

Les éoliennes : pourquoi si hautes ? comment ça marche ? combien sont-elles ?

28 novembre 2017 / Grégoire Souchay (Reporterre)



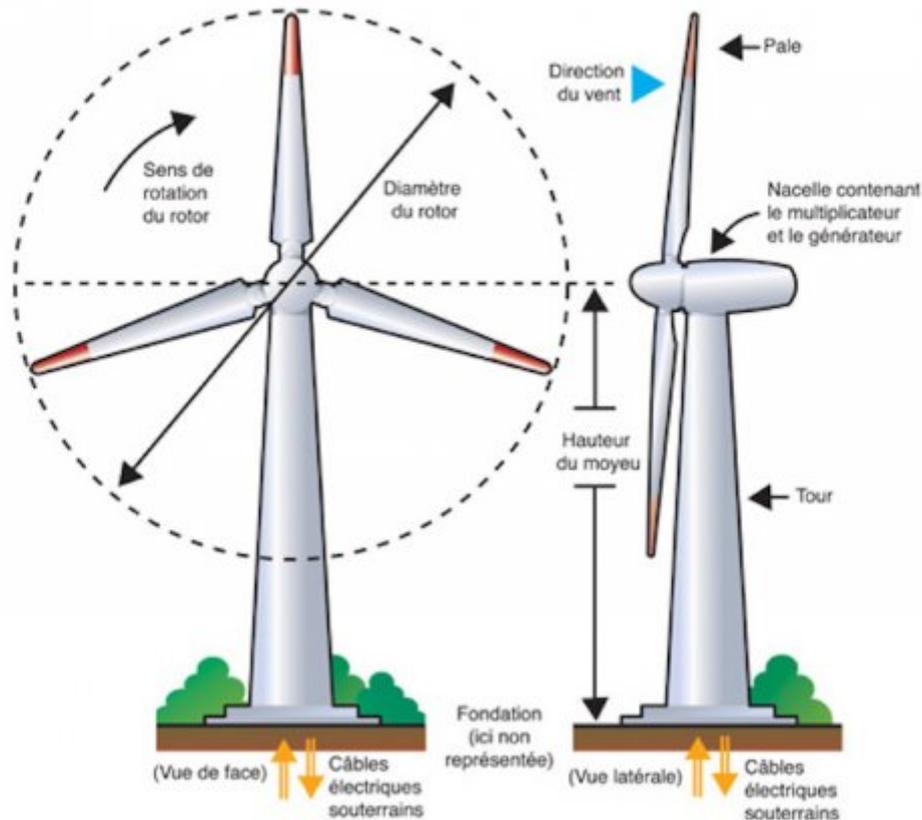
Vitesse du vent, puissance installée, stockage de l'énergie produite... les questions techniques liées aux éoliennes sont nombreuses. Reporterre se plonge dans la mécanique et le vent pour tout vous expliquer.

-
- Cet article est le deuxième d'une série en cinq volets. Il suit « [L'éolien signe la fracture entre deux visions de l'écologie](#) ».
-

Comment fonctionne une éolienne ?

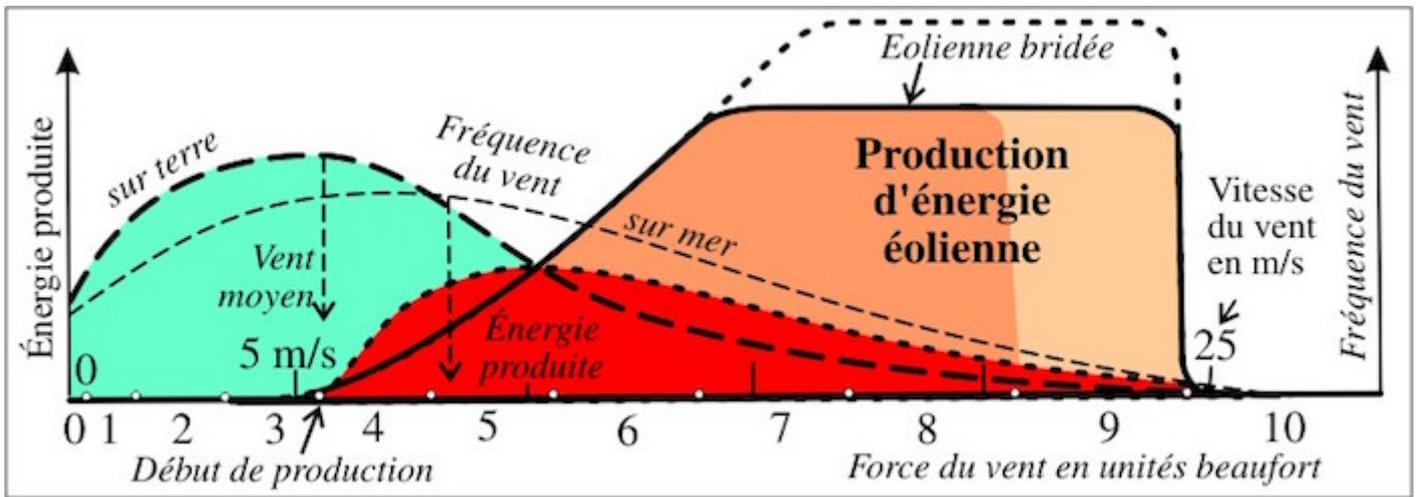
Au commencement était le Soleil. Sous l'effet de sa chaleur, des molécules d'air se déplacent, avec des vitesses variables, des zones de pressions élevées vers des zones de pressions plus faibles. Ainsi naît le vent. Sur son passage, on dispose une turbine de trois pales, profilées comme des ailes d'avion. L'air est accéléré d'un côté et freiné de l'autre, ce qui leur confère une force de portance. Les pales se mettent à tourner, et la puissance du vent est transformée en puissance mécanique. La turbine est reliée à une génératrice électrique qui transforme l'énergie de cette rotation en électricité. Voilà pour le principe.

Schémas d'ensemble d'une éolienne



Mais, par définition, le vent est variable, il n'est pas continu. On va donc ajouter un autre composant fondamental, un convertisseur électronique de puissance, qui va piloter l'éolienne. D'une part, il adapte la vitesse de rotation des pales à la vitesse du vent : plus il souffle fort, plus l'éolienne tourne vite ; d'autre part, il régule, au moins partiellement, la production en fonction des besoins du réseau. Bien sûr, en dessous d'une certaine vitesse du vent, l'éolienne est à l'arrêt, il faut donc un minimum de vent pour faire fonctionner la machine. Dès qu'il dépasse environ 10 km/h, la turbine commence à produire. La vitesse de rotation de la turbine accélère proportionnellement à la vitesse du vent, jusqu'au seuil des 50 km/h environ. Là, l'éolienne atteint son optimum économique, elle produit ce que l'on appelle sa **puissance nominale** : la puissance maximale que peut fournir cette éolienne.

Au-delà de cette vitesse, on diminue volontairement la prise au vent (portance) des pales, la production est « écrêtée » pour rester stable au niveau de la puissance nominale. Enfin, quand le vent s'approche des 100 km/h, on arrête tout simplement la machine, pour ne pas lui faire subir une force trop grande. Même si elles nous marquent plus, ces journées de grand vent sont en fait très rares rapportées à l'ensemble d'une année et il n'est pas rentable de concevoir des machines (plus coûteuses, par exemple avec des matériaux plus résistants) capables de fonctionner si peu souvent. Voilà pourquoi les éoliennes ne tournent pas les jours de tempête.



On comprend ainsi qu'une éolienne ne tourne pas toujours à pleine puissance. Mais pourquoi entend-on parfois des opposants dire que les éoliennes ne tournent qu'un tiers du temps ? C'est là une confusion autour de l'idée de facteur de charge. Quand on dit que le facteur de charge d'une éolienne est d'environ 30 %, cela signifie qu'elle fonctionne à pleine puissance pendant une durée équivalente à 30 % du nombre d'heures total dans une année. Mais pas qu'elles ne tournent que 30 % du temps. En fait, une éolienne tourne, même au ralenti pendant 80 à 90 % du temps. Le plus souvent, elles ne sont arrêtées qu'en cas de surproduction, panne ou maintenance.

Pourquoi les éoliennes sont-elles si hautes ?

Pour mesurer une éolienne, on dispose de deux mesures principales :

- la hauteur du mât, au niveau de la nacelle centrale ;
- le diamètre du rotor, c'est à dire deux fois la longueur d'une des pales.

On parle souvent de la hauteur en bout de pale, ce qui renforce l'effet d'immensité. Aussi, quand on désigne une éolienne de 150 m de haut, il s'agit de la hauteur « *en bout de pale* », soit la hauteur du mât (100 m) plus la longueur d'une pale (50 m). À titre de comparaison, les hauts immeubles récents de 15 étages mesurent 50 mètres de hauteur.

L'effet est encore plus renforcé par l'absence dans les campagnes d'autres éléments d'une telle hauteur, ce qui marque une « *rupture d'échelle* » entre les éoliennes qui paraissent immenses à côté de certains clochers d'église par exemple, surtout avec une longue focale.



Aujourd'hui, on assiste à une course à l'agrandissement et à l'élévation des éoliennes : les plus récents modèles expérimentés à l'étranger atteignent désormais les 160 m de hauteur de mât, **soit 230 m en bout de pale**.

Même si en France, on dépasse encore rarement les 120 m (de mât), pourquoi aller plus haut ? Est-ce vraiment pour se rapprocher de l'avenir ? La réponse est donnée par Bernard Multon, enseignant-chercheur à l'ENS de Rennes, spécialisé dans les technologies de l'énergie : « *La vitesse du vent varie considérablement selon la hauteur. Si vous la mesurez au ras du sol, même en pleine tempête, le vent sera quasi nul, à cause de tous les obstacles et frottements de l'air. À l'inverse, dès que vous montez en altitude, vous avez des vents plus intenses.* » Dans des endroits où l'humain ne sent qu'une petite brise, un appareil de mesure de la vitesse du vent placé à 100 mètres de hauteur constatera l'existence d'un « *gisement* » éolien. En rehaussant une même machine de 10 ou 20 m de haut, on augmente considérablement le temps équivalent où l'éolienne fonctionne à pleine puissance et donc sa productivité annuelle. Et si, en plus de cela, on augmente un peu la longueur des pales, cela accroît encore plus significativement l'effet bénéfique.

Cette augmentation de hauteur se joue depuis une dizaine d'années. Pour Cédric Philibert, de la division des Énergies renouvelables à l'**Agence internationale de l'énergie (AIE)**, « *cela a d'une part permis de mettre des éoliennes dans des endroits moins venteux, jusqu'ici non exploitables* » mais surtout, « *on s'est rendu compte qu'on pouvait les mettre aussi dans des endroits plus venteux et ainsi augmenter de 25 à 35 % le facteur de charge* ».

Combien d'éoliennes aujourd'hui et pour quelle énergie produite ?

C'est là l'un des enjeux majeurs des énergies renouvelables variables. Comme elles ne produisent pas en permanence à pleine puissance, l'énergie réellement produite est inférieure à la puissance maximale des engins. Il faut bien distinguer deux éléments. On caractérise les éoliennes par leur **puissance nominale**. De 1 MW il y a dix ans, le standard est aujourd'hui autour de 3 MW et les modèles les plus récents montent à 4 MW pour les éoliennes terrestres. En mer, les machines coûtent plus cher mais produisent actuellement

5 MW, de nouveaux modèles étant expérimentés à 8 MW. La somme de ces puissances nominales constitue la **puissance installée**.

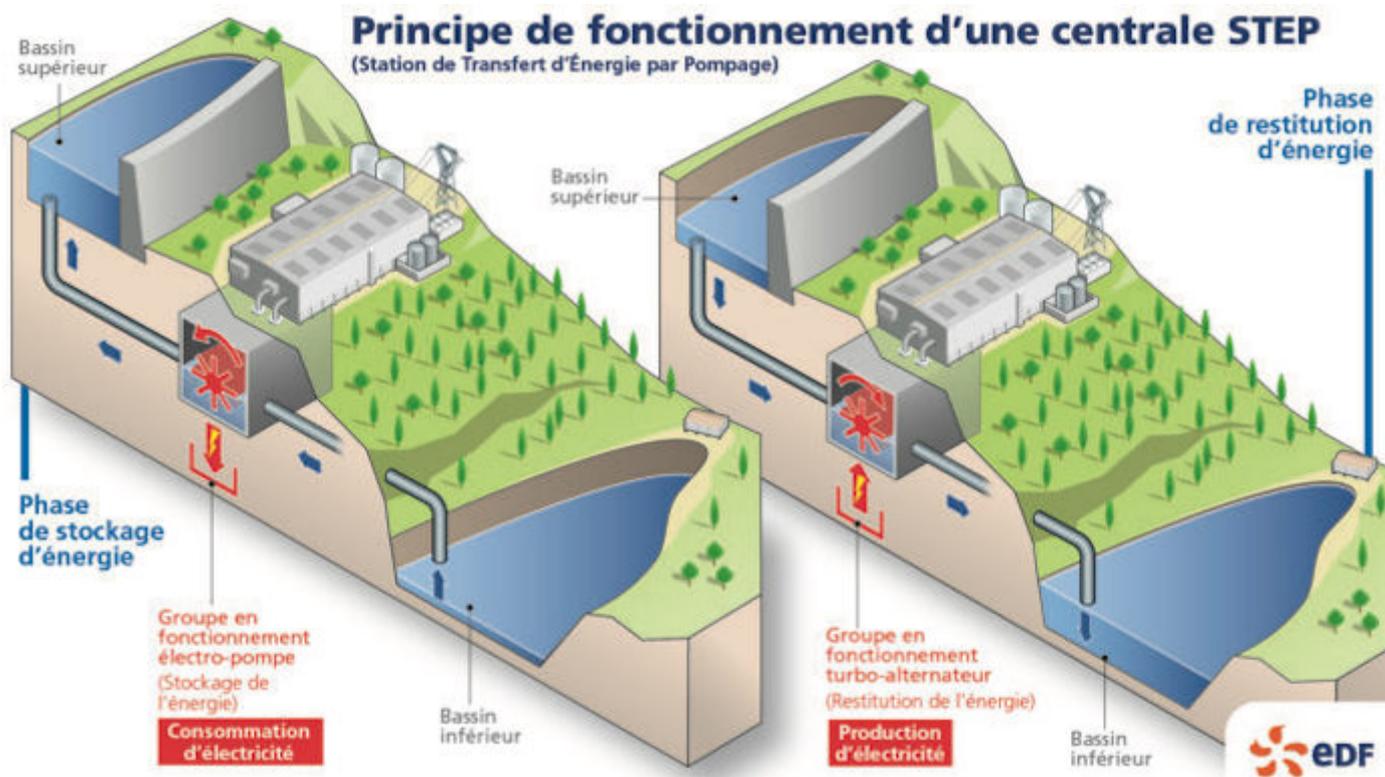
Actuellement, en France, l'éolien représente un parc d'environ 9 % du total de la puissance installée de l'ensemble des énergies, avec 12,8 GW raccordés au réseau électrique, selon les données parues (page 6) dans le [Panorama de l'électricité renouvelable au 30 septembre 2017](#). Ces 12,8 GW sont en deçà des objectifs fixés par la loi de transition énergétique et le décret de programmation pluriannuelle de l'énergie qui vise **15 GW à la fin de l'année 2018, puis de 21,8 à 26 GW pour 2023**.

La production d'électricité, elle, va se mesurer en kilowattheures (kWh) ou térawattheures (TWh, milliards de kWh), en quantité d'énergie produite. Selon les données du bilan électrique 2016 de RTE, la production éolienne **s'est élevée à 20,7 TWh**, soit environ 3,9 % de la production totale ou encore 4,4% de la consommation intérieure.

Ce que cela représente physiquement ? Les projets sont regroupés par parcs allant de 5 à 70 éoliennes. Au 31 mai 2017, on comptait 1.223 parcs réalisés ou en projet, soit **environ 6.500 mâts**.

Peut-on stocker l'énergie produite par les éoliennes ?

Des batteries en mesure de stocker les grandes quantités d'électricité produites par de nombreuses éoliennes auraient un coût considérable, même si la technologie évolue très rapidement. En réalité, on stocke déjà une part importante d'électricité de manière indirecte. Il s'agit de la technologie Step, pour « stations de transfert d'énergie par pompage ». On associe l'énergie hydraulique à une autre source, qui est actuellement le nucléaire, mais peut également être l'éolien, comme l'explique Bernard Multon : « Lorsque le premier est en surproduction par rapport à la demande, les groupes hydrauliques fonctionnent en mode moteur-pompe, qui fait remonter l'eau du bassin inférieur du barrage en amont pour le remplir. Lorsqu'en revanche l'éolien ne produit plus assez, on fait fonctionner l'installation hydroélectrique en mode générateur-turbine, qui décharge alors l'énergie précédemment stockée pour compenser le manque de production. » Ce système pourrait s'avérer d'autant plus utile s'il s'accompagnait de la fermeture de centrales nucléaires situées au bord de la Garonne ou en vallée du Rhône, qui utilisent de grands volumes d'eau pour refroidir leurs réacteurs.



Plus complexe, on assiste à l'apparition d'une autre forme de stockage, appelée « *power to gas* ». Si l'électricité est à utiliser immédiatement, le gaz, lui, peut se stocker plus aisément. Suivant la méthode de l'électrolyse, on fait passer l'électricité dans de l'eau pour séparer oxygène et hydrogène. Si l'on combine ce dernier à du CO₂, on peut créer du méthane (ou gaz naturel) : on appelle cette transformation la « *méthanation* », à ne pas confondre avec la méthanisation, qui provient de la décomposition de matières

organiques. Des recherches sur le sujet sont en cours, avec un démonstrateur de l'opérateur GRTGaz qui devrait entrer en service dès 2018. Mais cette solution pose de nombreux problèmes avec des enjeux géopolitiques, car elle intègre les multinationales du gaz dans l'économie des renouvelables. Dans un récent rapport, l'Observatoire des multinationales et Attac s'alarmaient justement du lobbying de l'industrie gazière dans l'Union européenne pour développer les infrastructures, **sans véritable souci écologique**.

Combien d'éoliennes en 2050 ?

Associations et experts élaborent des scénarios, le plus connu étant celui de Négawatt, qui vise le 100 % renouvelable en 2050 et établit les besoins année après année pour y parvenir progressivement, en y adjoignant économies d'énergies et investissements massifs dans l'efficacité énergétique.

Selon le dernier scénario Négawatt, avec 247 TWh d'énergie produite en 2050 et environ 18.000 mâts sur terre et en mer, l'éolien représenterait la première source d'énergie renouvelable électrique là où aujourd'hui, avec une production annuelle de 20 TWh, elle vient bien après la biomasse et l'hydraulique. Pourquoi parier à ce point sur le vent ?

« La France bénéficie de gisements éoliens importants, avec trois régimes de vent, océanique, continental et méditerranéen, explique Stéphane Chatelin, directeur de Négawatt, mais aussi parce que nous avons de vastes zones peu densément peuplées, qui permettent l'installation de machines. » Mais il ajoute : *« Il faudra faire en sorte de ne pas concentrer tous les parcs dans quelques départements ».*

L'importance de l'éolien est également renforcée par la manière dont nous consommons l'énergie selon les latitudes, comme le rappelle Cédric Philibert : *« Le productible éolien est important car il arrive au moment où la demande est forte, en hiver. »* C'est un héritage du passé : la France s'est massivement dotée en chauffage électrique dans les années 1980 pour écouler la surproduction des centrales nucléaires. C'est aussi dans les périodes froides de l'année qu'on trouve le plus de vent. À l'inverse, en été, où la production éolienne est plus faible, l'énergie solaire peut prendre le relais, pour alimenter les climatisations et le frigorifique. L'Inde et le Maghreb, eux, misent beaucoup plus sur l'énergie solaire.

L'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) présente quant à elle un scénario moins ambitieux d'un mix électrique allant de **50 à 100 % de renouvelables**. Mais là encore, plus la part des renouvelables augmente, plus l'éolien prend une place importante dans le mix, avec notamment l'ambition du développement de l'éolien en mer à partir de 2025. Là où, dans les pays nordiques, la technologie de l'éolien « posé » (pour des eaux de moins de 40 mètres de profondeur) est déjà bien développée, la France tente de tirer son épingle du jeu en expérimentant l'éolien « flottant », une première éolienne de ce type venant d'être inaugurée au large du Croisic (Loire-Atlantique), pour une phase d'expérimentation tandis que **se concluent les premiers appels d'offres dans le domaine**.



Ainsi, quelle que soit la maille de l'échelon technique, impossible d'échapper à l'existence de ce marché des énergies, ses logiques, ses acteurs. Pour exploiter ce « *potentiel* », ces « *gisements éoliens* », il n'y a pas cinquante possibilités : il faut créer un véritable secteur industriel. Cela tombe bien, c'est justement l'objectif de la filière.

- **A suivre... demain**

Lire aussi : [L'éolien signe la fracture entre deux visions de l'écologie](#)

Source : Grégoire Souchay pour *Reporterre*

Dessin : © [Berth/Reporterre](#)

Photos :

- . éolienne : <http://tpe.eole.free.fr/fonctionnement.html>
- . puissance éolienne : <http://www.leseoliennes.be>
- . facteur de charge : <http://coopeoliennes.free.fr/dotclear/index.php> ?
- . église : [Wikimedia](#) (Louis-Julien de la Bouère/CC BY-SA 3.0)
- . centrale Step : [EDF](#)
- . éolienne flottante : [Wikimedia](#) (Untrakdrover/CC BY-SA 3.0)

- [Emplacement](#) : [Accueil](#) > [Editorial](#) > [Enquête](#) >
- [Adresse de cet article](#) : <https://reporterre.net/Les-eoliennes-pourquoi-si-hautes-comment-ca-marche-combien-sont-elles>