité de la « mégalopole européenne », zone la plus peuplée et la plus consommatrice d'énergie du continent.

En France, les sites les plus favorables se trouvent sur les côtes de la Manche et de la Mer du Nord, ainsi que sur la façade Atlantique entre la Bretagne et l'Aquitaine. Cependant, la profondeur relativement importante des fonds marins rend plus difficile l'implantation de parcs offshore en Méditerranée et à la pointe de la Bretagne.

**« Le potentiel de production offshore en France pour 2020 est estimé à 30 TWh, soit la consommation domestique (chauffage compris) de 13 millions de Français. »**

Agence Internationale de l'Énergie

### ■ Les parcs éoliens offshore en Europe

Début 2011, 45 parcs éoliens en mer sont en service dans dix pays : le Danemark, le Royaume-Uni, la Suède, les Pays-Bas, l'Irlande, l'Italie, l'Allemagne, la Finlande, la Norvège et la Belgique, cumulent une puissance installée de près de 3 000 MW, pour une production de 11,5 TWh en 2011. Le Royaume-Uni a installé, en 2010, la plus grande capacité, dépassant ainsi le Danemark. L'EWEA (Association Européenne de l'Énergie Éolienne) prévoit l'installation de 1 000 à 1 500 MW supplémentaires en mer en 2011.

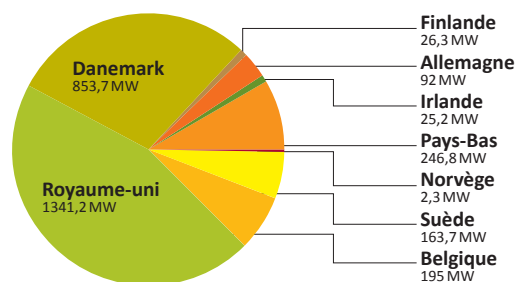
Les parcs les plus importants sont celui de Thanet au Royaume-Uni, avec une première tranche de 300 MW mise en service à l'automne 2010 et les parcs d'Horns Rev 1 et 2 (Danemark), qui, avec 80 et 91 éoliennes, totalisent l'un et l'autre 160 et 209 MW, soit le tiers de la puissance d'une centrale thermique. Selon l'EWEA, la puissance installée en 2020 en Europe pourrait atteindre 40 000 MW, soit environ 150 TWh.

### Appel d'offres éolien offshore

Le gouvernement français a annoncé, pour le deuxième trimestre 2011, le lancement d'un appel d'offres éolien offshore pour une capacité de 3 000 MW sur 5 zones identifiées comme propices. La désignation des lauréats doit avoir lieu au premier trimestre 2012. Cette première tranche de l'appel d'offres devrait être suivie d'une seconde en 2012 et permettre la création d'une filière industrielle nationale ainsi qu'une revitalisation des activités navales et portuaires, générant ainsi plusieurs milliers d'emplois.

#### Capacité offshore installée par pays fin 2010 (MW)

source : EWEA - The European offshore Wind Industry Key trends and statistics 2010





## Les objectifs de développement

Le Grenelle de l'Environnement a fixé pour l'éolien en mer et autres énergies marines un objectif de 6 000 MW en 2020, ce qui permettra une production de 18 TWh, soit l'équivalent de la consommation domestique (chauffage compris) de 8 millions de Français.

### ■ Des fondations très spécifiques

Les éoliennes offshore fonctionnent sur le même principe que les éoliennes terrestres, et les principaux composants restent proches de ceux utilisés sur terre, à l'exception des fondations.

Ces dernières sont réalisées en fonction de la profondeur ainsi que des caractéristiques du fond marin. Elles peuvent être en béton ou en métal. La fondation en métal est réalisée soit par un pieu enfoncé profondément dans le sol marin, soit par un tripode posé ou enfoncé légèrement dans le sol, assez proche des technologies utilisées par l'industrie pétrolière offshore.

Les éoliennes offshore actuelles ne peuvent être installées à des profondeurs supérieures à 30 mètres.

### ■ Des technologies de pointe, en constante évolution

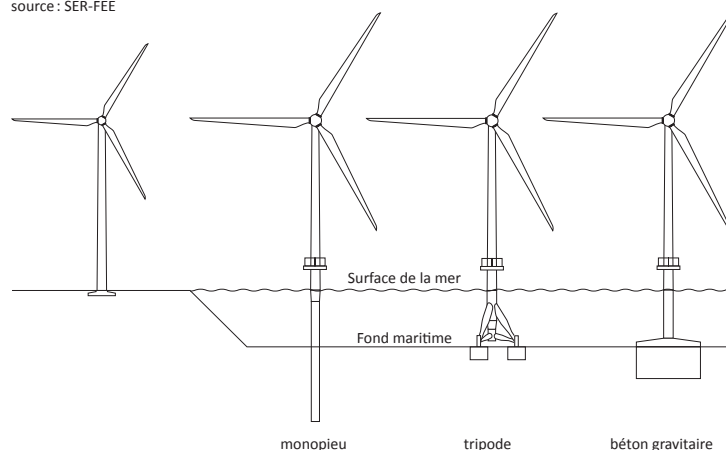
Les éoliennes offshore sont beaucoup plus puissantes que celles utilisées sur terre : leur puissance peut atteindre 5 MW, contre 3 pour l'éolien terrestre.

Le raccordement des parcs éoliens offshore est également spécifique en raison de la très forte puissance de ces parcs et de l'éloignement du réseau électrique : ce raccordement est réalisé grâce à ces câbles sous-marins à courant continu, technologie spécifique utilisée généralement pour les interconnexions sous-marines.

Les prototypes d'éoliennes flottantes sont actuellement en cours d'étude afin de permettre l'installation sur des zones plus profondes, augmentant alors le potentiel exploitable.

### Comparaison éolienne terrestre (3 MW) / éolienne offshore (5 MW) et différents types de fondations

source : SER-FEE



### ■ Un environnement spécifique

Les éoliennes en mer sont soumises à des contraintes particulières : météo, corrosion, etc. Le développement d'un projet en mer implique la prise en compte de l'ensemble des éléments composant l'environnement local : l'ensemble de la faune et de la flore sous-marine ainsi que les oiseaux. Concernant l'aspect humain, l'impact du parc est également évalué au niveau de la pêche, des activités d'extraction de sable et graviers ainsi que de la circulation maritime, du tourisme et de l'aspect paysager. Chacun de ces critères est pris en compte et peut faire l'objet de mesures compensatoires adéquates.



**Syndicat des énergies renouvelables**  
**France Énergie Éolienne**  
 13-15, rue de la Baume  
 75008 Paris  
 Tél. : +33 1 48 78 05 60  
 Fax : +33 1 48 78 09 07  
 www.enr.fr - www.fee.asso.fr

