

L'éolien : des chênes et des roseaux

Les éoliennes productrices d'électricité sont apparues à la fin du XIX^e siècle, mais ce n'est que dans les vingt dernières années que cette énergie a vraiment atteint sa maturité industrielle et pris son envol avec un taux de croissance annuel de 30 à 40%.

État des lieux de l'éolien dans le monde

Fin 2008 la production d'électricité éolienne annuelle avait atteint 260 TWh, soit 1,5% de la consommation électrique mondiale⁽¹⁾.

L'Europe maintient le cap grâce aux tarifs de rachat de l'électricité garantis. Les marchés américains et asiatiques sont les plus dynamiques, notamment les États-Unis qui en 2008 ont dépassé l'Allemagne en puissance totale installée, et la Chine qui a plus que doublé sa capacité trois années de suite.

Les pays en voie de développement quant à eux commencent à adopter ce mode de production d'électricité qui leur permet de s'affranchir de leur dépendance aux énergies fossiles, à des coûts de production du kWh parfois même inférieurs à ceux du pétrole lorsque son cours grimpe.

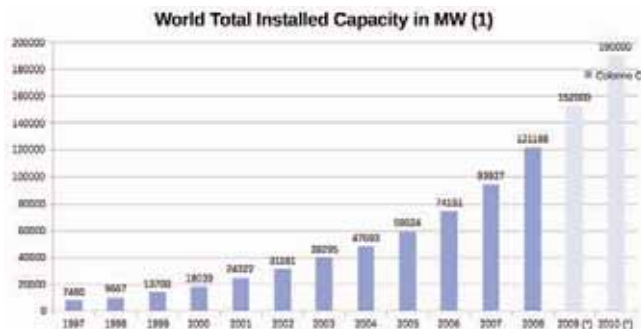


Figure 1 - Puissance totale installée dans le monde (MW)

Technologie éolienne : le chêne et le roseau

Les leaders actuels du marché sont implantés dans les pays qui ont historiquement été précurseurs dans le développement de cette énergie renouvelable : Vestas et Siemens Wind Power (Danemark), et GE Energy (USA). Ils sont suivis - dans le désordre - par Gamesa et Alstom Ecotecnia (Espagne), Enercon (Allemagne), Suzlon (Inde) et Goldwind (Chine). Dans quelques années, les constructeurs Chinois et Indiens, dont la croissance est fortement tirée par leurs marchés nationaux, atteindront sans doute

les mêmes parts de marché que les fabricants occidentaux.

Les turbines dont j'aime parler le plus sont celles de la société française Vergnet⁽²⁾, les « tout-terrain » de l'éolien électrique. Vergnet a initialement développé ses modèles hors normes de 5kW à 1MW pour cibler le marché des DOM-TOM, puis toutes les zones cycloniques, puis les pays en voie de développement à faibles infrastructures et dépendants du pétrole pour produire leur électricité. La clé se situe dans plusieurs particularités dont le système de manœuvre : la taille et le poids des composants permettent de les transporter en containers et de les construire sans grues géantes. Soutenues par des haubans pour réduire fortement la taille des fondations et permettre leur manœuvre, elles sont en partie assemblées et maintenues au sol. Ainsi à Cuba,



Stefan DOMINIONI
(E03)

Manager Qualité
Chantier en Ethiopie
VERGNET

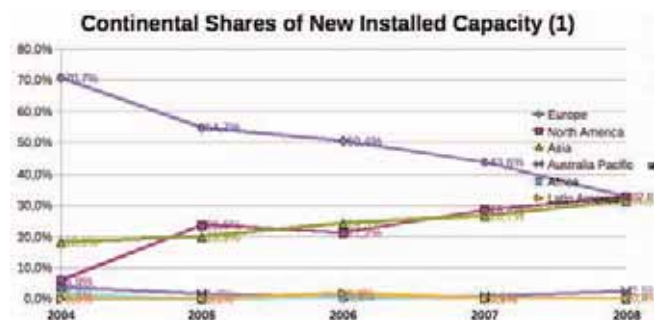
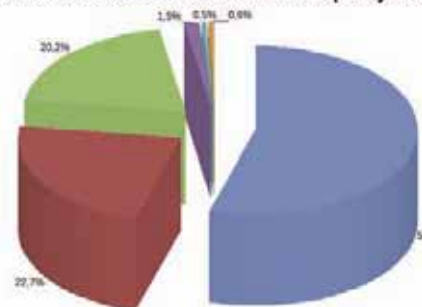


Figure 2 - Répartition des nouvelles puissances installées et répartition de la puissance totale en 2008

Continental Shares of Total Installed Capacity 2008 (1)



j'ai pu constater fin 2008 les dégâts causés par les cyclones Gustav et Ike dans les villes. Nos éoliennes effacées comme des roseaux et arrimées au sol ont pu redémarrer après quelques réparations mineures dues à des projections d'objets, malgré des vents atteignant 340 km/h.

Toujours plus haut ? Toujours plus de pales ?

La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par le rotor, à la vitesse du vent au cube et à la densité de l'air. C'est donc pour faire la course aux MW que les constructeurs fabriquent des éoliennes toujours plus hautes et des pales toujours plus longues. De manière générale, à l'échelle d'une éolienne, plus on va chercher haut dans le ciel, plus la vitesse du vent est élevée. Cependant, arrivé à une certaine hauteur le gain marginal en vent ne dépasse plus le coût marginal des matériaux. C'est pourquoi les éoliennes resteront sans doute dans les « proportions » qu'on leur connaît actuellement pour les années à venir. Toutefois la plus puissante, l'Enercon E-126, avec 135m de haut et 126m de diamètre atteint 7,5 MW⁽³⁾, et certains experts éoliens prédisent une hauteur de 300m pour les éoliennes de 2020⁽⁴⁾.

Le nombre de pales lui n'influe pas directement sur la performance.



Figure 3 - Vue de la nacelle d'une éolienne

Comment ça marche

Les éoliennes les plus répandues chez nous sont des tri-pales terrestres de plusieurs MW, à axe horizontal, avec un multiplicateur de vitesse et une régulation de puissance de type pitch par réglage de l'angle d'attaque des pales. Elles sont commandées par un automate industriel et par un logiciel de supervision à distance de type « SCADA ».

Au démarrage le frein hydraulique se desserre, les pales s'orientent, puis l'éolienne commence à tourner par simple effet du vent. Lorsque la vitesse de rotation est suffisante, l'éolienne se connecte en production au réseau électrique. D'autre part, comme toute centrale électrique, l'éolienne comporte un ensemble d'auxiliaires qui consomment au fonctionnement et à l'arrêt entre 0 et environ 1% de sa puissance nominale.

Les éoliennes ont une plage de vent de fonctionnement donnée, en général entre 3 et 25 m/s, la puissance augmentant avec la vitesse du vent jusqu'à atteindre un palier nominal. À cette plage de fonctionnement (en kW par m/s) on multiplie la distribution statistique du vent (en h

Les différents types d'éoliennes Quelques mots clés pour se repérer :

- Onshore/Offshore
- Axe vertical/horizontal
- Giration active (à moteur)/passive (comme une girouette)
- Vitesse de rotation fixe/variable
- Régulation de puissance pitch/stall
- Avec/sans multiplicateur (boîte de vitesse)
- Autoportée/haubanée rabattable (anti-cyclonique)

par m/s), qui pour la plupart des sites se modélise très bien avec une distribution statistique de Weibull. Entre les tropiques dans les couloirs des vents Alizes, sur certaines côtes bien ventées ou dans des couloirs éoliens spécifiques, les éoliennes peuvent produire de l'électricité jusqu'à 99% du temps. Dans des zones continentales, le temps de production varie entre 6000 et 8000 h par an.

On mesure le gisement éolien d'un site par son taux de charge : l'énergie productible avec le vent du site rapportée à l'énergie si l'éolienne était à pleine puissance toute l'année. Le taux de charge varie entre 20% et 45%. Par exemple, si on veut obtenir 20 à 45 MW moyen il faut prévoir une puissance installée de 100 MW.

Comme pour la plupart des modes de production électrique, l'indicateur de la fiabilité des turbines est la disponibilité technique qui est une mesure du taux de panne et de maintenance. L'état de l'art de l'éolien dépasse des moyennes de 95-97%, atteignant même 99% par an sur les sites où le vent est le plus constant : plus il y a de vent, moins une éolienne tombe en panne !

Et le prix dans tout ça

Dans un contexte où les tarifs de rachat de l'électricité sont régulés, il serait légitime de se demander si l'éolien est rentable. S'il fallait retenir cinq chiffres, ce sont les ordres de grandeur suivants.

Une éolienne coûte à l'achat entre 1000 et 1500 €/kW selon divers facteurs, à l'opération et la maintenance autour de 40 €/an/kW installé, et elle a une espérance de vie moyenne de 20 ans. On peut espérer une production annuelle de l'ordre de 3000 kWh/kW installé selon la qualité du gisement éolien. Le tarif de rachat du kWh éolien onshore en France métropolitaine est garanti pendant dix ans autour de 83 €/MWh (2009) puis il est revu entre 28 et 82 €/MWh selon le site

On peut en déduire le temps de retour sur investissement et comprendre facilement que l'éolien soit un marché qui intéresse fortement les compagnies d'électricité et les investisseurs verts.

En Europe, le taux de rachat du MWh varie entre 50 et 110 €⁽⁵⁾. Bien que rendant le modèle « artificiel », cet investissement des États est indispensable afin d'accélérer



la baisse des coûts venant avec le développement industriel de la technologie et d'atteindre nos objectifs en production d'électricité renouvelable, tout en donnant l'exemple aux pays en voie de développement.

Cependant, subissant fortement les aléas des cours des matières premières, ils constatent souvent par eux-mêmes que l'électricité éolienne est à terme moins chère que les électricités fossiles

Les chantiers de l'éolien à court terme ?

À mon avis, il y en a trois principaux : optimiser l'intégration au réseau d'électricité, devenir encore plus vert, et améliorer l'intégration socio-économique de l'éolien.

Le premier chantier à relever est dû au caractère « fatal » des éoliennes qui s'arrêtent et redémarrent au gré des caprices du vent. Une centrale peut ainsi passer de 0 à 10% de sa puissance en l'espace de quelques secondes, voire même atteindre 100% dans les dix minutes dans des cas extrêmes où le vent accélère brusquement. Les prévisions météo à court terme permettent aux gestionnaires de réseaux électriques d'anticiper ces facteurs, mais de manière relativement imprécise. Une solution innovante que développe Vergnet proviendra du stockage d'énergie par les éoliennes. Un stock tampon intelligent au niveau de la source permettra de lisser la puissance aux arrêts/démarrages. Ainsi on évitera les creux et pics de tension que provoquent des variations brutales de la puissance injectée sur le réseau, laissant un peu plus de temps aux gestionnaires de réseaux électriques pour démarrer/arrêter d'autres sources.

La deuxième mission s'applique bien sûr à toutes les industries ! Dans l'énergie et les *Utilities*, les centrales à combustible conventionnelles sont les premières concernées, mais dans le renouvelable on peut aussi travailler sur des réductions de coût et d'impact environnemental dans les phases de construction. En ce qui concerne l'éolien, plus l'éolienne est lourde, plus la quantité de béton (dont la fabrication génère du CO₂) pour les fondations est élevée, plus les coûts de transport et de manutention sont importants. Les constructeurs peuvent donc notamment s'attacher à continuer à optimiser les matériaux utilisés.

Y a-t-il une énergie renouvelable aussi controversée que l'éolien ? De fausses questions et de fausses réponses polluent le débat. En général les particuliers prennent de manière compréhensible la position « nimby » (*yes, but not in my backyard*) - oui mais pas dans mon jardin). Les intérêts communs tirent vers un développement intensif. Le troisième chantier est donc un challenge. La solution réside sans doute dans le compromis. Je pense que sa réussite passe par la poursuite de l'information, de la réglementation, du contrôle du choix des sites, et aussi par la mise en place de plans de compensation économique là où c'est nécessaire. L'éolien offshore a aussi une carte importante à jouer au sein du mix énergétique, dans la mesure où l'éolien représentera jusqu'à 10% de la production d'électricité en France en 2020, et 7 à 34% au niveau mondial en 2050 selon les diverses prévisions ! ●

⁽¹⁾ World Wind Energy Report 2008, WWEA, www.wwindea.org

⁽²⁾ Vergnet est l'industriel français de l'éolien : conception, fabrication, installation et maintenance. À ce jour plus de 500 éoliennes ont été installées qui produisent 150 000 MWh verts par an. Plus d'infos sur www.vergnet.fr

⁽³⁾ Windblatt, Enercon 01/2010

⁽⁴⁾ Garrad Hassan

⁽⁵⁾ The Facts 2009, EWEA