

- [ACCUEIL](#)
- [À LA UNE](#)
- [L'ÉOLIEN](#)
- [FORUM](#)
- [LIENS](#)

L'énergie éolienne

1. [Introduction](#)
2. [Présentation des éoliennes](#)
 1. [Histoire des éoliennes](#)
 2. [Principe de l'aérogénérateur](#)
 3. [Les composantes de l'aérogénérateur](#)
 4. [Les différents aérogénérateurs](#)
3. [La production d'électricité](#)
 1. [La puissance nominale](#)
 2. [L'énergie annuelle réellement délivrée](#)
4. [Hypothèse de production éolienne](#)
 1. [Puissance délivrée](#)
 2. [Les sites exploitables en France](#)
 3. [Hypothèse d'équipement éolien](#)
 4. [Puissance électrique productible](#)
5. [Le débat environnemental](#)
 1. [La dégradation du paysage](#)
 2. [Les nuisances sonores](#)
 3. [Les problèmes ornithologiques](#)
 4. [Les groupes d'opposition](#)
6. [Une solution : l'éolien offshore](#)
 1. [Présentation](#)
 2. [Des problèmes politiques](#)
7. [Une autre solution : le petit éolien](#)
 1. [Présentation](#)
 2. [Etude de cas : éolienne d'une entreprise](#)
 1. [Estimation de consommation](#)
 2. [Etude du vent](#)
 3. [Présentation de l'installation](#)
 4. [Schéma de principe](#)
8. [Conclusion](#)
9. [Source - Bibliographie](#)

Remarque : les mots en rouge possèdent une info-bulle. Laissez votre souris au-dessus du mot pour avoir une définition.

I. Introduction

Quel avenir pour l'énergie éolienne ?

Problématique : quelle proportion de l'énergie électrique consommée en France peut-on espérer produire grâce à l'énergie éolienne ?

Pour répondre à la problématique, nous allons évaluer la **proportion maximale d'énergie électrique** qui pourrait être produite par des éoliennes sur le **territoire français exploitable**.

Pour cela nous allons d'abord **présenter les éoliennes**, puis expliquer les facteurs qui déterminent la **puissance d'un aérogénérateur**. Nous évaluerons la **surface exploitable en France**, à partir de laquelle nous pourrions calculer la **proportion d'énergie productible**. Nous parlerons ensuite des **opposants aux éoliennes** et présenterons **les solutions du offshore et du petit éolien**. Finalement, nous apporterons une réponse à notre problématique.

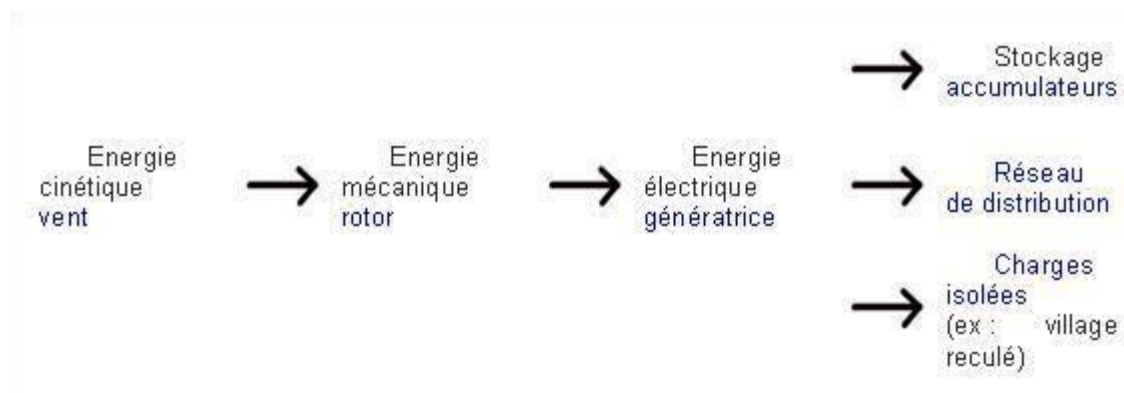
II. Présentation des éoliennes

1. Histoire des éoliennes

Ce sont les **pêcheurs** qui furent les premiers à utiliser **l'énergie de vent** afin de déplacer leurs embarcations sur les mers. Au Vème siècle Av JC, **les Perses** se servaient des éoliennes pour **irriguer leurs champs** (roues à aube). Il faut attendre le **VIIème siècle** pour voir apparaître des **moulins à vent** pour moudre le blé. La **production d'électricité** à partir d'éoliennes est apparue dans le **milieu des années 1970** suite au premier **choc pétrolier**. Ce type d'éolienne est appelé **aérogénérateur**.

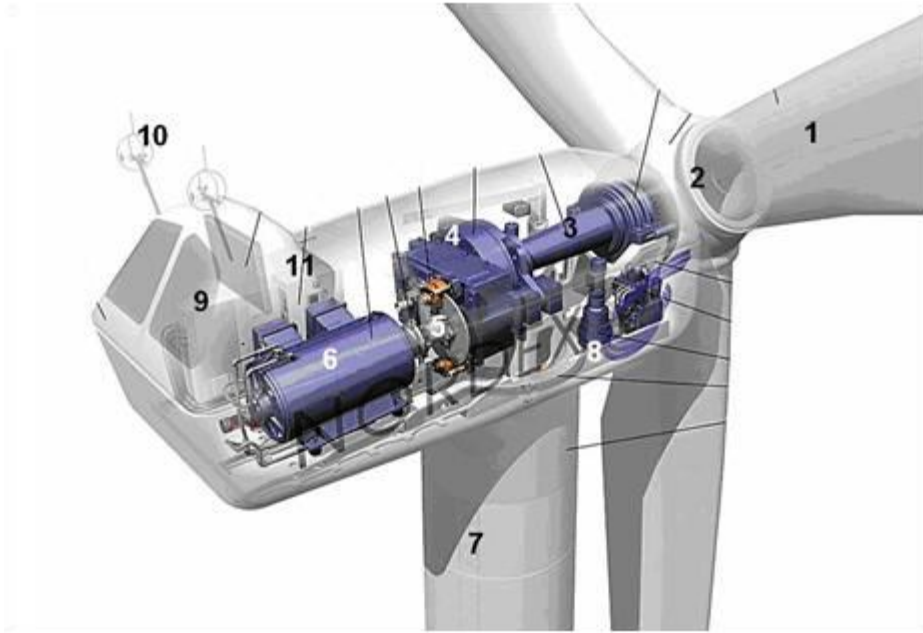
2. Principe de l'aérogénérateur

L'**aérogénérateur** utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner **l'arbre de son rotor** : cette énergie cinétique est **convertie en énergie mécanique** qui est elle-même **transformée en énergie électrique** par une **génératrice électromagnétique** solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le **réseau de distribution**, stockée dans des **accumulateurs** ou être utilisée par des **charges isolées**.



Principe de l'aérogénérateur

3. Les composantes de l'aérogénérateur



Les composantes de l'aérogénérateur

1. **Les pales** : ce sont les **capteurs de l'énergie cinétique** qui **transmettent l'énergie au rotor**. Elles sont en fibres de verre et matériaux composites. Leur profil est le fruit d'**études aérodynamiques complexes**.
2. **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'**orienter les pales** pour réguler la vitesse de rotation.
3. **L'arbre primaire** (ou arbre lent) : il **relie** les pales au multiplicateur.
4. **Le multiplicateur** : il permet de **réduire le couple** et d'**augmenter la vitesse**. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
5. **L'arbre secondaire** : il **amène l'énergie mécanique** à la génératrice. Il est **équipé d'un frein à disque mécanique** qui **limite la vitesse de l'arbre** en cas de vents violents.
6. **Le générateur électrique** : il assure la **production électrique**. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une **dynamo** (produit du courant continu) ou un **alternateur** (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
7. **Le mât** : c'est un **tube en acier, pilier de toute l'infrastructure**. Sa **hauteur** est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
8. **Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une **couronne dentée équipée d'un moteur** qui permet d'**orienter** l'éolienne et de la **verrouiller dans l'axe du vent** grâce à un frein.
9. **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et **destiné au multiplicateur et à la génératrice**.
10. **Les outils de mesure du vent** : girouette pour la **direction** et anémomètres pour la **vitesse**. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
11. **Le système de contrôle électronique** : il **gère** le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
12. Au pied du mât se trouve un **transformateur**.

4. Les différents aérogénérateurs

Axe vertical : tout le dispositif de conversion de l'énergie est **au pied de l'éolienne** ce qui **facilite les opérations de maintenance**. Il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'orientation du rotor.

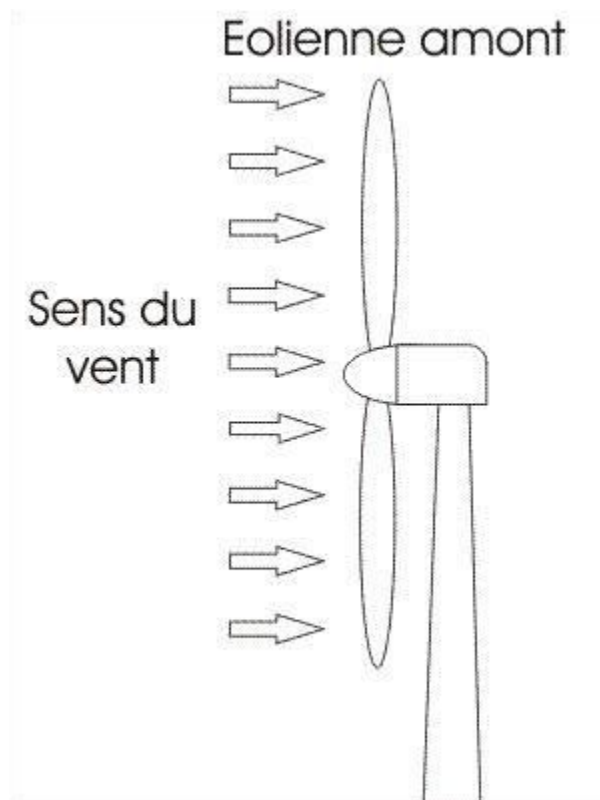


Eoliennes à axe vertical : rotor de Darrieus (gauche) et rotor de Savonius (droite)

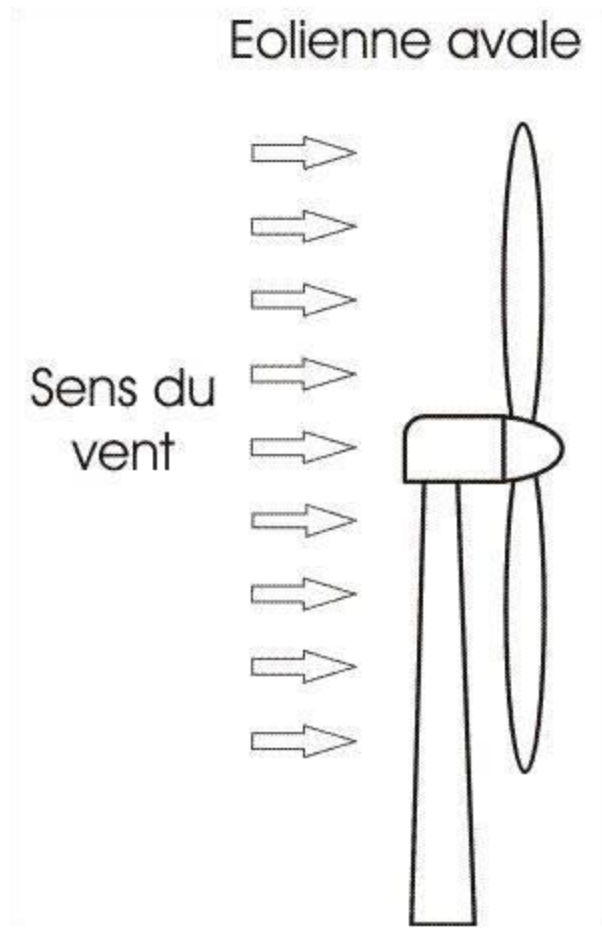
Cependant **les vents sont faibles à proximité du sol** donc **les rendements sont moins bons**. Aussi, le rotor de Darrieus doit être **entraîné au démarrage** et le mât subit de **fortes contraintes mécaniques**. Ainsi, de nos jours, les constructeurs privilégient les éoliennes à axe horizontal.

Axe horizontal : elles sont basées sur le **principe des moulins à vent**. Elles comportent généralement **3 pales** pour des questions de performance et de contraintes sur la machine. Il existe deux catégories :

- **éolienne amont ou hélice au vent** : le vent souffle **sur le devant des pales** en direction de la nacelle. Les pales sont rigides et le rotor est orienté selon la direction du vent.



- **éolienne avale ou hélice sous le vent** : le vent souffle **sur l'arrière des pales** en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto orientable.



III. La production d'électricité

1. La puissance nominale

La **puissance récupérable** par un aérogénérateur est fonction du **carré du diamètre des pales** et du **cube de la vitesse du vent**. La **puissance nominale** d'une éolienne est calculée dans des **conditions optimales de fonctionnement**, c'est-à-dire pour un vent d'une vitesse de 12m/s. La puissance est exprimée en Watts.

On a donc la formule suivante :

$$P_{\text{nominale}} = 1/8 \times \rho \times \pi \times C_p \times d^2 \times v^3$$

Avec : **rho** : masse volumique de l'air (= 1.225kg/m³ à 15°C et 1013 bar)

Cp : coefficient de performance, sans unité (0 inférieur à Cp inférieur à 1). Un coefficient de performance correct se situe entre 0.3 et 0.5.

d : diamètre du rotor (en m)

v : vitesse du vent (en m/s)

Exemple : pour une éolienne de 70 mètres de diamètre, la puissance nominale sera :
 $1/8 \times 1.225 \times \pi \times 0.4 \times 70^2 \times 12^3 = 1\,629\,250\text{W}$ soit environ 1500kW.

2. L'énergie annuelle réellement délivrée

On peut penser que pour connaître l'énergie produite en un an par une éolienne, il faut multiplier sa puissance nominale par 8760 (365x24 : nombre d'heures en une année). Or une éolienne a une

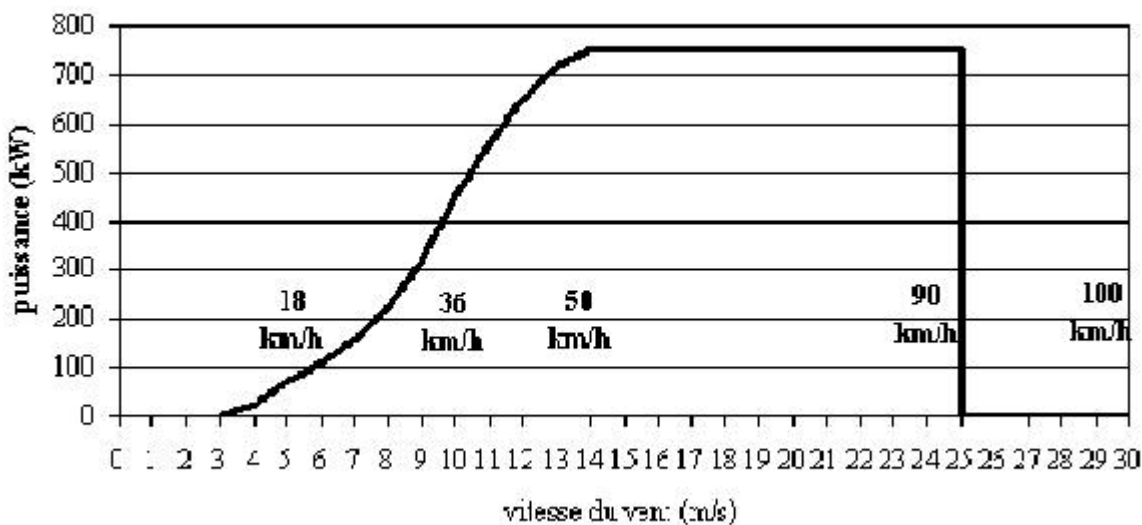
production variable au cours du temps. Sur un site suffisamment venté, la **production annuelle d'une éolienne** est d'environ **30% l'énergie maximale qu'elle pourrait produire**. En France, comme en Allemagne, on utilise la notion d'**heures pleines puissances (HPP)** qui est égale à $30\% \times 8760$ soit **2600heures**. L'énergie est exprimée en Wh.

Exemple : pour la même éolienne, l'énergie délivrée en un an est de 2600×1500 soit environ $4\,000\,000\,000\text{kWh}$ ($4 \times 10^9\text{kWh}$).

IV. Hypothèse de production éolienne

1. Puissance délivrée

La puissance délivrée par une éolienne en fonction de la vitesse du vent a l'allure suivante :



Courbe de la puissance délivrée par une éolienne en fonction de la vitesse du vent

L'énergie fournie par une éolienne est fortement **variable au cours du temps**. En effet, une éolienne ne délivre sa **puissance nominale** que dans une fourchette de vitesses du vent **très restreinte**.

Pour une vitesse du vent de **3 à 7 m.s-1**, les pales **démarrent leur rotation** : on dit que c'est la **vitesse d'accrochage**.

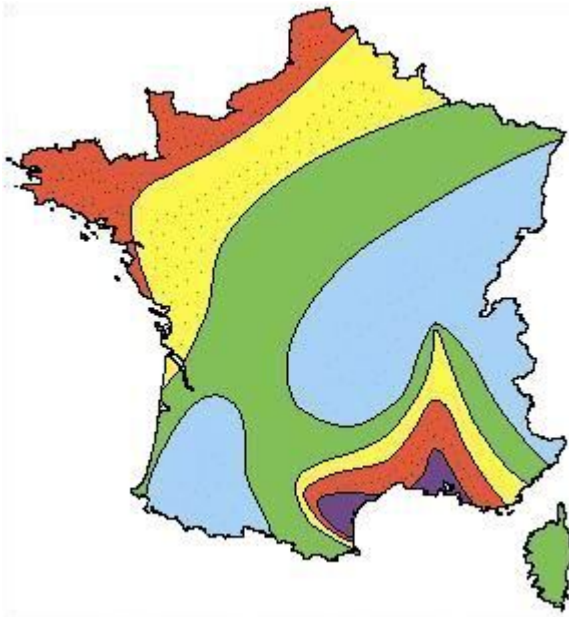
De **7 à 12 m.s-1**, la puissance délivrée **augmente rapidement**.

Entre **12 et 25 m.s-1**, la vitesse de rotation des pales est **freinée** (par inclinaison des pales au niveau du moyeu) afin d'éviter à la machine de trop fortes contraintes mécaniques : **l'énergie délivrée est alors maximale**.

Au-delà de 25m.s-1, l'éolienne est arrêtée. C'est la **vitesse de décrochage**.

2. Les sites exploitables en France

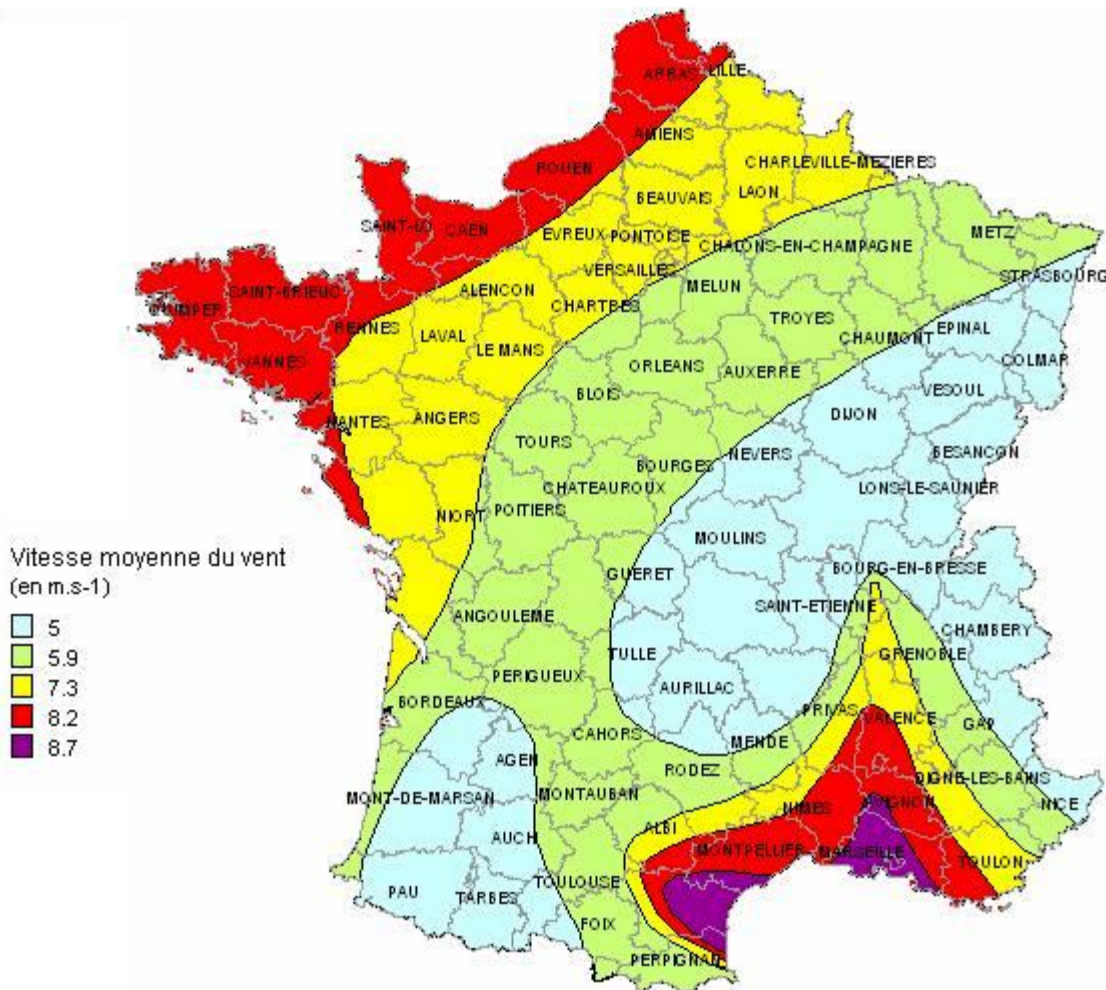
Nous sommes partis de la carte des zones de vitesses du vent, telle que l'on peut la voir sur le site Internet de l'Ademe :



La vitesse du vent en France. Source : ADEME

En utilisant un **logiciel SIG** (Système d'Information Géographique) nous avons réussi à **calculer les surfaces de chaque zone de vitesse du vent**, et à **superposer d'autres données** utiles pour se repérer (limites départementales, position des villes principales).

Nous avons ainsi obtenu la carte suivante :



3. Hypothèse d'équipement éolien

A partir de cette carte et du calcul de la surface de chaque zone, nous avons fait une **hypothèse d'installation d'une éolienne de 1,5 MW tous les 10 km²** (c'est-à-dire une éolienne tous les 1000 ha) et ce, **uniquement dans les zones où la vitesse moyenne du vent est supérieure à 7 m.s⁻¹**, en violet, rouge et jaune sur la carte ci-dessus.

Il en résulte, d'après cette hypothèse, une **puissance installée théorique** :

$$\text{Puissance MW} = (\text{Surface km}^2 / 10) \times 1.5$$

Puis, compte tenu d'une **durée d'utilisation annuelle de l'ordre de 2600 HPP par an**, nous avons pu calculer une **énergie théorique annuelle** :

$$\text{Energie} = \text{Puissance} \times 2600$$

4. Puissance électrique productible

Ces hypothèses et calculs sont présentés dans le tableau suivant :

Vitesse moyenne (m.s ⁻¹)	Surface (km ²)	Puissance théorique (MW)	Energie théorique (GWh)
5.0	158 059	0	0
5.9	191 917	0	0
7.3	112 189	16 828	43 753
8.2	76 823	11 524	29 962
8.7	8 567	1 285	3 341
		Total	77 056

Selon nos hypothèses, on arrive ainsi à **77000 GWh de production électrique éolienne**, ce qui représente **environ 15% des 516 000 GWh de consommation électrique annuelle française**.

Même dans le meilleur cas possible, l'énergie éolienne ne peut produire qu'une faible part de la consommation électrique d'un pays. Et cela sans prendre en compte les contraintes environnementales que pose l'implantation d'un parc éolien.

V. Le débat environnemental

1. La dégradation du paysage

Les dimensions des éoliennes (qui peuvent atteindre plus de 100 mètres de hauteur) et leur mouvement en font des **équipements "hors norme"**. C'est pourquoi **il convient de réfléchir à l'impact paysager** que peuvent engendrer les aérogénérateurs **avant de décider de la construction d'un parc**. Il serait raisonnable d'**éviter l'implantation d'un parc dans les zones naturelles remarquables, sensibles et protégées**.

De plus, lors de la construction d'un parc, le passage des convois exceptionnels acheminant les machines entraîne souvent des **ouvertures de pistes ou des élargissements de chemins** (6 m en moyenne) avec des rayons de giration très importants. Le grutage des éoliennes nécessite la **création de plate-formes** (jusqu'à plusieurs centaines de mètres carrés par machine). Ces travaux connexes peuvent générer des **impacts paysagers très prégnants et difficiles à cicatriser**.

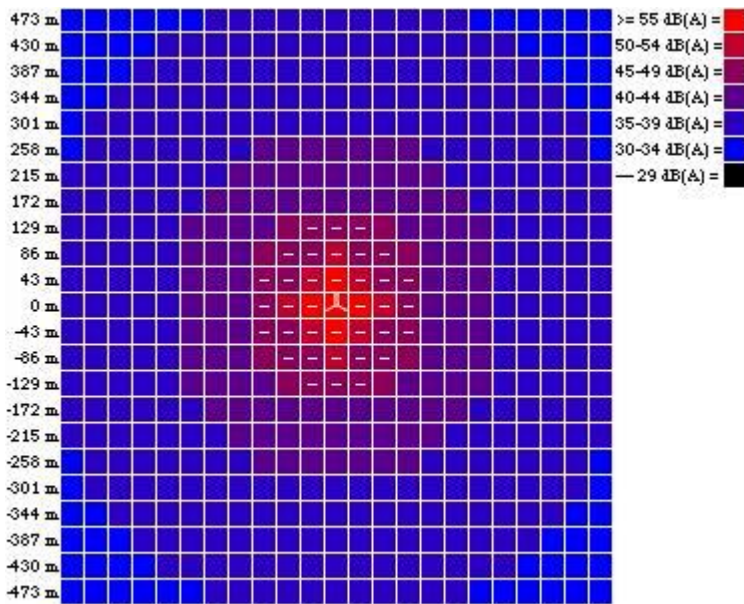
Enfin, des **craintes** existent quant à la **dépréciation du foncier et de l'immobilier** à proximité des parcs éoliens. Cependant, certaines études montrent que l'éolien n'a que **peu d'influence sur les cours de l'immobilier**.



Simulation de l'impact d'un parc éolien sur le paysage

2. Les nuisances sonores

Le **bruit** que génèrent les éoliennes peut être d'**origine mécanique** (rotation du rotor et fonctionnement de la génératrice) ou d'**origine aérodynamique** (lorsque les pales «fendent» l'air). Les éoliennes installées actuellement produisent un **bruit de 55 dBA à leur pied**.



© 1998 www.WINDPOWER.org

Evolution du nombre de dB(A) en fonction de la distance par rapport à l'aérogénérateur

Même si les éoliennes de dernière génération sont **relativement silencieuses**, une étude de l'impact sonore sur les habitations est effectuée avant l'implantation des parcs éoliens. En fonction du résultat, cette implantation peut être modifiée afin de respecter la réglementation (**émergence maximale de 5 dBA le jour et 3 dBA la nuit**).

La **distance entre les éoliennes et les habitations** est généralement de **300 m**. À environ 500 m, elles sont inaudibles ou très peu audibles et leur bruit est généralement couvert par le bruit du vent.

3. Les problèmes ornithologiques

Les **impacts** des parcs éoliens sur la **biodiversité** touchent principalement les **oiseaux** et les **chauves-souris**. Ils sont de **trois types - mortalité, dérangement, perte d'habitat** - et **varient** en fonction des espèces, des saisons, des milieux, de la taille des parcs éoliens...

S'ils sont **relativement faible** par rapport à ceux d'autres activités humaines (agriculture intensive, collision avec les vitres d'immeubles allumés la nuit, avec les voitures ou les fils électriques, prédation des chats domestiques, chasse...) ils constituent néanmoins des **risques supplémentaires** qu'il convient de connaître afin de pouvoir les réduire.

La **mortalité** varie de **0 à 40 oiseaux et chauves-souris par éolienne et par an**.

Lors de la **migration**, la présence d'éoliennes sur une voie migratoire entraîne généralement des **réactions d'évitement**, augmentant d'autant la difficulté du périple.

Pour certaines espèces, la présence de nombreuses éoliennes entraîne une **désertion totale de la zone**, comme c'est le cas pour le vanneau huppé sur un site allemand.

4. Les groupes d'opposition

Pour toutes ces raisons, de **nombreux opposants** à l'implantation des éoliennes se regroupent en **associations** pour manifester contre les promoteurs.

Une cinquantaine de ces associations se sont regroupées au sein de la **Fédération Environnement Durable (FED)**. Cette structure, entend « dénoncer les nuisances et lutter contre les méthodes pour implanter l'éolien industriel en France ». Elle considère l'éolien comme une solution aux « capacités techniques réduites, qui entraîne des coûts élevés, crée des nuisances pour la santé, atteint la nature, perturbe la faune, détruit les paysages et le patrimoine de notre pays ».

Ces contraintes amènent à réfléchir à différentes solutions pour l'implantation des aérogénérateurs.

VI. Une solution : l'éolien offshore

1. Présentation

Le « **offshore** » consiste à implanter les aérogénérateurs **en mer**, à proximité des côtes. Ainsi, l'**impact sur le paysage est modéré** et il n'y a **plus de nuisance sonore**.

Cependant, l'installation d'éoliennes en mer est beaucoup **plus coûteuse** qu'à terre : les mâts doivent être étudiés pour **résister à la force des vagues et du courant**, la **protection contre la corrosion** (particulièrement importante du fait des embruns) doit être renforcée, l'implantation en mer nécessite des **engins spécialisés**, le raccordement électrique implique des **câbles sous-marins coûteux et fragiles**, et la moindre opération de maintenance peut nécessiter de gros moyens.

En revanche, les éoliennes « offshore » bénéficient d'un **vent plus fort et plus régulier**. Leur **puissance nominale** est donc **plus importante** ainsi que leurs rendements.

Les caractéristiques de l'éolien « offshore » :

- **Puissance** : peut dépasser 5 MW
- **Dimensions** :
 - **Les pales** : jusqu'à 115m de diamètre
 - **Le mât** : jusqu'à 120m de hauteur



Parc éolien offshore au large du Danemark

2. Des problèmes politiques

En 2004, le gouvernement français avait lancé un **appel à projets** pour des parcs éoliens en mer avec un objectif de puissance **entre 500 et 1500MW**. Une douzaine de propositions avait été déposées par des entreprises spécialisées.

Après **plus d'un an de silence**, le ministère de l'Industrie avait fait connaître sa décision : **un seul et unique projet retenu, pour une puissance totale de 105MW**.

Raison invoquée : les autres projets seraient **trop coûteux**. Pour les promoteurs du projet, l'argument ne

tient pas : **invoquer un surcoût à l'éolien « offshore » n'est pas raisonnable** : combien ont coûté les premiers KWh hydrauliques ou nucléaires ? Il s'agit d'un **surcoût normal**, lié à l'innovation et à l'apprentissage qui mérite d'être comparé aux **10 milliards d'€ du projet ITER**.

VII. Une autre solution : le petit éolien

1. Présentation

Les petites éoliennes ont une **petite taille** qui rend possible leur installation **chez un particulier**. S'il possède un terrain bien exposé à des **vents réguliers et suffisamment forts**, il pourra obtenir une énergie électrique allant de **quelques W à une vingtaine de kW de puissance** selon le modèle. Sur un site venté, une éolienne de 3m de diamètre placée à 12m de hauteur suffit à **couvrir les besoins d'un foyer**. Les particuliers peuvent bénéficier d'un **crédit d'impôt de 40%** et d'une **TVA à taux réduit (5.5%)** lors de la construction.

Ils peuvent **revendre l'électricité produite** au réseau EDF à 0.082 € le kWh.

Les caractéristiques du « petit éolien » :

- **Puissance** : elle varie de 100W à 20 KW.
- **Dimensions** :
 - **Les pales** : de 1m à 10m
 - **Le mât** :
 - **de 2m à 12m** : pas de permis de construire
 - **de 12m à 30m** : un permis de construire est obligatoire
- **Prix** : varie de 800 € à 30 000 € pour le matériel, auxquels il faut ajouter l'installation.
- **Maintenance** : il faut prévoir annuellement un budget de maintenance égal à 5 à 10% du prix de la machine.

2. Etude de cas : éolienne d'une entreprise

Un **entrepreneur** de la région de l'Isère a fait installer une éolienne afin de **fournir à son entreprise l'énergie électrique nécessaire**. En effet l'entreprise **n'est pas desservie par le réseau EDF** car située en-dehors d'une agglomération.

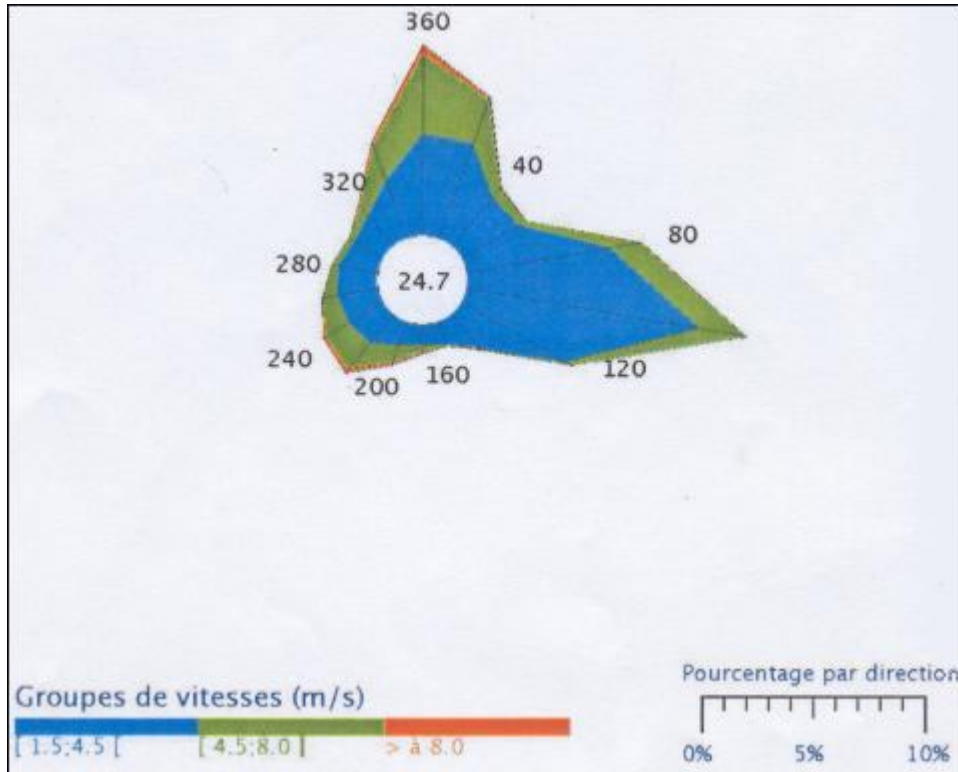
Au préalable, son installateur, la Société Surtec (Isère), a pris soin d'**évaluer sa consommation électrique** et d'**étudier les vents de la région**.

a. Estimation de consommation

Appareillage électrique	Puissance (en W)	Durée d'utilisation (en h)	Energie par jour (en Wh)
Eclairage du chalet	50	12	600
Réfrigérateur	120	10	1 200
Ordinateur	120	12	1 440
Eclairage du site	600	12	7 200
Pont bascule	100	12	1 200
Matériel divers	200	24	4 800
		Consommation totale	16 440

b. Etude du vent

Cette étude est réalisée par **Météo France** pour la **station météo la plus proche** située à l'aéroport de Grenoble (Isère).



Rose des vents de la région Grenobloise. Source : Météofrance

Le **Nord** se situe à **0°** (ou 360°).

La couleur **bleue** indique une vitesse de vent **entre 1,5 et 4,5 m.s-1**

La couleur **verte** indique une vitesse de vent **entre 4,5 et 8,0 m.s-1**

La couleur **rouge** indique une vitesse de vent **supérieure à 8,0 m.s-1**

On remarque que les **vents dominants** viennent principalement de l'**Ouest**, mais aussi du **Sud** (où les vents sont les plus violents : voir la frange rouge) et dans une moindre mesure du **Nord-Est**.

c. Présentation de l'installation

Suite à ces études préalables, La société Surtec a orienté cette entreprise vers une **éolienne de 5500W** (marque Travers, fabriquée dans le Var). Sa hauteur est de 12m ce qui **évite de déposer un permis de construire**. Son rotor a un diamètre de 6m. Elle a une vitesse d'accrochage de 2,7 m.s-1.



T.A 6 5500

- ❑ Diamètre Rotor : 6 mètres
- ❑ Vitesse nominale rotor : 240 rpm
- ❑ Puissance nominale : 5,5 kW
- ❑ Rotor à régulation centrifuge (système breveté)
 - ✓ Calage automatique de l'angle d'attaque des pales : recherche permanente du point optimal.
 - ✓ Limitation automatique de la vitesse maximale de rotation
- ❑ Applications :
 - ✓ Charge batteries (12, 24, 48,96, 120 Volts)
 - ✓ Raccordement réseau, boîtier satisfaisant à la norme E DIN VDE 0126
 - ✓ Pompage direct, simple ou multi-pompes
 - ✓ Chauffage direct



Fiche descriptive de l'éolienne. Source : Traverser

d. Schéma de principe

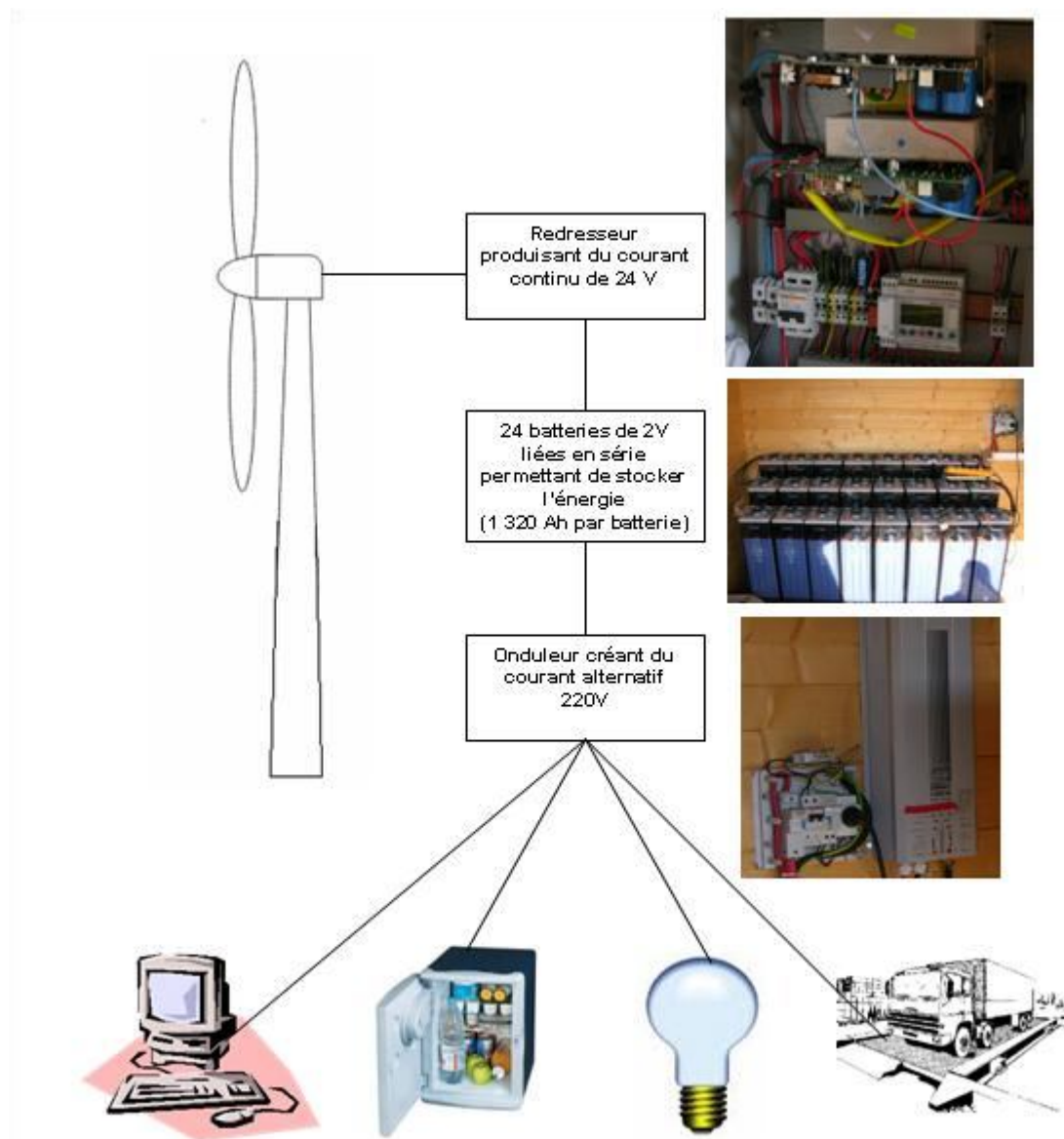


Schéma de principe du fonctionnement de l'éolienne

Cette petite éolienne permet à l'entreprise de **faire fonctionner tous ses appareils électriques** et montre que le « petit éolien » est une **solution efficace** pour **produire son électricité** dans des **sites qui ne sont pas raccordés au réseau** ou bien pour **produire son énergie proprement**.

VIII. Conclusion

L'énergie éolienne **ne peut pas produire suffisamment d'électricité pour couvrir toute la consommation électrique d'un pays** : dans le cas de la France, on arrive à une proportion maximale d'environ **15%**.

De plus, l'implantation d'un parc éolien engendre certaines **contraintes d'ordre environnemental** : principalement dégradation du paysage, pollution sonore et danger pour les oiseaux. C'est pourquoi de nombreuses personnes se **regroupent en associations** afin de manifester contre l'implantation des éoliennes.

Cependant, **des solutions existent** : l'**éolien en mer** permet d'**éviter de nombreuses contraintes** (la pollution sonore ne se ressent plus ; la dégradation du paysage est limitée). Mais **l'investissement est beaucoup plus important** ; les politiques et les investisseurs ne sont pas encore prêts à l'accepter.

Le « **petit éolien** » constitue, quant à lui, une **solution intéressante** : il permet de **produire de l'électricité d'une manière accessible aux entreprises et aux particuliers**.

Ces différentes solutions seront indispensables à mettre en oeuvre en complémentarité avec d'autres sources d'énergie renouvelable (solaire, biomasse...), afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de limiter notre dépendance vis-à-vis de l'énergie nucléaire.

IX. Source - Bibliographie

Livre : « Guide des énergies vertes pour la maison », Patrick Piro, éd. Terre vivante, L'écologie pratique, 2006.

Revue : « La maison écologique », dédiée à la pratique de l'habitat écologique par les particuliers.

Sites Internet :

- www.ademe.fr/ : site de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
- <http://fr.wikipedia.org/> : encyclopédie en ligne.
- <http://www.photeus.info/> : site dédié aux énergies renouvelables.
- <http://www.espace-eolien.fr> : site d'un bureau d'étude spécialisé en énergie éolienne.
- <http://www.membres.lycos.fr/tipemaster/TIPE/Eole/Eole.html> : présente une étude consacrée à l'énergie éolienne.
- <http://www.manicore.com/> : données chiffrées sur les énergies renouvelables.
- <http://www.lei.ucl.ac.be/multimedia/eLEE/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/eolie/> informations sur la technologie des aérogénérateurs.

© Copyright 2007 Ooxygène [Contact](#)

