

**Ingénierie des éoliennes****Comment l'électricité est produite - Énergie éolienne**

*Ce texte est conçu comme un document compagnon du livre « L'électricité, au cœur de notre futur bas-carbone ». Il n'est pas conçu comme un document indépendant. Il complète le chapitre mentionné ci-dessus.*

**La complexité des forces exercées sur les pales d'éoliennes**

Le vent agissant sur une pale est souvent différent suivant qu'elle est en position haute ou en position basse, surtout dans les grandes éoliennes. D'autre part, les efforts liés au poids d'une pale peuvent être significatifs par rapport aux autres efforts.

- Quand la pale monte autour de l'axe du rotor de l'éolienne, les forces de pesanteur s'opposent à la portance, réduisant la force motrice ;
- Au contraire, quand la pale descend, les forces de pesanteur accroissent la force motrice ;
- Quand la pale est strictement verticale, le couple n'est dû qu'à la portance.

Ces variations diverses au cours de chaque tour induisent des contraintes de fatigue dans la pale qui peuvent conduire à une rupture en conditions extrêmes. De plus, la pale subit des forces centrifuges le long de son axe, qui peuvent être élevées vu ses dimensions. Enfin, les changements rapides de la vitesse du vent induisent aussi des contraintes dynamiques sur la pale.

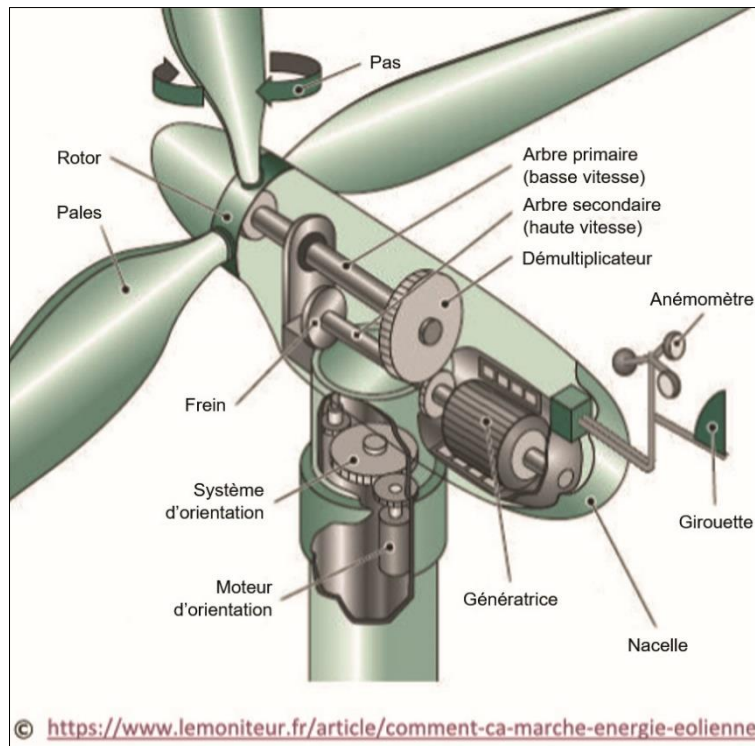
**Éolienne à axe horizontal**

Une configuration typique de nacelle d'éolienne est représentée sur la Figure ci-après. Suivant la numérotation de la figure, on a :

- Pour les éoliennes modernes, comme celle représentée, les pales sont réalisées en composites, avec un compromis très étudié entre la portance, le poids et la résistance aux contraintes mécaniques.
- Le contrôle dit du pas (le « pitch ») permet aux pales de tourner autour de leur axe propre pour modifier leur prise au vent en fonction de son intensité mesurée par l'anémomètre. En cas de vent supérieur à la vitesse limite de conception (vitesse de cut-off), les pales sont « mises en drapeau » pour réduire leur prise au vent, tandis que le frein est utilisé pour réduire la vitesse de rotation ou pour bloquer l'ensemble de la structure.
- Une boîte de vitesses est requise pour rendre compatibles la très faible vitesse de rotation de l'axe de l'éolienne avec celle du rotor de la génératrice ; ceci permet de réduire la taille et le poids de cette dernière<sup>1</sup>.
- Grâce à un moteur d'orientation, la nacelle de la turbine tourne pour maximiser la prise au vent tel que détecté par la girouette.

---

<sup>1</sup> En première approximation, pour une génératrice de puissance installée donnée, la vitesse du rotor de la génératrice est inversement proportionnelle à son volume actif.



© <https://www.lemoniteur.fr/article/comment-ca-marche-energie-eolienne>  
Fig. Écorché d'une nacelle / © [lemoniteur.fr/article/comment-ca-marche-energie-eolienne](https://www.lemoniteur.fr/article/comment-ca-marche-energie-eolienne)

**Éoliennes à entraînement direct**

Les éoliennes à entraînement direct n'ont pas de boîte de vitesses dans la nacelle. Au lieu de cela, l'axe de la génératrice est le même que celui de la turbine. Éviter la boîte de vitesses dans la nacelle en réduit la taille, diminue le bruit associé et élimine aussi les risques de feu associés à la boîte de vitesses et sa lubrification. Néanmoins, puisque la vitesse de rotation est assez basse, la taille de la génératrice peut devenir assez importante. De plus, un système d'électronique de puissance plus complexe est alors nécessaire pour adapter la tension et la fréquence variables de la génératrice à celles du réseau électrique local.

**Nombre de pales**

La majorité des éoliennes à axe horizontal a trois pales. Cette configuration réduit considérablement les vibrations de torsion du mât dues à la rotation des pales par rapport à la configuration à deux pales. Un nombre de pales plus élevé entraînerait un poids de la nacelle et des coûts plus élevés, alors que les augmentations de rendement ne seraient que faibles, d'où le compromis à trois pales généralement adopté.