



Faut-il investir dans l'Energie Eolienne ?

Rapport rédigé

par la

Société de Calcul Mathématique SA

Mars 2010

Résumé Opérationnel et recommandations

Pour la production d'électricité, seul l'éolien "offshore" (en mer, à faible distance des côtes) peut se justifier techniquement, dans la mesure où les vents sont suffisamment fréquents. Partout ailleurs, l'irrégularité des vents fait que des solutions de soutien par des centrales classiques, de stockage, d'interconnexion, sont nécessaires et elles ôtent absolument tout intérêt à la production éolienne.

Mais l'éolien offshore est très coûteux et n'est pas au point techniquement : le vent est fréquent mais non constant, si bien que le taux de disponibilité des machines ne dépasse pas 40 %. On rencontre de considérables difficultés pour installer les éoliennes, les ancrer, résister aux tempêtes, assurer la maintenance dans des conditions défavorables. Régulariser la production, lorsque le vent change, n'est pas facile et demande des centrales classiques en appoint. En conséquence, ni la durée de vie ni la rentabilité de tels projets ne sont assurés, et on ne peut les recommander à un investisseur.

C'est une erreur de logique que de vouloir produire de l'électricité à partir de la force du vent. Cette électricité, irrégulière, ne sera jamais concurrentielle par rapport aux autres modes de production, nucléaire notamment.

Le vent permet d'assurer directement (sans électricité) des travaux mécaniques qui s'accommodent de l'intermittence, comme par exemple le pompage : pomper de l'eau dont on a besoin ; refouler de l'eau que l'on ne veut pas.

Si un investisseur veut s'intéresser au domaine de l'énergie, ce n'est ni l'éolien ni le solaire qu'il faut viser, mais le "petit" nucléaire : générateurs de faible puissance, de l'ordre de 100 MW ou moins.

I. Introduction

L'éolien, à la différence du solaire, a été utilisé de tous temps par l'humanité, comme source d'énergie : bateaux à voile, moulins à vent destinés à moudre des grains, à pomper de l'eau, à actionner diverses machines, etc.

L'utilisation du vent pour propulser un véhicule, au moyen d'une voile, est gratuite, mais elle a disparu dès que d'autres moteurs sont apparus, parce que la force du vent est éminemment variable (tantôt trop forte, tantôt trop faible), et comporte des directions privilégiées : il est difficile de remonter au vent.

L'utilisation du vent pour actionner des moulins aurait probablement dû perdurer. Elle est évidemment gratuite, et souffre des mêmes aléas que la propulsion, mais nombre d'utilisations n'ont pas un besoin constant ; il suffit que le vent souffle suffisamment souvent, suffisamment longtemps, pour que le besoin soit satisfait. Nous pensons donc que la disparition des moulins, remplacés par des dispositifs électriques, est une mode de civilisation : on a voulu des appareils pouvant fonctionner à n'importe quel moment, même lorsque ce n'est pas nécessaire.

L'apparition de l'électricité a, en quelque sorte, "tué" toutes les autres formes d'énergie : à partir du moment où on a l'électricité chez soi pour lire, alimenter le réfrigérateur, etc., il devient absurde d'avoir recours au vent pour alimenter une pompe.

Si bien que, aujourd'hui, la question posée – celle que nous traitons principalement dans ce rapport – est : peut-on utiliser l'éolien pour produire de l'électricité ? La réponse, comme nous le verrons, est très difficilement positive : il est difficile de le rendre compétitif par rapport aux autres sources d'énergie.

Nous pensons que c'est une mauvaise façon de poser la question : l'éolien n'a pas vocation à produire de l'électricité ; il a vocation à assurer des travaux mécaniques, par exemple le pompage, qui peuvent être intermittents : il ne faut pas vouloir un fonctionnement à chaque instant. Mais, pour l'eau, on peut disposer d'un réservoir. Une fraction significative de l'humanité n'a pas d'accès à l'eau ; des dispositifs de pompage éoliens pourraient être utiles. A l'inverse, on peut vouloir pomper l'eau pour assécher un marécage, un étang, etc.

Le présent rapport respecte les mêmes règles logiques que les précédents :

- Il s'adresse à un investisseur, qui réclame une rentabilité à moyen terme ; on ne retient donc pas les technologies immatures ;
- Le marché doit être réel, et non pas issu de modes plus ou moins factices, de subventions plus ou moins éphémères, de distorsions plus ou moins accentuées.

Nous allons commencer par faire une sorte de "grille de lecture" des différentes formes d'énergie, qui aidera à mettre en évidence les qualités et les défauts de chaque forme.

II. Une grille de lecture pour les énergies

A. *Le besoin en électricité est variable dans le temps*

Le besoin en électricité est variable dans tous les pays, selon trois cycles : annuel, hebdomadaire, journalier. Les variations dépendent du pays et du climat, mais elles sont en général considérables. En France, la demande minimale peut être de 30 GW l'été aux heures creuses, et monter à 90 GW l'hiver aux heures de forte consommation. On retiendra donc un facteur de l'ordre de 3 entre le minimum de consommation et le maximum.

La raison de ces variations est évidente : il y a un besoin permanent et un besoin qui dépend de l'activité. EDF s'est efforcé de "lisser" l'activité en introduisant un tarif heures creuses, plus avantageux, mais cela ne concerne qu'une très faible part de l'activité et l'amplitude de variation reste considérable.

B. *L'électricité ne se stocke pas*

On peut évidemment "faire quelque chose" avec l'électricité que l'on ne consomme pas : la transformer en courant continu et charger des batteries, produire de l'hydrogène, etc. La solution industrielle la plus crédible est utilisée par EDF : on pompe de l'eau en aval des barrages et on la remet en amont. Mais le rendement est faible et les installations sont coûteuses.

En France, EDF apporte un soin particulier à l'anticipation des besoins : chercher à produire, à chaque instant, exactement ce dont la population a besoin, ni plus, ni moins (nous avons travaillé sur ces questions pendant plusieurs années, et nous les connaissons bien).

On peut donc retenir la règle grossière suivante : il n'existe aucune solution rationnelle, rentable, de stockage.

C. *Les conséquences*

En conséquence, seules deux formes de production d'électricité sont crédibles :

- Celles qui produisent de manière permanente (et qu'on pourra utiliser pour la "base commune" de consommation) ;
- Celles que l'on peut mettre en marche à volonté, et qui seront utilisées pour répondre aux variations de demande.

Une forme de production d'électricité qui dépend de variations naturelles est donc par essence peu intéressante, car les variations naturelles n'ont pas de lien avec les besoins de la population. Ainsi par exemple le solaire donne davantage l'été, où l'on a moins besoin d'électricité.

Le nucléaire est devenu réglable, avec un court préavis. EDF détermine chaque jour, en fonction des besoins prévus, quelles seront les centrales qui seront en fonctionnement le lendemain.

Une centrale thermique est réglable, de même la production électrique à partir d'un barrage l'est, du moins tant que celui-ci contient de l'eau, ce qui est saisonnier en général.

En France continentale, l'éolien présente peu d'intérêt, parce que le régime des vents est variable et ne correspond pas aux cycles de consommation. Par exemple, en hiver, aux moments où il fait très froid, il n'y a pas de vent. Il faudra donc associer à la production éolienne une production conventionnelle, que l'on décidera de ne pas utiliser lorsqu'il y a du vent. Mais où est l'intérêt ?

On constate donc, au terme de cette lecture simplifiée, que la seule situation où l'éolien peut présenter un intérêt réel est celle des productions offshore, où les vents sont plus fréquents. Mais ce n'est pas si simple : l'éolien ne demande pas seulement qu'il y ait du vent ; il faut en outre que ce vent soit constant. Nous y reviendrons.

III. Données générales relatives à l'éolien pour la production d'électricité

Avertissement : il règne une extrême fantaisie (destinée, selon nous, à tromper le public) dans les dénominations et unités utilisées. On parle de "puissance installée", de "rendement", de "facteur de charge", en leur donnant un sens complètement différent de celui que ces mots ont habituellement. Nous avons abandonné ces termes techniques au profit d'un vocabulaire transparent.

A. Les différents types d'éolien

Il y a deux échelles de production :

- Grand éolien (ou éolien industriel), financé par les collectivités ou de grandes entreprises, raccordé au réseau électrique : ce sont des éoliennes de plus de 250 kW, qui font jusqu'à 180 mètres de hauteur ;
- Petit éolien, mis en œuvre par des individuels, relié ou non au réseau (site isolé) ; la hauteur va de 10 à 35 mètres.

Il y a deux types de localisation : l'éolien terrestre et l'éolien offshore.

Dans le cas du grand éolien, les éoliennes sont regroupées en parcs de 5 à 50 unités. En moyenne, ce sont des éoliennes d'une puissance de 2 MW. La durée de vie annoncée est de 20 ans. Elle dépend de la qualité de l'éolienne et des conditions climatiques. Différents sites annoncent une durée de vie plus longue en offshore, car il y a moins de turbulences (sources [7], [8], [10], [15]). Nous sommes par principe sceptiques quant à ces affirmations, surtout en ce qui concerne le offshore, où les conditions d'exploitation sont plus sévères.

La puissance d'une éolienne

On parle de la puissance d'un appareil, mesurée en Watts (un Joule pendant une seconde). Pour donner un ordre de grandeur très approximatif, 1 MW représente la puissance nécessaire (en moyenne) pour 1 000 personnes (plus ou moins, selon les pays, le niveau de vie, etc.). Evidemment, la consommation des ménages dépend de l'heure, de la saison ; donc, lorsque nous disons "1 MW pour 1000 personnes", il s'agit d'une moyenne annuelle.

Une éolienne de 2 MW pourrait en théorie servir à alimenter 2 000 personnes, si elle tournait tout le temps. Et lorsqu'elle ne tourne pas, elle ne sert à rien !

On rencontre donc cette difficulté, que les fabricants contournent en trichant sur le vocabulaire : lorsqu'on annonce une puissance de 2 MW pour une éolienne, c'est la puissance qu'elle peut produire lorsqu'elle fonctionne à plein régime, dans des conditions optimales. Si elle a fonctionné pendant 2 000 heures pendant l'année (soit 23 % du temps), cela donne effectivement une énergie produite de 4 000 MWh. Mais ce n'est pas du tout équivalent à un appareil qui produirait en permanence une énergie de 913 MWh.

Dans ce qui suit, la puissance indiquée pour une éolienne sera toujours la puissance maximale (ce que les fabricants appellent "puissance installée").

B. Quels sont les coûts d'investissement pour un projet éolien ?

En moyenne, il faut compter entre 1 000 et 1 300 €/kW en terrestre, entre 1 800 et 2 600 €/kW en maritime. Comme d'habitude, on a des chiffres différents selon les sources :

Coûts d'investissement	Source
1 000 à 1 200 €/kW	[3]
1 000 €/kW	[4], [15]
1 100 €/kW	[5]
Entre 1 400 et 1 600 €/kW sur terre, 2 600 €/kW en mer	[8], chiffres de 2008
1 300 €/kW	Institut Montaigne ([9])
De 1300 à 1600 €/kW, avec une diminution prévue de 2% par an	[10] Centre d'Analyse Stratégique
1 150 €/kW en terrestre et 1 850 €/kW en maritime	Commission Européenne [23]
1 350 €/kW en terrestre et 2 400 €/kW en maritime	Energy Wind European Association [23]
En 2012, 1 300 €/kW en terrestre et	MEEDDAT (Ministère de l'Eco-

2 600 €/kW en maritime ; en 2020, 1 100 €/kW en terrestre et 2 200 €/kW en maritime	logie) [23]
1 200 €/kW en terrestre	ADEME ([24] rapport Syrota)
Coût d'investissement constaté en 2007 : entre 1 300 et 1 600 €/kW	ADEME [38]
1 600 €/kW en maritime	[32] Tregouet
Entre 1 000 €/kW et 1 350 €/kW en terrestre, selon les pays	EWEA 2009 [34]
En moyenne, 1 230 €/kW en Europe pour une éolienne de 2MW	EWEA 2009 [35]
Entre 2 000 €/kW et 2 200 €/kW en maritime	EWEA 2009 [34]

Tableau 1 : les coûts d'investissement selon différentes sources

D'après certaines sources, les coûts sont amenés à diminuer ([3] : progrès techniques, échelles de fabrication). D'autres, à l'inverse, prévoient une augmentation des coûts si les programmes de développement de l'éolien se généralisent dans le monde (Coe-Rexecode [23]).

Voici quelques exemples :

Allemagne : Parc Baltic 1, 100 millions d'Euros pour 54 MW, donne 1.85 million du MW.

Norvège : 213 millions d'Euros pour 165.5 MW : 1.28 million du MW.

En France, le parc Veulette, qui ne fonctionne pas encore, a déjà coûté 270 millions d'Euros pour 105 MW, soit 2,57 millions du MW (en fait, 0 MW).

C. Comparaison avec d'autres types d'énergie

Les comparaisons sont difficiles, car on ne connaît jamais les coûts réels ; par exemple, pour le nucléaire, la recherche a été financée sur crédits d'état, au moyen de budgets distincts.

Centrales nucléaires : 3 millions d'Euros/MW (l'EPR sera plus cher). Le Financial Times évalue à 4 milliards d'Euros le coût d'installation d'une centrale nucléaire de 900 MW, soit 4,4 millions d'Euros du MW. Mais, pour le nucléaire, les coûts ne sont absolument pas proportionnels à la puissance (on ne peut pas faire de "règle de trois") et le "petit" nucléaire n'existe pas encore (voir troisième partie de ce rapport).

Centrale charbon ou gaz : 1.7 millions d'euros/MW.

On trouvera d'autres éléments de calcul dans le rapport [8], mais ils sont sujets à caution.

Répetons-le : attention à la comparaison. Une centrale nucléaire ou une centrale au gaz fonctionnent tout le temps ou presque, alors que l'éolien fonctionne au mieux un tiers du temps.

D. Répartition des coûts pour l'éolien

Les coûts d'investissement d'un projet éolien se répartissent comme suit :

- Eolienne : 76% ;
- Fondations : 7% ;
- Installation électrique : 2% ;
- Raccordement au réseau : 9% ;
- Terrain : 4% ;
- Voirie : 1%.

Ces chiffres sont issus de [15]. Ils sont confirmés par l'EWEA (European Wind Energy Association) en 2009 ([35]) : 76% pour l'achat de l'éolienne, raccordement 9%, fondations 7%.

E. Durée de mise en œuvre d'un projet éolien

Pour la France, en 2009, il faut compter de 2 à 4 ans. Ce délai se décompose en :

- Préfaisabilité : 1 à 3 mois ;
- Avant-projet : 3 à 6 mois ;
- Demande de permis : 6 à 24 mois ;
- Construction et mise en service : 6 à 12 mois.

Source : Centre d'Analyse Stratégique [10]).

F. Taxes

Aujourd'hui, les propriétaires d'éoliennes paient une taxe professionnelle aux communes ou aux communautés de communes, au département et à la région. Pour une éolienne de 1 MW, cela représente par an environ 6 000 € pour la commune (ou la communauté), 6 000 € pour le département et 1 200 € pour la région. (source : ADEME, 2007, voir [4]), soit en tout 11 200 Euros par an et par MW.

G. La maintenance

D'après [4], la maintenance relativement aisée pour les programmes terrestres ; elle se limite aux coûts d'entretien, de gardiennage et d'assurance.

Ici encore, les chiffres sont différents selon les sources, mais on peut retenir un montant compris entre 1.5 et 3% par an de l'investissement initial :

Coûts de maintenance	Source
Coûts annuels de l'ordre de 1.5% à 2% de l'investissement initial	Danish Wind Industry Association [7] et [15]
Entre 2 et 3% de l'investissement initial	rapport Institut Montaigne ([9])
De 2% à 4% de l'investissement initial par an	[10] Centre d'Analyse Stratégique
2% du montant d'investissement initial en terrestre, et 2.5% en maritime	D'après [23] (chiffres de 2009)
3% par an du coût d'investissement initial	ADEME ([38])
3% de l'investissement initial pour les éoliennes anciennes	Danish Wind Industry Association (2003)
Entre 2 et 3.5%	IEA Wind Energy Annual Report (2007)

Tableau 2 : coûts de maintenance, par an, selon les sources

H. Le démantèlement

Le démantèlement d'une éolienne comprend :

- Le démontage de l'éolienne ;
- Le démontage des équipements annexes ;
- L'arasement des fondations ;
- La remise en état du réseau local de connexion au réseau électrique.

Notons avec ironie que les projets prévoient de laisser les fondations de béton sur le site, ce qui représente des masses considérables. On pourra les faire visiter, comme on fait visiter les anciens blockhaus.

L'exploitant est responsable du démantèlement du site ([13], Sénat).

D'après [14], le coût du démantèlement est de 30 000 €/MW.

"Chacun doit savoir que pour implanter un seul mât d'éolienne, outre les divers terrassements pour la plateforme et la voie d'accès (généralement les lieux potentiels d'implantation ne sont pas desservis), qui défigurent le paysage sans utilité pour les citoyens, ce sont près de 400 m³ de béton armé qui sont nécessaires pour la base du mât.

"Ainsi, un parc moyen, soit 15 éoliennes, représente 6 000 m³ de béton. Que se passera-t-il à l'issue de l'engagement de l'Etat (15 ans), lorsque, le marché reprenant ses droits et le kWh payé à son juste prix, les opérateurs abandonneront la production, démonteront éventuellement (?) les mâts, mais laisseront dans le sol le béton...aussi inutile que nuisible à l'environnement" (Jacques BLANCARD, X 72, ancien secrétaire général de l'Observatoire de l'Energie, [41]).

I. Coûts de raccordement au réseau

Le raccordement consiste à construire des lignes HT jusqu'au réseau existant. Les coûts de raccordement sont pris en charge, en principe, par le projet éolien.

Toutefois, si la quantité d'éolien sur le réseau augmente, le gestionnaire devra renforcer le réseau. D'après [10], le réseau français existant peut accepter sans trop de coûts additionnels une capacité de 10 GW.

RTE a évalué à un milliard d'euros, d'ici à 2020, les investissements nécessaires pour accueillir sur son réseau un parc éolien terrestre d'environ 20 000 MW (objectifs du Grenelle de l'Environnement). Source : RTE [26].

Ceci est confirmé par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE [39]) :

"Dans son avis sur le projet d'arrêté fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie mécanique du vent, la CRE a rappelé que l'énergie éolienne est par nature intermittente. Pour assurer la sécurité du système et faire face à cet aléa, RTE pourrait être amené, au-delà de 10 GW de capacités de production éolienne raccordées aux réseaux, à revoir ses marges à la hausse."

D'après l'article [27], RTE a besoin d'anticiper le volume et l'implantation des projets éoliens : "La difficulté, c'est que s'il faut 2 à 3 ans pour mettre en place un champ d'éoliennes, l'adaptation du réseau pour son raccordement prend, quant à elle, 6 à 7 ans. Il nous faut donc anticiper la structure avant même que les projets de productions soient lancés."

Un travail réalisé par la SCM pour RTE en 2008 a mis en évidence une difficulté supplémentaire : certaines lignes sont nécessaires pour réaliser un maillage du réseau (c'est-à-dire pour permettre le contournement de pannes). Si ces lignes sont maintenant utilisées par un nouvel opérateur (par exemple un champ d'éoliennes), ce maillage ne fonctionne plus et de nouvelles lignes doivent être construites.

J. La disponibilité de l'éolien

La terminologie souvent utilisée est celle du "facteur de charge", qui représente la durée de fonctionnement et de production en une année. Nous parlerons plutôt de taux de disponibilité.

Selon les sources, une éolienne produit en réalité pendant 25 à 30 % du temps, à comparer à 80% pour une centrale nucléaire. Mais les causes sont différentes : une centrale nucléaire ne tourne pas en permanence parce qu'elle est de temps en temps en réparation (ce qui est généralement planifié) ; une éolienne ne tourne pas parce qu'il n'y a pas de vent. Pour une éolienne de puissance installée égale à 10 MW, la production réelle sera de 3 MWh en moyenne sur l'année.

Disponibilité des éoliennes	Source
25% à 30%	[1]
30%	[3]
En 2008, en métropole, moyenne à 23% avec variations mensuelles de 10% à 37%	[6]
De 10 à 37%, valeur moyenne de 23% en 2008	[10]
2100 heures par an, soit 24%	[9]

Tableau 3 : les disponibilités selon les sources

Les éoliennes ne fonctionnent que pour une plage donnée de la vitesse du vent : si le vent est trop faible, les pales ne peuvent pas tourner ; s'il est trop fort, on les arrête par sécurité. Pour certains modèles, on couche complètement l'éolienne au sol pendant les tempêtes, et on les redresse ensuite.

La faible disponibilité de la ressource peut, en théorie, être compensée de deux manières :

- On met des parcs dans des endroits où les régimes des vents sont différents : l'un marchera pendant que l'autre est au repos ;
- On ajoute à l'éolien un autre mode de production, qui prendra la relève pendant les périodes de calme plat.

Le problème est que les deux solutions sont aussi absurdes l'une que l'autre :

- Mettre de nombreux parcs oblige à les relier entre eux par des lignes à THT, sur des centaines ou des milliers de km, ce qui est très coûteux et très peu rentable.

Les lignes à THT se heurtent à une vive opposition de la population : voir à ce sujet la présentation faite par M. Dominique Maillard, président de RTE, lors du colloque organisé par la SCM en février 2010 (disponible sur le site web de la SCM). Qu'une ligne transporte du courant nucléaire ou du courant éolien ne fait aucune différence : les pylônes sont les mêmes.

Sur le plan technique, le transport du courant sur de très longues distances est peu rentable, du fait des pertes en ligne ; voir à ce sujet l'article [40].

- Ajouter un autre mode de production, comme une centrale à charbon ou à gaz, oblige à la construire, et, comme elle est plus rentable que l'éolien, on ne voit pas pourquoi on ne se contenterait pas de la centrale !

Retenons que, techniquement, la présence d'un parc éolien peut être un souci pour le gestionnaire du réseau. Il aura besoin de prévisions correctes du vent ([10]). D'après [29], il faut restructurer la gestion des réseaux ; des problèmes ont été rencontrés au Danemark et en Allemagne.

Il aura en outre besoin de coupler les parcs éoliens à d'autres sources d'électricité, disponibles immédiatement, pour assurer la stabilité de la distribution (« réserves d'équilibrage »). En effet, le vent n'est pas stable, et la production d'électricité a besoin d'être stabilisée. Ceci est un aspect technique différent de l'intermittence (variations instantanées).

K. Coût de production (kWh) de l'éolien, et celui des autres énergies

Un coût de production est une notion mal définie : tout dépend de ce que l'on inclut (la recherche ? le démantèlement ?) et de la durée de fonctionnement. On peut parler d'un prix de vente, avec ou sans subvention, qui est supposé apporter la rentabilité, au moins au bout d'un certain temps.

Le kWh éolien est plus cher que les autres sources d'énergie ; il va de 4 à 6 centimes d'Euro pour l'éolien terrestre, de 6 à 8 centimes pour l'éolien maritime, tandis que le nucléaire est à 1 ou 2 centimes d'Euro.

Plus précisément, les tableaux suivants indiquent les prix au kWh de plusieurs sources d'énergie (éolien, nucléaire, gaz et charbon), selon différentes sources :

Prix du kWh éolien :

Prix	Source
4.1 c€/kWh pour une turbine de 1 MW (2006) Prévisions en 2020 : 2.45 c€/kWh	EWEA (European Wind Energy Association) [1]
Entre 5.3 et 6.1c€/kWh en terrestre, selon la localisation du site Prévisions en 2015 : entre 4.3 et 5.5 c€/kWh De 6 à 8 c€/kWh en maritime	EWEA [34] (février 2009)
4.4 à 6.9 c€/kWh (2009)	[10] Centre d'Analyse Stratégique
4 c€/kWh en mer	[32]
Prévisions pour 2012 : de 7.4 à 7.9 c€/kWh en terrestre, de 11.8 à 12.5 c€/kWh en maritime	[23] Coe-Rexecode
Prévisions pour 2020 : de 6.2 à 6.6 c€/kWh en terrestre, de 9.8 à 10.4 c€/kWh en maritime	[23] Coe-Rexecode

Tableau 4 : le coût du kWh pour l'éolien selon les sources

Prix du kWh nucléaire :

Prix	Source
1.1 c€/kWh	[9] Rapport Institut Montaigne
2.84 c€/kWh	[10] Rapport Centre d'Analyse Stratégique
3 c€/kWh	[11] CEA

Tableau 5 : le coût du kWh d'origine nucléaire, selon les sources

Prix du kWh gaz :

Prix	Source
5 c€/kWh	[9] Rapport Institut Montaigne
3.5 c€/kWh	[12] CEA
En 2006, 4.5 c€/kWh	[25] wikipedia

Tableau 6 : le coût du kWh fabriqué par une centrale à gaz, selon les sources

Prix du kWh charbon :

Prix	Source
3.2 à 3.4 c€/kWh	[12] CEA

Tableau 7 : le coût du kWh fabriqué par une centrale à charbon

D'après l'EWEA ([34]), l'éolien est 33% plus cher que le gaz.

L. Puissance comparée

Voici une comparaison des échelles de puissance relatives aux différentes formes d'énergie ([1]) :

Source d'énergie	Puissance
Eolienne	Les plus utilisées : 1 à 3 MW, rassemblées dans des fermes éoliennes de 6 MW à 210 MW (en France)
Réacteur nucléaire	De 900 à 1 300 MW
Centrale thermique à flamme	De 120 à 720 MW
Centrale hydro-électrique	De quelques kW à 3 000 MW

Tableau 9 : les puissances selon la source d'énergie

En 2007, les éoliennes de puissance de l'ordre du MW représentaient 95% du marché (EWEA [34]). En 2009, la puissance moyenne d'une éolienne était de 2 MW par turbine (source : [10]).

On constate donc, grossièrement, que l'éolien donne de petites productions (pour 1 000 personnes) et le nucléaire des grosses (pour un million de personnes).

La puissance typique d'une éolienne étant 5 MW, il en faut 180 pour remplacer une centrale nucléaire, mais ces 180 ne fonctionneront qu'un tiers du temps ! Ces grandes éoliennes, de 100 m de haut, doivent être installées à 300 m les unes des autres ; il faudra donc environ 50 km de côtes pour les accueillir.

M. Acceptabilité par la population

Contrairement au solaire, qui jouit des faveurs de la population (pas de bruit, pas de nuisances, faible encombrement), l'éolien provoque des réactions très négatives, dont les quotidiens se sont fait l'écho à de nombreuses reprises. Des recours sont systématiquement déposés contre tous les projets d'implantation, ce qui les retarde évidemment.

Selon un sondage du CREDOC ([2]), "72 % de la population française est favorable à l'implantation d'éoliennes sur le territoire de sa commune". Mais des associations anti-éolien se sont créées : Fédération Environnementale Durable (FED), « Vent de Colère », la Fédération Nationale des Associations de Sauvegarde des Sites et Ensembles Monumentaux...

Les principaux arguments sont :

- Le bruit (interdiction de construire à moins de 1 500 m d'habitations). D'après différentes sources, les éoliennes récentes font moins de bruit ;
- Les atteintes aux paysages ;
- L'encombrement au sol.

On note aussi des problèmes d'interférences avec les radars (civils ou militaires), qui sont à l'origine de la moitié des refus de permis de construire de parcs éoliens en Grande-Bretagne ([30]).

Les formalités pour l'obtention des permis sont longues et complexes. Le Sénat, en octobre 2009, a durci les conditions d'installation : "Le secteur de l'éolien va devoir surmonter certains obstacles pour se développer. En 2011, les éoliennes terrestres seront soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les procédures d'autorisation vont donc devenir plus complexes" [42].

N. Situation économique du secteur

1. Les fabricants d'éoliennes

D'après les rapports [10] et [23], la France est essentiellement absente de la filière éolienne.

Vergnet est le seul constructeur français, et il représente moins de 10% des parts de marché en France.

Les pays où cette filière est la plus développée sont l'Allemagne, le Danemark et les Etats-Unis. La Chine et l'Espagne sont en très forte croissance.

Les dix plus grosses sociétés dans l'éolien ([15]) sont :

- Vestas (Danemark)
- GE Wind Energy (Etats Unis)
- Gamesa (Espagne)
- Enercon (Allemagne)
- Suzlon (Inde)
- Siemens Power Generation (Allemagne)
- Acciona (Espagne)
- Goldwind (Chine)
- Nordex (Allemagne)

Passons en revue leur situation :

Vestas

- Nombre d'employés : 20 829 en 2008
- Chiffre d'affaire : 6,035 milliards d'Euros en 2008
- Puissance installée : 26 000 MW en 2007
- Part de marché : 22.8% en 2007
- Éoliennes installées : 35 000 en 2007

D'après un article d'août 2009 ([16]), les bénéfices sont en baisse :

"Selon son dernier rapport financier trimestriel, le fabricant danois d'éoliennes a réalisé un bénéfice net de 43 millions d'euros, en baisse de 34% par rapport à la même période l'année dernière. Le groupe danois a livré 618 turbines au cours du deuxième trimestre, un chiffre en repli de 12%. Le chiffre d'affaires du groupe affiche toutefois un chiffre d'affaires en hausse de 10,7% et qui atteint 1,2 milliard d'Euros."

GE Wind Energy

- Nombre d'employés : 36 000 en 2007
- Chiffre d'affaire : >4 000 M€ en 2007
- Puissance installée : 11 300 MW en 2007
- Part de marché : 14,8% en 2007
- Éoliennes installées : 8 400 en 2007

Cette filiale de General Electric ne publie pas ses comptes séparément, mais selon un article de janvier 2010 publié dans La Tribune, les bénéfices sont en baisse de 19% au quatrième trimestre et de 38% sur l'année 2009 :

"General Electric publie des résultats en baisse mais supérieurs aux attentes. Pour le quatrième trimestre, le conglomérat américain enregistre un bénéfice de 2,938 milliards de dollars en recul de 19%. Par action, il ressort 28 cents par action alors que le marché tablait sur 26 cents. Son chiffre d'affaires s'est, lui, replié de 10% à 41,4 milliards de dollars.

Sur l'ensemble de l'année, le bénéfice net chute de 38% à 10,725 milliards de dollars et le chiffre d'affaires atteint 157 milliards de dollars en baisse de 14%. Le numéro un mondial des moteurs d'avion et des turbines génératrices d'électricité a déclaré avoir souffert de la crise économique et s'emploie à réduire les dépenses de sa filiale financière GE Capital, laquelle avait investi en masse dans l'immobilier commercial."

Gamesa

- Nombre d'employés 5 420 en 2007
- Chiffre d'affaire : inconnu
- Puissance installée : 13 000 MW en 2007
- Part de marché : 15,4% en 2007
- Éoliennes installées : nombre inconnu

Cette société se porte bien, jusqu'en 2007 :

"Le succès industriel se double d'un parcours boursier sans faute. Depuis son introduction en Bourse le 31 octobre 2004, Gamesa a pratiquement triplé sa valeur. Outre la performance réussie en 2006, avec un résultat net en hausse de 135 %, à 312 millions d'euros, les marchés salivent déjà à l'idée d'une bataille boursière, à l'image de celle qui oppose le français Areva et l'indien Sulzon sur le fabricant allemand Repower. Ainsi spéculent-ils sur un éventuel acquéreur et, pourquoi pas, l'américain General Electric."

Puis en 2008, viennent des soucis en bourse (article du Figaro [18]), et, en 2009, on voit une forte chute des bénéfices ([19], article de novembre 2009) : "Le groupe espagnol Gamesa, un des leaders mondiaux de fabrication d'éoliennes, a annoncé jeudi une baisse de 70% de son bénéfice net sur neuf mois. Ce net recul est surtout la conséquence du gonflement du résultat en 2008 par une plus value dégagée grâce à la cession de son activité photovoltaïque." (autrement dit, les bénéfices antérieurs étaient factices.)

Enercon

- Nombre d'employés : 10 000 en 2007
- Chiffre d'affaire : 2,4 milliards d'Euros en 2007
- Puissance installée : 14 000 MW en 2007
- Part de marché : 14% en 2007
- Éoliennes installées : 12 500 en 2007

Suzlon

- Nombre d'employés : 13 000 en 2008
- Chiffre d'affaire : 2.8 milliards de \$ en 2008
- Puissance installée : 7 250 MW en 2007
- Part de marché : 10,5% en 2007
- Éoliennes installées : nombre inconnu

Un article de La Tribune en février 2009 rapporte des problèmes en 2008 et 2009 :

"Pour les valeurs de l'éolien, 2009 débute comme 2008 s'était achevée. Mal. Vendredi, le premier fabricant indien de turbines éoliennes, Suzlon, a annoncé une perte nette de 589,7 millions de roupies (9,4 millions d'euros) au troisième trimestre de l'exercice 2008-2009 (qui s'achèvera le 31 mars), contre un bénéfice de 1,52 milliard un an auparavant (24 millions d'euros). Et son carnet de commandes a chuté de 39% en un an, à 103,9 milliards de roupies (1,65 milliard d'euros). Résultat, Suzlon redoute que la hausse de son chiffre d'affaires diminue de moitié, pour se cantonner dans une fourchette de 10% à 15%, au cours de l'exercice 2009-2010. À l'origine de ces contre-performances : la

crise du crédit, qui rend moins aisé le financement des projets éoliens. À quoi s'ajoute la baisse du prix du pétrole, laquelle a quelque peu atténué l'intérêt pour les énergies renouvelables."

Siemens Power Generation

- Nombre d'employés : 3 700 en 2007
- Chiffre d'affaire : 22 milliards d'Euros en 2007
- Puissance installée : 10 500 MW en 2001
- Part de marché : 7,1% en 2007
- Éoliennes installées : 6 579 en 2007

Acciona Energy

- Nombre d'employés : 1000 en 2007
- Chiffre d'affaire inconnu
- Puissance installée : 5296 MW en 2007
- Part de marché : 4,4% en 2007
- Éoliennes installées : 5000 en 2007

D'après un article de février 2010 ([21]), les opérations d'Acciona baissent en 2009 :

"Le groupe espagnol de BTP, infrastructures et énergie Acciona a publié jeudi un bénéfice net 2009 en hausse de 172% à 1,2 milliard d'euros, une hausse due à la cession de sa part de 25,01% du groupe énergétique Endesa.

Mais les opérations du groupe ont reculé en 2009, le chiffre d'affaires ayant baissé de 9,6% à 6,512 milliards d'euros, tandis que l'excédent brut d'exploitation (Ebitda) a reculé de 2,5% à 1,04 milliard d'euros.

Le recul du chiffre d'affaires s'explique en partie par la crise immobilière espagnole (baisse de 16,3% des revenus de la branche de promotion résidentielle), la crise économique qui a affecté les revenus de la branche énergétique, et par des mesures de restructuration dans la branche logistique et de services."

Goldwind

- Nombre d'employés : 1 500 en 2009
- Chiffre d'affaire inconnu
- Puissance installée : 1 500 MW en 2007
- Part de marché : 4,2% en 2007
- Éoliennes installées : 2 000 en 2007

D'après l'article [22], les bénéfices sont en hausse en 2009.

Autres :

"Le fabricant d'éoliennes AAER (AAE) se prépare activement à démarrer la production sur une base commerciale, ce qui a influé négativement sur les résultats trimestriels.

La société établie à Bromont a plus que triplé sa perte au troisième trimestre, qui est passée de 1,4M\$ ou 0,03\$ par action à 4,04M\$ ou 0,04\$ par action.

"En dévoilant ces résultats jeudi après la fermeture des marchés, AAER a expliqué la perte plus élevée par l'accroissement du personnel en préparation du démarrage de la production commerciale, l'augmentation des frais de location et d'occupation de l'usine de Bromont et des frais de marketing".

En France, le principal fabricant, Vergnet SA (<http://www.vergnet.fr/>), ne semble pas en très bon état :

VERGNET RCS Orleans B 348 134 040	SA	
Comptes sociaux	Au 31-12-2008 12 mois - EU	Au 31-12-2007 12 mois - EU
Actif		
Actif immobilisé	16.800.000	10.600.000
- Incorporel	4.900.000	2.200.000
- Corporel	4.500.000	1.500.000
- Financier	7.500.000	6.900.000
Actif circulant	22.600.000	37.100.000
- Stocks	12.500.000	5.800.000
- Créances	7.300.000	11.900.000
- Disponibilités	2.400.000	19.400.000
Cpte régul. actif	100.000	100.000
TOTAL ACTIF	39.600.000	47.900.000
Passif		
Capitaux propres	26.500.000	32.200.000
Provisions	4.100.000	3.400.000
Dettes	8.100.000	11.500.000
- Financières	1.600.000	1.100.000
- Fournisseurs	4.300.000	7.700.000
- Fiscales et sociales	1.300.000	2.100.000
- Autres dettes	900.000	600.000
Cpte régul. passif	900.000	800.000
TOTAL PASSIF	39.600.000	47.900.000
Compte de résultat		
Chiffre d'affaires	6.500.000	22.800.000
Dont export	4.400.000	16.100.000
Production	15.300.000	25.300.000
Valeur ajoutée	- 400.000	4.800.000
EBE	- 6.600.000	- 400.000
Résultat d'exploitation	- 8.000.000	- 1.800.000
RCAI	- 7.700.000	- 500.000
Résultat net	- 8.000.000	100.000
Effectif moyen	115	95

Tableau 10 : bilan de l'entreprise Vergnet

2. Les exploitants de parcs éoliens

Samfi Invest, propriétaire exploitant du parc de Saucourt, ne publie plus aucun bilan depuis 2001.

Voici les bilans de quelques petits exploitants :

Centrale Eolienne des Malandaux, Exploitant du parc des Malandaux, 34420 VILLE-NEUVE LES BEZIERS

CENTRALE EOLIENNE DES MALANDAUX
RCS Beziers B 453 426 355

Comptes sociaux	Au 30-06-2009 12 mois - EU	Au 30-06-2008 12 mois - EU
Actif		
Actif immobilisé	8.000	9.000
- Incorporel	0	0
- Corporel	8.000	9.000
- Financier	0	0
Actif circulant	457.000	621.000
- Stocks	0	0
- Créances	305.000	389.000
- Disponibilités	152.000	232.000
Cpte régul. actif	49.000	49.000
TOTAL ACTIF	514.000	679.000
Passif		
Capitaux propres	211.000	328.000
Provisions	0	0
Dettes	302.000	349.000
- Financières	129.000	156.000
- Fournisseurs	149.000	153.000
- Fiscales et sociales	24.000	40.000
- Autres dettes	0	0
Cpte régul. passif	1.000	1.000
TOTAL PASSIF	514.000	679.000
Compte de résultat		
Chiffre d'affaires	720.000	829.000
Dont export	0	0
Production	720.000	829.000
Valeur ajoutée	91.000	191.000
EBE	34.000	149.000
Résultat d'exploitation	33.000	147.000
RCAI	40.000	158.000
Résultat net	40.000	158.000
Effectif moyen	non précisé	non précisé

Tableau 11 : bilan de la Centrale Eolienne des Malandaux

Eole 48, Propriétaire exploitant du parc de Chaudeyrac, 48170 CHAUDEYRAC

EOLE
RCS Mende B 447 997 388

48

Comptes simplifiés	Au 31-12-2008 12 mois - EU
Actif	
Actif immobilisé	1.186.000
- Incorporel	5.000
- Corporel	1.181.000
- Financier	0
Actif circulant	178.000
- Stocks	0
- Créances	40.000
- Disponibilités	138.000
Cpte régul. actif	7.000
TOTAL ACTIF	1.371.000
Passif	
Capitaux propres	346.000
Provisions	9.000
Dettes	1.016.000
- Financières	839.000
- Fournisseurs	18.000
- Fiscales et sociales	0
- Autres dettes	159.000
Cpte régul. passif	0
TOTAL PASSIF	1.371.000

Compte de résultat	
Chiffre d'affaires	312.000
Dont export	0
Production	312.000
Valeur ajoutée	260.000
EBE	243.000
Résultat d'exploitation	123.000
RCAI	71.000
Résultat net	71.000
Effectif moyen	non précisé

Tableau 12 : bilan de l'entreprise Eole

Par contre, pour les plus gros, les choses paraissent moins florissantes. Voici les informations relatives au groupe Theolia (<http://www.theolia.com>), créé en 1999 :

"Le groupe THEOLIA est le premier producteur indépendant d'électricité à partir de la force éolienne à avoir été coté en bourse.

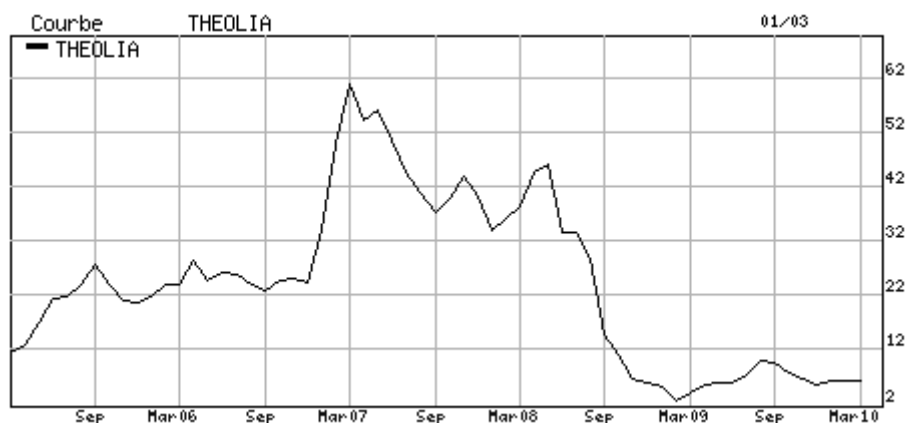
"THEOLIA, présent dans les pays développés et dans certains pays émergents, contribue ainsi à un réel développement durable."

Mais il n'est pas certain que l'existence même de Theolia soit durable :

THEOLIA
RCS Aix-en-Provence B 423 127 281

Comptes sociaux	Au 31-12-2008 12 mois - EU	Au 31-12-2007 12 mois - EU
Actif		
Actif immobilisé	399.000.000	403.000.000
- Incorporel	1.000.000	1.000.000
- Corporel	1.000.000	0
- Financier	397.000.000	402.000.000
Actif circulant	55.000.000	196.000.000
- Stocks	17.000.000	0
- Créances	19.000.000	18.000.000
- Disponibilités	19.000.000	172.000.000
Cpte régul. actif	2.000.000	6.000.000
TOTAL ACTIF	455.000.000	605.000.000
Passif		
Capitaux propres	189.000.000	350.000.000
Provisions	1.000.000	0
Dettes	264.000.000	254.000.000
- Financières	246.000.000	241.000.000
- Fournisseurs	13.000.000	8.000.000
- Fiscales et sociales	2.000.000	1.000.000
- Autres dettes	3.000.000	4.000.000
Cpte régul. passif	1.000.000	0
TOTAL PASSIF	455.000.000	605.000.000
Compte de résultat		
Chiffre d'affaires	7.000.000	6.000.000
Dont export	0	0
Production	7.000.000	6.000.000
Valeur ajoutée	- 10.000.000	- 15.000.000
EBE	- 16.000.000	- 20.000.000
Résultat d'exploitation	- 42.000.000	- 10.000.000
RCAI	- 167.000.000	- 1.000.000
Résultat net	- 163.000.000	- 1.000.000
Effectif moyen	38	non précisé

Tableau 13 : bilan de l'entreprise Theolia



Graphique 14 : Cours de l'action Theolia sur cinq ans

O. L'éolien offshore

Le vent est plus fort en mer et il souffle plus souvent. Pour la même éolienne, la production d'électricité sera plus importante en mer que sur terre. On peut donc espérer avoir une source d'énergie produisant plus souvent, ce qui est satisfaisant au sens de la grille de lecture que nous avons vue au début.

Mais le vent n'est pas plus constant : il y a des tempêtes, et une éolienne ne supporte pas les vents violents.

D'après [8], un fonctionnement annuel équivalent à 3 400 heures à plein régime (soit une disponibilité de 39%), ce qui reste très inférieur à celle d'une centrale nucléaire, mais est meilleur que l'éolien terrestre.

Il y a en apparence moins de problèmes de voisinage ([1], [15]), et on peut installer des éoliennes de plus grande taille et de plus grande puissance. Mais en réalité les plaintes contre les permis de construire visent aussi bien les éoliennes offshore : le projet de parc Veulette, en France, est toujours bloqué par des plaintes.

On rencontre d'autres problèmes : coûts élevés (fixation des fondations, mise en place du chantier et raccordement du réseau par câbles sous-marins), corrosion, maintenance.

Des études sont en cours pour contourner ces problèmes ([15] : Norsk Hydro travaille sur les fondations/éoliennes flottantes). Actuellement, les éoliennes offshore ne peuvent être installées qu'à des profondeurs inférieures à 30 mètres ([36]).

Le premier parc en mer date de 1991, au Danemark. La Mer du Nord et la Baltique sont particulièrement adaptées : eaux peu profondes, potentiel de vent important ([15]).

En 2008, les capacités installées sont de 1 GW au Danemark, Irlande, Pays-Bas, Suède et Royaume-Uni (25 parcs éoliens au total). La plupart des éoliennes sont situées à moins de 20 km des côtes, pour diminuer les coûts de raccordement, et à des profondeurs de moins de 20 mètres, pour minimiser les coûts des fondations ([34] et [36]).

Selon l'association européenne pour l'énergie éolienne (EWEA), un total de huit nouveaux parcs éoliens composé de 199 éoliennes offshore, d'une puissance cumulée de 577 MW, ont été raccordés au réseau européen en 2009.

D'après un article de décembre 2009 ([28]), la question du raccordement pose encore des problèmes de sûreté, de prévisions, de contrôle de la production électrique.

La rentabilité économique n'est pas claire :

"La Long Island Power Authority (LIPA) vient d'annoncer qu'elle renonçait à son projet de ferme éolienne offshore au large de Jones Beach Island (Etat de New York), après la publication d'un rapport évaluant les coûts d'investissement à plus de 800 millions de dollars. Après les controverses portant sur les autres sites présélectionnés, cette décision porte un coup supplémentaire à la faisabilité des projets éoliens offshore aux Etats-Unis" ([42], septembre 2007).

P. Les capacités en place dans le monde

Les capacités installées les plus importantes sont, selon l'EWEA 2009, [34] :

- Allemagne : 22.3 GW
- Etats-Unis : 16.8 GW
- Espagne : 15.1 GW
- Inde : 7.8 GW
- Chine : 5.9 GW

Capacité mondiale totale en 2007 : 90.3 GW

En 2008 : 120 GW ([35])

Prévisions 2012 : 287 GW

L'éolien représente 21% du mix énergétique au Danemark, 7% en Allemagne, et 12% en Espagne (EWEA 2009 [34]).

Q. L'éolien en France

Le territoire français présente un potentiel important : 2^{ième} "potentiel de vent" après la Grande Bretagne.

En France, au 1^{er} janvier 2009, 3 400 MW sont répartis dans plus de 350 parcs éoliens (2 000 éoliennes), selon le Syndicat des énergies renouvelables [36]. Voici l'évolution depuis 2000 :

Année	Puissance annuelle installée (MW)	Puissance cumulée (MW)	Énergie produite (GWh)
2000	40	61	70
2001	31	92	131
2002	52	144	245
2003	100	244	363
2004	146	390	577
2005	367	757	963
2006	810	1 567	2 169
2007	888	2 455	4 140
2008	949	3 404	5 653

Tableau 15 : l'éolien en France

En septembre 2009, 4 310 MW sont raccordés, répartis dans 659 installations, selon le Commissariat Général au Développement Durable ([37]). Les trois premiers trimestres de 2009 représentent une production de 4.8 TWh.

R. Projections en France

Dans son Plan Climat, la Commission de l'Union Européenne propose pour objectif 20% d'énergie renouvelable dans le mix énergétique (source [31]). Plus précisément, les objectifs du Grenelle de l'Environnement en France ([23]) sont les suivants :

		Objectif 2012	Objectif 2020
Eolien	Production en GWh	26 000	58 700
	Puissance installée en MW	11 500	25 000
Dont Terrestre	Production en GWh	23 200	42 400
	Puissance installée en MW	10 500	19 000
Dont Maritime	Production en GWh	2 800	16 300
	Puissance installée en MW	1 000	6 000

Tableau 16 : les objectifs du Grenelle de l'Environnement en France

En France, trois zones sont complémentaires en termes de régime de vent : la façade Manche-mer du Nord, le front atlantique et la zone méditerranéenne. ([10])

Les éoliennes sont regroupées en ZDE (Zones de Développement de l'Eolien). Depuis 2007, ce sont les collectivités locales qui définissent ces zones ([10]).

D'après [10], 10% à 15% des projets de fermes éoliennes pourraient être affectés par la crise à partir de 2011.

S. Prix d'achat en France

Comme pour le solaire, le gouvernement a mis en place une politique d'incitation en France : tarif d'achat de 8.2 c€/kWh pendant les 10 premières années, puis entre 2.8 et 8.2 c€/kWh pendant les 5 années suivantes ([10]).

"Chaque éolienne de 2 mégawatts garantit donc à son promoteur 360 000 euros de revenu annuel pour un temps de fonctionnement de 2 200 heures par le seul fait du prince, et le *lobby* éolien" [41].

Concernant ces prix d'achat, la Commission de Régulation de l'Énergie (Autorité administrative indépendante chargée de veiller au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz en France) a émis un avis défavorable au projet de tarif d'achat éolien proposé par le ministre chargé de l'énergie. Ce tarif, destiné à remplacer celui de 2006 annulé par le Conseil d'État et qui lui était identique, a toutefois été adopté par un arrêté du 17 novembre 2008 (CRE [39]).

De plus, selon la CRE ([39]) : "Avec une puissance installée de 25 GW en 2020, objectif envisagé dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, l'éolien se substituera de plus en plus à du nucléaire et nécessitera de recourir davantage au parc de centrales thermiques à flamme, mieux adapté aux variations de charge. Il en résultera une dégradation du bilan environnemental et une augmentation des coûts dus à l'éolien, supérieure au rapport de proportion entre le parc de 17 GW et celui de 25 GW."

Ceci est intéressant à analyser :

- En pratiquant un tarif de rachat élevé obligatoire, le gouvernement incite à la mise en place d'éoliennes, qui assurent en théorie un revenu confortable à leurs propriétaires ;
- Ceci repose sur le dogme selon lequel l'électricité éolienne serait "verte", et donc bonne pour la planète ;
- Mais les éoliennes, produisant par intermittence, doivent être épaulées par des centrales thermiques usuelles, dont le bilan environnemental est mauvais.
- Conclusion : plus on met d'éoliennes, plus le consommateur paye cher son électricité et plus le bilan environnemental est mauvais.

Une bonne illustration est celle du Danemark, leader en matière d'éolien (20 % de la production d'électricité en provient), mais qui est en même temps le pays où les rejets de CO₂ par habitant sont les plus élevés.

T. Un scénario de comparaison

Considérons un pays sans aucune source d'énergie, dont la population est d'un million d'habitants.

1. Equipement

Nous évaluons la consommation d'électricité par habitant à partir des chiffres de la France : la consommation pour l'année 2007 a été de 485 TWh, pour 64 millions d'habitants, donc les besoins du pays sont donc de 865 MW par heure.

Comparons les investissements nécessaires pour assurer une telle consommation avec l'énergie éolienne et l'énergie nucléaire.

Nucléaire

Le coût d'une centrale nucléaire de 900 MW est de l'ordre de 3 milliards d'Euros ; elle fonctionne en permanence.

Eolien

Prenons en compte la durée pendant laquelle l'éolienne produit effectivement de l'électricité. Dans le cas de l'éolien offshore, elle est de 3 400 heures à plein régime, par an.

Une éolienne de 5 MW de puissance peut donc produire en une année 17 000 MWh.

Les besoins du pays sont de 7.6 TWh . Il faut donc installer $\frac{7.6 \times 10^{12}}{17 \times 10^9} \approx 447$ éoliennes.

La puissance totale installée est donc de $447 \times 5 = 2235 \text{ MW}$, ce qui représente un coût de 4.92 milliards d'euros, supérieur au coût d'une centrale nucléaire.

Ces coûts ne prennent pas en compte les installations nécessaires pour la construction de centrales à gaz, utiles pour alimenter en énergie lorsque les éoliennes ne fonctionnent pas.

Ces raisonnements n'ont aucun sens en pratique, parce que les 447 éoliennes seront toutes à l'arrêt en même temps ; notre pays produira trois fois trop d'électricité pendant un tiers du temps et rien du tout le reste du temps !

2. Rentabilité

Nucléaire

Si la centrale coûte 3 milliards d'Euros, produit 900 MW, et si on vend l'électricité à 2 centimes d'euro le kWh, soit 20 Euros le MWh, le revenu par an, pour 900 MW est $900 \times 20 \times 24 \times 365 = 157,680$ millions d'Euros. Il faudra donc 19 ans pour rembourser le prix de la centrale (sans tenir compte du coût des emprunts, amortissements, etc.).

Eolien

Nous partons de l'exemple réel du Parc Baltic I (Allemagne). Il coûte 100 millions d'Euros, produit 54 MW pendant 3 400 heures par an, soit une énergie produite de 183 600 MWh par an. Si on vend l'électricité 5 centimes du kWh, soit 50 Euros le MWh, le revenu par an est 9,18 millions d'Euros et il faudra un peu moins de 11 ans pour rembourser le coût du parc.

On notera que les hypothèses sur le prix de vente de l'électricité ne sont pas les mêmes dans les deux cas.

U. Exemples de projets éoliens abandonnés

Nous nous sommes intéressés au nombre de projets éoliens abandonnés. Les articles ne manquent pas ; les raisons invoquées sont principalement le voisinage et la rentabilité. En voici quelques exemples :

- Au Canada, deux projets abandonnés pour cause de rentabilité : « Deux des 15 projets de parcs éoliens annoncés en grande pompe par Hydro-Québec et le premier ministre Charest en mai 2008 ne verront jamais le jour, parce que leurs promoteurs s'inquiétaient de leur rentabilité. » ([44]) ;
- Au Québec, un projet a été abandonné car il était soumis au consentement de 130 propriétaires fonciers. Un second a été stoppé, suite au refus des habitants de voir se construire des éoliennes à moins de cinq kilomètres de la mer ([45]) ;
- Aux Etats-Unis, « 9.000 MW de projets éoliens ont été annulés ou rejetés par l'Armée de l'Air, car les fermes éoliennes créent des "cônes de silence" nuisant à la réception des échos radar. » ([48]) ;
- A Concarneau, un projet abandonné à cause des populations locales ([46]). Au Mont St Michel, ce sont des associations qui ont empêché un projet de voir le jour, pour cause de « pollution visuelle » des éoliennes ([47]). En juin 2008, les populations locales bloquent un projet en Midi-Pyrénées ([51]) ;
- En novembre 2008, le tribunal de Lyon annule un arrêté autorisant la construction d'éoliennes dans l'Ain. Une des communes a porté plainte contre le promoteur pour critère esthétique, et a gagné le procès ([49]) ;
- En mai 2008, la cour d'appel de Bordeaux annule un permis de construire pour 2 éoliennes. Cause : risque d'accidents sur biens et personnes autour ([50]).

V. Les éoliennes sont-elles sources d'accidents ?

Les principaux risques liés aux éoliennes sont les suivants : effondrement de la machine, projection d'objets, impact de la foudre, accidents du travail.

D'après un rapport sur la sécurité des installations éoliennes pour le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie ([52]), seuls 4 incidents majeurs étaient recensés en 2004, en France : effondrement d'un mât à Port la Nouvelle en 2000, à Nevian dans l'Aude en 2002, cassure de deux pales puis du mât à Boulogne sur mer en 2004, et couchage d'une éolienne à Dunkerque en 2004.

Bibliographie/Sitographie

- [1] Article « Energie éolienne », http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne, site consulté en mars 2010
- [2] Communiqué de presse, Syndicat des Energies Renouvelables, juin 2009, http://fee.asso.fr/content/download/1887/7608/file/Etude_CREDOC_energie_et_climat_2009.pdf
- [3] <http://www.energieeolienne.net/>, site consulté en mars 2010
- [4] <http://www.parc-eolien.com/investir-eolien/cout-exploitation-eolienne.html#>, site consulté en mars 2010
- [5] Association pour la promotion des énergies renouvelables, <http://www.apere.org/fr/er/eolien.php>, site consulté en mars 2010
- [6] Actualité sur les énergies propres et l'écologie, <http://energie-verte.blogspot.com/2009/06/eolien-domestique-eolienne-particuliers.html>, site consulté en mars 2010
- [7] Danish Wind Industry Association, <http://www.talentfactory.dk/fr/tour/econ/index.htm>, site consulté en mars 2010
- [8] Actualité sur les énergies propres et l'écologie, <http://energie-verte.blogspot.com/2008/06/cout-energie-eolienne.html>, site consulté en mars 2010
- [9] V. Le Biez, *Eoliennes : Nouveau souffle ou vent de folie*, Institut Montaigne, juillet 2008, disponible à l'adresse : http://www.institutmontaigne.org/medias/documents/amicus_eolien-bd.pdf
- [10] J. Buba, *Le pari de l'éolien*, Centre d'Analyse Stratégique, novembre 2009, disponible à l'adresse : http://www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/09_rapport_eoliennes.pdf
- [11] CEA L'économie du nucléaire, http://nucleaire.cea.fr/fr/repere/nucleaire_economie.htm, site consulté en mars 2010
- [12] CEA L'énergie nucléaire en France, http://www.cea.fr/jeunes/themes/l_energie_nucleaire/questions_sur_le_nucleaire/l_energie_nucleaire_en_france, site consulté en mars 2010
- [13] Le site du Sénat, Régime juridique applicable aux éoliennes (Mise à jour décembre 2009), http://carrefourlocal.senat.fr/vie_locale/cas_pratiques/6/index.html, site consulté en mars 2010
- [14] Base de données sur les éoliennes et parcs éoliens, Démantèlement d'une éolienne en fin de vie, <http://www.thewindpower.net/forum/topic759.html>, site consulté en mars 2010

[15] Wiki éolienne, projet collaboratif sur le thème de l'éolien, <http://eolienne.f4jr.org/>, site consulté en mars 2010

[16] Actu-environnement, F. Roussel, *Le fabricant d'éoliennes Vestas annonce des bénéfices en baisse*, article du 19 août 2009, disponible à l'adresse : http://www.actu-environnement.com/ae/news/rapport_trimestriel_vestas_8098.php4

[17] La Tribune, *Bénéfices en fort recul pour General Electric*, article du 22 janvier 2010, disponible à l'adresse : <http://www.latribune.fr/entreprises/industrie/industrie-lourde/20100122trib000465616/benefices-en-fort-recul-pour-general-electric.html>

[18] Le Figaro, A. Pétaïn, *Le vent tourne pour Gamesa*, article du 22 octobre 2008, disponible à l'adresse : <http://www.lefigaro.fr/societes/2008/10/22/04015-20081022ARTFIG00623-le-vent-tourne-pour-gamesa-.php>

[19] AFP, *Gamesa : forte chute du bénéfice net sur neuf mois*, 12 novembre 2009, disponible à l'adresse : <http://www.romandie.com/infos/news2/091112174851.jr1i9wo7.asp>

[20] La Tribune, C. Lejoux, *Suzlon fait souffler un vent mauvais*, article du 2 février 2009, disponible à l'adresse : <http://www.latribune.fr/journal/edition-du-0202/green-business/132628/suzlon-fait-souffler-un-vent-mauvais.html>

[21] AFP, *Acciona : le bénéfice 2009 a explosé grâce à la vente d'Endesa*, 25 février 2010, disponible à l'adresse : <http://www.romandie.com/infos/news2/100225081944.5nyxgqkt.asp>

[22] China Business News, *Goldwind boosts net profits by 92 pct in 2009*, 4 mars 2010, disponible à l'adresse: <http://www.interfax.cn/news/12997>

[23] M. Didier, G. Koleda, *Evaluation socio-économique du programme de production d'électricité éolienne et photovoltaïque*, Coe-Rexecode, octobre 2009, rapport disponible à l'adresse : <http://www.coe-rexecode.fr/public/Analyses-et-previsions/Documents-de-travail/Evaluation-socio-economique-du-programme-de-production-d-electricite-eolienne-et-photovoltaïque>

[24] Rapport de la commission Energie présidée par Jean Syrota, *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*, Volume 1, Centre d'analyse stratégique, 2008, rapport disponible à l'adresse : http://www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Energie_synthese_VOLUME_1.pdf

[25] Article Energie éolienne, paragraphe Raccordement au réseau électrique, http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_%C3%A9olienne#Raccordement_au_r.C3.A9eau_.C3.A9lectrique, site consulté en mars 2010

[26] Dossier de presse, *L'énergie électrique, un enjeu au centre des préoccupations régionales – Bilan et projets en Bretagne, en 2009*, RTE (Gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité), avril 2009, disponible à l'adresse : http://www.rte-france.com/uploads/media/pdf_zip/presse/Dp_RTE_ouest.pdf

[27] S. Meric, *RTE Sud Ouest prépare son réseau à l'énergie éolienne*, article du 19 février 2010, disponible à l'adresse : <http://www.aqui.fr/tempsforts/rte-sud-ouest-prepare-son-reseau-a-l-energie-eolienne.2895.html>

[28] Energies d'aujourd'hui, *L'éolien offshore, un grand défi*, article du 27 décembre 2009, disponible à l'adresse :

<http://energiesdaujourd'hui.wordpress.com/2009/12/27/leolien-offshore-un-grand-defi/>

[29] Groupe d'information sur les éoliennes (La Roche-en-Ardenne), Dossier sur les coûts et les nuisances des éoliennes,

<http://www.leseoliennes.be/economieolien/previsioneolien.htm>,

site consulté en mars 2010

[30] Article, *Vestas expérimente des pales furtives contre les problèmes de radar*, 28 janvier 2010, disponible à l'adresse : <http://www.paperblog.fr/2759688/vestas-experimente-des-pales-furtives-contre-les-problemes-de-radar/>

[31] Rapport, *Faut-il être pour ou contre les éoliennes ?*, CNISF, disponible à l'adresse : http://www.cnisf.org/biblioth_cnisf/fiches_environment/Eoliennes.pdf

[32] R. Trégouët, *L'éolien offshore : un enjeu majeur pour la France*, janvier 2008, disponible à l'adresse : http://www.tregouet.org/edito.php3?id_article=517

[33] European Wind Energy Association, *Wind energy – The facts – An analysis of wind energy in the EU-25, Executive Summary*, 2006, rapport disponible à l'adresse :

http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/Facts_Summary.pdf

[34] European Wind Energy Association, *Wind energy – The facts*, février 2009, rapport disponible à l'adresse :

http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/1565_Ex_Sum_ENG.pdf

[35] European Wind Energy Association, *Invest in the future: wind energy, finance and economics*, février 2009, disponible à l'adresse :

http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/factsheets/EWE_A_FS_Economics.pdf

[36] Syndicat des énergies renouvelables, *L'énergie éolienne en France : chiffres clés au 1^{er} janvier 2009*, rapport mis à jour en mars 2009, disponible à l'adresse :

http://www.enr.fr/docs/2009204610_FEEKitEolien200903LDRGB02France.pdf

[37] Commissariat Général au Développement Durable, *Tableau de bord éolien - photovoltaïque, Troisième trimestre 2009*, novembre 2009, rapport disponible à l'adresse :

http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS_eolien_77_xp_cle2d3f5d.pdf

[38] ADEME, Les éoliennes, *Qu'en est-il des aspects économiques ?*,

<http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/eolienne/rub9.htm>, site consulté en mars 2010

[39] Commission de Régulation de l'Énergie, *Rapport d'activité – 1^{er} janvier au 31 décembre 2008*, rapport disponible à l'adresse :

http://www.cre.fr/fr/content/download/8604/152503/file/RapportActiviteCRE2008_2e_semestre.pdf

[40] Groupe d'information sur les éoliennes, Le transport du courant électrique, <http://www.leseoliennes.be/economieolien/transportcourant.htm>, site consulté en mars 2010

[41] Association "Vent de Colère", *Les sept erreurs de l'éolien industriel*, disponible à l'adresse : www.ventdecolere.org/archives/sept-erreurs-eolien.pdf

[42] Site du Ministère de l'Ecologie, *Grenelle 2 : les sénateurs durcissent les conditions d'installation des éoliennes*, octobre 2009, article disponible à l'adresse : <http://www.developpementdurable.com/politique/2009/10/A3142/grenelle-2-les-senateurs-durcissent-les-conditions-dinstallation-des-eoliennes.html>

[42] Enerzine, *La ferme éolienne offshore de LongIsland tombe à l'eau*, septembre 2009, article disponible à l'adresse : <http://www.enerzine.com/3/3037+La-ferme-eolienne-offshore-de-LongIsland-tombe-a-l-eau+.html>

[43] FAO, *Les contraintes des SADA des zones urbaines d'Afrique*, avril 1997, disponible à l'adresse : <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/x0269f/x0269f03.pdf>

[44] H. Baril, *Deux projets éoliens abandonnés*, 24 septembre 2009, article disponible à l'adresse : <http://lapresseaffaires.cyberpresse.ca/economie/energie-et-ressources/200909/24/01-904954-deux-projets-eoliens-abandonnes.php>

[45] H. Joncas, *Québec : les projets éoliens n'aboutissent pas*, 5 mars 2010, article disponible à l'adresse : <http://www.visiondurable.com/actualites/energie/6859-quebec-les-projets-eoliens-naboutissent-pas>

[46] Ouest France, *Un projet éolien en suspens a Concarneau*, 26 février 2010, article disponible à l'adresse : http://www.ouest-france.fr/actu/actuLocale -Un-projet-eolien-en-suspens-a-Concarneau_42314-1277455-pere-redac--29039-abd_fildMA.Htm

[47] Actu-environnement, *Les pro et les anti-éoliens de nouveau opposés*, 24 septembre 2009, article disponible à l'adresse : http://www.actu-environnement.com/ae/news/divergence_eolien_8399.php4
Fédération Environnement Durable, <http://environnementdurable.net/>, site consulté en mars 2010

[48] Article *Cône de silence : éoliennes et radars*, 6 février 2010, article disponible à l'adresse : <http://www.paperblog.fr/2792620/cone-de-silence-eoliennes-et-radars/>

[49] Enerzine, *Un projet éolien annulé sur critère esthétique*, novembre 2008, article disponible à l'adresse : <http://www.enerzine.com/3/6399+un-projet-eolien-annule-sur-critere-esthetique+.html>

[50] Journal de l'Environnement, *Eolien: annulation d'un permis de construire en raison de risques d'accident*, juin 2008, article disponible à l'adresse : <http://www.journaldelenvironnement.net/fr/document/detail.asp?id=20268&idThema=6>

Naturavox, *Montferrand empêche la construction d'éoliennes*, juillet 2008, article disponible à l'adresse :

<http://www.naturavox.fr/energies/Montferrand-empêche-la-construction-d-eoliennes>

[51] La Dépêche.fr, *Cap'Découverte : le projet d'éoliennes abandonné*, juin 2008, article disponible à l'adresse :

<http://www.ladepeche.fr/article/2008/06/02/457266-Cap-Decouverte-le-projet-d-eoliennes-abandonne.html>

[52] Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, *Rapport sur la sécurité des installations éoliennes*, juillet 2004, rapport disponible à l'adresse :

<http://www.limousin.drire.gouv.fr/energie/eolien/cgm-rapport-eolien.pdf>

Table des matières

Résumé Opérationnel et recommandations	2
I. Introduction	3
II. Une grille de lecture pour les énergies	4
A. Le besoin en électricité est variable dans le temps.....	4
B. L'électricité ne se stocke pas.....	4
C. Les conséquences	4
III. Données générales relatives à l'éolien pour la production d'électricité	5
A. Les différents types d'éolien	5
B. Quels sont les coûts d'investissement pour un projet éolien ?.....	6
C. Comparaison avec d'autres types d'énergie	7
D. Répartition des coûts pour l'éolien	8
E. Durée de mise en œuvre d'un projet éolien	8
F. Taxes.....	8
G. La maintenance	8
H. Le démantèlement	9
I. Coûts de raccordement au réseau.....	10
J. La disponibilité de l'éolien	10
K. Coût de production (kWh) de l'éolien, et celui des autres énergies	12
L. Puissance comparée	13
M. Acceptabilité par la population	14
N. Situation économique du secteur	14
1. Les fabricants d'éoliennes.....	14
2. Les exploitants de parcs éoliens	18
O. L'éolien offshore	21
P. Les capacités en place dans le monde.....	22
Q. L'éolien en France.....	22
R. Projections en France	23
S. Prix d'achat en France	23
T. Un scénario de comparaison	24
1. Equipement.....	24
2. Rentabilité.....	25
U. Exemples de projets éoliens abandonnés	26
V. Les éoliennes sont-elles sources d'accidents ?.....	26
Bibliographie/Sitographie.....	27