



**CleanTech**  
REPUBLIC

Les guides

# Le petit éolien

## SOMMAIRE

Introduction

3 - Eligibilité du lieu

L'étude de vent  
Éléments réglementaires

7 - Définir ses besoins

Connaître sa consommation  
Connaître ses envies

9 - Éléments techniques influençant le choix

Éléments généraux sur les performances  
Verticale ou horizontale ?  
Les différents types de supports  
Les pales  
Orientation  
Résistance aux vents forts et régulation  
Génératrice et démultiplication  
Batteries  
Maintenance

14 - Éléments financiers

Gammes de prix  
Calculer son retour sur investissement  
Subventions et fiscalité



# Introduction

La France compterait en 2009 plus de 650 petites éoliennes. Que vous soyez un particulier ou à la tête d'une entreprise, vous envisagez peut-être de produire votre propre électricité. Avec une plage de puissance allant de 100 watts à 30 kilowatts (classification Ademe), le petit éolien constitue une solution à envisager. Encore faut-il se poser les bonnes questions, y répondre bien sûr... et dans l'ordre !

Récupérer l'énergie du vent est simple en théorie, mais plus complexe dans la pratique. En effet,

Eole, le dieu des vents, a une vilaine manie : il change souvent d'humeur et parfois se fâche. Une éolienne doit pourtant produire de l'électricité sur une large plage de vitesses de vent et résister aux fortes bourrasques. De plus, sa longévité, ainsi que sa fiabilité, conditionnent le retour sur investissement. Le choix du matériel s'avère donc particulièrement important.

S'il est envisageable d'acquérir et de monter seul une installation de faible puissance, la mise

en œuvre d'un aérogénérateur de plus de 5 kW nécessite l'intervention de professionnels. L'installateur étudiera les besoins et le vent, déterminera la meilleure solution en fonction du budget et de la rentabilité du projet, et s'occupera des démarches administratives, parfois laborieuses.

Ce guide a pour ambition de vous permettre d'affiner votre projet et de vous donner les clés pour échanger « à égalité » avec les professionnels du secteur.

*Plus de  
650 petites  
éoliennes*

# Eligibilité du lieu

**A**vant de se lancer, il convient de s'assurer de la faisabilité du projet et de ces limites sur deux aspects :

- La ressource est-elle suffisante ? Autrement dit : le vent souffle-t-il suffisamment souvent et suffisamment fort ?
- Qu'ai-je le droit d'installer à l'endroit prévu ?

## L'étude de vent

La présence d'un ancien moulin à vent à proximité du terrain semble de bon augure.... Mieux, si des éoliennes ont déjà été érigées dans le même secteur, c'est forcément qu'il y a du potentiel. En réalité, pas si sûr !

L'Ademe propose sur son site une [carte de France des gisements de vents](#). Les antennes régionales de l'agence fournissent même des cartes locales plus précises ([voir exemple en Pays de Loire](#)). Utile, mais insuffisant pour prendre une décision, d'autant plus que les mesures sont effectuées entre 50 et 60 mètres de hauteur.

Résultat : pour assurer son projet, mieux vaut faire réaliser une étude de vent.

Les agences départementales de Météo France commercialisent des « roses des vents » qui permettent de visualiser le sens et l'intensité moyenne des vents sur une période donnée, allant de la semaine à plusieurs années, pour

une station météo précise. Pour 38 € HT (tarif 2009), on dispose ainsi de données primordiales, mais encore insuffisantes. En effet, à moins d'habiter à quelques mètres de la station, le terrain pressenti n'offre pas forcément le même vent, car il subit les effets du relief, de la végétation et des constructions avoisinantes. Il faut donc procéder à une mesure in situ sur une période la plus longue possible, et idéalement à des hau-

teurs différentes. Cette mesure du vent s'effectue grâce à un anémomètre et une girouette placés sur un mât et connectés à un boîtier électronique enregistreur (le « logger »). La rose des vents de chaque hauteur de mesure est alors comparée à celle de la station météo pour la même période. On en déduit un « coefficient de corrélation » entre la station et le terrain en question. L'application de ce coefficient à une rose des



## NORMALES DE ROSE DE VENT

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Période 1981-2000 - Mois de FÉVRIER

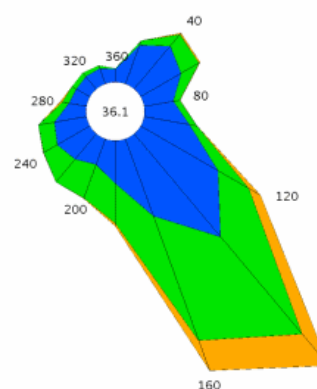
STATION (n°)

Indicatif: 988xx, alt : 22m, lat : 22°12'45"5, lon : 166°04'20"E

Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires entre 2h00 et 23h00, heure fuseau

Tableau de répartition  
Nombre de cas étudiés : 4520  
Manquants : 0



Dir.	[1.5;4.5]	[4.5;8.0]	> 8.0 m/s	Total
20	1.9	0.2	0.0	2.1
40	2.6	0.7	+	3.4
60	2.2	1.0	+	3.2
80	1.4	0.3	+	1.7
100	2.1	0.3	+	2.5
120	4.1	1.6	0.6	6.4
140	6.2	5.9	1.9	14.0
160	3.8	6.1	1.5	11.4
180	2.0	1.8	0.1	4.0
200	1.3	1.7	+	2.9
220	1.5	1.4	0.0	2.9
240	1.6	0.7	+	2.5
260	1.5	0.8	0.0	2.3
280	0.8	0.3	+	1.2
300	0.7	0.2	0.0	1.0
320	0.8	0.2	0.0	1.0
340	0.8	0.1	0.0	0.9
360	0.6	+	0.0	0.6
Total	36.0	23.4	4.5	63.9
[0;1.5]				36.1

Groupes de vitesses (m/s)

[1.5;4.5] [4.5;8.0] > 8.0

Pourcentage par direction

0% 5%

Dir. : Direction d'où vient le vent en rose de 360° : 90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest, 360° = Nord  
le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.1%

Page 1/1

Edité le : 25/06/2009 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Exemple de rose des vents sur un mois

# Eligibilité du lieu

vents de Météo France sur plusieurs années donne une bonne indication du potentiel vent.

La réalisation d'une étude de vent préalable à l'installation de petites éoliennes coûte, selon sa complexité, sa durée, et sa précision, entre 600 € HT (1 mois à 12 mètres, étude basique) et 5000 € HT (3 mois à 30 mètres, étude approfondie). Une somme parfois remboursée par l'installateur en cas de commande. La location d'un anémomètre enregistreur est facturée entre 500 et 1000 € / mois.

## Éléments réglementaires

Les démarches administratives peuvent être compliquées et surtout longues. L'idéal est d'en confier la tâche à l'installateur.

### L'autorisation de construire

L'intérêt de mesurer le potentiel de vent à plusieurs hauteurs prend tout son sens d'un point de vue réglementaire.

En effet, aucune formalité n'est officiellement nécessaire pour ériger une éolienne de moins de douze mètres (hors pales). Plus précisément, « sont dispensées de toute formalité au titre du présent code, en raison de leur nature ou de leur très faible importance,

sauf lorsqu'ils sont implantés dans un secteur sauvegardé dont le périmètre a été délimité ou dans un site classé : les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est inférieure à douze mètres » Article R421-2 du Code de l'Urbanisme.

En pratique, la plupart des communes demandent une déclaration préalable aux travaux pour les éoliennes de moins de douze mètres.

Si le terrain est à proximité d'un site classé, la consultation du plan

### La déclaration de travaux en pratique

(extrait du récépissé de dépôt d'une déclaration préalable)

Vous avez déposé une déclaration préalable à des travaux ou aménagements non soumis à permis. Le délai d'instruction de votre dossier est de un mois et, si vous ne recevez pas de courrier de l'administration dans ce délai, vous bénéficierez d'une décision de non-opposition à ces travaux ou aménagements.

Toutefois, dans le mois qui suit le dépôt de votre dossier, l'administration peut vous écrire :

- soit pour vous avertir qu'un autre délai est applicable, lorsque le code de l'urbanisme l'a prévu pour permettre les consultations nécessaires (si votre projet nécessite la consultation d'autres services...);
- soit pour vous indiquer qu'il manque une ou plusieurs pièces à votre dossier ;

- Si vous recevez une telle lettre avant la fin du mois qui suit le dépôt de votre déclaration, celle-ci remplacera le présent récépissé.

- Si vous n'avez rien reçu à la fin du mois suivant le dépôt de votre déclaration, vous pourrez commencer les travaux après avoir :

- affiché sur le terrain ce récépissé sur lequel la mairie a mis son cachet pour attester la date de dépôt ;
- installé sur le terrain, pendant toute la durée du chantier, un panneau visible de la voie publique décrivant le projet. Vous trouverez le modèle de panneau à la mairie, sur le site internet urbanisme du gouvernement, ainsi que dans la plupart des magasins de matériaux.

Attention : la décision de non-opposition n'est définitive qu'en l'absence de recours. En effet, dans le délai de deux mois à compter de son affichage sur le terrain, sa légalité peut être contestée par un tiers devant le tribunal administratif. Dans ce cas, l'auteur du recours est tenu de vous en informer au plus tard quinze jours après le dépôt du recours.

# Eligibilité du lieu

des servitudes, annexe du Plan d'Occupation des Sols (POS) ou du Plan Local d'Urbanisme (PLU), permet de connaître le périmètre protégé. Une commune peut d'ailleurs interdire l'implantation d'éoliennes, même en dehors de tout site protégé, en l'indiquant clairement dans son PLU ou POS. A vérifier en mairie... Pas question bien sûr de se lancer dans l'implantation d'une éolienne au bord de la plage (bande des 100 mètres, Loi Littoral).

*Une commune peut interdire l'implantation d'éoliennes*

ou lorsque l'éolienne est prévue pour être utilisée dans un mode d'autoconsommation, le permis de construire est délivré par le maire.

L'examen du permis de construire est censé prendre deux mois. En réalité, il faut généralement patienter près d'une dizaine de mois avant d'obtenir le précieux sésame.

Elle ne concerne pas les installations en « site isolé », c'est à dire non connectées au réseau. En revanche, dès que le bâtiment à alimenter est connecté au réseau, même si la totalité de la production sera autoconsommée, une demande de raccordement est nécessaire.

La demande s'effectue auprès d'[ERDF](#), plus précisément au service ARD de la région concernée.

## L'autorisation de produire du courant

En outre, la commune peut s'opposer à un projet d'éolienne, si elle considère que des nuisances trop importantes seraient infligées aux voisins du candidat à la production d'énergie. Mieux vaut donc bien s'entendre avec ses voisins avant de se lancer dans un tel projet... ou avec le maire ! Et bien sûr attendre un mois après sa déclaration de travaux avant de les commencer.

Les petites éoliennes sont soumises à une déclaration auprès de la direction de l'énergie (DGEC) du ministère de l'Ecologie. Cette procédure peut s'effectuer en ligne sur [le site AMPERE](#).

## L'autorisation de connecter l'éolienne au réseau

## L'autorisation de vendre son courant

Pour pouvoir vendre son trop-plein d'électricité à un opérateur (EDF, Poweo, Direct Energie...), d'autres démarches sont nécessaires.

- **Si l'installation se trouve au sein d'une ZDE** (Zone de Développement de l'Eolien), le producteur bénéficie du « tarif d'achat ». Cela signifie que la totalité de l'électricité qu'il produit est sub-

Pour les éoliennes de plus de douze mètres, un permis de construire est obligatoire (ainsi qu'une notice d'impact, si elle mesure moins de cinquante mètres, [cas le plus fréquent pour du petit éolien](#))

Dans les communes sans PLU (donc encore sous le régime des POS), le permis de construire est déposé auprès du préfet. Dans les communes munies d'un PLU,

### Tarif d'achat - Arrêté du 10 Juillet 2006

Durée annuelle de fonctionnement de référence	Tarif pour les dix premières années (c€/kWh)	Tarif pour les cinq années suivantes (c€/kWh)
2400 heures et moins	8,2	8,2
Entre 2400 et 2800 heures	8,2	interpolation linéaire
2800 heures	8,2	6,8
Entre 2800 et 3600 heures	8,2	interpolation linéaire
3600 heures et plus	8,2	2,8

### Durée annuelle de fonctionnement de référence :

A l'issue de chacune des dix premières années de fonctionnement de l'installation, la durée annuelle de fonctionnement est mesurée. La durée annuelle de fonctionnement de référence correspond à la moyenne des huit durées annuelles médianes mesurées précédemment (c'est-à-dire en éliminant la durée annuelle la plus forte et la durée annuelle la plus faible)

# Eligibilité du lieu

ventionnée, autrement dit achetée par EDF à un tarif supérieur à son propre tarif de vente. Au 1er septembre 2009, ce tarif d'achat était de 8,2 c€/kWh. Il est dégressif en fonction de l'ancienneté de l'installation et de sa productivité. La production éolienne sera subventionnée pour les projets réalisés jusqu'en 2012 à minima, et pour une durée maximum de quinze ans.

Pour bénéficier du tarif d'achat, il ne suffit pas que l'éolienne se situe dans une ZDE. Il faut tout d'abord demander un « certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat » (CODEA) auprès de la

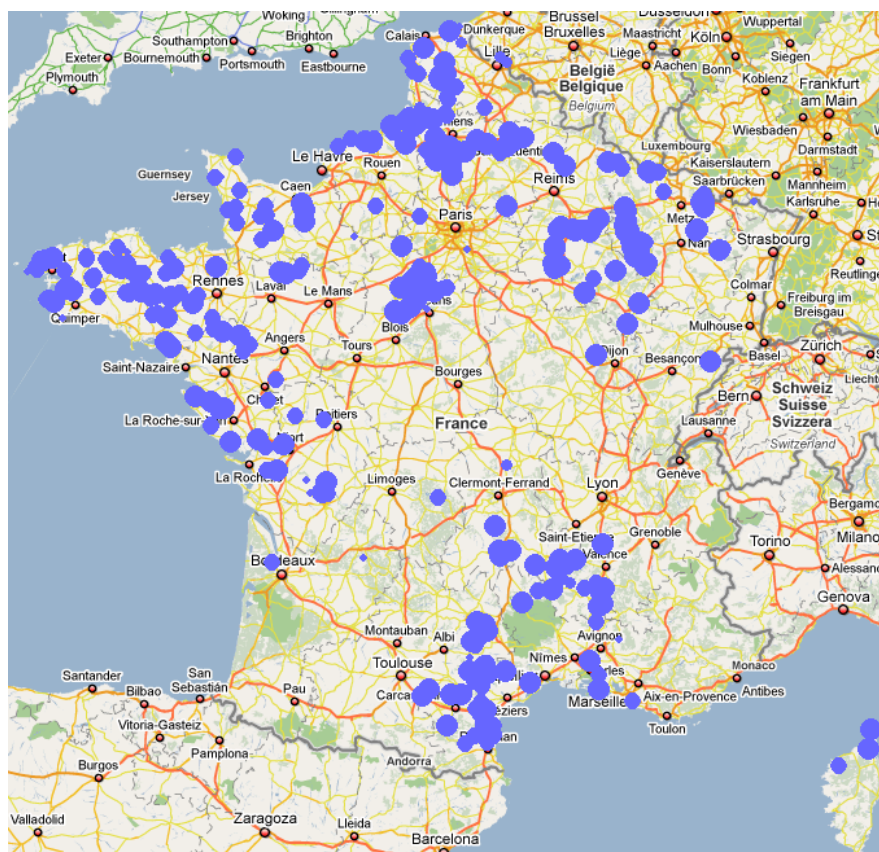
DRIRE locale (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement). Puis, enfin, effectuer une demande de contrat d'achat auprès d'EDF ou d'un autre opérateur le cas échéant.

- **Si l'installation ne se situe pas dans une ZDE**, il est possible de vendre le surplus ou la totalité de sa production de gré à gré à un fournisseur d'électricité agréé par RTE (gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité) nommé « responsable d'équilibre ». Plusieurs opérateurs proposent déjà ce service dont Poweo, Direct Energie ou Enercoop ([liste complète sur le site de RTE](#)).

Le prix de rachat proposé par ces entreprises est compris entre 4 cts et 8 cts d'euros HT le kWh (généralement indexé sur les cours de la bourse européenne d'électricité PowerNext). Intéressant pour une entreprise qui récupère la TVA sur ses achats d'électricité. Beaucoup moins pour un particulier, qui de facto, paye TTC mais vend HT...

## L'interdiction de faire du bruit

Reste la question du bruit. Le Code de la Santé Publique ne prévoit pas de distance minimale à respecter. En revanche, il dispose que l'exposition sonore supplémentaire (émergence sonore) des habitations environnantes ne doit pas dépasser trois décibels la nuit et cinq décibels le jour (mesures prises à l'extérieur).



Carte des ZDE – Source WindPower

# Définir **ses besoins**

Pour choisir les caractéristiques techniques d'une installation, encore faut-il connaître avec précision ses besoins.

Il existe quatre types d'installations :

## • Site isolé

Ni l'éolienne, ni le bâtiment ne sont connectés au réseau. La production est soit consommée sur place, soit stockée dans des batteries. Ce type de montage permet d'électrifier un bâtiment très éloigné du réseau, mais impose une source alternative (groupe électrogène) en cas d'absence de vent prolongée.

## • Autoconsommation

L'éolienne alimente un bâtiment lui-même connecté au réseau, avec ou sans batteries. Un système de bascule automatique permute sur le réseau électrique dès que la puissance produite est insuffisante (c'est le délestage de puissance) ou que les batteries sont vides (sélection de source). N'injectant pas de courant sur le réseau, cette solution se contente d'une électronique simplifiée.

## • Autoconsommation avec revente de l'excédent de production

Dans ce cas, dès que la production excède la consommation, le surplus est vendu à un opérateur à un tarif variable selon la zone géographique (voir plus haut). L'installation injecte donc réguliè-

rement du courant vers le réseau. Le courant vendu devant être de bonne qualité, c'est à dire respecter des contraintes précises de tension et de régularité même en cas de vent irrégulier, il convient d'installer un onduleur de bonne qualité. De plus, la présence d'un échange commercial oblige également à implanter un compteur d'injection pour mesurer avec certitude la quantité d'énergie vendue.

## • Revente de la totalité de la production

C'est le modèle des fermes éoliennes de grande puissance. Deux branchements sont alors réalisés. Le branchement « production », comporte deux compteurs d'énergie posés tête-bêche : un pour mesurer l'énergie vendue ; et un compteur de non-consommation permettant de contrôler l'absence de consommation. Le branchement « consommation » présente un compteur standard.

## Connaître sa consommation

Résidence principale, secondaire, entreprise, nombre de personnes, taux d'occupation, puissance des appareils... de multiples critères influencent la consommation électrique.

Pour les bâtiments existants, l'étude attentive de la facturation passée donne une idée relative-

ment précise de la consommation à l'échelle du trimestre et parfois du mois.

Attention, la consommation annuelle agrégée est rarement d'un grand secours car les variations au cours de l'année montrent généralement de grandes amplitudes. Il faut donc s'assurer que la saisonnalité des vents correspond à celle de la consommation.

Pour les bâtiments en projet, quelques outils de simulation sont proposés sur le web, [notamment par EDF](#). Une démarche indispensable. A titre d'exemple, la consommation annuelle moyenne d'un foyer français de quatre personnes varie de 3 à 6 MWh selon la superficie de la maison, l'âge des enfants, la région, la catégorie socioprofessionnelle, etc. Certains estiment qu'un foyer économe pourrait vraisemblablement se contenter d'un seul MWh par an !

## Connaître ses envies

Le type d'installation et son dimensionnement dépendent très étroitement des objectifs du porteur de projet.

Mettons de côté les sites isolés pour lesquels la démarche est évidente.

# Définir **ses besoins**

Certains rêvent de se désabonner d'EDF par défi. Les plus écolos se moquent de la rentabilité. D'autres visent un retour sur investissement rapide, quitte à y mettre le prix. Les plus raisonnables souhaitent alléger leur facture. Les plus ambitieux la réduire à néant grâce à leur production excédentaire. Des entrepreneurs valorisent la communication positive apportée par la présence visible d'une éolienne dans leur usine...

Malheureusement, la réalisation simultanée de tous ces objectifs et dans l'état actuel des choses reste impossible. Un choix s'impose.

## L'éolien de pompage

On trouve encore sur le marché des éoliennes multipales entièrement mécaniques et reliées à une pompe à eau. Elles permettent d'exploiter un puits trop éloigné d'une source de courant pour être équipé d'une pompe électrique. Très solides, les plus puissantes aspirent entre 500 et 1500 litres/heure et affichent une durée de vie de 50 ans.

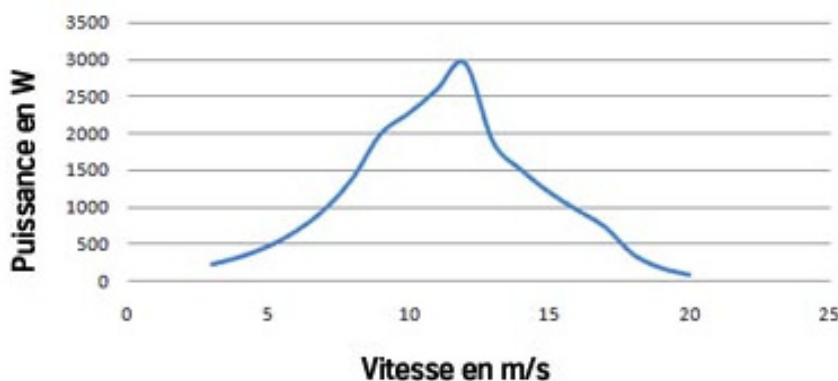


# Éléments techniques influençant le choix

## Éléments généraux sur les performances

D'une manière générale, la plage de vent permettant de faire tourner une éolienne s'étend de 15 km/h à moins de 100 km/h. Au delà, un système de sécurité déclenche l'arrêt du rotor pour des raisons de sécurité. Pour un même emplacement, on génère de meilleures performances en plaçant l'éolienne le plus haut possible. En plaçant la nacelle à 25 mètres de hauteur au lieu de 12 mètres, la quantité supplémentaire de vent remboursera pratiquement toujours la pose d'un mat plus long. Encore faut-il être prêt à en passer par le permis de construire.

D'après RTE, sur l'année 2007, la productibilité mensuelle des installations éoliennes était variable, de 10% à 35% (énergie effectivement produite rapportée à l'énergie maximale théori-



Exemple de courbe de puissance d'une éolienne de 2 kW nominal en fonction de la vitesse du vent.

quement productible), pour une valeur moyenne sur l'année de 24%. En conséquence, pour du petit éolien, il ne faut généralement pas espérer une durée de production annuelle supérieure à 2000 heures. Autre calcul, une éolienne d'un kW produira chaque mois entre 70 et 255 kWh et sa production annuelle plafonnera à 2000 kWh.

Il convient à ce stade de définir plus précisément la notion de puissance pour une éolienne. Le chiffre généralement indiqué

par le fabricant est la puissance nominale, c'est à dire celle pour laquelle son rendement est le plus élevé (énergie reçu / énergie récupérée). En effet, la puissance réellement fournie par l'éolienne dépend de la vitesse du vent.

La puissance maximale est appelée puissance crête. Une éolienne de 2 kW de puissance nominale peut ainsi produire 3 kW au maximum pendant une durée raisonnable. Attention donc à bien vérifier que la puissance indiquée est bien la puissance nominale, et non la puissance crête.



Source RTE

Par ailleurs, une erreur fréquente consiste à privilégier un modèle en fonction de ses performances à basse vitesse en espérant ainsi une production plus fréquente. Malheureusement, les vents inférieurs à 3 m/s (10,8 km/h) ne génèrent que très peu d'énergie. Les performances entre 5 et 15 m/s sont très discriminantes. Pour les « matheux » : dans sa phase ascendante, la puissance augmente avec le cube de la vitesse du vent...



# Éléments techniques influençant le choix

## Verticale ou horizontale ?

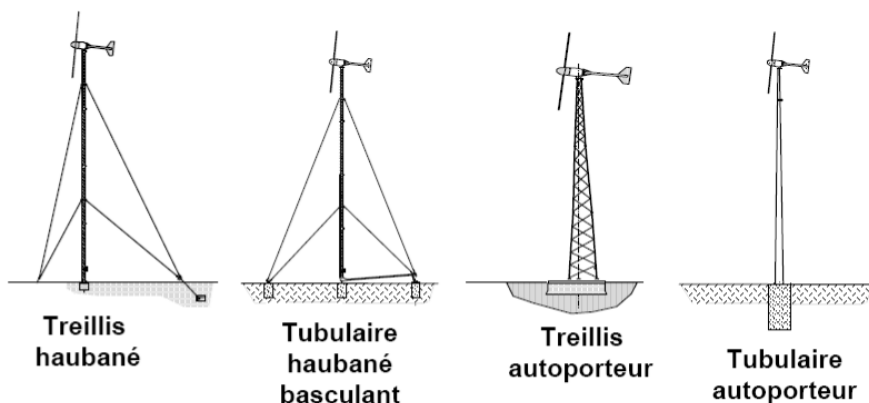
La quasi-totalité des éoliennes sont composées d'une hélice tournant sur un axe horizontal. Les premiers modèles d'éoliennes à

axe vertical sont apparus dans les années trente et n'ont pas décollé à cause de leurs faibles rendements et de contraintes techniques bloquantes – les modèles Darrieus originaux devaient par exemple être amorcés pour se

lancer. Depuis quelques années, on voit apparaître de nouveaux modèles (et de nombreux projets) de petites éoliennes à axe vertical qui devraient résoudre les faiblesses de leurs aînées.

Type d'axe	Avantages	Inconvénients	Illustration
Horizontal	- Choix	- Installation sur un bâtiment fortement déconseillée	
	- Installateurs compétents sur tout le territoire	- Encombrement au sol pour les mâts haubanés	
	- Technologie mature	- Bruit	
	- Prix	- Mauvais rendement dans les vents turbulents	
Vertical	- Moins bruyante	- Prix	
	- Installation possible sur un bâtiment	- Complexité technique	
	- Performante dans les vents turbulents	- Les modèles les plus prometteurs sortent à peine des labos	
	- Pas de système d'orientation		
	- Autoprotection contre les vents forts		

# Une offre pléthorique



Source : Krug Sarl

Il est ainsi envisageable d'installer une éolienne à axe vertical si l'emplacement propose des vents particulièrement turbulents : milieu urbain, impossibilité d'installer un mât, installation sur un bâtiment. Pour les autres cas, un modèle classique placé suffisamment haut offrira les meilleures performances et un retour sur investissement plus rapide.

## Les différents types de supports

Les mâts haubanés ont l'avantage d'être les moins onéreux, mais l'inconvénient d'occuper beaucoup d'espace (environ 12 m<sup>2</sup> pour une éolienne de 2 kW). Les mâts tubulaires autoporteurs sont non seulement beaucoup plus résistants dans le temps mais supportent des turbines bien plus lourdes donc plus puissantes. Ils sont aussi appréciés pour leur esthétique proche du grand éolien.

## Les pales

Les petites éoliennes tournent vite. La vitesse linéaire en bout de pale d'une éolienne tripale atteint 250 km/h (soit 250 à 400 tours par minute selon la longueur des pales). Les contraintes mécaniques liées à ces vitesses sont maintenant bien maîtrisées par la plupart des constructeurs.

Quatre matériaux sont utilisés :

- le bois massif et le bois lamellé-collé : essentiellement réservé aux auto-constructeurs.
- l'aluminium : pratiquement plus utilisé, car il résiste mal à la fatigue mécanique et finit par rompre
- les matériaux composites : utilisés par tous les fabricants sérieux.

S'agissant de la taille : plus une pale est longue, plus elle est puissante, mais plus la vitesse en bout de pale est élevée, et donc plus elle est bruyante.

Pour le nombre : plus il y a de pales, plus l'éolienne démarrera avec un vent faible, mais elle sera moins puissante... tout en étant plus chère.

Il faut donc trouver un compromis entre la longueur et le nombre de pales pour obtenir les performances désirées. Le choix s'effectuera donc entre une (techniquement possible, mais rare) et huit pales, en fonction de l'étude de vent et des besoins du projet.

Plusieurs entreprises et laboratoires de recherche travaillent sur de nouvelles formes de pale. [WhalePower](#) a par exemple lancé un projet copiant la forme particulière des nageoires des baleines. [Nheolis](#) propose déjà des éoliennes disposant de trois pales coniques.

Les pales des petites éoliennes sont généralement à « pas fixe », ce qui signifie que l'incidence de la pale par rapport au plan de l'hélice est constante. Un système à « pas variable » est bien plus performant, car il se comporte en quelque sorte comme une boîte de vitesse, mais est également



L'éolienne de Nheolis et ses pales coniques

# Une offre pléthorique

beaucoup plus coûteux. Un pas variable permet de plus la mise en drapeaux de l'hélice pour protéger l'éolienne des vents forts (on oriente les pales de manière à ce que leur portance soit nulle, tout en laissant le rotor face au vent).

## Orientation

Inutile de préciser qu'une éolienne est plus performante lorsqu'elle est bien orientée face au vent. Trois solutions techniques permettent l'orientation :

- **Système libre avec hélice sous le vent**

Le vent rencontre d'abord la nacelle, qui joue le rôle de gouvernail, puis frappe les pales. C'est le système le plus simple, mais il génère des turbulences immédiates nuisibles aux performances.

- **Système libre avec hélice face au vent**

C'est le système le plus fréquent pour les petites puissances. Un safran placé derrière la nacelle place l'hélice perpendiculairement au vent, comme une girouette. Les systèmes libres (sous ou face au vent) sont moins chers, mais demande l'installation d'un amortisseur pour éviter que l'éolienne s'emballe en cas de vents turbulents.

- **Orientation motorisée**

Une girouette et un anémomètre commandent l'orientation du rotor via un moteur électrique. Ce système permet de ne changer l'orientation de l'hélice que si le vent a tourné durablement. On optimise ainsi la productivité. Il permet également de protéger l'éolienne en cas de vent fort. Ce type de système est réservé aux éoliennes les plus puissantes du petit éolien (à partir de 10kW).

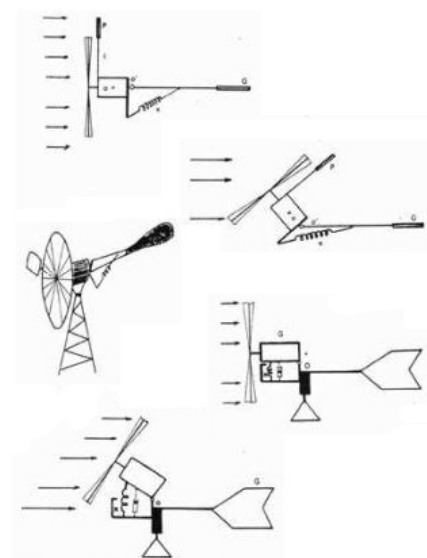
Les éoliennes à axe vertical étant par nature omnidirectionnelles, elles ne nécessitent aucun système d'orientation.

## Résistance aux vents forts et régulation

Certaines éoliennes sont capables d'encaisser des vents de près de 200 km/h. La majorité cependant n'atteint pas des vitesses dites « de survie » aussi élevées. Elles sont donc équipées de systèmes permettant de soustraire le rotor à la force du vent.

Les éoliennes disposant d'une orientation motorisée placent le rotor parallèlement au vent pour le protéger ou utilisent un frein. Celles munies d'un calage de pales variable se mettent en drapeaux. Les moins sophistiquées utilisent soit un système mécanique d'évitement (le rotor pivote

sur un axe en tirant sur un ressort pour venir se placer parallèlement au vent) ou un système de frei-



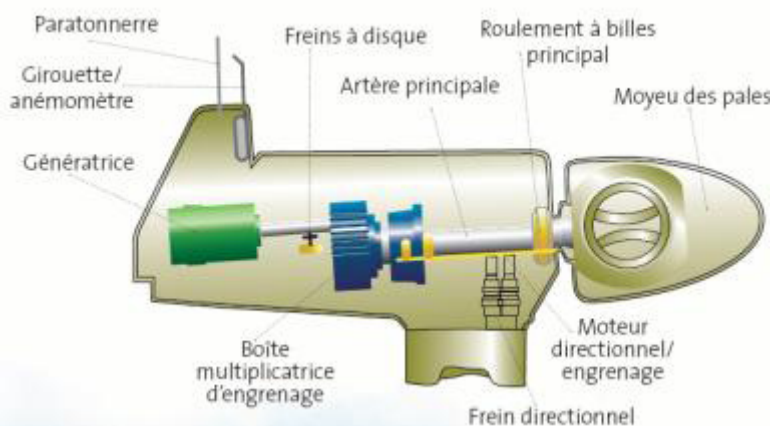
Différents systèmes de régulation

nage automatique mécanique. Les éoliennes à axe vertical bénéficient par construction du « décrochage dynamique » des pales, elles ne nécessitent aucun système d'évitement des vents forts.

## Génératrice et démultiplication

La génératrice a pour rôle la transformation du mouvement de rotation de l'axe en électricité. Pour la gamme de puissance du petit éolien, il s'agit généralement d'un alternateur synchrone à aimant permanent. L'intensité et la fréquence du courant produit par l'alternateur varient en fonction de la vitesse de rotation du

# Une offre pléthorique



Différents systèmes de régulation

rotor. L'électricité en sortie doit donc être régulée pour être utilisable. Cette régulation est effectuée par un onduleur.

Les rotors dont la vitesse de rotation est trop faible pour entraîner directement un alternateur classique sont accompagnés d'un démultiplicateur, une sorte de boîte de vitesse. Cet élément est généralement le maillon faible de l'installation, car il subit des efforts mécaniques élevés et constants.

## Batteries

Pratiquement indispensables pour les sites isolés, les batteries compliquent sérieusement la rentabilité de l'installation.

Le critère du choix tient dans la capacité de stockage d'énergie de la batterie. En toute rigueur, cette capacité se mesure en ampères-heure, cependant il est souvent plus facile de l'exprimer sous forme de puissance produite en une heure par son

éolienne, donc en kWh. Une batterie capable de stocker 1000 Wh (soit 1 kWh) pourra ainsi conserver l'équivalent d'une heure de vent à vitesse nominale pour une éolienne d'un kW.

Compter 150 € HT par kWh pour des batteries au plomb, le double pour des NiCad. Leur durée de vie oscille entre 10 et 15 ans pour les modèles au plomb et 20 à 25 ans pour les plus modernes.

## Maintenance

### Un peu de physique

Souvenez-vous que  $P=UI$  ! Pour déterminer la possibilité de stockage d'une batterie en kWh, on multiplie sa tension (12v-24v...) par sa capacité en ampères-heure (100 ah par exemple). Ainsi, une batterie de 24 V dont la capacité nominale est de 150 ah permet de stocker  $150 \times 24 = 3600 \text{ Wh} = 3,6 \text{ kWh} = 3\text{h}36'$  de production d'une éolienne d'un kW.

Certains modèles de faible puissance sont présentés comme étant potentiellement exempts de maintenance. Cependant, et cela quelle que soit sa puissance, une maintenance annuelle est indispensable pour optimiser la durée de vie de l'éolienne.

La maintenance préventive est généralement annuelle. Remplacement d'huiles, graissages, contrôle de serrages... Prévoir entre 200 et 1000 € HT selon la puissance et une journée d'interruption. L'opération mobilise deux à trois personnes.

Concernant la maintenance curative, il faut savoir qu'au-delà de dix ans apparaissent des problèmes de fatigue des matériaux et d'usure, notamment dans les zones où les vents sont les plus turbulents. Le propriétaire s'exposera à des opérations de remplacement ou de réparation des pales, de remplacement ou de réfection de l'alternateur, du démultiplicateur. La foudre est également une source fréquente de pannes électriques.

Les éoliennes sont généralement garanties deux ans, parfois trois. Quant aux batteries, la garantie dépasse rarement une année.

# Éléments financiers

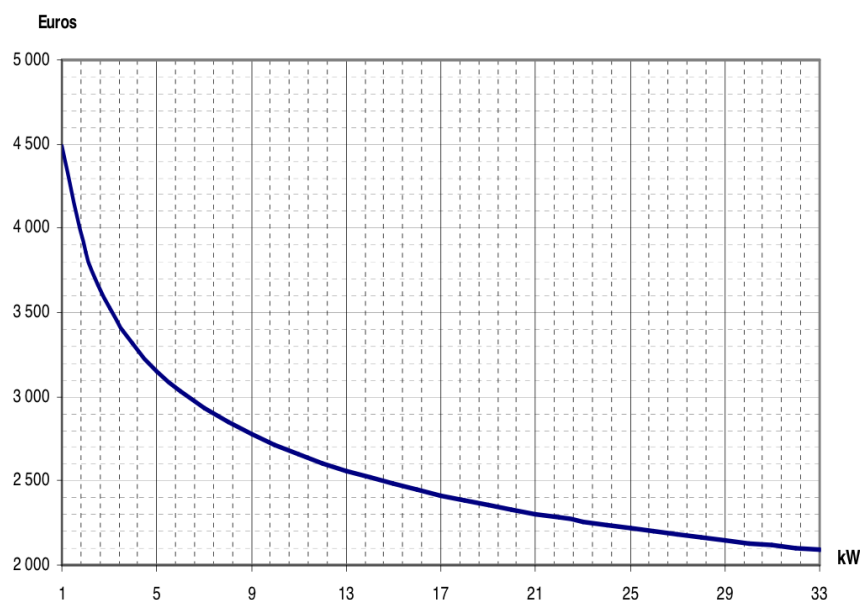
## Gammes de prix

Une petite éolienne coûte entre 3 000 et 90 000 € HT selon sa puissance.

Le prix du kW installé baisse rapidement avec la puissance totale de l'engin. Si les finances le permettent, il est donc plus facile de rentabiliser une éolienne qui affiche la plus haute performance

possible pour les conditions de vent et le terrain disponibles.

## Calculer son retour sur investissement



Coût du kW installé en fonction de la puissance totale.

Exemple de coût pour une éolienne de 6 kW, sur un mât de 18 m, diamètre de 6 m (source EDF) :

- Éolienne de 6 kW : 15 000 €
- Coûts d'installation :
  - \* Génie-civil + divers : 4 000 à 9 000 €
  - \* Raccordement, armoire électrique : 3 000 €
  - \* Tranchée pour enfouissement du câble : 23 € par mètre linéaire

Total : 22 000 à 27 000 €

### Investissement initial et production annuelle selon la puissance installée

Puissance nominale	Diamètre	Prix installée (HT)	Production annuelle
100 à 500 W	0,5 - 2 m	3 000 - 5 000 €	200 - 1000 kWh
500 W à 1 kW	2 - 3 m	5 000 - 14 000 €	1000 - 2000 kWh
1 kW à 5 kW	3 - 6 m	14 000 - 35 000 €	2000 - 10 000 kWh
5 kW à 10 kW	6 - 8 m	35 000 - 45 000 €	10 MWh - 20 MWh
10 kW à 20 kW	8 - 12 m	45 000 - 80 000 €	20 MWh - 40 MWh

Quelques conseils pour faire ses calculs :

- La durée de vie d'une éolienne est comprise entre 15 et 30 ans. D'une manière générale, plus sa puissance est élevée, plus sa durée de vie est longue.
- Pour les particuliers, l'électricité est achetée TTC, mais vendue HT.
- Les tarifs d'achat (ZDE ou hors ZDE) sont dégressifs selon le volume produit et/ou l'ancienneté du contrat. A étudier donc...
- Les durées de rentabilisation pouvant être longues, il est préférable d'intégrer l'inflation et la hausse du prix de l'énergie dans ses calculs.
- En l'absence d'une étude de vent, et pour une première approximation sur le territoire métropolitain, on considère qu'une éolienne produit sur un an 2000 fois sa puissance nominale (1500 pour une région peu ventée).
- Les frais de maintenance annuels peuvent atteindre quelques milliers d'euros.
- Prévoir aussi quelques frais annexes (étude de vent, frais de dossiers, frais administratifs...)
- Les plus prudents ajouteront des frais de réparation

# Éléments financiers

(foudre, ouragan...) et l'éventuel surcoût de l'assurance habitation.

- Les plus motivés intégreront :

\* la différence de production selon les mois (du simple au triple)

\* la baisse régulière de la consommation de leur bâtiment induite par l'amélioration de l'efficacité énergétique.

- Enfin, n'oubliez pas les avantages fiscaux et autres subventions.

## Subventions et fiscalité

Certaines collectivités locales proposent des aides en faveur des particuliers, des exploitants agricoles, ou des entreprises. Il convient donc de se renseigner auprès de l'Ademe de sa région, de son Conseil général et de sa mairie.

Pour les particuliers, une installation effectuée par un professionnel donne droit à un taux de TVA à 5,5%.

En outre, il existe un crédit d'impôt de 50% sur les fournitures. Détail de l'Ademe : « Le montant des dépenses ouvrant droit au crédit d'impôt est plafonné à 8 000 € pour une personne seule et 16 000 € pour un couple soumis à imposition commune. Cette somme est majorée de 400 € par personne à charge. Pour les bailleurs, il est plafonné à 8 000 euros par logement dans la limite de 3 logements par an. Ce plafond s'apprécie sur une période

de cinq années consécutives comprises entre le 1er janvier 2005 et le 31 décembre 2012.

Le contribuable qui effectue des dépenses à plus de 5 ans d'intervalle pourra bénéficier du plafond à deux reprises. Le crédit d'impôt est calculé sur le montant des dépenses éligibles, déduction faite des aides et subventions reçues par ailleurs. »

Ajoutons que les personnes non imposables peuvent également en bénéficier. Le crédit d'impôt est alors versé par chèque du Trésor public.

Les entreprises récupèrent bien sûr la TVA sur le matériel, l'installation et la maintenance. Elles peuvent également amortir l'ensemble de l'installation sur une seule année et en récupérer le tiers en réduction d'impôts.

Ces mesures fiscales étant susceptibles d'évoluer, il faut de préférence en vérifier la validité à la date du projet.

## Opérateurs du secteur

### Les fabricants français

#### Nom de l'entreprise

Apple-Wind

Auton'Home

Ceol

Ecolabenergies (pompage)

ElectroVent

Eol'Process (projet)

Eole-System

Eoltec

Gual

Nhéolis

Noveol

SEVM (pompage)

Weole Energy

### Les principaux installateurs en France

Action Eolienne

Aquitaine aérogénérateurs

Breizh Eolienne

CITA

Enedal

Eol-ution

Eole Synergie

Eolienne 31

Krugwind SARL

Quenea

Solieco Energies

Watt et Puissance

Windeo

### Les principaux fabricants étrangers

Nom de l'entreprise	Pays
Awp	Zimbabwe
Ampair microwind	UK
Kestrel	Afrique du Sud
MariahPower	USA
Fuhrländer	Allemagne
Marlec	UK
LVM	USA
Fortis	Pays Bas
Bergey	USA
Bornay	Espagne
Jonica Impianti	Italie
Ropatec	Italie
Southwest Windpower	USA
SuperWind	Allemagne
Proven Energy	UK
TurboWind	Belgique
WestWind	USA

### Les autres fabricants étrangers

Nom de l'entreprise	Pays
ACSA	Espagne
Gaia Wind	UK
Home Energy	Pays Bas
Joliet	Espagne
Zytech Aerodyne	Chine
SVIAB	Suède
Turby	Pays-Bas

# Annexes

## Glossaire

- **Anémomètre**

Appareil de mesure de la vitesse du vent.

- **Eolienne à axe horizontal**

Eolienne dont l'axe du rotor est horizontal. Le plan de l'hélice étant donc vertical. C'est la forme retenue pour le grand éolien et la plus fréquente dans le petit éolien.

- **Eolienne à axe vertical**

Eolienne dont l'axe du rotor est vertical. Le plan de l'hélice étant donc horizontal. Ce type d'éolienne concentre actuellement une grande part des efforts de recherche.

- **Eolienne de type Darrieus**

Eolienne verticale conçue en 1931 par l'ingénieur français Georges Darrieus (24 Septembre 1888 - 15 Juillet 1979). Elle fut construite jusqu'en 1997 par FloWind.

- **Eolienne de type Savonius**

Eolienne verticale constituée de deux ou plusieurs godets (demi-sphère ou demi-cylindre).

- **Générateur (aérogénérateur)**

Alternateur ou dynamo dont le rôle est de transformer la rotation de l'axe du rotor en électricité.

- **Onduleur / Redresseur**

Système de régulation du courant irrégulier produit par une éolienne afin de permettre son utilisation domestique ou son injection sur le réseau.

- **Petit éolien**

Installation d'éoliennes produisant de l'électricité dont la puissance nominale est comprise entre 1 et 30 kilowatts. En dessous de 1 kW, on parle de micro-éolien.

- **Puissance nominale d'une petite éolienne**

Puissance pour laquelle son rendement est le plus élevé (énergie reçue / énergie récupérée). La puissance nominale d'une éolienne est donc donnée pour une plage de vitesse de vent.

- **Raccordement au réseau électrique**

L'éolienne étant dépendante du vent, un raccordement au réseau électrique est nécessaire. Il per-

met également de vendre tout ou partie de la production électrique de l'éolienne. Pour le petit éolien et jusqu'à 36 kW, le raccordement est effectué sur le réseau basse tension géré par ERDF (Electricité Réseau Distribution France).

- **Variation de puissance d'une petite éolienne**

La puissance d'une éolienne dépend de la vitesse du vent et varie avec son cube. Par exemple, une éolienne produisant 2 kW à 4 m/s, produira 8 kW à 8 m/s.

- **ZDE (Zones de Développement de l'Eolien)**

Sites de taille variable sur lesquels toute éolienne installée bénéficie d'une subvention d'exploitation sous forme d'un tarif d'achat préférentiel de sa production par EDF.

# Annexes

## Témoignage

Jean-Yves Naud a fait installer à l'été 2008 une éolienne de 20 kW à son domicile de Cogles en Bretagne. Une année d'exploitation plus tard, il nous livre son bilan.

### **Cleantech Republic : Quelle était votre démarche ?**

**Jean-Yves Naud :** Je suis passionné par les énergies renouvelables et ma maison en utilise un maximum. (ndlr : M. Naud possède aussi des panneaux photovoltaïques, des panneaux solaires thermiques, une centrale de cogénération au bois, et une PAC géothermique !) Je souhaitais à l'origine installer une éolienne de 36 kW, c'est à dire le maximum possible pour un particulier. Malheureusement, il est impossible de trouver sur le marché des machines supérieures à 20 kW.

### **Combien de temps s'est écoulé entre l'idée et le premier tour de rotor ?**

Il faut savoir être patient. J'ai commencé mes démarches il y a quatre ans. J'ai tout d'abord réalisé moi-même une pré-étude de vent à 10 mètres pendant un an. Tout en commençant les démarches administratives et en prenant la température auprès de mes voisins. Les résultats étant bons, Krug a réalisé une étude de vent à 20 et 30 mètres pendant 9 mois. Cela peut paraître long,

mais c'est le temps qu'il faut pour assurer son projet.

### **Comment avez-vous choisi votre éolienne ?**

Je souhaitais un modèle fiable et rustique, presque obsolète. Et avec le moins d'électronique possible. D'après moi, une éolienne est loin d'être un produit « plug and play », on est plus proche d'un prototype, même pour des engins fabriqués en série. Au final, mon choix s'est porté sur une WestWind de 20 kW, équipée d'un pitch (ndlr : pas variable des pales) et d'un furling (ndlr : effacement du rotor en cas de vent fort) muni d'un câble, ce qui me permet de l'actionner volontairement si nécessaire.

### **Comment s'est déroulée l'installation ?**

Extrêmement bien. C'est là qu'on voit le professionnalisme de son installateur. Dresser un mât de 30 mètres demande en effet du doigté...et du sang froid. Les voisins ont pu voir à cette occasion que mon éolienne allait vraiment exister. Il faut dire que 18 toupies de béton ne passent pas inaperçues. Enfin, je tiens à souligner la qualité d'écoute et l'aide bienveillante apportées par ErDF.

### **Quelle est la rentabilité de l'opération ?**

Sachant que je n'ai bénéficié d'aucune aide, ni subvention, ni crédit

d'impôt, et que je revends la totalité de ma production, le retour sur investissement des 100 000 € déboursés est théoriquement de 18 ans. Je dis théoriquement car l'année a commencé par une panne : la puissance a plafonné à 50% pendant plusieurs mois avant que la casse d'une pièce n'immobilise mon éolienne pendant trois mois. Bilan, j'ai produit à ce jour 11 MWh sur les 39 prévus. Heureusement, tout est rentré dans l'ordre et la machine produit plutôt plus que prévu.

### **Quels conseils pouvez-vous donner aux candidats à l'aventure éolienne ?**

Tout d'abord de rencontrer des gens qui ont déjà fait la démarche. Je reçois pour ma part entre 5 et 10 personnes chaque week-end. Ensuite de faire une véritable étude de vent. Et pour finir de ne pas rêver : rentabiliser son installation est beaucoup plus facile à 30 mètres qu'à 12 ! J'oubliais... mieux vaud être bricoleur pour pouvoir se débrouiller seul en cas de problème.

Consulter [le site de M. Naud](#)

# Annexes

## Liens utiles

---

[SEPEN](#) : Centre d'étude de petites éoliennes

## Remerciements

---

Nous adressons tous nos remerciements à Olivier Krug, créateur de [Krug Sarl](#), pour son aide précieuse dans la rédaction de ce guide.