



**LA PRÉSENTATION
DE LA TECHNOLOGIE ÉOLIENNE**

Fiche technique

TABLE DES MATIÈRES

Note technique - La présentation de la technologie éolienne.....	1
1. Le principe d'une éolienne.....	1
1.1 Fonctionnement d'une éolienne.....	1
1.2 Les composants d'une éolienne.....	2
1.3 Les principaux modèles d'éoliennes.....	3
1.4 L'évolution et les dimensions des éoliennes.....	4
2. Les parcs éoliens.....	6
2.1 Les composants d'un parc éolien.....	6
2.2 Les différents types de parcs éoliens.....	6
2.3 Le gisement et l'importance de l'éolien dans le mix énergétique du Québec.....	7
Bibliographies.....	8



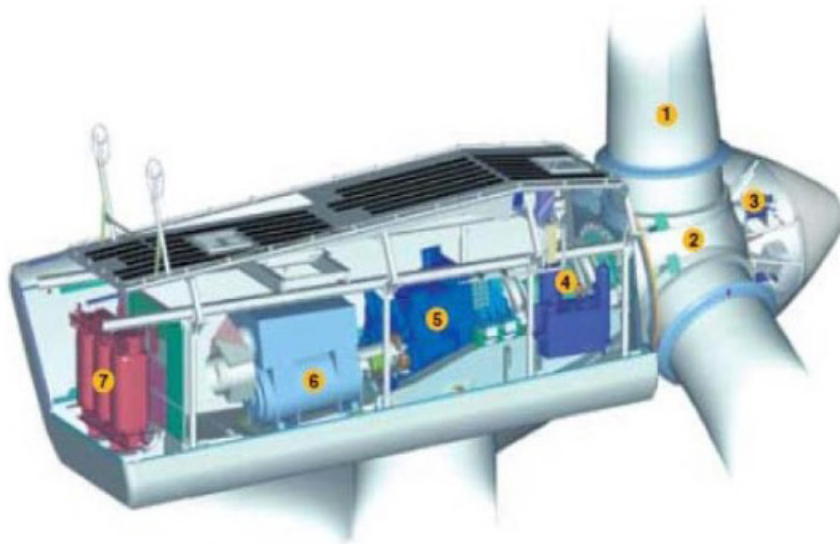
1. LE PRINCIPE D'UNE ÉOLIENNE

1.1 Fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne est un dispositif qui exploite la force du vent en transformant l'énergie cinétique en énergie mécanique, puis finalement en énergie électrique grâce aux mouvements de rotation des pales, qui pivotent autour d'un rotor relié à un axe d'entraînement, ce qui fait tourner le générateur électrique installé dans la nacelle.

Comme le démontre la figure suivante, c'est la nacelle qui abrite toutes les machines et les autres éléments mécaniques qui effectuent le travail de conversion de ces différentes formes d'énergie¹.

Figure 1 – Les composants de la nacelle d'une éolienne²



1. Pale
2. Rotor
3. Cylindre de fonctionnement
4. Arbre principal
5. Multiplicateur ou boîte de vitesse
6. Génératrice
7. Transformateur

La force du vent entraîne les pales qui engendrent le mouvement de rotation du rotor. Ce mouvement de rotation est aussi transmis à l'arbre principal se trouvant dans la nacelle. Grâce à la boîte de vitesse, le nombre de tours par minute effectués par l'arbre est augmenté par le multiplicateur. La génératrice, sur le principe d'une dynamo, convertit l'énergie provenant des rotations en électricité. L'électricité produite est ensuite conduite vers le transformateur avant d'être acheminée vers le réseau principal³.

La génération d'électricité par une éolienne, également appelée énergie éolienne, dépend de la forme et de la dimension des pales, de la densité de l'air et surtout de la vitesse du vent⁴.

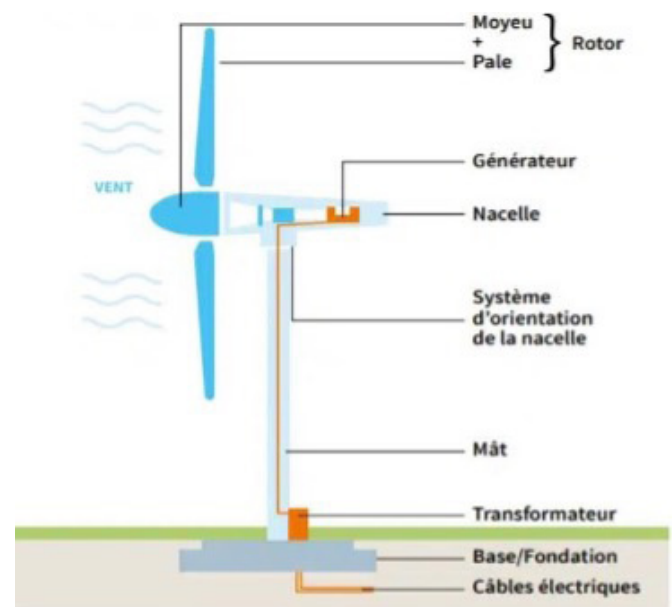
- Grâce aux capteurs installés sur la nacelle de l'éolienne, lorsque le vent atteint une vitesse minimale (2-3 m/s), appelée aussi *cut-in speed* ou vitesse de fourniture, un système automatisé change l'orientation de l'éolienne pour la placer face au vent, ce qui met les pales en mouvement grâce à la force du vent.
- À une vitesse d'environ 10 à 13 m/s selon le modèle, l'éolienne peut fournir sa puissance maximale, régulée par un système hydraulique qui ajuste l'inclinaison des pales pour maintenir une puissance constante.
- Et en cas de vents forts d'environ 25 m/s (90 km/h) en général pour les grandes turbines, ce qu'on appelle la vitesse hors service ou *cut-off speed*, un système d'inclinaison des pales arrête immédiatement l'éolienne pour éviter tout dommage.

1.2. Les composants d'une éolienne

Les principaux composants d'une éolienne sont les suivants⁴ :

- **Le rotor :** C'est le composant rotatif de l'éolienne, constitué par un moyeu auquel les pales sont attachées. Placées au-devant de la nacelle, les pales sont conçues de manière aérodynamique pour capter la force du vent et la convertir en mouvement rotatif.
- **La nacelle :** Il s'agit du grand boîtier de protection situé au sommet de la tour et contenant les principaux composants de l'éolienne, notamment le générateur électrique, la boîte de vitesse, les systèmes de contrôle et les instruments de mesure.
- **La tour ou le mât :** C'est la structure robuste et haute qui supporte l'éolienne et la hisse à une hauteur optimale pour capter le maximum d'énergie éolienne. Cette tour est habituellement fabriquée en acier ou en béton et intègre des chemins de câbles permettant de transporter le courant de l'alternateur au transformateur.
- **La base :** Généralement circulaire et en béton armé, c'est la fondation de l'éolienne qui assure sa stabilité. La base abrite aussi le transformateur de l'électricité produite, qui assure la conversion du courant direct en courant continu pour pouvoir l'injecter dans le réseau électrique.

Figure 2 – Les principaux composants d'une éolienne⁵.



1.3. Les principaux modèles d'éoliennes

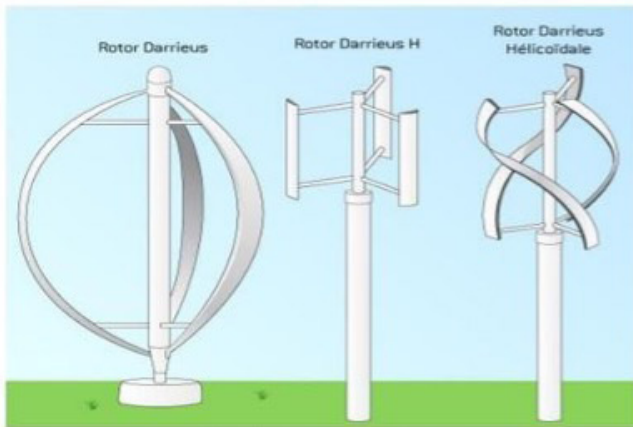
1.3.1. Les éoliennes à axe vertical

Elles se présentent sous différentes formes, mais leur point commun est que leurs pales tournent autour d'un axe de rotation perpendiculaire au sol et au vent. Ces éoliennes ont la particularité de ne pas avoir besoin d'être ajustées pour s'aligner avec la direction du vent pour augmenter leur production d'électricité. Parmi ces éoliennes, on trouve deux modèles ; le modèle Darrieus et le modèle Savonius. Les éoliennes à axe vertical sont moins populaires en raison de leur faible efficacité⁶.

Figure 3 – Modèles d'éoliennes à axe vertical⁷.

1.3.2. Les éoliennes à axe horizontal

“ Les éoliennes à axe vertical sont moins populaires en raison de leur faible efficacité⁶. ”



Les éoliennes à axe horizontal sont généralement celles qui viennent à l'esprit lorsqu'on pense aux éoliennes. Leurs pales tournent autour d'un axe qui est parallèle à la surface du sol et elles se positionnent face au vent. Elles sont les plus répandues en raison de leur efficacité et de leur haute capacité énergétiques malgré leur coût plus élevé. En outre, elles exigent des systèmes de contrôle plus complexes pour assurer l'orientation optimale face au vent. Parmi les éoliennes à axe horizontal, on trouve des modèles avec différents nombres de pales (une pale, deux pales et trois pales), mais les modèles à trois pales sont les plus utilisés et les plus efficaces⁹.

Figure 4 – Modèles d'éoliennes à axe horizontal¹⁰.



1.4. L'évolution et les dimensions des éoliennes

L'évolution des éoliennes a vu une transition des premiers modèles plus petits et moins efficaces, utilisés principalement pour des applications telles que le pompage de l'eau ou le broyage des grains, vers des turbines modernes plus grandes et plus efficaces. Les éoliennes du 20^e siècle sont caractérisées par des rotors plus grands et des tours plus hautes, ce qui leur permet de capter plus efficacement l'énergie éolienne. Les progrès dans les matériaux et la conception ont également contribué à une fiabilité accrue, des coûts plus bas et des capacités de production d'électricité plus élevées¹¹.

En fonction de leur puissance et de leur taille, les éoliennes sont généralement classées dans deux catégories¹² :

- Petites éoliennes : Elles sont destinées à être utilisées dans des contextes résidentiels, commerciaux de petite envergure, agricoles, ainsi que dans certains cas industriels;
- Grandes éoliennes : réservées pour une utilisation et installation à grande échelle, les grandes éoliennes sont généralement déployées dans les parcs éoliens en mer ou sur terre et leur production est injectée dans le réseau principal.

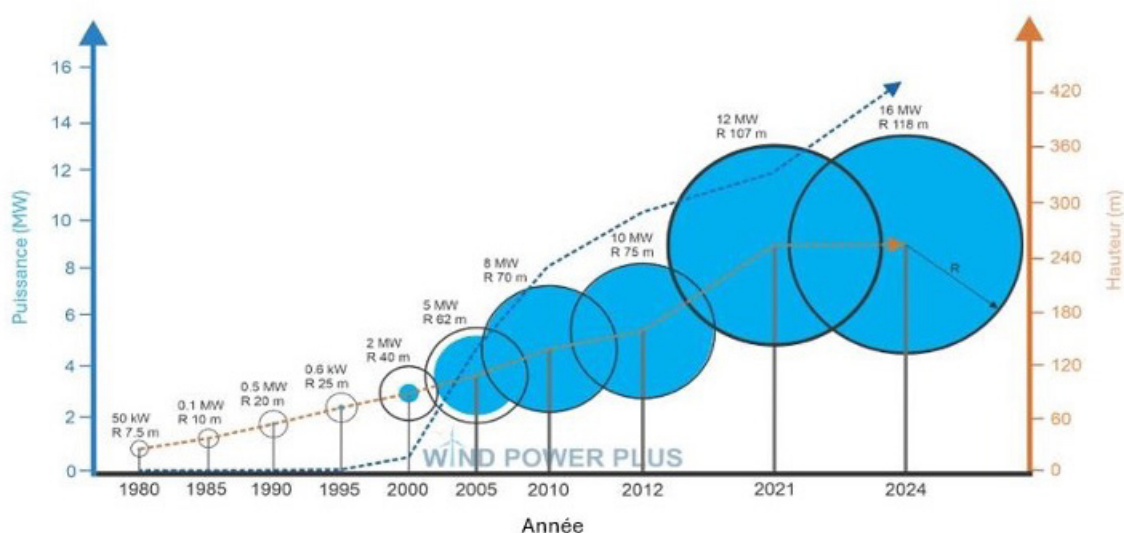
Au fil des ans et avec l'évolution de la technologie, l'interprétation de ces deux catégories a aussi changé, mais la référence demeure les normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI), qui ne s'appliquent qu'à de petites éoliennes, la norme 64100-2 stipulant que ce sont des éoliennes ayant une surface balayée par le rotor inférieur à 200 m² et produisant une tension de moins de 1 000 V en courant alternatif ou 1 500 V en courant continu¹³.

En 2023, la puissance des éoliennes commerciales les plus répandues varie entre 1 MW et 6 MW pour les installations terrestres (en considérant un facteur de charge¹⁴ de 35 %, une éolienne de 1 MW peut produire 306 GWh, une énergie capable d'alimenter à peu près 14 000 maisons résidentielles). Jusqu'en juillet 2023, la plus grande éolienne installée en mer était la GWH252-16MW fabriquée par Goldwind, avec une capacité nominale de 16 MW et un diamètre de rotor de 250 mètres. D'autres modèles en phase de développement pourraient atteindre jusqu'à 22 MW avec des hauteurs allant de 280 à 310 mètres¹⁵.

La figure suivante démontre l'évolution des éoliennes en ce qui concerne leur taille et leur puissance.



Figure 5 – Évolution des éoliennes¹⁶.



i. Facteur de charge : ratio entre l'énergie réellement produite sur une période donnée et l'énergie qui aurait été produite pendant cette période si l'éolienne avait fonctionné de manière constante à sa puissance nominale.

2. LES PARCS ÉOLIENS

2.1. Les composants d'un parc éolien

Un parc éolien est un groupe d'éoliennes installées sur terre ou sur mer au même endroit dans le but de produire de l'électricité. Généralement, il est constitué des autres éléments suivants :

Poste de livraison : Le poste de livraison est le point central où toutes les éoliennes sont connectées avant que l'électricité soit transmise au réseau public. Il joue un rôle essentiel en facilitant le transfert de l'énergie produite par le parc éolien vers le réseau de transport et de distribution.

Chemins d'accès : Lors de la mise en place d'un parc éolien, la planification intègre les routes déjà présentes, mais nécessite également la création de nouvelles voies permettant d'accéder au site plus facilement, afin de faciliter la maintenance.

Plateformes : Des plateformes de levage sont construites pendant les travaux d'installation, pour le montage du mât et des pales et d'autres équipements.

Réseau d'évacuation d'électricité : Le réseau électrique qui achemine l'électricité produite depuis le parc éolien vers le réseau principal. Il est fait d'une succession de poteaux de transmission et de câbles.

2.2. Les différents types de parcs éoliens

L'éolien terrestre (*onshore*) : L'éolien terrestre désigne les éoliennes installées sur la terre ferme. Celles-ci sont actuellement les plus répandues et présentent l'avantage d'être plus simples à construire et à installer que les éoliennes offshore, tout en étant moins coûteuses à implanter. Parmi les points faibles de l'éolien terrestre, on observe une faible production d'énergie et son impact sur l'environnement terrestre¹⁷.

L'éolien en mer (*offshore*) : Les éoliennes installées en mer produisent plus d'énergie comparées à celles installées sur terre en raison de vents plus forts présents en mer. Les éoliennes en mer requièrent une maintenance régulière en raison de leur sensibilité aux conditions océaniques telles que les vagues et les vents forts.

Malgré leur potentiel énergétique, les parcs éoliens en mer peinent souvent à générer des emplois ou des investissements en raison de la localisation des sièges des fabricants et des promoteurs, souvent éloignés des sites de projet¹⁷.

L'éolien en mer peut avoir des impacts négatifs sur la faune marine, comme la modification de l'habitat, le déplacement d'espèces, les blessures et les perturbations électromagnétiques. Cependant, les fondations peuvent aussi créer des refuges et des nurseries, augmentant la productivité biologique. L'installation des parcs peut modifier les courants marins et soulever des sédiments. Malgré ces impacts, l'éolien en mer a l'une des plus faibles émissions de gaz à effet de serre parmi les sources d'électricité renouvelables. Une évaluation approfondie des risques, en particulier pour les oiseaux, est nécessaire pour chaque projet en fonction du contexte local.

2.3. Le gisement et l'importance de l'éolien dans le mix énergétique du Québec

Les vastes territoires et les vents puissants présents dans les régions du Québec témoignent du potentiel élevé de l'énergie éolienne. Les zones les mieux situées comprennent la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent, le Saguenay-Lac-Saint-Jean et le Nord-du-Québec¹⁸.

L'exploitation de l'énergie éolienne au Québec a commencé avec des projets d'essai au cours des années 1970, initiés par des institutions de recherche, notamment l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Cependant, l'essor commercial des parcs éoliens a commencé en 1998 avec l'entrée en service du parc éolien Le Nordais¹⁹.

Dans son Plan d'action 2035, Hydro-Québec prévoit l'ajout de 10 000 MW de nouvelles capacités éoliennes d'ici 2035, faisant du secteur éolien une filière névralgique à la transition énergétique du Québec²⁰.

Dans sa nouvelle stratégie de développement éolien parue au printemps 2024, Hydro-Québec redéfinit le modèle de développement du secteur et vient jouer un rôle structurant dans la réalisation des projets éoliens à grande échelle. Cette approche vise à cibler en priorité les projets à grande échelle, dans des zones structurantes et en partenariat avec les Premières Nations et les municipalités. Ainsi, les projets de grande échelle, soit ceux de plus de 1 000 MW, seront développés sous le leadership d'Hydro-Québec. Les projets à petite échelle quant à eux, soit ceux entre 300 et 350 MW, auront encore leur place et seront soumis au processus d'appels d'offres similaire à l'approche privilégiée antérieurement²¹.

BIBLIOGRAPHIE

1. Alloprof. « Les formes d'énergie », s.d. (Consulté le 14 mars 2024.)
2. S. Pigeon et al. « Petite éolienne de puissance inférieure à 100 kW », 2012. (Consulté le 22 avril 2024).
3. Le Journal de l'éolien. « Le fonctionnement d'une éolienne », s.d. (Consulté le 14 mars 2024).
4. Green Energy 3000. « Description détaillée du projet et de ses composantes », s.d. (Consulté le 29 février 2024).
5. MtaTerre. « Comment ça marche l'énergie éolienne ? », s.d. (Consulté le 14 mars 2024).
6. TITAN. « The Two Main Types of Wind Turbines Explained », 2023. (Consulté le 5 mars 2024).
7. PagesJaunes.fr. « Éolienne verticale », s.d. (Consulté le 14 mars 2024).
8. ENEL Green Power. « Wind turbine », s.d. (Consulté le 5 mars 2024).
9. Howard Rhodes. « The Evolution of Wind Turbine Technology », REVE, 2023. (Consulté le 5 mars 2024).
10. De la Vie du Monde. « Les éoliennes – Icônes des Grandes Plaines », s.d. (Consulté le 14 mars 2024).
11. U.S. Energy Information Administration (EIA). « Wind Explained: Types of wind turbines », 2023. (Consulté le 5 mars 2024).
12. Bruno Venditti. « Animation: Visualizing the World's Biggest Wind Turbines », Elements, 2022. (Consulté le 5 mars 2024).
13. IEC. « Norme internationale CEI 61400-2 Deuxième édition 2006-03 », 2006. (Consulté le 23 avril 2024).
14. Géoconfluences. « Facteur de charge (production électrique) », 2023. (Consulté le 14 mars 2024).
15. UNESCO. Convention du patrimoine mondial, « Éléments essentiels sur l'énergie éolienne », s.d. (Consulté le 5 mars 2024).
16. Wind Power Plus. « History of wind energy: From the beginnings to the present day », 2022. (Consulté le 14 mars 2024).
17. Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie, « Cadre d'implantation », 2022. (Consulté le 29 février 2024).
18. Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie. « Potentiel éolien au Québec », 2022. (Consulté le 5 mars 2024).
19. Hydro-Québec. « Historique de l'éolien au Québec », s.d. (Consulté le 28 février 2024).
20. Hydro-Québec, « Plan d'action 2035 », 2023. (consulté en juillet 2024)..
21. Hydro-Québec, « Tracer la voie vers une réussite collective, Stratégie de développement éolien », 2024. (consulté en juillet 2024).



Pour toute question, communiquez avec notre équipe dédiée :
unispourleclimat@umq.qc.ca

