

L'éolien offshore en Europe



Julie ANGULO
Angelica BORGES ALVES
Claire NICOLAS

Février 2009

Introduction

L'éolien offshore commence tout juste à être abordé en France et il y est souvent décrié. *Total* a d'ailleurs considéré que celui-ci n'avait pas d'avenir (dans le sens où il y a peu de chance de réaliser des profits la technologie étant mature) et a par conséquent choisi de ne pas investir dans cette forme de production électrique. Ailleurs en Europe, certains pays ont pourtant considéré que l'éolien offshore avait un avenir prometteur et représentait une bonne alternative aux éoliennes onshore, montrées du doigt à cause des pollutions sonore et visuelle qu'elles engendrent.

Le Royaume-Unis, l'Allemagne et le Danemark, pionnier de l'éolien offshore depuis le début des années 90, se sont engagés dans cette technologie. Bien que la puissance offshore actuelle reste faible, elle devrait rapidement augmenter dans les années à venir. Hors de l'Europe, ce nouveau moyen de production électrique est surtout relayé par les Etats-Unis et la Chine.

Pour les partisans de l'éolien offshore, celui-ci devrait être en mesure de répondre à de multiples enjeux actuels de l'énergie. En effet, il devrait permettre à moyen et long terme de produire une part significative de l'électricité des pays côtiers d'Europe, pays pour lesquels le charbon représente souvent une large majorité du mix électrique. D'autre part, il permettrait d'accroître la sécurité d'approvisionnement de l'Union Européenne et, en tant que technologie propre, il participerait à la lutte contre le changement climatique. Enfin, l'éolien offshore s'inscrit parfaitement dans la logique d'un marché européen de l'électricité, car il entraîne souvent des interconnexions entre les réseaux.

Sommaire

Introduction.....	2
I) État de l' Art de l'éolien offshore en Europe	4
1- Présentation de l'éolien offshore	4
a. Le principe des éoliennes offshore.....	4
b. Les avantages et les inconvénients de l'éolien offshore	5
2 – Situation actuelle de l'éolien offshore.....	8
a. Les fermes offshore	8
b. La rentabilité économique.....	9
c. Les mesures de soutien.....	11
II) Les perspectives de l'éolien offshore en UE.....	13
Conclusion	15
Bibliographie.....	16

I) État de l'Art de l'éolien offshore en Europe

1- Présentation de l'éolien offshore

a. Le principe des éoliennes offshore

Les éoliennes offshore ont des caractéristiques comparables aux éoliennes terrestres. Une éolienne (également appelé aérogénérateur quand elle sert à la production d'électricité¹) à axe horizontal est composée d'un mât sur lequel est monté un rotor composé de trois pales (cf. figure n°1). Ces pales captent une partie de l'énergie cinétique² du vent, ce qui fait tourner le rotor, qui est relié à un générateur électrique. La nacelle, également montée au sommet du mât, abrite différents composants mécaniques et électriques nécessaires au fonctionnement de l'éolienne. Les fondations de l'éolienne peuvent être mono pieu, sous la forme d'un massif poids ou bien tripode ou quadripode.

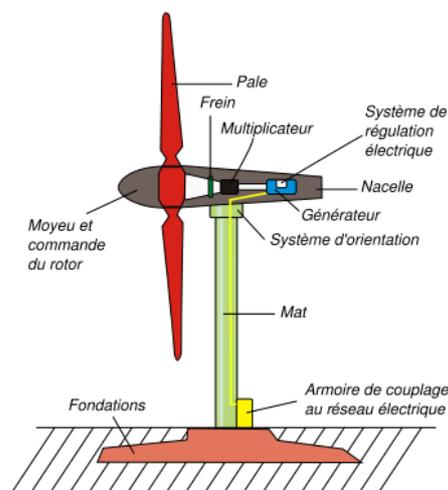


figure n°1 : schéma de fonctionnement d'un aérogénérateur (source : wikipedia)

Les éoliennes offshore se caractérisent par une puissance plus grande que les éoliennes onshore (actuellement autour de 3 MW, dans 2 à 3 ans autour de 5 MW alors que la puissance des éoliennes terrestres varie entre 1 et 2 MW) et donc par des dimensions plus importantes : le mât peut atteindre plus de 100 mètres de hauteur et la longueur des pales près de 50 mètres. Une éolienne offshore doit également être conçue de façon à supporter des vents violents, de forts courants marins ainsi que la corrosion due à l'eau de mer. Actuellement, les éoliennes offshore sont installées jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur et jusqu'à environ 20 km des côtes. Il faut noter que les éoliennes constituant un parc doivent être suffisamment éloignées les unes des autres afin d'éviter que le vent arrivant sur chacune d'entre elles ne soit trop perturbé.

¹ Une éolienne peut aussi être utilisée pour le pompage de l'eau

² Il existe une limite théorique à la part de l'énergie cinétique captée par un aérogénérateur : c'est la limite de Betz, qui vaut environ 59 %.

Les éoliennes offshore sont reliées entre elles et au continent par des câbles sous-marins. Elles produisent du courant alternatif à une tension de 690 volts, qui est ensuite élevé en courant triphasé de 20 kV ou 63 kV. Le réseau qu'elles alimentent doit être suffisamment solide pour supporter la puissance maximale des éoliennes ainsi que les variations de puissance dues à l'intermittence de la production.

L'installation et la maintenance des éoliennes sont plus compliquées en mer que sur terre, notamment en cas de mauvais temps. Les techniques utilisées pour l'installation ressemblent à celles employées dans l'industrie parapétrolière offshore. Par exemple, le groupe Technip, a annoncé en 2008, la signature d'un contrat d'ingénierie avec StatoilHydro, portant sur la fourniture des équipements, la construction et l'installation de la structure sous-marine du projet d'éolienne Hywind située au large de Karmøy, en Norvège, par 200 à 220 m de profondeur d'eau. Il s'agira de la première éolienne offshore flottante de grande envergure.

L'industrie de l'éolien offshore est très concentrée : fin 2007, seuls deux constructeurs danois, *Vestas* et *Siemens*, se partageaient 94 % du marché de la construction d'éoliennes offshore. D'autres entreprises devraient intervenir sur le marché dans les années à venir, comme *Multibrid*, filiale d'*Areva*, qui fournit les éoliennes du parc de la Côte d'Albâtre, premier parc offshore français.

Dans le futur, des éoliennes offshore flottantes pourraient voir le jour à grande échelle : l'éolienne serait montée sur une plate-forme ou une structure flottante. Ces éoliennes pourraient alors être implantées en haute mer, à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres.

b. Les avantages et les inconvénients de l'éolien offshore

Les avantages

L'éolien offshore présente plusieurs avantages par rapport à l'onshore. D'une part, les éoliennes en mer exploitent des vents plus forts et plus réguliers qu'à terre. En effet, le vent est généralement moins turbulent sur mer que sur terre. Cette faible turbulence est avant tout due au fait que les variations de température entre les différentes altitudes de l'atmosphère sont moins importantes au-dessus de la mer qu'au-dessus de la terre. Le nombre d'heures de fonctionnement à puissance nominal est de l'ordre de 3000-3500 pour l'offshore contre 2000 pour l'onshore. En outre, la durée de vie espérée des éoliennes installées en mer est supérieure à celle des éoliennes terrestres. La figure ci-dessous montre la répartition de la vitesse des vents en Europe. Globalement, on constate que les vents sont plus forts en Europe du Nord (8 à 9 m/s) qu'en Europe du Sud (6 à 7 m/s), hormis quelques exceptions.

D'autre part, en règle générale, la rugosité d'une surface d'eau est très faible, le cisaillement du vent est lui aussi très bas, ce qui signifie que l'on n'obtiendra pas, comme c'est le cas sur la terre ferme, une augmentation significative de la vitesse du vent en accroissant la hauteur du moyeu. Par

conséquent, en mer, il peut s'avérer plus économique d'utiliser des tours d'une hauteur moins élevée que sur terre, correspondant à environ 0,75 fois le diamètre du rotor suivant les conditions éoliennes sur le site en question (normalement, la hauteur des tours installées sur la terre ferme correspond à 1 diamètre de rotor au minimum).

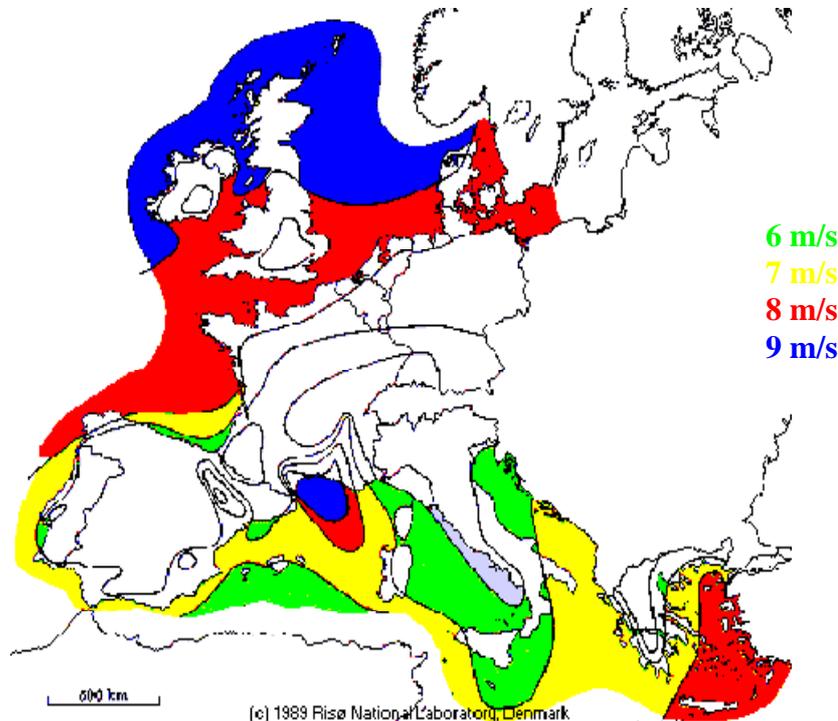


figure n°2 : carte des vents en mer en Europe³

Enfin, les nuisances visuelles et sonores, souvent reprochées aux dispositifs terrestres, sont fortement atténuées du fait de l'éloignement des zones habitées.

Les inconvénients

Cet éloignement entraîne en revanche des coûts supplémentaires liés au raccordement des fermes offshore au réseau. Les coûts d'installation et de maintenance sont également plus élevés. Nous verrons plus loin, dans l'étude de rentabilité, que le coût global du kWh éolien offshore est plus élevé que le kWh éolien onshore. Autrement dit, le nombre d'heures de fonctionnement supplémentaires ne suffit pas à compenser le surplus de coût offshore.

L'inconvénient majeur de l'éolien offshore étant son intermittence, si l'ensemble des éoliennes produisent plus que la demande, le réseau ne peut pas techniquement accepter ce surplus d'électricité. La gestion du réseau devient déjà difficile dès que la production éolienne arrive à 50 % de la demande du réseau car les centrales conventionnelles maintiennent la tension et la fréquence et doivent être en nombre suffisant pour être peu sensibles aux perturbations de la production éolienne. Une grande préoccupation est que le règlement européen qui impose au réseau à accepter le renouvelable intermittent, n'est pas compatible avec la technique.

³ D'après le laboratoire national danois *Risø National Laboratory*

Ce problème est encore plus inextricable car il n'est pas possible de mesurer encore l'énergie que l'exploitant éolien aurait pu fournir pendant cette période. En effet, si un vent moyen lui permettait juste de produire une faible énergie, il peut prétendre qu'il aurait pu produire à sa puissance maximum.

L'autre inconvénient vient du fait que celui-ci entre en conflit avec plusieurs usages. Les principaux usagers de la zone littorale sont les pêcheurs, qui ne veulent pas que les éoliennes limitent leur activité de pêche. Toutefois, les pêcheurs pourraient être autorisés à pêcher au niveau des fermes offshore. La présence des éoliennes et de leurs fondations pourrait même créer un effet «récif» et ainsi augmenter la ressource halieutique dans la zone concernée. L'autre grand usage de la mer est la navigation, commerciale ou touristique.

Enfin, les impacts environnementaux des éoliennes offshore sont controversés et doivent être pris en considération. Si les fermes éoliennes sont généralement placées loin des côtes et donc loin des habitations humaines, elles ne sont pas moins responsables de nuisances potentielles pour les écosystèmes aquatiques et aériens.

A titre d'illustration, prenons l'étude d'impact environnemental menée sur la ferme éolienne Nysted Offshore Wind Farm au Danemark⁴. Plusieurs questions y sont soulevées :

- Quel est l'impact du champ électromagnétique créé par les câbles sous marins à une tension de 132kV sur les migrations de poissons? Suite aux mesures effectuées avant et après l'installation du parc, les résultats indiquent que la composition des communautés de poissons n'a pas varié. Les couloirs de migration se seraient légèrement décalés mais les études ont été effectuées sur trop peu d'années pour tirer des conclusions statistiques.
- Les fondations des éoliennes offshore vont-elles constituer des lieux de vie privilégiés pour les poissons et la végétation? Ces fondations s'étendent sur une superficie de 4hectare pour le parc de Nysted. Les résultats de l'étude prouvent qu'une quantité croissante d'espèces animales et végétales trouvent refuge dans ces fondations, mais on est encore loin de la diversité que l'on trouve sur des récifs naturels existant au large des côtes.
- Quel est l'impact des pales des éoliennes sur les courants migratoires des oiseaux? Cette étude a montré, après une campagne de mesure précise avant et après la construction de la ferme, que les oiseaux déviaient leur migration dès qu'ils étaient à 1000m de la ferme. Toutefois ces déviations, bien que minimales à l'échelle de ce parc, soulèvent des questions sur une intensification du parc éolien en mer.
- Enfin, quelle est la fréquence des collisions des oiseaux avec les pales? Là encore, les études sont incomplètes pour des problèmes de mesures.

Ces impacts peuvent être, en règle générale, restreints en plaçant la ferme éolienne loin des couloirs de migration des oiseaux et des poissons. Toutefois, nous n'avons ici de visibilité que sur des parcs limités, aussi, si cette technologie venait à se développer considérablement cela soulèverait des problèmes à une échelle plus globale.

⁴ annual status report Nysted offshore wind farm, Environmental Monitoring Program 2004, reported by EnergiE2

2 – Situation actuelle de l'éolien offshore

a. Les fermes offshore

La puissance installée actuellement en Europe est de l'ordre de 1,1 GW, ce qui correspond à 25 fermes éoliennes. La grande majorité de ces champs offshore concerne seulement 5 pays : le Danemark, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, l'Irlande et la Suède. A la fin de l'année 2006, l'éolien offshore représentait seulement 1,8% de la puissance éolienne totale installée (soit 3,3% de l'électricité éolienne produite)⁵.

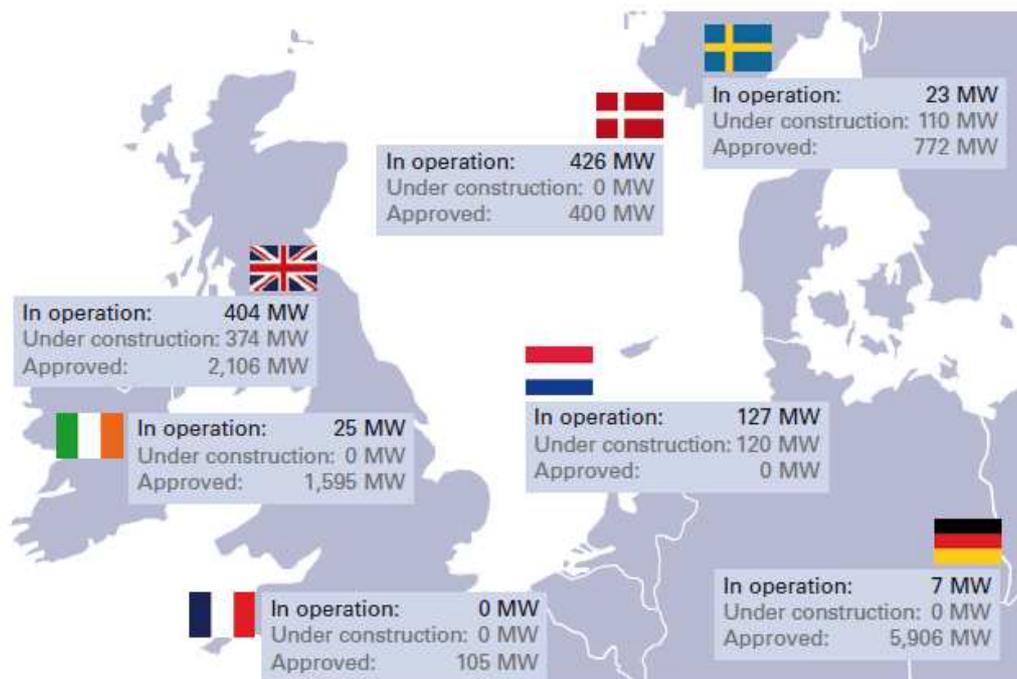


figure n°3 : carte des pays producteurs d'énergie éolienne offshore en Europe⁶

Le Danemark a été le premier pays à développer l'éolien offshore, au début des années 90. Le tout premier champ offshore est celui de *Vindeby*, construit en 1991 par le fabricant *Danois Bonus*. Le plus grand parc éolien du Danemark est le parc offshore de *Horns Rev* construit en 2002 et situé dans la mer du Nord, à quelque 14 à 20 km de la côte. Avec ses 80 éoliennes de 2 MW et une puissance totale de 160 MW, ce parc est actuellement le plus grand parc éolien offshore du monde (2003). La production d'électricité du parc est suffisante pour couvrir les besoins en électricité de 150 000 foyers danois. C'est grâce à de meilleures conditions éoliennes que la production électrique de ce parc est supérieure à celle du parc de *Nysted* qui totalise 158 MW.

D'autres pays comme le Royaume-Uni (qui détiendrait à lui seul le tiers du potentiel offshore européen se sont lancés dans l'offshore plus récemment, au début des années 2000. Enfin,

⁵ EWEA, *Delivering Offshore Wind Power in Europe*, 2007

⁶ KPMG, *Offshore wind farms in Europe*, 2007

une dernière catégorie de pays comme l'Allemagne, la France ou l'Espagne n'ont pas encore de parc éolien en fonctionnement mais ont lancé des projets récemment. C'est le cas en particulier de l'Allemagne, où près de 6 GW d'éoliennes devraient entrer en service au cours des prochaines années.

On peut noter que la dimension des parcs augmente constamment, à la fois en nombre d'éoliennes par champ et en puissance des éoliennes : les éoliennes actuellement en fonctionnement ont une puissance d'environ 2 MW, celles en construction atteignent plus de 3 MW et dans les prochaines années, la puissance des éoliennes devrait atteindre 5 MW. Pour donner une idée du gigantisme des fermes offshore, on peut citer celle de *Codling Bank*⁷, en Irlande, approuvé en 2005 : 220 éoliennes de 5 MW chacune, soit une puissance totale de 1,1 GW (soit à peu près l'équivalent d'une tranche nucléaire). C'est le plus grand parc offshore en projet au monde. A titre de comparaison, le plus grand parmi ceux existants est celui de *Nysted*⁸, au Danemark, avec une capacité de 166 MW pour 72 éoliennes de 2,3 MW.

En France, seul un projet a pour l'instant obtenu le permis de construire, bien que la France dispose d'un potentiel offshore important. Il s'agit du parc éolien de la Côte d'Albâtre⁹, composé de 21 éoliennes de 5 MW chacune à 6 km au large de Veulettes-sur-Mer (Seine-Maritime), soit un total de 105 mégawatts, de quoi fournir de l'électricité à 120 000 personnes qui devrait être prêt pour fin 2009. La taxe qui sera acquittée par l'opérateur, la société allemande *Enertrag*, apporterait 1,3 million d'euros, dont la moitié pour les marins-pêcheurs et l'autre moitié aux communes ayant vue sur les pylônes (Veulettes-sur-Mer, Paluel, Saint-Valéry-en-Caux, Saint-Sylvain et Saint-Martin-aux-Bunots).

D'autres projets sont néanmoins en cours. Un gros projet est celui de *La Compagnie du Vent de Montpellier* (Hérault), filiale du groupe *Suez*, qui veut installer 120 éoliennes au large de la Vendée d'ici 2013. Deux autres projets sont en préparation par *WPD Offshore France*, une autre société allemande, l'un devant Fécamp qui compterait 50 à 60 éoliennes pour une puissance de 250 à 300 mégawatts dans "le parc des Hautes-Falaises", l'autre au large de Port-en-Bessin (Calvados) qui totaliserait une cinquantaine de machines pour une puissance de 250 MW.

b. La rentabilité économique

Nous allons calculer dans cette partie le coût de revient économique du kWh produit par les éoliennes offshore. C'est le prix minimum de vente du kWh pour que la valeur actuelle nette du projet soit positive, c'est-à-dire pour que les recettes tirées de la vente de la production compensent les dépenses associées au projet. Ce prix p se calcule de la façon ci-après :

$p = \text{somme des dépenses actualisées} / \text{somme des productions actualisées}$

⁷ <http://www.codlingwindpark.ie>

⁸ <http://uk.nystedhavmoellepark.dk>

⁹ <http://www.offshore-albatre.fr>

Bien évidemment on ne peut pas parler d'un coût unique pour l'éolien offshore car le coût dépend des particularités de chaque ferme offshore : profondeur du sol marin, distance à la côte, nombre d'heures de fonctionnement. Le calcul effectué ici correspond en quelque sorte à un coût moyen, et repose sur les hypothèses suivantes¹⁰ :

- taux d'actualisation de 6%
- durée de vie de 20 ans
- 3000 heures de fonctionnement à puissance nominale
- un coût d'investissement (CAPEX) de 2000 € par kW
- des coûts opérationnels (OPEX) de 2,64 c€/kWh

$$\text{On a alors } p = \frac{2000 + \sum_{k=1}^{20} 3000 \times \frac{0.0264}{1,06^k}}{\sum_{k=1}^{20} \frac{3000}{1,06^k}} = 0,0845 \text{ €/kWh} \quad , \text{ c'est-à-dire un coût de}$$

l'éolien offshore de 8,45 centimes d'euro le kWh (ou 84,5€/MWh).

En réalité, de nombreux paramètres sont susceptibles de varier : le taux d'actualisation, le nombre d'heures de fonctionnement, les CAPEX. Par exemple, le montant de l'investissement varie entre 1500 et 3000 euros par kW selon les projets, avec une augmentation importante du coût pour les projets les plus récents, due principalement à la hausse du prix de l'acier et du cuivre¹¹. En faisant également varier les autres paramètres, on obtient une fourchette pour le coût du kWh allant de 7 à 12 centimes d'euro.

Le coût du MWh éolien offshore obtenu par ce calcul kWh (84,5€/MWh avec un taux d'actualisation de 6%) correspond effectivement à ce qu'on trouve dans la littérature. A titre d'exemple, voici ci-dessous les estimations faites par la DGEC (direction Générale de l'Energie et du Climat) en euros par MWh.

		Durée de fonctionnement équivalent pleine puissance											
		2600 h		2800 h		3000 h		3200 h		3400 h		3600 h	
Année de MSI		2012	2020	2012	2020	2012	2020	2012	2020	2012	2020	2012	2020
Taux d'actualisation	5%	114,7	95,5	108,1	89,8	102,4	85,0	97,3	80,7	92,9	77,0	89,0	73,7
	8%	132,7	110,7	124,8	104,0	117,9	98,2	111,9	93,1	106,7	88,6	102,0	84,7
	11%	151,7	126,7	142,4	118,9	134,4	112,1	127,3	106,1	121,1	100,9	115,6	96,2

figure n°4 : coût de l'électricité éolienne offshore¹² (€/MWh)

¹⁰ Les hypothèses retenues sont inspirées de celles de l'étude de KPMG, qui étudie la rentabilité de manière approfondie en fonction de nombreux critères (profondeur, distance à la côte, puissance...)

¹¹ KPMG, *Offshore wind farms in Europe*, 2007

¹² DGEC, *Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique*, 2008

Ce coût doit être comparé à ceux des autres moyens de production d'électricité, notamment ceux utilisant des énergies renouvelables. (Figure n°5 ci-dessous)

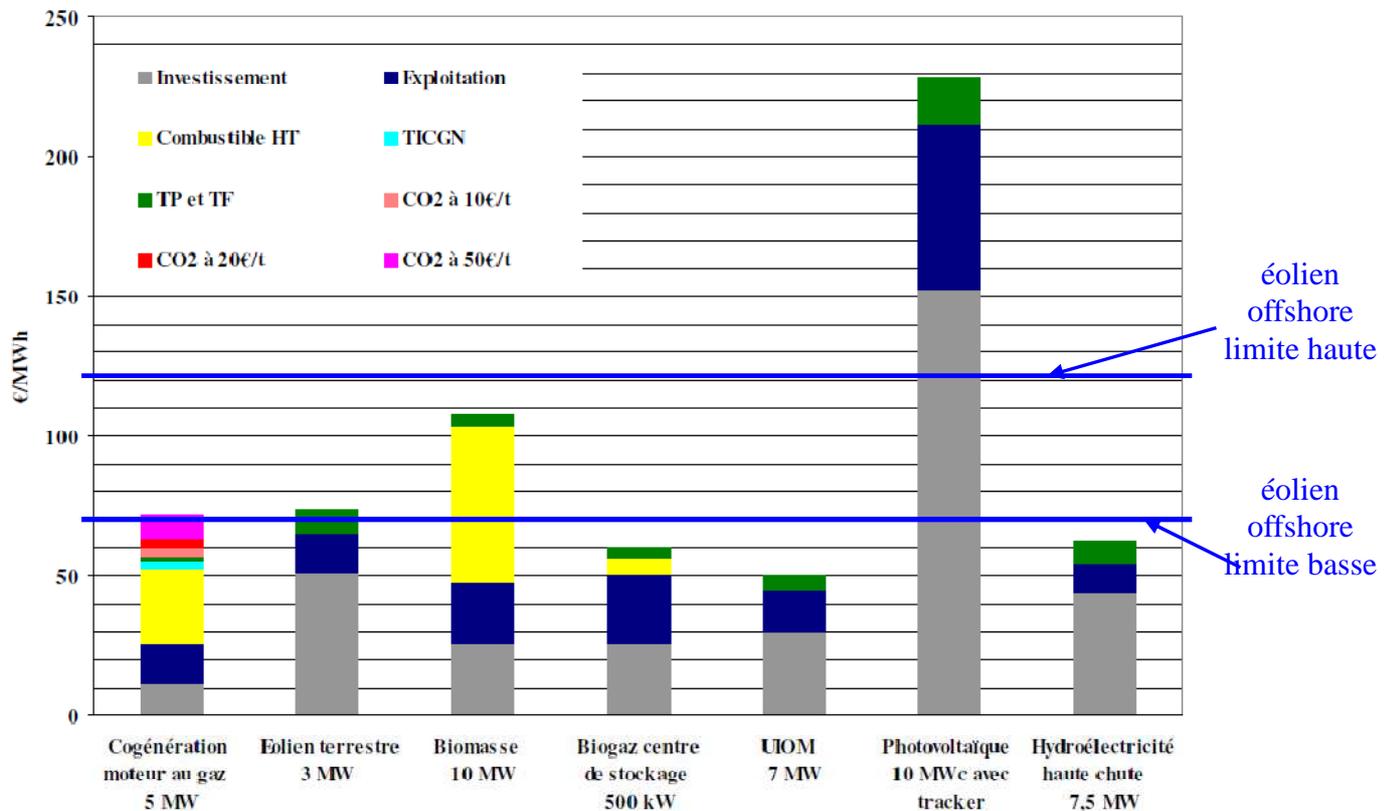


figure n°5 : coût de l'électricité d'origine renouvelable¹³ (plus cogénération gaz)

On constate sur le schéma ci-dessus que l'éolien offshore présente un coût comparable à celui de la biomasse, c'est-à-dire inférieur à celui du photovoltaïque mais supérieur aux autres énergies renouvelables. En particulier, le surcoût par rapport à l'éolien onshore est de l'ordre de 20 €/MWh en moyenne. Les marges de réduction des coûts sont cependant moindres pour l'éolien onshore, qui a atteint un plus grand niveau de maturité.

c. Objectifs et mesures de soutien

Si les Etats membres de l'Union Européenne veulent atteindre l'objectif de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation totale en énergie finale (cet objectif étant décliné en proportions à atteindre pour chaque Etat membre), il est nécessaire de faire appel à toutes les formes d'énergie renouvelable, dont l'éolien offshore fait partie. Parmi les Etats membres, certains ont défini des objectifs explicites en ce qui concerne l'éolien offshore :

- Au Danemark, l'Agence Danoise de l'Energie a publié un rapport en 2007 « Future Offshore Wind Turbine Locations – 2025 » dans lequel elle estime que 23 nouvelles fermes éoliennes offshore pourraient être construites d'ici 2025, ce qui ferait une puissance totale installée de

¹³ ibid.

4600 MW. La production générée représenterait alors près de la moitié de la consommation totale d'électricité du Danemark.

- La British Energy Wind Association (BWEA) prévoit une puissance installée pour 2015 de 6600 MW au Royaume-Uni dans son rapport « UK offshore wind : moving up a gear » de 2007.
- Aux Pays-Bas, l'objectif pour 2015 est de 6000 MW.
- En Suède, l'objectif fixé par l'Agence Suédoise de l'Energie est de 10 000 MW en 2020.
- L'Allemagne, quant à elle, envisage d'atteindre en 2030 une puissance installée de 20 à 25 000 MW (d'après le rapport « Offshore wind power deployment in Germany » de 2007), ce qui permettrait de couvrir environ 15 % de la consommation d'électricité. L'objectif intermédiaire fixé pour 2020 est de 12 000 MW.
- En France, la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité de 2006 fixe un objectif de 4000 MW installés à l'horizon 2015.

L'éolien offshore, comme les autres énergies renouvelables, n'est pas compétitif par rapport aux sources d'énergies « classiques » utilisées pour la production d'électricité, comme le nucléaire ou le thermique à flamme, pour lesquelles les coûts de production varient plutôt entre 30 et 50 €/MWh¹⁴. Il existe donc des mécanismes de soutien pour l'éolien offshore, qui sont les mêmes que ceux en faveur des autres énergies renouvelables. La mesure la plus utilisée et sans doute la plus efficace consiste à fixer un tarif d'achat, c'est-à-dire qu'un producteur éolien offshore a l'assurance de vendre l'électricité produite à un prix fixe pendant une certaine durée. Il existe une variante de ce mécanisme, où ce n'est plus le tarif d'achat qui est fixé, mais une prime fixe qui s'ajoute au prix de marché.

En France par exemple, le tarif d'achat est de 130 €/MWh pendant les 10 premières années, puis il varie entre 30 et 130 €/MWh pendant les 10 années suivantes en fonction de la production réalisée les 10 premières années (plus le nombre d'heures de fonctionnement est important et plus le tarif sera bas). En Allemagne, le tarif est plus faible, de l'ordre de 90 €/MWh. Effectivement, le nombre de projets approuvés est bien plus important qu'en France. On voit sur l'exemple de ces deux pays que l'on ne peut pas établir de relation directe entre le niveau du tarif d'achat et la puissance éolienne offshore installée. En Allemagne, les opérateurs de réseaux électriques sont obligés de construire une extension de leur réseau reliant la ferme éolienne offshore, en contrepartie, la commission de régulation les autorise à modifier leurs tarifs de façon à prendre ce surcoût en compte.

D'autres pays ont adopté des systèmes différents en faveur de l'éolien offshore. C'est notamment le cas du Danemark, qui lance des appels d'offres et retient l'offreur qui propose le tarif d'achat le plus bas. Chaque parc dispose donc d'un tarif d'achat différent. Ce mécanisme d'appel d'offres existe également en France¹⁵ mais il n'est pas systématique et n'influe pas sur le tarif d'achat. Certains pays comme le Royaume-Uni ou la Suède utilisent plutôt des certificats verts (électricité produite à partir d'énergies renouvelables). Enfin, d'autres outils incitatifs peuvent être mis en place comme des subventions à l'investissement (au Royaume-Uni et en Suède) ou la prise

¹⁴ source : DGEC

¹⁵ C'est en réponse à un appel d'offre que le parc de Veulettes-sur-Mer a été construit.

en charge des coûts de raccordement par le gestionnaire du réseau de transport d'électricité (au Danemark et en Allemagne).

En prenant en compte les mécanismes de soutien dans les différents pays, KPMG a calculé dans son rapport¹⁶ les taux de rendements internes pour chaque pays. Les résultats sont indiqués ci-après :

	DK	GER	F	NL	E	S	GB	GB (1.5)	GER 14
Min.	–	–	4.7%	–	5.1%	–	6.7%	12.1%	4.0%
Average	–	1.2%	11.8%	7.5%	11.4%	–	13.4%	19.5%	8.8%
Max.	5.6%	3.9%	18.0%	15.2%	17.2%	–	19.6%	26.7%	11.3%

figure n°6 : taux de rendement interne pour l'éolien offshore¹⁷

Ces résultats montrent que les marchés théoriquement les plus attractifs sont les marchés britannique, français et espagnol. Pourtant, parmi ces trois pays, seul le Royaume-Uni devrait connaître un développement rapide de l'éolien offshore. D'autres facteurs entrent en jeu et peuvent expliquer ces fortes disparités, comme des facteurs sociaux ou institutionnels (problèmes d'acceptabilité sociale, difficulté d'obtention d'un permis de construire...).

II) Les perspectives de l'éolien offshore en UE

On peut identifier différentes variables susceptibles d'influer grandement sur le développement de l'éolien offshore.

Du point de vue sociopolitique, l'acceptabilité sociale joue un grand rôle. En effet, il faudra réussir à résoudre les conflits d'usage en particulier avec les pêcheurs et la navigation commerciale. D'autre part, l'impact sur la faune marine et aérienne devra être étudié dans les parcs existants et limité au maximum.

Le poids des contraintes environnementales, en particulier en ce qui concerne les émissions de CO₂ et les objectifs en termes d'énergie renouvelable imposés par les politiques auront eux aussi une grande importance.

Enfin, on peut identifier un autre facteur influent : les subventions qu'accorderont les Etats européens à la R&D dans le domaine de l'éolien offshore.

Du point de vue économique, il existe aussi différents facteurs influents. Tout d'abord, on peut remarquer que le coût du kWh des autres énergies renouvelables est susceptible de freiner

¹⁶ KPMG, *Offshore wind farms in Europe*, 2007

¹⁷ Les deux dernières colonnes intègrent les augmentations respectives prévues en 2009 du prix des certificats verts pour le Royaume-Uni et du tarif d'achat pour l'Allemagne.

comme d'accélérer le développement de l'éolien offshore.

Le montant des Capex ou plus simplement le prix des matériaux (acier+cuivre) dans les années à venir est lui aussi en mesure de freiner la construction d'éoliennes offshore s'il s'avère trop élevé.

Enfin, l'équilibre offre-demande et les subventions directes (tarif d'achat du kWh éolien) sont autant de points à prendre en considération.

Du point de vue technique, l'interconnexion offshore, la puissance des éoliennes ainsi que la taille des fermes offshore devraient jouer sur le développement de ce mode de production d'électricité offshore. On peut noter que le développement des éoliennes flottantes serait un énorme plus pour cette industrie car cela permettrait de s'éloigner des côtes et d'installer des éoliennes sur des fonds instables.

Ainsi suivant la façon dont ces paramètres vont évoluer, la puissance offshore sera plus ou moins importante dans 10 à 20 ans, et ce, en dépit des objectifs fixés par les différents pays. Les études prospectives menées en Europe arrivent à des conclusions assez diverses.

Le rapport de l'European Wind Energy Association¹⁸ élabore deux scénarii pour 2020, qui donnent les valeurs respectives de 20 GW (scénario « efforts minimaux ») et 40 GW (scénario « forte implication politique ») d'éolien offshore installé. Un autre scénario établi par Greenpeace¹⁹ prévoit, quant à lui, une puissance installée de 68 GW entre 2020 et 2030. Enfin, le rapport « Eolien Offshore : Etat des lieux et prospective à l'horizon 2030 en Europe » élabore trois scénarii : un scénario tendanciel pour lequel il est prévu 40GW en 2030, un scénario optimiste qui porterait la puissance offshore à 75GW (avec 15GW d'éoliennes flottantes) et un scénario pessimiste qui prévoit 20GW en 2030.

¹⁸ EWEA, *Delivering Offshore Wind Power in Europe*, 2007

¹⁹ Greenpeace – 3E, *A North Sea electricity grid [r]evolution, Electricity output of interconnected offshore wind power, A vision of offshore wind power integration*, 2008

Conclusion

L'énergie éolienne offshore n'est pas une énergie renouvelable comme une autre. Sur le long terme, c'est sûrement elle qui contribuera le plus à la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable. Aujourd'hui, des projets de « méga parcs éoliens offshore » de près d'un gigawatt sont en développement. Ainsi, une ferme offshore peut être considérée comme une centrale électrique au même titre qu'une centrale nucléaire ou qu'une centrale à charbon.

Bien sûr, le principal problème de l'éolien offshore reste l'intermittence de la production. Elle ne saurait cependant être un argument suffisant pour limiter le développement de cette énergie. La gestion du réseau peut s'adapter afin de répondre aux aléas de production. Demain, les fermes offshore devraient être interconnectées sur toute l'Europe et disposer de capacités de stockage de l'électricité plus ou moins grande, ce qui permettrait une plus grande souplesse. Il est aussi nécessaire de se questionner sur l'impact environnemental que pourront représenter de tels « méga parcs éoliens offshore ». Si les impacts étudiés sur les fermes actuelles, qui sont relativement petites comparées aux objectifs que l'Union européenne s'est fixée, semblent maîtrisables, que se passerait-il si des parcs éoliens venaient à obstruer tout le littoral européen?

Si l'Union européenne et les Etats membres veulent valoriser cette énergie renouvelable, ils devront créer des conditions favorisant l'émergence de l'éolien offshore et les barrières qui freinent son développement. Il serait nécessaire d'une part, de garantir le soutien à cette technologie caractérisée par des coûts très importants (un parc peut coûter des centaines de millions d'euros) en maintenant des mécanismes de subvention, et, d'autre part, de mettre en place une réglementation visant à simplifier les procédures administratives.

L'éolien offshore est une technologie jeune, en plein essor et beaucoup moins mature que d'autres technologies comme l'éolien onshore par exemple. Les politiques à mettre en place devront jouer le rôle d'accélérateur de cette maturité, via notamment le soutien actif à la recherche et au développement. Mais ces politiques devront aussi veiller à maintenir un dialogue très fort entre les différents acteurs concernés par l'implantation de cette technologie.

Une perspective à plus long terme, et plusieurs chercheurs y travaillent déjà, est l'éolien farshore. Cette technologie consiste à implanter des éoliennes en haute mer, à plus de 30 km des côtes, avec des profondeurs d'eau de plusieurs centaines de mètres et des vents extrêmes. Outre les problèmes communs avec l'offshore, se poseront des problèmes techniques mais aussi des questions de propriété et de droit international maritime.

Bibliographie

POWEO-Dossier de présentation aux Comités Locaux des Pêches - COTES D'ARMOR CENTRALE EOLIENNE EN MER AVANT-PROJET Novembre 2007

<http://www.leseoliennes.be/economieolien/eolemaxi.htm>

http://www.lexpress.fr/actualite/environnement/des-eoliennes-offshore-en-ormandie_472340.html

www.actu-environnement.com/ae/news/parc_eolien_offshore

www.demain-la-terre.net/Eoliennes-comment-ca-marche

www.ifremer.fr

www.ademe.fr/bretagne/actions_phares/energies_renouvelables

Colloque Ifremer/Ademe, *Energies des mers*, 21 octobre 2004,
<http://www.ifremer.fr/dtmsi/colloques/seatech04/mp/article/1.contexte/1.1.ECRIN-OPECST.pdf>

Colloque Ifremer/Ademe, *Energies renouvelables en mer*, « *Quelles perspectives de développement en France ?* », 21 octobre 2004,
http://www.ifremer.fr/dtmsi/colloques/seatech04/mp/proceedings_pdf/presentations/9.table_ronde/Synthese%20AVERTI.pdf

Direction Générale de l'Energie et du Climat (MEEDAT/DGEC), *Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique*, 2008,
<http://www.industrie.gouv.fr/energie/electric/cout-ref-synthese2008.pdf>

Greenpeace – 3E, *A North Sea electricity grid [r]evolution, Electricity output of interconnected offshore wind power, A vision of offshore wind power integration*, 2008,
<http://www.greenpeace.org/raw/content/belgium/fr/press/reports/offshore.pdf>

Ifremer, *Les énergies renouvelables marines : synthèse d'une étude prospective à l'horizon 2030*, 2008, http://www.ifremer.fr/institut/content/download/30751/252906/file/Ifremer_synthese-etude-prospective-EnRM.pdf

KPMG, *Offshore wind farms in Europe*, 2007,
http://www.kpmg.com.au/portals/0/KPMG_Offshore_wind_farms_in_Europe_2007.pdf

LE VISAGE C., *Energies marines renouvelables et régulation des usages de la mer*, Secrétariat Général de la Mer, Colloque Sea Tech Week 2004,
http://www.ifremer.fr/dtmsi/colloques/seatech04/mp/article/7.eolien_offshore_impacts/7.7.SGMER.pdf

Secrétariat Général de la Mer, *Energie éolienne en mer : recommandations pour une politique nationale*, 2002,

[http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2002-12-20 - Energie eolienne enmer -
Recommandations pour une politique nationale.pdf](http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2002-12-20_-_Energie_eolienne_enmer_-_Recommandations_pour_une_politique_nationale.pdf)

The European Wind Energy Association (EWEA), *Delivering Offshore Wind Power in Europe, Policy recommendations for large-scale deployment of offshore wind power in Europe by 2020*, 2007, http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf

<http://www.offshore-stiftung.de/>