



éoliennes & aspects économiques

- Le coût d'un projet éolien
- La rentabilité d'un projet éolien
- L'intérêt économique de l'éolien
- Qui sont les investisseurs ?



Photo: V. PETTUEAN



Nous sommes en droit d'attendre d'une nouvelle technologie énergétique comme l'éolien qu'elle devienne banale et transparente dans notre vie quotidienne et qu'elle s'intègre parfaitement dans la vie économique et sociale en dégageant sa part de richesses.

La filière éolienne a largement démontré sa maturité et sa fiabilité technique. Comme elle est appelée à jouer un rôle toujours plus important sur le marché de la production d'électricité (voir fiche éolien et contexte énergétique), la question du coût et de la rentabilité de l'énergie éolienne devient capitale.

Deux écueils majeurs doivent en effet être évités :

Le premier consisterait à nier l'intérêt économique présent et futur de l'énergie éolienne en raison du surcoût qu'elle présenterait en regard des filières conventionnelles de production d'électricité.

Le deuxième écueil consisterait à sous-estimer les progrès économiques que doit encore faire l'énergie éolienne pour assurer son développement à grande échelle. Cela reviendrait à passer sous silence la nécessité de consentir, pour quelques années encore, des conditions réglementaires et tarifaires permettant un développement sans heurt d'une filière énergétique en émergence.

Prospectives économiques & éoliennes



LE COÛT D'UN PROJET ÉOLIEN

Le coût global du kWh éolien fourni au réseau par un parc d'aérogénérateurs prend en compte les dépenses d'investissement initial et les dépenses annuelles actualisées d'exploitation et d'entretien-maintenance. L'actualisation des dépenses fait référence au fait que tous les coûts d'un projet sont pris en compte sur la durée d'observation fixée et ce, en actualisant à l'instant présent les dépenses et la valeur de l'énergie produite dans le futur.

de la taille et des caractéristiques du projet. C'est notamment le cas pour les infrastructures (éloignement des routes et du réseau électrique, type de terrain pour les fondations et les accès).

Rapporté à la puissance installée, le ratio de coût unitaire d'investissement est actuellement de l'ordre de 1 000 Euros par kW installé. En raison des progrès

technologiques et de l'effet d'échelle liée à l'augmentation de la capacité industrielle, ce coût a régulièrement diminué au cours des dernières années.

Bien logiquement, un producteur d'énergie éolienne, comme tout producteur, attend de disposer d'un prix de vente qui permettra de créer un bénéfice qui assurera une certaine rentabilité des capitaux investis.

> Répartition des coûts d'un projet éolien

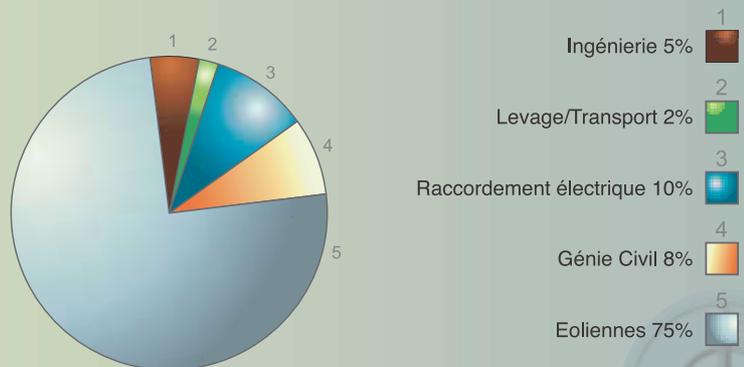
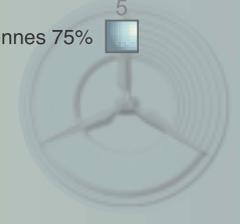


Figure 1 - Source : ADEME

L'investissement initial comprend (figure 1) :

- les coûts d'études et de gestion du projet
- le coût d'achat des aérogénérateurs
- les coûts d'infrastructure et d'aménagement du site (fondations, accès, ligne d'évacuation de l'électricité produite, équipements techniques d'interface avec le réseau)
- les coûts d'installation, de branchement et de mise en route.

L'achat des éoliennes représente entre 65 et 80 % du coût d'investissement. Les autres coûts sont fortement dépendants



LA RENTABILITÉ D'UN PROJET ÉOLIEN

La rentabilité d'un investissement dans un projet éolien dépend donc de deux principales variables : le prix de revient et le prix de vente du kWh.

Le prix de revient du kWh

Le prix de revient du kWh dépend à la fois du coût du kW installé et de la quantité d'électricité produite sur le site.

La production annuelle d'électricité varie en fonction du gisement éolien (la vitesse moyenne du vent sur un site donné). En effet, contrairement à une centrale de production énergétique conventionnelle, la production électrique d'un parc éolien fluctue entre 0 et la puissance nominale du parc.

A titre d'exemple, un parc éolien d'une puissance nominale de 2 200 kW sur un

Le prix de vente du kWh

L'électricité produite par les éoliennes est injectée sur le réseau électrique et achetée par EDF ou un distributeur non nationalisé. Comme pour toute activité industrielle ou commerciale, publique ou privée, l'investissement doit dégager un bénéfice, sans lequel il ne présente aucun intérêt. Dans le cas de l'éolien, le prix de vente du kWh doit alors être supérieur au prix de revient.

Pour répondre à ses engagements internationaux (Kyoto, directive européenne électricité renouvelable), le gouvernement devait, à l'image de nos voisins européens, encourager l'investissement dans les projets éoliens, en offrant une rentabilité attractive mais encadrée pour les investisseurs.

Après une large concertation animée par le Secrétariat d'Etat à l'Industrie et impliquant notamment l'ADEME, EDF et

> Evaluation du coût global actualisé du kWh éolien (en centimes d'euros)

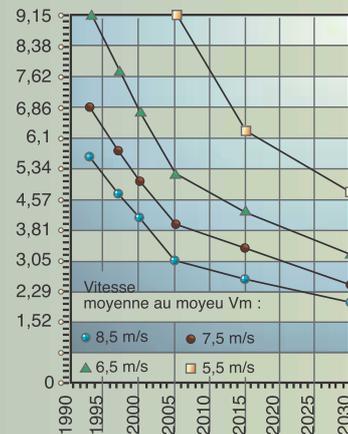


Figure 2 - Source : ADEME

site de bonne qualité où le vent souffle en moyenne sur l'année à 8 m/s aura une production annuelle de l'ordre de 6 000 000 kWh. Cette électricité

serait théoriquement produite par une centrale de production conventionnelle d'une puissance de 685 kW fonctionnant 24 heures sur 24 toute l'année. En conséquence, plus la vitesse moyenne du vent sur un site est importante et plus le prix de production du kWh éolien diminue.

En tenant compte de la diminution régulière constatée du coût du kW installé et en intégrant les progrès techniques des éoliennes, on constate que le prix de revient du kWh éolien va considérablement diminuer dans les années à venir (figure 2).

Si en 1997, un parc éolien disposant d'une vitesse moyenne de vent de 7,5 m/s produisait un kWh à 6,10 centimes d'euros, un parc équivalent produira en 2005 un kWh sous la barre des 4,6 centimes d'euros (coût de production).

les producteurs éoliens, les pouvoirs publics français ont publié un arrêté tarifaire pour l'énergie éolienne (Journal Officiel du 22 juin 2001) en application de la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation du service public de l'électricité. Le système tarifaire aujourd'hui en application (pour les 1 500 premiers MW installés) s'appuie sur différents critères tels que le coût du kW installé, le prix de revient du kWh, le coût d'accès à l'argent (emprunt bancaire) ou encore les coûts annuels de maintenance. Il intègre également la baisse du kWh éolien estimée à 3,3 % par an. Pour tenir compte de la qualité du potentiel éolien, une modulation du tarif a été introduite. Plus le site est venté et plus le prix de vente diminue. Ce système permettra ainsi à l'avenir de développer les projets dans la grande majorité des régions françaises.

serait théoriquement produite par une centrale de production conventionnelle d'une puissance de 685 kW fonctionnant 24 heures sur 24 toute l'année.

En conséquence, plus la vitesse moyenne du vent sur un site est importante et plus le prix de production du kWh éolien diminue.

En tenant compte de la diminution régulière constatée du coût du kW installé et en intégrant les progrès techniques des éoliennes, on constate que le prix de revient du kWh éolien va considérablement diminuer dans les années à venir (figure 2).

Si en 1997, un parc éolien disposant d'une vitesse moyenne de vent de 7,5 m/s produisait un kWh à 6,10 centimes d'euros, un parc équivalent produira en 2005 un kWh sous la barre des 4,6 centimes d'euros (coût de production).

La répartition territoriale des éoliennes s'en trouvera améliorée. Cette modulation du tarif permet également d'éviter les rentes indues.

Le gouvernement choisit de soutenir le développement de la filière éolienne comme cela a été le cas dans le passé pour les autres filières énergétiques et notamment pour l'industrie électro-nucléaire.

A ce titre, la comparaison des coûts de production déclarés des différentes sources énergétiques pourrait laisser croire que l'énergie éolienne n'est pas rentable. Le comparatif est en effet sans appel : 2,7 centimes d'euros pour le kWh nucléaire, 3,5 centimes d'euros pour le kWh gaz (centrales à cycle combiné) contre environ 5,6 centimes d'euros pour le kWh éolien en moyenne.

Pour que cette comparaison ait un sens, il faut tenir compte des éléments qui confèrent à l'énergie produite sa valeur. On peut citer :

- **la capacité de garantir la puissance à tout moment**

Ce premier élément constitue plutôt un point négatif pour l'énergie éolienne du fait de son caractère intermittent. Une répartition nationale du parc éolien sur le territoire pourrait permettre à tout moment de disposer, du fait de la diversité des régimes de vent, du quart de la puissance éolienne totale installée.

- **Les coûts indirects sur l'environnement**

Les éoliennes ne produisent aucun déchet et n'émettent aucun gaz polluant. Les coûts indirects sont pratiquement nuls. Pour les énergies fossiles et nucléaires en revanche, le coût indirect est bien réel (marées noires, accidents nucléaires, démantèlement des centrales...).

En matière de pollution de l'air, l'évaluation des coûts indirects reste un exercice hautement hasardeux tant les effets induits actuels et surtout leur évolution dans le temps échappent à toute mesure et à tout contrôle.

S'agissant du nucléaire, l'externalité est rarement intégrée, sauf dans quelques études européennes, alors que les coûts indirects induits sont très importants (gestion des déchets, coût du démantèlement).

- **La valeur de la production décentralisée**

L'électricité nucléaire nécessite de coûteuses infrastructures de transport (lignes haute tension). En ce qui concerne l'éolien, le développement de cette énergie ne nécessite généralement pas de coûts d'infrastructures importants sauf dans des cas particuliers (faiblesse du réseau, importance et densité des projets sur un territoire limité).



Photo O. SEMART

L'analyse des données économiques passées et actuelles montre la nécessité de concéder jusqu'à la fin de cette décennie des bonifications de tarif de vente du kWh éolien, en allant au-delà des stricts coûts évités des filières conventionnelles de production d'électricité, a priori les plus rentables. La prise en compte correcte des coûts indirects dans les tarifs de vente permettra de prendre le relais de ces bonifications. L'éolien deviendra alors l'une des énergies les plus rentables.

L'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE DE L'ÉOLIEN

- **Un excellent bilan énergétique**

Dans des conditions climatiques normales, une éolienne produit en trois mois l'équivalent de l'énergie qui a été consommée pour sa fabrication, son installation, sa maintenance et son démantèlement.

L'analyse permettant d'aboutir à ce résultat tient compte du contenu énergétique de tous les composants d'une éolienne, ainsi que du contenu énergétique global de l'ensemble des maillons de la chaîne de production.

- **La création d'emplois**

La question de la création d'emplois associés au développement de la filière éolienne suscite de nombreux points de vue contradictoires ou difficilement interprétables. Pour clarifier le débat, l'association des industriels éoliens danois a réalisé une étude visant à estimer le nombre d'emplois créés par leur secteur d'activité. L'étude prend en compte les emplois directs (liés à la fabrication des éoliennes aux Danemark) et indirects (emplois créés dans les entreprises étrangères qui

exportent des composants au Danemark, emplois liés à l'installation des éoliennes et à leur maintenance). L'étude montre que la filière éolienne danoise a permis de créer 15 000 emplois, directs et indirects (dont 5 000 à l'extérieur du pays). La filière éolienne représente le quatrième poste de commerce extérieur et est plus importante que la filière pêche. En Allemagne, les 6 000 MW éoliens installés entre 1990 et 2000 ont permis de créer 30 000 emplois directs et indirects.



Photo O. SEBART



Photo O. SEBART



Photo O. SEBART



Photo Y. PETITJEAN

Ces résultats concernent des pays leaders dans ce domaine industriel.

En France, le retard industriel ne permettra pas à court terme de créer autant d'emplois.

L'installation de 10 000 MW d'ici 2010 permettra d'en créer plusieurs milliers (directs et indirects). Ces emplois profiteront notamment à l'économie régionale, aux petites et moyennes entreprises.

Ils concernent principalement :

- la fabrication d'éoliennes et de composants spécifiques (mâts, pales, génératrices...)
- l'installation des éoliennes : études, génie civil, connexion au réseau
- l'exploitation et l'entretien - maintenance
- la recherche et développement (R&D)

La filière éolienne française a déjà permis de créer plusieurs centaines d'emplois. Le développement de la filière incitera les fabricants étrangers à construire des usines en France.

Des intérêts financiers pour l'économie locale

Les producteurs éoliens doivent s'acquitter de la taxe professionnelle. Dans la mesure où un parc éolien nécessite un investissement initial conséquent et un fonctionnement peu coûteux, la base d'imposition est élevée et offre des revenus intéressants pour les collectivités locales. L'approche intercommunale du développement éolien permet d'assurer une répartition plus juste de la richesse ainsi créée.

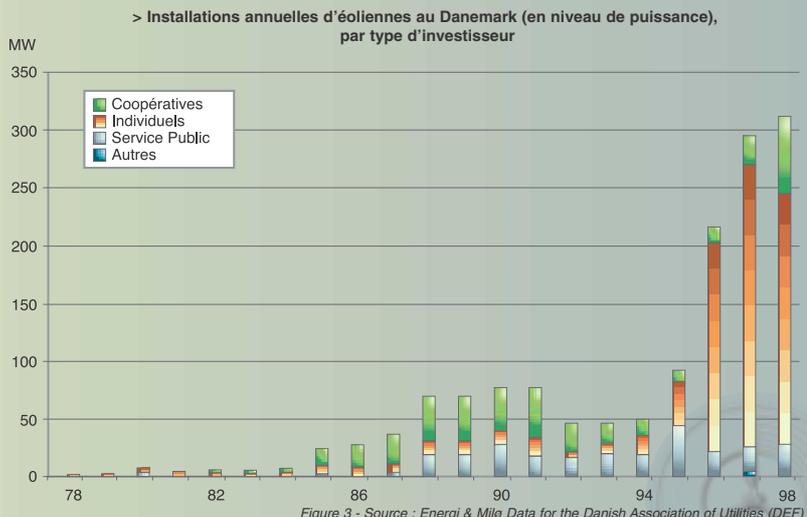
QUI SONT LES INVESTISSEURS ?

Chez certains de nos voisins européens, c'est le cas en Allemagne ou au Danemark, l'investissement est à la fois porté par de grands groupes industriels mais également, et c'est tout à fait remarquable, par des particuliers et des agriculteurs. Cette participation financière locale a notamment permis une bonne appropriation des projets et a indéniablement constitué un gage de succès et de développement pour la filière. Au Danemark, ce sont près de 100 000 familles qui possèdent des parts dans l'énergie éolienne.

L'énergie éolienne peut également constituer une nouvelle voie de diversification de l'activité agricole. Au Danemark, en 1998,

les agriculteurs et les particuliers ont implanté, individuellement ou en se regroupant au sein de structures

coopératives (mutualisation des coûts communs, économies d'échelle), plus de 250 MW de puissance éolienne (figure 3).



L'implication financière des agriculteurs dans l'éolien leur permet de gérer une ressource naturelle jusqu'alors inexploitée et de dégager ainsi des revenus complémentaires attractifs, non limités à la simple location du terrain. Il est également important de souligner que la production d'électricité par les éoliennes est parfaitement compatible avec l'activité agricole.



Photo V. PETTIEAN

financière locale. L'investissement est pour le moment assuré par les industriels du secteur de l'énergie.

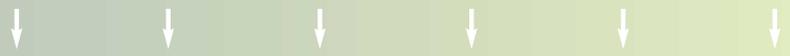
La rentabilité de l'éolien actuellement assurée par les nouveaux tarifs invite à encourager la participation financière locale. Au delà de l'intérêt économique, la démarche est créatrice de liens et constitue un geste éco-citoyen.

Le financement local des projets répond également au souhait constaté des populations locales de s'impliquer plus directement dans le développement de leur territoire.

En France, à quelques rares exceptions près, la plupart des projets en cours ne fait pas encore appel à cette implication

Ces deux approches sont complémentaires et peuvent éventuellement être associées (participation locale au capital d'un projet porté par un investisseur extérieur au territoire).

CONCLUSION



Les mérites environnementaux de l'énergie éolienne, son caractère décentralisé, générateur d'économies pour la collectivité sont maintenant reconnus au travers d'une tarification électrique attractive (tarifs d'achat du kWh produit) dans les limites prévues par la loi électrique.

La compétitivité de l'éolien connaît des progrès continus qui se traduiront par des perspectives d'application dans la plupart des régions françaises et à des échelles de puissance allant de quelques centaines de kW à plusieurs dizaines de MW (obligation d'achat du kWh limitée à 12 MW par projet), le domaine de l'offshore étant pris en compte (potentiel très important sur les côtes françaises).

CONTACTS & RÉFÉRENCES

• ADEME
Centre de Sophia-Antipolis
500, route des Lucioles
06560 Valbonne
Tél : 04 93 95 79 00
Web : www.ademe.fr

RÉFÉRENCE ET SITES WEB :
• "Guide de l'énergie éolienne. Les aérogénérateurs au service du développement durable" - sous la direction de Y.B. Civel, 1998, collection Etudes et filières.

- www.windpower.dk
- www.eole.org

• CLER
2 B, rue Jules Ferry
93100 Montreuil
Tél : 01 55 86 80 00
Mail : infos@cler.org
Web : www.cler.org

