

Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres à l'intervention orale de l'auteur.

# Technologie des éoliennes

# **Jacky BRESSON**

## Professeur – Université de Perpignan Via Domitia

Nous allons voir les éléments constitutifs d'une éolienne de puissance ainsi que ses systèmes d'arrêt et ses systèmes de production. On mettra en relation dimension et production et nous terminerons par un projet éolien urbain. Nous parlerons aussi de l'impact acoustique des éoliennes.

# 1. Structure générale

Une éolienne est constituée par un mât qui en moyenne a une longueur entre 50 et 100 mètres, voire plus pour les très grosses éoliennes, surmonté d'une nacelle sur laquelle est fixé un rotor avec un certain nombre de pales. La plupart des éoliennes de puissance sont des tripales. Ces pales sont soit fixes, soit mobiles autour de leur axe. Le rotor va récupérer l'énergie cinétique du vent pour le transformer en énergie mécanique et transmettre cette énergie mécanique à un multiplicateur. Pourquoi un multiplicateur? Parce que le rotor tourne environ à 20 à 30 tr/m et en sortie de multiplicateur, la vitesse sera de l'ordre de 1500 tr/m compatibles avec la génératrice asynchrone qui est derrière, autrement dit cette génératrice va transformer l'énergie mécanique en énergie électrique.

La nacelle est surmontée de capteurs, avec notamment une girouette qui indiquera la direction du vent de façon à placer le rotor perpendiculairement au vent en faisant pivoter la nacelle avec des moteurs hydrauliques. Cette éolienne est aussi instrumentée avec un anémomètre qui indiquera la vitesse du vent de façon à réguler la puissance de l'éolienne en

faisant pivoter les pales, mettre les pales en drapeau ou arrêter l'éolienne en cas de vent excessif (voir le schéma général ci-dessous).



Les petites éoliennes qui ont des pales fixes n'ont pas ce système et utilisent plutôt la régulation de type *stoll* par ce qu'on appelle décrochage aérodynamique. La pale est calculée de telle façon qu'à partir d'une certaine vitesse de vent, la portance décroit et régule automatiquement la vitesse de rotation. En cas de vent très fort, ces petites éoliennes s'effacent, soit d'une manière latérale c'est-à-dire qu'elles diminuent leur prise au vent, soit en s'inclinant à l'horizontale, ce qui est le cas aussi des éoliennes américaines. Les systèmes d'arrêt sont de deux types. On arrête les éoliennes en cas de vent excessif (au-delà de 25 m/s quasiment toutes les éoliennes sont arrêtées et mises en drapeaux), de problèmes électriques ou de problèmes mécaniques (ex : vibrations intempestives). Il existe deux types de freins. Lorsqu'un rotor de cette dimension-là est en rotation, il est hors de question de le

freiner avec des systèmes mécaniques, on va utiliser plutôt des freins qu'on appelle aérodynamiques. On fait pivoter la pale - pour les pales qui peuvent pivoter -, en augmentant l'angle de calage de 0 à 90°. On va freiner le rotor et à 90° on aura les pales qui seront en drapeau et l'éolienne sera arrêtée. Pour les pales fixes, c'est l'extrémité de ces pales qui peut pivoter et freiner l'éolienne. Lorsque l'éolienne est arrêtée, on utilise des freins à disques, des gros freins à disques qui permettent de bloquer l'éolienne et éviter qu'elle ne reparte accidentellement lorsque les techniciens de maintenance sont à l'intérieur de la nacelle.

#### 2. Génératrices

Pour produire l'énergie, on a besoin de génératrices. Il existe actuellement deux catégories d'éoliennes. Les éoliennes qui utilisent des génératrices asynchrones, donc qui nécessitent un multiplicateur interposé entre le rotor et la génératrice. Ce multiplicateur est un système mécanique. C'est une sorte de boîte de vitesses qui a un rendement très faible et qui va pénaliser le rendement total de l'éolienne. D'autre part, ce système tombe souvent en panne et pose des problèmes. Les nouvelles générations d'éoliennes sont des éoliennes à génératrice synchrone à attaque directe. On voit ci-dessous sur la figure que la génératrice se trouve directement reliée au rotor et se trouve derrière le rotor. Il n'y a plus de multiplicateur. Nous voyons sur les photos que l'on repère facilement tout cela lorsqu'on est au sol.



Éolienne à génératrice asynchrone



synchrone à attaque directe

Schéma général de la chaîne de conversion de puissance Éolienne à génératrice

**Bus** continu

courant

alternatif

à ondes

carrées

alternatif à la

fréquence du

réseau

Dans l'ancienne génération d'éoliennes, la nacelle est plutôt parallélépipédique. Les nouvelles générations d'éoliennes ont plutôt des nacelles ovoïdes, ressemblant à un ballon de rugby. Pour avoir les dimensions, il suffit d'observer les techniciens de maintenance qui se trouvent dans chacune de ces nacelles. Quel que soit le type de génératrice, le signal produit est un signal triphasé, alternatif à la fréquence variable. Quand l'éolienne démarre, la fréquence varie en fonction de la rotation du rotor. Il est donc impossible de connecter directement ce signal sur le réseau qui est à fréquence fixe. On a l'habitude de passer par ce qu'on appelle un bus continu, c'est-à-dire qu'à partir du signal alternatif à fréquence variable, on va le redresser avec des systèmes spécifiques, des redresseurs particuliers, pour fabriquer ainsi une tension continue. A partir de cette tension continue, on va fabriquer du signal alternatif à fréquence fixe grâce à des onduleurs. On pourra ainsi se connecter directement sur le réseau.

Cette technique est actuellement la plus utilisée puisqu'elle laisse le rotor libre en rotation ce qui permet d'obtenir la puissance maximale extraite du vent. Les machines que l'on utilise actuellement sont des machines synchrones ou machines à aimants permanents, encore appelées machines *brushless*, c'est-à-dire « sans balais ». Elles utilisent simplement des aimants qui passent devant des bobines.

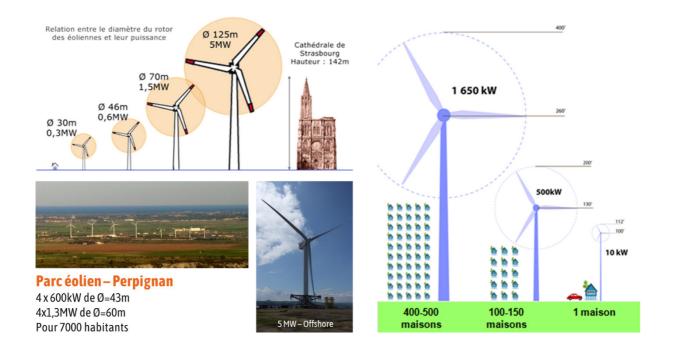
#### Il y a deux catégories :

- 1) Lorsque le champ magnétique est perpendiculaire à l'axe de rotation, on a à faire à des machines à champ radial, cylindriques.
- 2) Lorsque le champ magnétique est parallèle à l'axe de rotation, on a à faire à des machines à champ axial qui s'appellent discoïdes.

Les aimants sont collés à l'intérieur d'un rotor sur lequel vont être fixées les pales de l'éolienne. Ils vont tourner et passer devant des bobines qui sont fixées sur le stator. Ces moteurs sont des moteurs que l'on utilise sur les vélos électriques. Ces machines *brushless* fonctionnent à moteur et sont réversibles puisqu'on peut récupérer de l'énergie en descente. Elles fonctionnent donc en génératrice. Pour obtenir une tension continue, on utilise soit des redresseurs à diodes, soit des redresseurs à modulation de largeur d'impulsion MLI. Si on regarde production et dimension, on peut s'apercevoir qu'avec un rotor de 30 mètres, on peut espérer avoir une puissance de l'ordre de 30 kW. Lorsqu'on augmente la surface des rotors de 46 jusqu'à 125 mètres, la puissance augmente et avec un rotor de 125 mètres, on a des génératrices et une production de puissance de l'ordre de 100 MW.

# 3. Taille et puissance

La nacelle peut se trouver très haut, à plus de 100-150 mètres de hauteur (figure cidessous). On peut voir aussi un parc éolien qui est composé de quatre machines de 600 kW et quatre machines de 1,3 MW. Ça permettrait d'alimenter une petite agglomération de 7 000 habitants.



On peut aussi voir une machine offshore. Il s'agit d'éoliennes de très grande dimension de plus de 125 mètres de diamètre. Elles peuvent produire environ 5 MW. On peut remarquer que la hauteur du mât est légèrement plus importante que la longueur de la pale. En effet en mer, quelle que soit la hauteur, le vent est à peu près le même, le profil est vertical et il n'y a pas besoin de monter les nacelles très haut. Que peut-on alimenter comme habitation avec une machine ? Avec une éolienne de 10 kW, on va pouvoir alimenter une habitation, une maison ; avec une machine de 500 kW, entre 100 et 150 habitations ; avec une machine de 1,6 MW, on peut espérer alimenter entre 400 et 500 habitations.

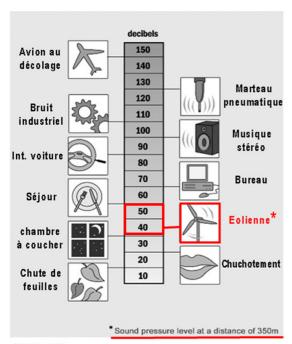
# 4. Stockage et raccordement

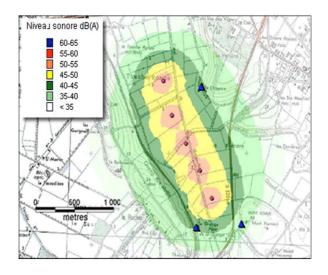
Dans le cas d'un projet éolien urbain non raccordé au réseau, l'énergie doit être stockée dans une batterie. Le signal issu de l'éolienne est un signal triphasé, il suffira de le redresser pour charger convenablement la batterie. À partir de ce signal continu, un onduleur permettra de re-génerer un signal alternatif de 120 V à fréquence fixe, 50 hertz compatibles avec les utilisations courantes. Si maintenant le site est raccordé au réseau, l'énergie récupérée par l'éolienne sera directement, après être redressée et passée par un bus continu, réinjectée au réseau électrique. Lorsque l'éolienne ne tourne pas, l'utilisateur pourra récupérer l'énergie directement du réseau électrique. Voilà pourquoi il y a la présence de deux compteurs spéciaux.

#### 5. Bruit

Intéressons-nous au bruit généré par les éoliennes. Sur la figure ci-dessous, nous voyons une échelle qui varie de 0 à 150 dB. 0 dB correspondant au seuil d'audibilité et 150 dB au seuil de la douleur. Une éolienne va générer un niveau de pression au niveau d'intensité

acoustique à 350 mètres d'environ 40 à 50 dB. Nous retrouvons cela sur la cartographie acoustique à droite où on voit un alignement d'éoliennes. On voit qu'à la verticale d'une éolienne (les parties rouges), le niveau de bruit est compris entre 50 et 60 dB. A mesure que l'on s'éloigne d'une éolienne, le bruit diminue dans les parties vert foncé, on retrouve bien un niveau de l'ordre de 40 à 50 dB.





Source: AWEA