

L'éolien



Eoliennes de Banning Pass, près de Palm Spring (Californie) aux Etats-Unis © Yann Arthus-Bertrand

L'énergie du vent a été utilisée de tout temps, que ce soit par les moulins ou les bateaux à voile. Depuis vingt ans, c'est devenue une source d'énergie non négligeable dans le monde : c'est d'ailleurs celle qui a le plus progressé. Le développement de l'éolien en mer constitue une nouvelle étape.

Le vent, une énergie renouvelable

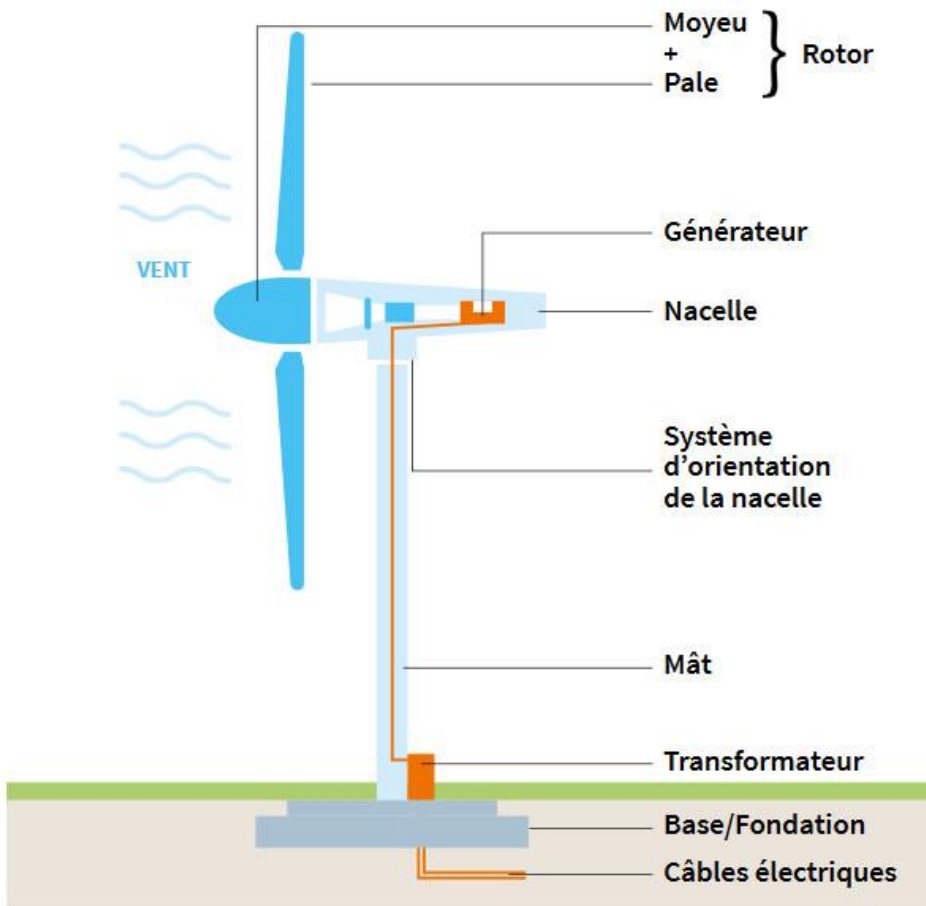
Le vent est une source d'énergie inépuisable : utiliser davantage de vent pour produire de l'énergie ne modifiera pas les vents qui souffleront à l'avenir. Cela fait plusieurs milliers d'années que l'homme exploite la force motrice du vent : on l'appelle **énergie éolienne**, du nom d'**Eole**, le dieu grec du vent. Il y a 3 000 ans, l'homme inventait les premières pirogues à voile pour sillonner les mers. Venus d'Iran, les **moulins à vent** se développent en Europe à partir du 12^e siècle : le vent fait tourner les ailes du moulin, qui entraînent avec elle une pierre tournante, la **meule**, capable de broyer le grain. Mais lorsque durant la Révolution industrielle apparaissent la machine à vapeur et le moteur électrique, l'homme délaisse progressivement les moulins. Il leur reproche d'être dépendants du vent, irrégulier, là où il a besoin d'une énergie constante, comme peut fournir la combustion des énergies fossiles.

Les éoliennes

En 1888, un ingénieur américain, Charles Brush, construit une sorte de moulin en bois équipé de 144 pales pour électrifier sa maison : il vient d'inventer la première éolienne. Une éolienne fonctionne comme un moulin à vent. Son hélice est constituée de 3 **pales**, parfois 2, fixées au sommet d'un mât. Le vent fait tourner les pales qui entraînent un **générateur** – ou **aérogénérateur** – capable de transformer cette énergie en électricité. Le lieu d'implantation est très important car c'est de lui que dépendra la production des éoliennes : elles doivent être installées dans des régions venteuses, mais avec un vent régulier, pour garantir un rendement continu.

Les pales sont fixées sur une **nacelle** qui se déplace en fonction de l'orientation du vent. Les éoliennes fonctionnent généralement à des vitesses de vent comprises entre 10 et 90 km/h. Elles peuvent être isolées, mais la plupart du temps, elles sont regroupées dans un **parc éolien**, encore appelé **ferme éolienne**.

COMPOSITION D'UNE ÉOLIENNE



Une éolienne © ADEME



Depuis la fin du 19^e siècle, la technologie a progressé et la taille des éoliennes s'est considérablement accrue. On en trouve de toutes sortes : des **micro-éoliennes** de 50 cm de haut, utilisées par exemple pour alimenter un voilier en électricité, aux éoliennes géantes pouvant atteindre 160 mètres, soit la hauteur d'un immeuble de 60 étages ! Les éoliennes domestiques qu'on peut installer chez soi pour sa consommation électrique personnelle font généralement entre 8 et 12 mètres de haut. C'est la hauteur du mât et la longueur des pales qui conditionnent la puissance d'une éolienne : plus les pales sont longues, plus son mât est haut, et plus elle produit d'électricité. Aujourd'hui, les pales peuvent mesurer jusqu'à 75 mètres, soit un diamètre de 150 mètres pour l'éolienne ! La vitesse de rotation des pales dépend de leur taille : plus elles sont grandes, plus elles tournent lentement.

Mais la puissance de l'éolienne ne fait pas tout. Le plus important est la qualité du vent. Si le vent est trop faible ou trop fort, l'éolienne ne peut pas tourner. Une éolienne produit en moyenne 75 à 95% du temps. Pendant sa période de fonctionnement, elle tourne à différentes vitesses en fonction de la force du vent. En un an, elle fournit autant d'électricité que si elle avait tourné 20 à 25% du temps à capacité maximale. Pour donner un ordre d'idée, la production d'une éolienne de 2 mégawatts (MW) correspond aux besoins d'électricité (hors chauffage) de 1 000 foyers environ. Grâce aux progrès techniques, on prévoit qu'en 2030, une éolienne de même puissance produira 30% d'électricité en plus.

LA QUESTION DE SUNNY

D'où vient le vent ?

Le vent est une forme dérivée de l'énergie solaire. Selon les zones, le soleil chauffe plus ou moins fort et l'air absorbe cette chaleur. Quand l'air est chaud, il monte, car il est plus léger que l'air froid. L'air froid descend, se réchauffe à son tour, et ainsi de suite. Le vent, c'est tout simplement le résultat du mouvement de ces masses d'air, causé par les différences de température et de pression.



Eoliennes off-shore

Les éoliennes peuvent être placées sur terre – il s'agit des **éoliennes terrestres** – ou en mer, on les appelle alors **éoliennes off-shore**. Une éolienne en mer peut être **flottante** ou posée sur le fond de la mer. Elle bénéficie de vents plus fréquents, plus forts et plus réguliers qu'à terre. Elle offre donc un très bon rendement. Par ailleurs, les éoliennes installées en mer sont plus grandes et plus puissantes : elles ont une puissance maximale de 6 à 10 MW, contre 2 à 3 MW pour une éolienne terrestre. On estime qu'en France, une éolienne en mer peut produire jusqu'à 75% d'énergie de plus qu'une éolienne terrestre.



Ferme éolienne offshore de Middelgrunden, au large de Copenhague au Danemark © Yann Arthus-Bertrand

Fin de vie

Au bout de 20 à 25 ans d'exploitation, les éoliennes sont démantelées. L'acier, le béton, le cuivre et l'aluminium qui les composent sont **recyclés**. En revanche, les pales, qui représentent 6% du poids de l'éolienne, sont plus problématiques : des recherches sont menées pour améliorer leur recyclage. Les **aimants** utilisés dans les éoliennes en mer contiennent des **terres rares** dont l'extraction peut s'avérer polluante. Des études sont actuellement menées pour diminuer la quantité de terres rares utilisées ou les remplacer par d'autres matériaux.

L'éolien dans le monde

En Europe, l'éolien a profité du choc pétrolier de 1973, qui a vu les prix du pétrole exploser. De nombreux pays ont alors cherché une alternative aux énergies fossiles. Cela a notamment été le cas du **Danemark**, où le vent souffle en abondance. Les Danois se sont alors spécialisés dans l'éolien, contaminant quelques années plus tard leurs voisins allemands. Une politique de fortes subventions à cette énergie a également favorisé son essor. Au Danemark aujourd'hui, plus de 40% de l'électricité consommée est générée grâce au vent. Aujourd'hui, en Europe, 11% de la consommation d'électricité est assurée par l'éolien. L'Irlande, le Portugal et l'Allemagne couvrent plus de 20% de leur consommation annuelle grâce à leur production éolienne.

L'éolien est la source d'énergie qui a le plus progressé ces vingt dernières années : partie de quasiment zéro, elle représente aujourd'hui 5% de la production mondiale d'électricité. La production électrique éolienne progresse ainsi de 25% par an. La Chine est le premier producteur d'électricité éolienne, devant les Etats-Unis, l'Allemagne et l'Espagne. Une énorme croissance est attendue en Asie dans les prochaines années.



LE SAVIEZ-VOUS ?

Les éoliennes ne sont pas réservées aux pays riches du Nord

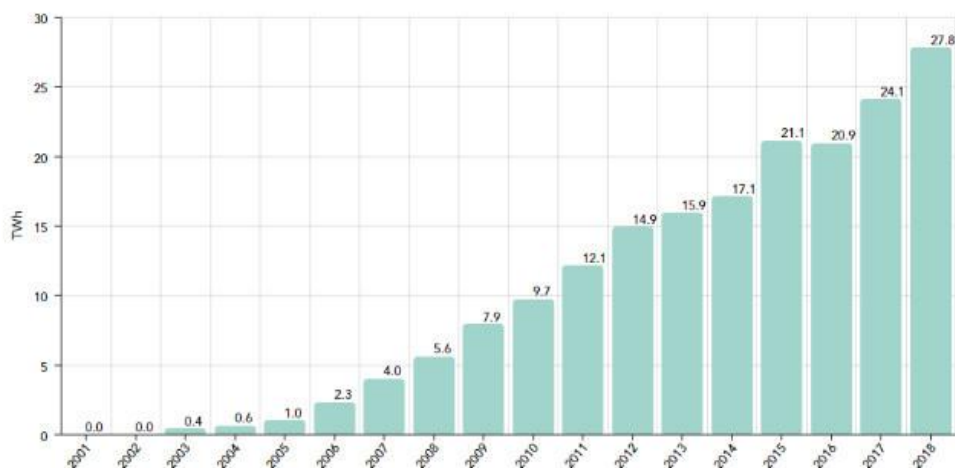
En Ethiopie, alors que moins de la moitié de la population a accès à l'électricité, le gouvernement a décidé de privilégier les énergies renouvelables : géothermie, hydraulique et éolien. Fin 2011 a été mise en service l'immense ferme éolienne d'Ashegoda, la seconde plus grande d'Afrique : elle compte 84 éoliennes d'une hauteur de 75 mètres et d'un diamètre de 70 mètres.

L'éolien en France

La France possède le deuxième **gisement éolien** européen, après la Grande-Bretagne. Cela signifie que si elle utilisait toutes ses capacités en la matière, elle serait le 2e producteur européen d'énergie éolienne. La moitié des capacités de production sont installées dans deux régions : Hauts-de-France et Grand-Est. En 2018, 5,8% de l'électricité consommée en France provenait de l'éolien. C'était alors la 2e source d'électricité renouvelable la plus utilisée (25,6 %), après l'énergie hydraulique (58,1 %).

Au vu de sa grande façade côtière, la France dispose d'un énorme potentiel éolien offshore. Ainsi, un parc éolien en mer de 500 MW fonctionnant 3 500 heures par an fournit l'équivalent de la consommation d'une ville comme Bordeaux. Point négatif toutefois : l'éolien en mer coûte deux fois plus cher à installer.

Production éolienne



Partie de rien en 2000, la production électrique éolienne augmente chaque année © RTE, Bilan électrique 2018



En 2019, la France prévoyait l'implantation de 6 parcs éoliens posés au sol et de 5 fermes éoliennes flottantes. Mais alors que l'Allemagne et le Royaume-Uni font la course en tête et ont déjà installé d'innombrables éoliennes en mer, la France n'a encore concrétisé aucun de ses projets offshore car de nombreux riverains s'y opposent, en raison notamment de l'impact sur le paysage. De nombreux recours en justice ont été engagés. Même sur terre, les projets français mettent toujours beaucoup de temps à aboutir, freinés par de tels recours : ils mettent généralement entre 7 et 9 ans à être réalisés contre 3-4 ans en Allemagne.

Le problème de l'intermittence et du stockage de l'électricité

Tout comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne est une énergie **intermittente** : elle ne peut être réglée à la demande et sa puissance varie, en fonction de la vitesse du vent. Si le vent est soutenu, la production de courant est optimale. S'il n'y a pas de vent ou trop de vent, la production cesse. On ne peut stocker l'électricité en grande quantité. Cette baisse de production aléatoire doit donc être compensée immédiatement par d'autres moyens de production, prêts à démarrer à tout moment : centrale hydroélectrique, centrale au gaz, centrale nucléaire... Un des gros enjeux de l'énergie éolienne réside donc dans le stockage. Quand on aura trouvé un moyen efficace et bon marché de stocker l'électricité, son intermittence ne sera plus un obstacle à son déploiement.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'ÉOLIEN

LES +

Énergie renouvelable, inépuisable, qui n'émet pas de gaz à effet de serre

Largement disponible en France et dans le monde entier

N'utilise pas d'autre carburant que le vent et ne génère pas de déchet

Le coût de revient des éoliennes terrestres est de plus en plus comparable à celui des énergies fossiles

Très bon rendement des éoliennes offshore

Eoliennes terrestres faciles d'installation

LES -

Intermittence : la production électrique dépend du vent. Sans vent, pas d'électricité. Impossible de stocker l'électricité produite.

Impact négatif sur certains paysages ou monuments remarquables

Gêne sonore pour les riverains qui vivent à proximité

Dans certains cas, dangereux pour les oiseaux et les chauves-souris qui se prennent dans les pales

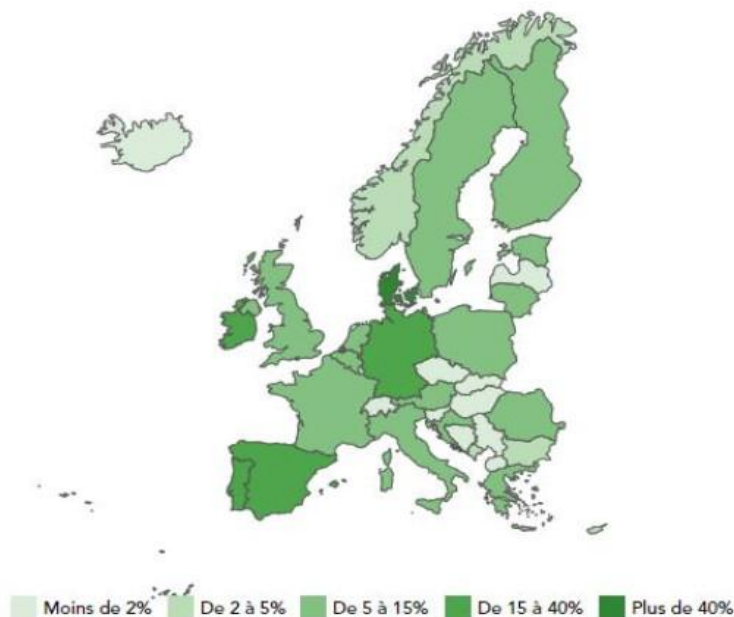
L'éolien offshore coûte encore très cher

Matériaux et recyclage à améliorer

LA CARTE POUR ALLER PLUS LOIN

Quelle place occupe l'énergie éolienne en Europe ?

Part de la consommation couverte par la production éolienne



Cette carte (source : RTE, bilan électrique 2018) montre la part que représente l'éolien dans la consommation d'électricité des différents pays européens. On constate que certains pays (Danemark, Allemagne, Irlande, Espagne et Portugal) sont clairement en avance sur leurs voisins avec des taux supérieurs à 15%, et même à 40% pour le Danemark.



SUR CE SUJET, VOIR AUSSI LES FICHES :

- Les énergies renouvelables
- D'où vient, et où va, l'électricité ?
- Le solaire

QUELQUES SOURCES INTÉRESSANTES

- [L'éolien en 10 questions](#), ADEME
- [Le baromètre 2018 des énergies électriques renouvelables en France](#) – Observ'Er
- [Le baromètre 2017 des énergies renouvelables](#), [L'éolien](#) - Observ'Er
- [Les Énergies renouvelables, État des lieux et perspectives](#), Claude Acket et Jacques Vaillant, Editions Technip, 2016
- [L'éolien terrestre](#), ministère de la Transition écologique
- [L'éolien en mer, un enjeu de taille pour la France](#), vidéo réalisée par le Ministère de la Transition écologique