

[petit éolien] LE GUIDE



Pour un petit éolien de qualité...

Le plan de développement des énergies renouvelables français, issu du Grenelle Environnement, fixe à 23% la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale d'ici 2020 (contre 14% aujourd'hui). L'énergie éolienne y occupe une place prépondérante car cette filière représente entre le quart et le tiers du potentiel de développement.

Depuis 2001, le soutien à la filière éolienne en France repose de fait sur le déploiement de parcs d'aérogénérateurs de grande puissance. Le "petit" éolien doit encore trouver sa place, peut être modeste en quantité, mais importante dans le cœur de nombreux Français. Et puis nous avons besoin de toutes les énergies renouvelables, développées à toutes les échelles, pour relever collectivement les défis énergétique et climatique.

Le "petit" éolien a l'avantage d'être un investissement accessible pour les acteurs du monde rural, agriculteurs, petites collectivités ou particuliers, d'être plus facile à implanter que le "grand", au regard de l'impact paysager et du raccordement électrique. Outre l'aspect positif sur l'acceptabilité sociale de l'éolien en général, il offre un coût de production du kWh compétitif, à mi-chemin entre "grand" éolien et photovoltaïque en termes de coûts d'investissement ou de productivité au kW installé.

Le "petit" éolien a par ailleurs une complémentarité de production intéressante avec d'autres productions décentralisées d'électricité renouvelable, comme le photovoltaïque. C'est un point positif pour le bouquet énergétique français quand on sait que les renouvelables vont prendre une part croissante dans la production d'électricité.

Aujourd'hui, la demande sociale pour le "petit" éolien augmente. En revanche, des points de blocage sont à lever pour que cette filière se développe de façon satisfaisante. Il est notamment primordial d'aller chercher le vent assez haut et de ne pas limiter la hauteur de mât à 12 mètres pour simplement esquiver l'obligation de permis de construire. D'un autre côté, l'instruction des permis pour le "petit" éolien doit se faire avec des critères distincts du "grand". Pour cela, les services déconcentrés de l'État peuvent s'appuyer sur ce guide méthodologique, destiné également aux acheteurs potentiels, comme aux professionnels ou aux élus locaux qui sont amenés à donner leur avis... Ou à équiper la commune.

Pour nous, représentants de l'ADEME et de Pôle Énergies 11, ce guide est une nouvelle étape dans la reconnaissance d'un véritable statut pour la filière "petit" éolien. Cette reconnaissance passe autant par l'adaptation des règles (Zone de Développement Éolien, tarifs d'achat...) que par la mise en place d'une démarche de qualité. L'ADEME participe aujourd'hui au financement de deux sites d'essai indépendants et complémentaires dans le département de l'Aude. L'Agence et les professionnels travaillent aussi à la création d'un label de qualité pour les entreprises qui installent les petits aérogénérateurs. Enfin, les relais d'information que sont les conseillers des Espace Info Énergie commencent à être formés. C'est l'ensemble de la chaîne qui est ainsi mobilisée pour que soit développé en France un "petit" éolien de qualité en suivant cette "règle de trois": le bon aérogénérateur, positionné au bon endroit et à la bonne hauteur, par un installateur compétent.

GÉNÉRALITÉS	CHAPITRE 1
Principe & historique	PAGE 4
Principaux types d'éoliennes	6
Réglementation : questions/réponses	8
TECHNIQUE	CHAPITRE 2
Comment évaluer le vent ? (gisement éolien...)	10
Évaluer un aérogénérateur	12
Pour produire l'électricité : le générateur	13
Au contact du vent : les pales	14
Pour aller chercher le vent : le mât	15
Les systèmes d'orientation et la régulation	16
Pour rendre le courant produit utilisable : l'onduleur	17
Le raccordement au réseau public de distribution d'électricité	18
Le stockage de l'énergie en site isolé	19
ADMINISTRATIF, ÉCONOMIE	CHAPITRE 3
Les étapes administratives	20
Les garanties, les assurances	22
L'économie d'un projet	24
Aides financières et fiscalité...	28
IMPACTS	CHAPITRE 4
Lire le paysage sur trois échelles	30
Prendre en compte les composantes paysagères	32
Le type de l'éolienne a une influence	36
Étude de cas	38
Élaborer un photomontage	40
Site paysager de La Garde-Adhémar	42
Site paysager de Barre-des-Cévennes	46
Site paysager de Longeville-sur-Mer	50
Impact sonore	54
Impact sur la faune et la flore	56
RETOURS D'EXPÉRIENCES	CHAPITRE 5
"Une éolienne pour le plaisir" (Hérault)	58
"Une éolienne en complément" (Aveyron)	62
"Une éolienne pour valoriser le site..." (Pas-de-Calais)	66
"Une éolienne pour électrifier une île isolée" (Bretagne)	70
ANNEXES	CHAPITRE 6
Glossaire	74
Pour en savoir plus...	76

Principe & historique...

QU'APPELLE-T-ON "PETIT ÉOLIEN" ?

Une norme internationale* définit le standard pour le petit éolien : surface balayée inférieure à 200 m². Dans ce guide, nous appliquerons le terme de "petit éolien" aux aérogénérateurs présentant une puissance inférieure ou égale à 36 kilowatts (kW). Ce seuil n'est pas arbitraire, il correspond à une contrainte technique en France. En effet, jusqu'à cette puissance, il est relativement facile de raccorder les aérogénérateurs au réseau de distribution électrique basse tension. En revanche, au-delà de 36 kW, le raccordement est plus complexe et onéreux.

Les mâts de ces petites éoliennes n'excèdent généralement pas une vingtaine de mètres, et le diamètre de leur rotor, une quinzaine grand maximum. Ces caractéristiques les rendent relativement faciles à implanter et à intégrer dans le paysage.

*IEC 61400-2

COMMENT ÇA MARCHE ?

Dans la pratique, le vent fait tourner des pales fixées sur un rotor, lequel actionne un générateur placé en haut du mât. Si le vent est assez puissant, le générateur transforme une partie de cette énergie mécanique en énergie électrique. Cette dernière peut être consommée sur place pour couvrir les besoins d'une maison, d'une exploitation agricole, d'une collectivité, d'une entreprise... Elle peut aussi être injectée au réseau électrique si l'éolienne y est raccordée.

De petites éoliennes sont aussi conçues sans générateur pour un usage purement mécanique, par exemple pour pomper de l'eau. Mais dans ce cas, on ne parle pas "d'aérogénérateurs", terme consacré aux éoliennes produisant de l'électricité.



CASTELNAUDARY, DÉBUT DU XX^e SIÈCLE. (ARCHIVES DÉPARTEMENTALES DE L'AUDE)



ÉOLIENNE DE POMPAGE, PRÈS DE GASPARET DANS L'AUDE.



ÉOLIENNE BOLLÉE À PROXIMITÉ DE TOURS, EN BORD DE LOIRE.

L'ÂGE D'OR DU PETIT ÉOLIEN

Véritables ancêtres des petites éoliennes actuelles, les moulins à vent eurent un rôle majeur dans le développement préindustriel.

Leur utilisation se généralise sur le Vieux continent dès le XII^e siècle durant lequel on les utilise pour moulinier le grain. Au XIV^e siècle, de nombreux moulins à vent irriguent les champs français et drainent les champs hollandais. Vers la fin du XVIII^e siècle, ils sont devenus l'équivalent du moteur électrique de l'Europe. Les moulins à vent rendent alors de nombreux services : irrigation, mouture, pressage de l'huile, fabrication de pâte à papier et de fibre textile, travail du bois dans les scieries... On recense alors une puissance installée d'environ 1 500 MW !

Avec l'avènement de la vapeur et de l'électricité, la révolution industrielle sonne le glas de ce développement. Ce ne sera qu'après le premier choc pétrolier de 1973 que l'énergie éolienne reprendra

tout son sens pour la production d'électricité. Intérêt renforcé par des préoccupations environnementales croissantes. Le marché s'oriente alors vers des aérogénérateurs industriels de grande taille. Une évolution dictée par des critères techniques (la puissance des machines est proportionnelle à la surface balayée par le rotor) et économiques. Excepté pour les sites isolés du réseau électrique, les petites éoliennes sont donc délaissées.

Mais aujourd'hui, de plus en plus d'acteurs économiques de petite taille souhaitent également valoriser le vent qui les environne. Afin de leur proposer des machines adaptées à leurs besoins et à leurs contraintes, le "petit éolien" commence à passer d'une phase artisanale à une structuration en filière. En juillet 2009, 360 demandes de raccordement de petites éoliennes au réseau électrique français étaient en cours.

LES ÉOLIENNES AU FIL DU TEMPS

- 600 : les persans conçoivent les premiers moulins à vent qui vont se répandre à travers le monde pour pomper, drainer, irriguer, moulinier, presser...
- 1888 : première éolienne capable de produire de l'électricité
- Années 30 : des milliers de petites éoliennes sont construites aux Etats-Unis pour l'éclairage des fermes et la recharge des batteries des radios
- 1930-1940 : plusieurs projets d'éoliennes de grande puissance voient le jour aux Etats-Unis et en ex-URSS
- 1945-1963 : développement d'éoliennes de 100 à 1200 kW en France
- 1973 : le premier choc pétrolier suscite un véritable intérêt pour l'énergie éolienne
- 1998 : le marché des éoliennes dépassant le mégawatt (MW) décolle
- 2008 : le parc éolien mondial représente 120 791 MW de puissance installée dont 3 404 MW en France
- 2008 : le marché des petites éoliennes se développe dans le monde, notamment en Grande-Bretagne (environ 7 MW installés cette année-là pour les machines d'une puissance unitaire inférieure à 50 kW) et aux États-Unis (plus de 17 MW installés dans l'année pour les machines d'une puissance unitaire inférieure à 100 kW)

Principaux types d'éoliennes...

En petit éolien, les aérogénérateurs se classent en deux grandes catégories:



AXE HORIZONTAL À HÉLICES.

LES AÉROGÉNÉRATEURS AXE HORIZONTAL

L'axe de leur rotor est parallèle au sol.

Ce type d'éoliennes est généralement muni d'une hélice à trois pales assurant un bon rendement théorique, plus rarement de deux, voire d'une seule. Le système de l'hélice présente en effet le meilleur coefficient de puissance. Actuellement, ce sont elles qui donnent les meilleures garanties sur les plans technique et économique.

Elles nécessitent un dispositif d'orientation de la nacelle pour suivre la direction du vent. Certains captent le vent de face (au vent), d'autres de dos (sous le vent).

Nous reviendrons plus en détail sur leurs éléments constitutifs dans le chapitre 2 (voir p. 9 à 16).



PLUS RARE: AXE HORIZONTAL SELON LE PRINCIPE DES "AILES BATTANTES".

LES AÉROGÉNÉRATEURS AXE VERTICAL

L'axe de leur rotor est perpendiculaire au sol.

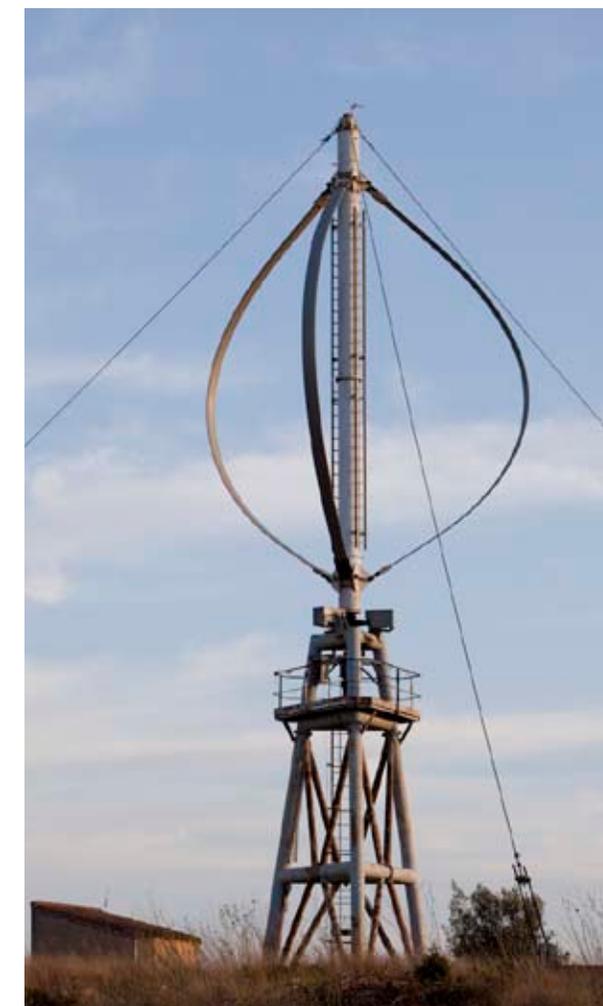
Ces éoliennes captent le vent quelle que soit sa direction et ne nécessitent donc aucun dispositif d'orientation. En théorie, elles s'adaptent donc mieux aux zones de vent irrégulier générant des turbulences. Mais le savoir-faire et le retour d'expérience sont moindres sur ce type de machines. En effet, elles n'ont pas bénéficié de l'expertise acquise sur les éoliennes industrielles exclusivement constituées de



AXE VERTICAL DE TYPE SAVONIUS.

machines à axe horizontal. Néanmoins, cette technologie peut s'avérer pertinente pour de petites éoliennes. Quelques prototypes d'éoliennes de faible puissance à axe vertical commencent d'ailleurs à émerger.

Les modèles les plus communs sont ceux de type **Savonius** avec un rotor en forme de "S" et **Darrieus** dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Ces derniers ne démarrent pas seuls: ils doivent être lancés par la génératrice utilisée en moteur,



AXE VERTICAL DE TYPE DARRIEUS, À PORTEL-DES-CORBIÈRES (11) PROJET ABANDONNÉ.

Réglementation : questions/réponses

Dois-je déposer une demande de permis de construire pour mon éolienne ?

Pas forcément. Vous ne devez déposer une demande de permis de construire auprès de la mairie de la commune où sera implantée l'éolienne que si la distance entre le sol et l'axe de son rotor dépasse douze mètres de haut.

Si sa production est destinée à l'autoconsommation, c'est le maire qui délivre ce permis ; si elle est destinée à la vente, c'est le préfet. Le dossier de permis de construire doit contenir une notice d'impact (voir p.28).



PERMIS DE CONSTRUIRE REQUIS POUR LES ÉOLIENNES À PLUS DE 12 M DU SOL... POUR ESPÉRER UNE BONNE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, CETTE FORMALITÉ ADMINISTRATIVE EST PRESQUE TOUJOURS INDISPENSABLE.

Et pour les machines de moins de 12 mètres ?

Selon le code de l'urbanisme, aucune formalité n'est à accomplir pour une éolienne de moins de 12 mètres de hauteur (mât et nacelle), pas même une déclaration préalable en mairie. En revanche, si le projet se situe dans le périmètre d'un secteur sauvegardé ou d'un site classé, il est soumis à une autorisation spéciale délivrée par le préfet, au titre du code de l'environnement*.

Le cas se présentera très rarement dans un secteur sauvegardé, qui concerne un ensemble bâti remarquable. Il peut se produire avec plus de fréquence dans les sites classés, qui protègent en général des espaces naturels, délimités à la parcelle.

*articles L 341-7 et L 341-10

Liste des sites classés en France :

www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine

A quelles conditions, et à quel tarif, puis-je vendre l'électricité que mon éolienne injecte dans le réseau ?

La loi oblige EDF ou les Entreprises Locales de Distribution à acheter 8,2 centimes d'euros chaque kWh que votre éolienne injecte sur le réseau à condition que celle-ci :

- Se situe dans une zone de développement éolien (ZDE).
- Respecte la puissance minimale et maximale définie pour cette ZDE.
- Injecte la totalité de sa production sur le réseau.

Ce tarif est le même que celui fixé pour les grandes éoliennes industrielles. Il est valable pour dix ans, puis varie les cinq années suivantes entre 2,8 et 8,2 centimes d'euros par kWh selon les sites. Vous pouvez également choisir qu'EDF vous achète l'électricité injectée au réseau (en totalité ou en partie) au même prix que celle qu'elle vous vend.

Mais actuellement, quelle que soit l'option choisie, ces tarifs d'achat ne sont pas rentables pour une petite éolienne. Il est donc conseillé d'autoconsommer sur place le maximum d'électricité produite.



PETITES ÉOLIENNES DU SITE D'ESSAI PRIVÉ DE LA SOCIÉTÉ KRUGWIND, EN PREMIER PLAN DEVANT DES GRANDES, À AVIGNONET-LAURAGAIS (31).

Hors ZDE, que votre éolienne injecte la totalité ou seulement une partie de sa production sur le réseau, EDF n'est pas réglementairement tenue de vous acheter l'électricité.

Enfin, en situation ZDE ou hors ZDE, rien ne vous empêche d'essayer de négocier un tarif d'achat avec un fournisseur d'électricité ou un de ses intermédiaires agréé par le Réseau de Transport d'Électricité (RTE). Ceux-ci sont nommés "responsables d'équilibre".

tations loin des habitations, exploitations agricoles ou zones artisanales. De ce fait, les ZDE excluent des secteurs où il est pertinent de développer du petit éolien.

Il est pourtant envisageable pour des collectivités de réaliser des ZDE couvrant, par exemple, des zones rurales avec des seuils bas et haut (en puissance et en hauteur de machines), permettant de faire bénéficier au petit éolien du tarif d'achat garanti.

Qu'est-ce qu'une ZDE ?

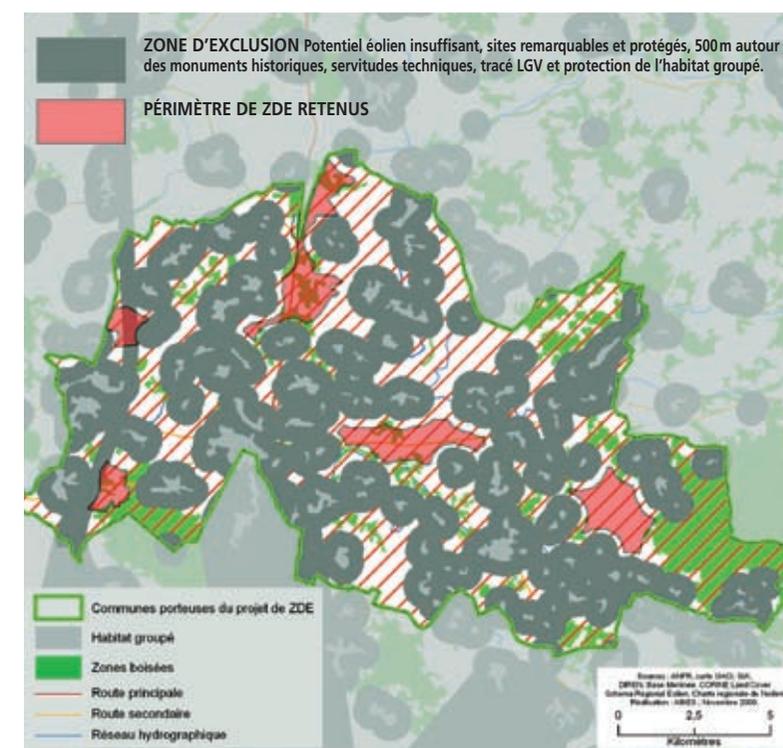
Toute ZDE est d'abord proposée par une ou plusieurs communes ou EPCI (établissement public de coopération intercommunal).

Les critères qui entrent en jeu pour sa définition sont :

- Le potentiel éolien.
- Les possibilités de raccordement au réseau électrique.
- La protection des paysages, des monuments et des sites.

C'est le préfet du département qui décide de sa création, ou pas.

La procédure ZDE a été mise en place pour encadrer le développement des grandes éoliennes en France. Dans cet objectif, les zonages réalisés jusqu'ici privilégient des implan-



EXEMPLE DE DÉMARCHÉ DE ZDE (D'APRÈS UN DOC. ABIES).

Comment évaluer le vent ?

Évaluer son "gisement éolien" est une étape indispensable. En effet, la force, la fréquence et la régularité des vents sont des facteurs essentiels.

Les questions préalables à se poser Suis-je dans une région ventée ?

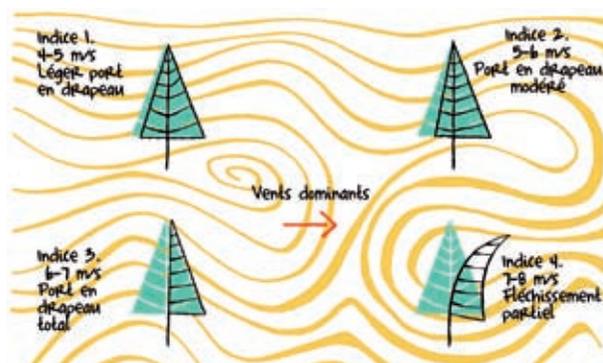
Une carte des vents régionale donne une première indication. A titre indicatif, le Languedoc-Roussillon et la Bretagne sont par exemple nettement plus ventés que l'Alsace ou la Franche-Comté.

Existe-t-il des indices encourageants ?

Anciens moulins, végétation latéralisée, haies plantées dans le même sens... sont autant de signes positifs. La proximité de parcs éoliens ne signifie pas que les vents seront de même qualité à hauteur d'une petite éolienne.

Mon environnement direct est-il adapté ?

Le milieu urbain génère des turbulences qui dégradent les performances de l'éolienne. Si les modèles à axe vertical y semblent théoriquement mieux adaptés, aucun modèle n'en a fait la démonstration. Si votre objectif est la rentabilité, le milieu urbain est donc déconseillé.



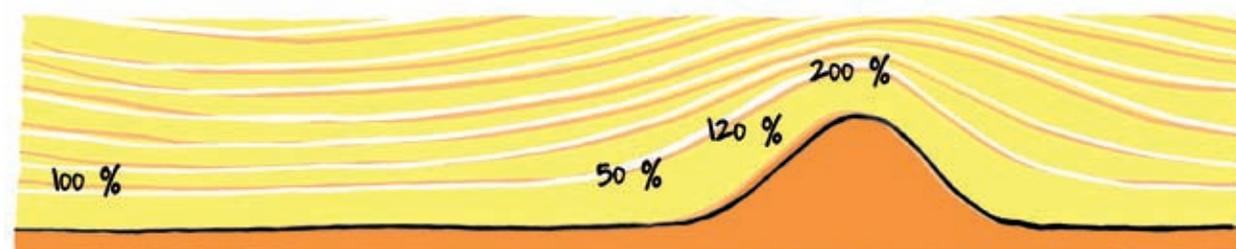
UN BON INDICATEUR BIOLOGIQUE: LES CONIFÈRES. LEUR FORME PERMET D'ÉVALUER APPROXIMATIVEMENT LA VITESSE MOYENNE ANNUELLE DU VENT, SELON L'INDICE DE DÉFORMATION DE GRIGGS-PUTNAM.



LE PORT EN DRAPEAU ET LE FLÉCHISSEMENT DU TRONC PERMET D'ATTRIBUER L'INDICE 5 À CE SITE, SOIT UNE VITESSE MOYENNE ANNUELLE DU VENT DE PLUS DE 7 M/S.



LES VITESSES DE VENT DIMINUENT ET LES TURBULENCES AUGMENTENT EN AVANT D'UN OBSTACLE... MAIS AUSSI EN AMONT.



LA VITESSE DU VENT AUGMENTE FORTEMENT AU SOMMET D'UNE COLLINE QUI FAIT OBSTACLE AU VENT... MAIS DIMINUE GÉNÉRALEMENT EN PARTIE BASSE (BÄTTLELE PACIFIC NORTHWEST LABORATORY).

Quatre étapes majeures

Si votre site semble propice, il est fortement conseillé de faire appel à un spécialiste reconnu (bureau d'étude ou installateur) qui y réalisera une étude solide. Quatre étapes sont nécessaires :

1. Tirer parti de la rose des vents

Vendue par Météo France, la rose des vents locale indique les vents dominants. Pour que l'éolienne soit correctement exposée, le point d'implantation choisi doit être le plus éloigné possible des obstacles coupant ces vents, le plus haut et le plus dégagé. A proscrire : une installation au milieu d'un bois, sur le toit de la maison ou d'un bâtiment.

2. Installer un mât de mesure

Équipé d'anémomètres, d'une girouette et d'un enregistreur de données, ce type de mât mesure la vitesse et la direction du vent. Un enregistrement sur trois mois est un minimum, si possible à la hauteur où est envisagée l'éolienne... Sachant que plus on monte, plus les vents sont forts, fréquents et réguliers.

3. Comparer et extrapoler les données

Les données recueillies sont à comparer aux données similaires (payantes) de la ou les station(s) Météo France les plus proches. Les données décennales de cette ou ces station(s) (également payantes) permettent ensuite d'extrapoler sur dix ans les données recueillies par le mât de mesure. On en tire la vitesse moyenne du vent sur le site et sa distribution (répartition des vents par vitesses).

4. Estimer le productible

En recoupant ces données avec la courbe de puissance de l'aérogénérateur choisi (voir p.12), on estime le productible, c'est-à-dire la production potentielle de l'éolienne sur un an. Attention : ce n'est qu'une indication car la vitesse moyenne du vent peut fortement varier d'une année sur l'autre... Jusqu'à 25%.



L'IDÉAL EST DE MESURER LE VENT DURANT UN AN; TROIS MOIS EST UN MINIMUM.

Évaluer un aérogénérateur

Ne pas se laisser piéger par la puissance annoncée

Généralement, les constructeurs annoncent la puissance “nominale” qui correspond à une vitesse de vent donnée. Or cette vitesse, également dite “nominale”, peut s’avérer bien supérieure à celle que peut fréquemment atteindre le vent sur votre site ! Outre la vitesse du vent, la puissance dépend de la surface balayée par le rotor, de la masse volumique de l’air et de caractéristiques propres à l’aérogénérateur.

Étudier la courbe de puissance

En revanche, la courbe de puissance établit la puissance de l’aérogénérateur en fonction de différentes vitesses de vent. C’est en la recoupant avec la courbe de répartition des vents mesurés sur le site d’implantation que le productible pourra être estimé. On remarque qu’à partir d’une certaine vitesse, la puissance devient nulle : ce point sur la courbe correspond à la mise en sécurité de l’éolienne (voir p. 16). Sur certains aérogénérateurs, au-delà de la vitesse de vent nominale, la puissance peut rester constante.

D’autres éléments à prendre en compte

- Générateur, pales, mât, régulation, onduleur : l’éolienne fait partie d’un système complet dont la combinaison conditionne la performance de l’ensemble (voir p. 12 à 17).

- Maintenance annuelle : certaines éoliennes nécessitent du matériel de chantier et l’intervention d’un professionnel (voir p. 15).

- Vitesse en bout de pales : plus elle est élevée, plus l’éolienne sera bruyante et source de nuisance sonore. Il est conseillé de ne pas dépasser 70 m/s (voir p. 35).



LE SITE D'ESSAI INDÉPENDANT DE NARBONNE TESTE LES MACHINES DURANT 6 MOIS.

POUR UNE INFORMATION INDÉPENDANTE

Le Site expérimental pour le petit éolien de Narbonne (SEPEN) est l’unique site d’évaluation indépendant pour les petites éoliennes en France. Il est soutenu par l’Ademe, la Région Languedoc-Roussillon, la Ville de Narbonne et EDF.

Les techniciens peuvent y tester simultanément quatre aérogénérateurs de 200 W à 10 kW, six mois chacun, sur les critères suivants :

- courbe de puissance et production électrique en fonction du potentiel éolien
- qualité du courant produit
- niveau sonore
- fiabilité
- sécurité
- comportement général

Pour chaque machine est établi un rapport d’évaluation. Une liste de ces rapports est disponible sur le site internet du Sepen (www.sepen-montplaisir.fr).

Ce site français n’est toutefois pas un centre de certification, comme le site espagnol du Ciemat, ou celui du NREL aux États-Unis.

Également soutenu par l’Ademe, et porté par Pôle Energies 11, un second site d’expérimentation pour les aérogénérateurs de 10 à 36 kW vient d’ouvrir ses portes sur le site de Malbouissou au nord-ouest de Castelnaudary (Aude).

Pour produire l’électricité : le générateur

Le générateur est composé d’une partie fixe, le stator, et d’une partie mobile, le rotor. L’un des deux contient des bobines de fil électrique, l’autre des aimants qui génèrent un champ magnétique.

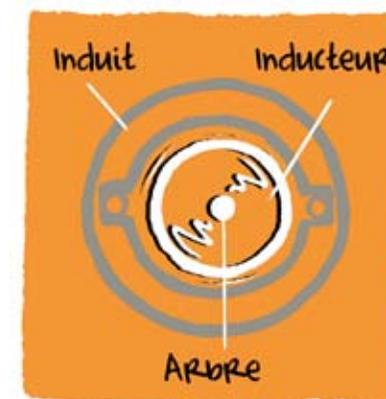
Le principe de fonctionnement est le suivant : le mouvement relatif entre bobines et aimants induit un courant dans les bobines ; c’est le phénomène dit d’induction. Le plus souvent, les aimants sont logés dans le rotor, et les bobines dans le stator. Les aimants constituent “l’inducteur” et les bobines “l’induit”.

La puissance d’un générateur dépend de trois paramètres

- Dimensions de l’induit.
- Force du champ magnétique produit par l’inducteur.
- Vitesse de déplacement entre les deux, liée à celle du vent.

Générateur synchrone

Aujourd’hui, la plupart des générateurs sont des modèles synchrones à aimants permanents. En effet, ils possèdent un avantage de taille : leurs aimants naturellement magnétiques n’ont pas besoin d’être excités par un courant électrique. En outre, il est plus aisé d’obtenir des vitesses de fonctionnement lentes avec les “synchrones”. Ces vitesses lentes permettent d’éviter le recours à des multiplicateurs de vitesse pouvant poser des problèmes de maintenance et de fiabilité.



GÉNÉRATEUR SYNCHRONE À COURANT ALTERNATIF. L'INDUCTEUR, QUI CRÉE LE CHAMP MAGNÉTIQUE, EST MOBILE : C'EST LE ROTOR, CONSTITUÉ SOUVENT D'UN AIMANT PERMANENT. L'INDUIT, QUI RÉCUPÈRE L'ÉNERGIE, EST SOLIDAIRE DE LA CARCASSE DE LA MACHINE : C'EST LE STATOR.

Générateur asynchrone

Les générateurs asynchrones nécessitent de l’électricité en provenance du réseau pour magnétiser leurs électroaimants. En site isolé du réseau électrique, des condensateurs sont ainsi nécessaires pour cette étape de magnétisation. Mais le réglage d’un “asynchrone” avec condensateurs est délicat.

Dans le cas d’un raccordement au réseau, un générateur asynchrone classique doit tourner en cohérence avec la fréquence du secteur (50 Hz). Ceci dégrade les performances de la machine car les faibles et forts vents sont moins bien exploités. L’obligation de recourir à un multiplicateur rajoute un handicap.

Au contact du vent : les pales

Les pales constituent un élément crucial : de leur nature dépend le bon fonctionnement, la durée de vie et le rendement du moteur éolien.

L'importance du profil aérodynamique

Sur les éoliennes modernes, le profil aérodynamique est étudié pour exploiter la portance. En effet, cette force perpendiculaire au vent incident permet d'atteindre des rendements bien meilleurs que ceux obtenus par les éoliennes qui exploitent la force de traînée comme les machines "Savonius".

Dans le cas de la portance, le rendement maximum théorique est de 59 % (limite de Betz) alors que pour la traînée, il est de trois à quatre fois inférieur.



Des matériaux sophistiqués

Aujourd'hui, la plupart des pales ne sont plus en bois ou en aluminium, mais en matériaux composites faits de fibres (verre, carbone, kevlar...) enrobées de résines (polyester, époxy...).

Ces matériaux permettent la mise au point de pales aux profils plus sophistiqués, légères, homogènes, moins bruyantes et plus résistantes aux conditions locales (intempéries, érosion, corrosion...).



La puissance ne dépend pas du nombre de pales

La puissance théorique d'un aérogénérateur n'est pas fonction du nombre de pales, mais de la surface balayée par le rotor.

Toutefois, plus grande est la surface totale des pales, plus le couple obtenu au démarrage est important. Pour augmenter cette surface, deux solutions sont envisageables : multiplier le nombre de pales ou utiliser des pales plus larges.

Les aérogénérateurs modernes possèdent généralement trois pales. Cette configuration garantit un bon rendement et diminue les vibrations du fait d'une plus grande stabilité dynamique; elle est aussi jugée plus esthétique.

LA PORTANCE

La portance permet à un avion de voler, alors que la traînée n'est utilisable que pour freiner comme dans le cas d'un parachute. En modifiant la forme des profils, les ingénieurs cherchent à augmenter la portance et à diminuer la traînée afin d'augmenter le rendement.

Pour aller chercher le vent : le mât

ON DISTINGUE DEUX GRANDES CATÉGORIES DE MÂTS

Les mâts haubanés

Ces mâts sont maintenus par des câbles appelés "haubans" qui les relient au sol.

Ce système présente plusieurs avantages :

- L'installation du mât ne nécessite pas d'engins de chantier : un simple treuil permet de le hisser. Les efforts au levage et en fonctionnement sont répartis entre une dalle porteuse en pied de mât, et quatre plots de béton auxquels sont fixés les haubans.
- Grâce au treuil, la maintenance de l'éolienne s'effectue après simple basculement du mât.
- Ils sont plus légers et moins chers.

Revers de la médaille : l'espace au sol nécessaire pour la fixation des haubans et le basculement est important. Enfin, vue de près, une éolienne haubanée est souvent jugée moins esthétique. Dans les cas où ces facteurs ne constituent pas une contrainte, la plupart des professionnels conseillent les mâts haubanés.



MÂT HAUBANÉ.



MÂT AUTOPORTANT



MÂT AUTOPORTANT BASCULANT.

LA FORME MONOTUBE PLÉBISCITÉE

La plupart des mâts actuels sont de forme monotube, relativement esthétique. Les mâts autoportants en treillis, moins agréables à la vue disparaissent peu à peu; les oiseaux qui s'y perchent risquent en outre d'entrer en collision avec les pales. Pour baisser les coûts de transport des mâts, les constructeurs développent des systèmes emboîtables.

Les systèmes d'orientation et la régulation

LES SYSTÈMES D'ORIENTATION

Afin que les pales captent un maximum de vent, deux grands systèmes d'orientation sont développés sur les petites éoliennes :

Face au vent

Les éoliennes “face au vent” sont généralement munies d'un gouvernail qui permet d'orienter leur hélice en direction du vent. Ainsi, elles captent le vent en amont du mât. Ce système limite les conséquences des perturbations provoquées par le passage des pales à proximité du mât.

Sous le vent

Les éoliennes “sous le vent” présentent leur hélice en aval du mât. Cette orientation est obtenue par une installation des pales dans une forme conique. Cette configuration augmente les perturbations et le bruit provoqués par le passage des pales à proximité du mât. Afin de réduire l'impact sonore du passage des pales dans le sillage du mât, ces dernières peuvent présenter une courbure particulière.



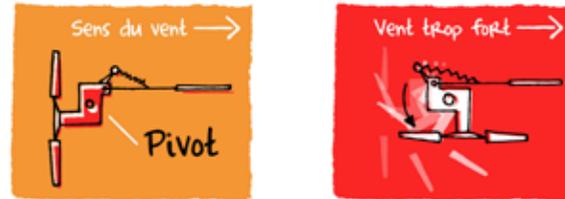
ÉOLIENNE “FACE AU VENT” (GAUCHE) À CÔTÉ D'UNE “SOUS LE VENT” (DROITE).

LA RÉGULATION

Différents systèmes de régulation sont développés :

Par l'effacement au vent

Le rotor pivote afin que les pales ne soient plus directement dans le lit du vent. L'effacement peut être soit vertical, soit latéral. Assez rustique, ce dispositif n'est pas conseillé en milieu turbulent et sur sites très ventés. Sur ce type de machines, le contrôle de la puissance est très approximatif, avec souvent des courbes de puissance chutant vers des puissances nulles pour des vitesses de vent élevées.



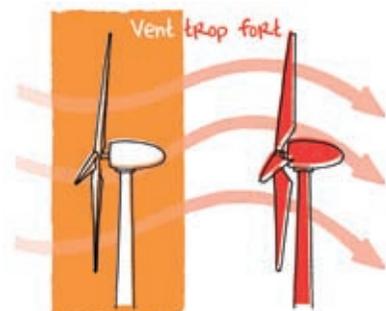
PRINCIPE DE L'EFFACEMENT, APPELÉ AUSSI “FURLING”, ICI LATÉRAL..

Par l'action directe des pales selon deux techniques

Les pales “à pas fixe”, dont la géométrie est conçue pour favoriser le décrochage aérodynamique en cas de vent violent. La régulation n'est pas très fine, mais le système est fiable, résistant et simple.

Les pales “à pas variable” peuvent pivoter autour de leur axe pour se mettre en drapeau ou effectuer un décrochage aérodynamique. Sur ce type de machines, au-delà de la vitesse de vent nominale, la puissance peut rester constante sans seuil de limitation.

- Enfin, la régulation peut se faire directement par le générateur grâce à des dispositifs électroniques contrôlant la vitesse de rotation de l'hélice.



ROTOR “À PAS VARIABLE” : LA MACHINE ROUGE EST MISE EN DRAPEAU : SES PALES ONT PIVOTÉ POUR PRÉSENTER MOINS DE PRISE AU VENT.

Pour rendre le courant produit utilisable: l'onduleur

Un onduleur est un dispositif électrique qui permet d'obtenir un courant aux qualités constantes, malgré les variations du vent.

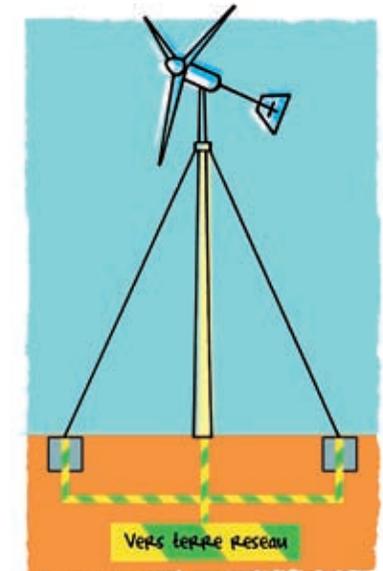
L'électricité produite est ainsi utilisable par les appareils électriques, et injectable dans le réseau de distribution public d'électricité.

Les onduleurs doivent obligatoirement être associés à des systèmes destinés à protéger le réseau.

En site isolé, la transformation du courant en vue de son stockage sur une batterie d'accumulateurs est assurée par un redresseur. Un onduleur permet ensuite de convertir le courant continu délivré par la batterie en courant alternatif pour alimenter le site. Enfin, certains générateurs asynchrones injectant directement l'électricité produite dans le réseau public de distribution d'électricité ne nécessitent pas d'onduleur.



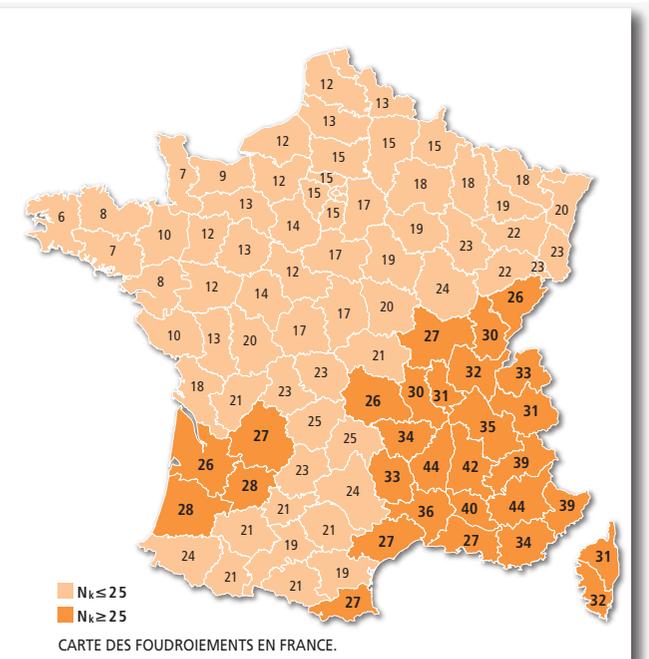
Le choix d'onduleurs n'est pas très vaste et la plupart des modèles n'ont pas été spécifiquement développés pour les petites éoliennes: en découlent parfois quelques problèmes techniques. La mise au point d'onduleurs spécifiques constitue donc un axe de recherche et développement important. Leur durée de vie est généralement d'une dizaine d'années, contre vingt ans pour les autres constituants de l'éolienne, hors pièces d'usure.



LA MISE À LA TERRE SE FAIT PAR DES FILS DE CUIVRE NUS DE 12,5 MM, INTERCONNECTÉS ENTRE EUX ET RELIÉS À LA MISE À LA TERRE DU RÉSEAU DOMESTIQUE. SIGNALONS QUE DANS LE CAS D'UN MÂT HAUBANÉ, LE FIL DE CUIVRE DOIT ÊTRE RACCORDÉ SUR LES HAUBANS AFIN QUE LA Foudre NE PASSE PAS PAR LES SOCLE EN BÉTON.

La protection contre la foudre est un point important du dispositif. Elle fait l'objet d'une norme générale (NFC 15 100). On peut également se référer à la norme qui vaut pour les installations photovoltaïques (NFC15 712 chapitres 6.3, 10 et annexe C).

Pour le petit éolien, il est conseillé de mettre en place un parafoudre entre l'éolienne et le réseau domestique, afin de protéger les appareils électriques de la maison mais aussi l'électronique (onduleur...) liée à l'aérogénérateur. Dans les zones classées “orange” sur la carte des foudroiements en France, l'installateur se doit de placer un parafoudre en tête si l'aérogénérateur est juché sur un mât de plus de 20 mètres.



■ $N_k \leq 25$
■ $N_k \geq 25$

CARTE DES FOUDEIEMENTS EN FRANCE.

Le raccordement au réseau public de distribution d'électricité

Dans le cas d'un raccordement, l'électricité produite par l'aérogénérateur peut être injectée sur le réseau de distribution public d'électricité basse tension. Si vous vous absentez pendant quelques jours et que vos consommations électriques sont réduites ou nulles, l'électricité générée peut quand même être valorisée. En cas de raccordement à ERDF, une proposition technique et financière (le devis) est demandée. Dans cette proposition, le meilleur compromis technico-économique est retenu pour les travaux. La solution peut être un raccordement souterrain, aérien ou mixte. Elle comprend aussi la pose du système de comptage.

Deux options sont envisageables pour se raccorder au réseau public de distribution d'électricité

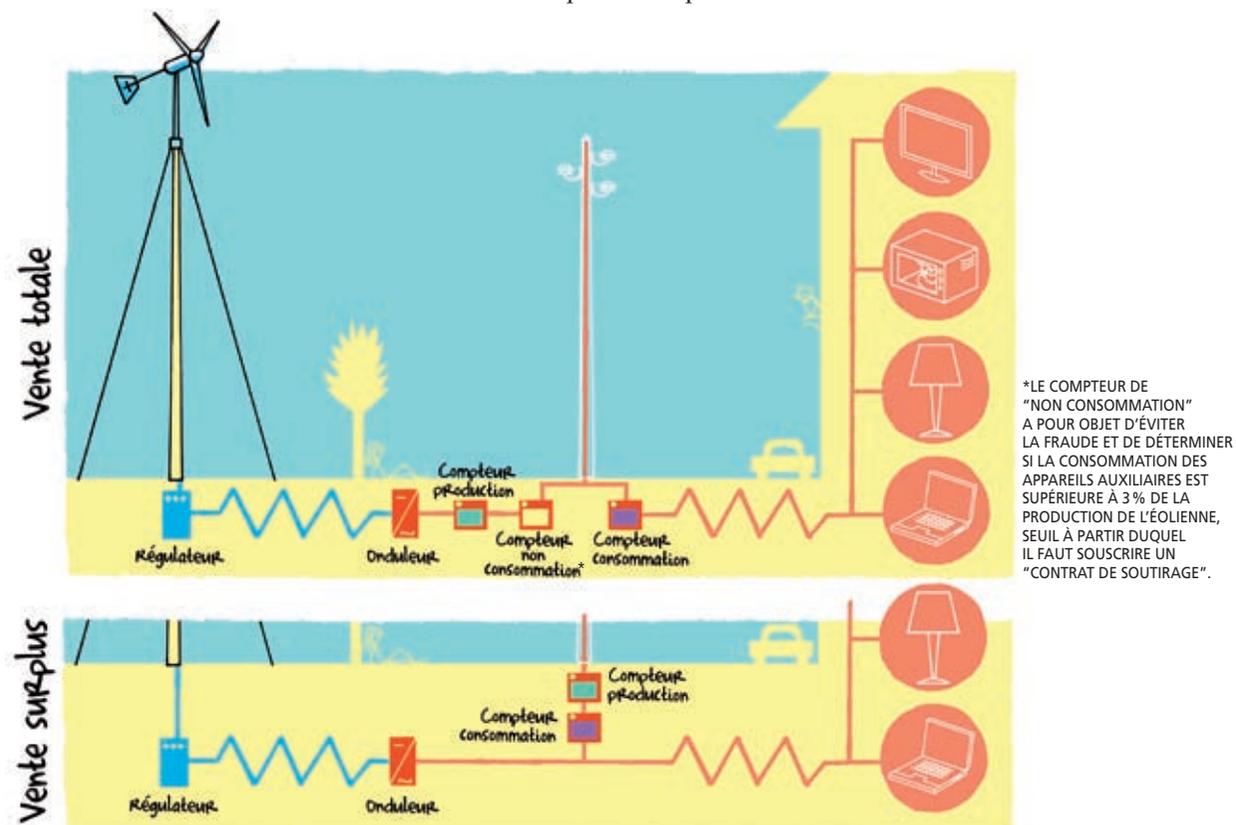
• **L'injection du surplus:** l'électricité produite est d'abord consommée localement, seul le surplus est évacué dans le réseau. Dans ce cas, l'éolienne est donc raccordée sur votre installation électrique.

Un seul compteur est à brancher, en série avec le compteur existant.

• **L'injection totale:** la totalité de la production de l'éolienne est injectée dans le réseau. L'éolienne est alors directement raccordée au réseau.

En "injection totale", un premier compteur mesure l'électricité injectée au réseau par l'aérogénérateur, et un second mesure la "non consommation", c'est-à-dire les consommations électriques des dispositifs auxiliaires de l'éolienne (onduleur, veilles...). Leur installation est plus complexe (câblage, disjoncteur...) que "l'injection surplus".

Un onduleur adapte le courant produit par l'aérogénérateur aux spécificités du réseau, ainsi qu'à l'alimentation de vos appareils électriques (voir aussi p.17). Un dispositif de protection du réseau est intégré dans l'onduleur (norme DIN VDE 0126), ou assuré par des relais homologués par ERDF. Il protège le réseau contre une dérive de tension ou de fréquence.



SCHÉMAS DE RACCORDEMENT POUR UNE VENTE TOTALE DE LA PRODUCTION (HAUT); POUR UNE VENTE DU SURPLUS (BAS).

*LE COMPTEUR DE "NON CONSOMMATION" A POUR OBJET D'ÉVITER LA FRAUDE ET DE DÉTERMINER SI LA CONSOMMATION DES APPAREILS AUXILIAIRES EST SUPÉRIEURE À 3% DE LA PRODUCTION DE L'ÉOLIENNE, SEUIL À PARTIR DUQUEL IL FAUT SOUSCRIRE UN "CONTRAT DE SOUTIRAGE".

Le stockage de l'énergie en site isolé



Dans le cas d'un site isolé du réseau électrique, l'électricité produite doit être stockée sur une batterie d'accumulateurs. Cette dernière constitue souvent le maillon faible de l'installation car elle est :

- Fragile
- De faible longévité (cinq à dix ans)
- Constituée principalement de plomb et d'acide; son recyclage en fin de vie est indispensable

La capacité de stockage utile est calculée en fonction de l'autonomie nécessaire, liée au productible estimé sur le site, à la consommation prévue et à la présence de sources d'énergie d'appoint. De manière générale, le courant appelé doit être inférieur à un dixième de la capacité des batteries. La batterie d'accumulateurs doit être installée dans un coffre ou un local adapté et ventilé.

En amont de la batterie, un redresseur de courant est indispensable pour convertir le courant alternatif en courant continu. En aval, un onduleur permet de transformer le courant continu en courant alternatif afin d'alimenter les appareils électriques (voir aussi p. 17).



MAILLON FAIBLE D'UNE INSTALLATION EN SITE ISOLÉ: LA BATTERIE D'ACCUMULATEURS.

En site isolé, certains installateurs proposent systématiquement une installation hybride associant une éolienne et des panneaux photovoltaïques. Avantage: il y a généralement plus de vent en hiver (période où le rayonnement solaire est moindre) qu'en été; la complémentarité est donc théoriquement favorable.

Toutefois, qu'on opte pour une éolienne seule ou pour une installation hybride, un groupe électrogène de secours est à prévoir pour se prémunir contre une absence prolongée de vent, un enneigement persistant (occultant les panneaux photovoltaïques) ou une panne.

Cumulus ou convecteur en "débordement"

Des systèmes dits de "débordement" sont à prévoir pour les cas où la production électrique de l'aérogénérateur dépasse la capacité de la batterie d'accumulateurs: cumulus pour l'eau chaude, convecteurs pour le chauffage...

Enfin, une tranchée est nécessaire pour raccorder l'aérogénérateur à l'installation électrique du site par voie souterraine.

LA QUESTION DU GROUPE ÉLECTROGÈNE

Petit moteur fonctionnant au pétrole ou au gaz, un groupe électrogène est un équipement polluant (gaz d'échappement, bruit) qui nécessite une maintenance coûteuse. Un groupe peut constituer un secours, ou bien un appoint si le dimensionnement de l'équipement éolien ou hybride ne permet pas de couvrir l'ensemble des besoins en électricité du site. Il faut alors recourir à un groupe électrogène d'appoint à régime lent qui pourra être davantage sollicité. Plus robuste, ce type de groupe est plus cher.

Les étapes administratives et économiques

PERMIS DE CONSTRUIRE

La demande

Le formulaire de demande et le dossier complet doivent être déposés en quatre exemplaires*, contre récépissé, à la mairie de la commune où est prévue l'implantation de l'éolienne (ou adressés par pli recommandé avec demande d'avis de réception). Le dossier doit contenir :

- Un plan de situation du terrain à l'intérieur de la commune, avec l'échelle et l'orientation.
- Un plan de masse des constructions à édifier ou à modifier, coté dans les trois dimensions avec l'échelle et l'orientation.
- Un plan en coupe du terrain et de la construction.
- Une notice d'impact comprenant au moins :

Deux photographies : une première situant le terrain dans l'environnement proche, une seconde dans le paysage lointain.

Un document graphique (photomontage) permettant d'apprécier l'insertion du projet dans son environnement.

- Dans certains cas spécifiques, différentes pièces complémentaires peuvent être demandées.

Le délai d'instruction

Le délai d'instruction du dossier est de trois mois.** Si vous ne recevez aucun courrier à cette échéance, le silence de l'administration vaut décision favorable (accord tacite).

Le délai de réalisation

Le permis est périmé si les travaux ne sont pas entrepris dans un délai de trois ans. Passé ce délai, il en est de même si les travaux sont interrompus plus d'une année. Le permis peut-être prorogé d'une année sur demande à la mairie concernée. Cette demande doit être effectuée deux mois au moins avant l'expiration du délai de validité.

Avant les travaux

Dès notification de décision favorable (ou dès la date d'acquisition du permis tacite), vous devez effectuer un affichage sur le terrain, au moyen d'un panneau rectangulaire dont les dimensions sont supérieures à 80 centimètres. Avant de commencer les travaux, vous devez adresser une déclaration d'ouverture de chantier en trois exemplaires au maire de la commune.

Après les travaux

Lorsque les travaux sont terminés, vous devez adresser une déclaration attestant de leur achèvement et de leur conformité au maire de la commune.

*Des exemplaires supplémentaires sont parfois nécessaires sur si le projet est situé sur un secteur protégé (monument historique, site, réserve naturelle, parc national...).

**Le délai d'instruction est majoré dans certains cas : parc national, établissement recevant du public...

RACCORDEMENT AU RÉSEAU

Outre les aspects liés à l'urbanisme, tout nouveau producteur d'électricité doit mener en parallèle plusieurs démarches administratives, indépendantes les unes des autres, afin de pouvoir produire, injecter puis vendre des kWh sur le réseau général.

La déclaration ou la demande d'autorisation d'exploiter

Une demande d'autorisation d'exploiter une installation de production d'électricité (ou une déclaration, dans le cadre d'une installation bénéficiant du contrat d'achat garanti) doit être transmise au ministère de l'Ecologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire.

Dans le cas de plusieurs unités de production d'électricité pour un même établissement (défini par son numéro SIRET), le dossier rassemble les différentes capacités de production.

Pour les installations éoliennes et photovoltaïques inférieures à 4500 kW, la déclaration peut être effectuée en ligne par téléprocédure, avec l'application Internet Ampere (Automatisation des déclarations de Mise en Production et en Exploitation des Ressources Electriques).

Consultez le site Internet*

<https://ampere.industrie.gouv.fr/AMPERE>

La demande de raccordement

Afin de raccorder votre éolienne au réseau public de distribution d'électricité, vous devez remplir un dossier à retirer auprès d'Electricité Réseau Distribution France. ERDF élabore ensuite une proposition technique et financière, qui correspond au meilleur compromis technico-économique.

Le point de distribution peut être sur le terrain ou en limite de propriété, avec un maximum de 30 mètres. En injection totale, il faut souscrire un contrat de soutirage si la consommation des dispositifs annexes de l'éolienne (veilles, onduleur...) dépasse 3 % de l'énergie produite.

Consultez le site Internet www.erdfdistribution.fr

La demande de certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat

Pour bénéficier de l'obligation d'achat garanti du kWh, il faut d'abord faire une demande de certificat auprès de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

La demande de contrat d'achat

Enfin, un contrat doit être passé avec Electricité De France ou une Entreprise Locale de Distribution (ELD), afin de bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité produite suivant l'arrêté tarifaire du 8 juin 2001 pour l'énergie éolienne (voir p.8 pour les conditions). Le paiement passe exclusivement par EDF ou l'ELD, qui répercute le coût de cette obligation d'achat sur tout consommateur final d'électricité, à travers une ligne "contribution au service public de l'électricité".

Rappelons ici que vous pouvez passer un contrat de vente à un n'importe quel opérateur, hors procédure obligation d'achat, si celui-ci est agréé par le Réseau de Transport d'Electricité comme "responsable d'équilibre".

*(Site sécurisé où il est nécessaire de définir un code d'accès personnel à la première connexion).



IL EST OBLIGATOIRE D'AFFICHER L'OBTENTION DU PERMIS DE CONSTRUIRE, SUR LE SITE, AVEC UN PANNEAU VISIBLE DE LA VOIE PUBLIQUE.



LE RACCORDEMENT DE L'ÉOLIENNE PEUT ÊTRE RÉALISÉ SUR LE TERRAIN OU EN LIMITE DE PROPRIÉTÉ, AVEC UN MAXIMUM DE 30 M.

Les garanties et assurances

Garantie: au moins cinq ans

Bien que la durée de vie d'une petite éolienne soit d'une vingtaine d'années (hors électronique et pièces d'usure), les constructeurs proposent généralement une garantie de deux ans et parfois plus (jusqu'à cinq ans), sur laquelle s'alignent les installateurs.

En particulier pour les investissements importants, il est fortement conseillé de demander une extension à cinq ans minimum si cette durée ne figure pas dans la proposition commerciale de base.

On veillera à ce que la garantie couvre la réparation ou le remplacement des pièces défectueuses (hors incident: foudre, vol, vandalisme...), la main d'œuvre, les frais d'intervention et de déplacement. Les éléments couverts par la garantie seront spécifiés et décrits:

- Générateur, moyeu, réducteur, pales
- Mât et son ancrage (sauf si les fondations sont réalisées par l'acheteur de l'éolienne, qui engage alors sa responsabilité sur cette partie)
- Équipements électriques et électroniques associés (onduleur, batteries éventuelles)
- Instrumentation de mesures...

Les délais d'intervention ainsi que le taux de disponibilité annuel de l'éolienne seront précisés. Si des pénalités sont prévues pour non respect de ces clauses, elles seront précisément chiffrées. Il est recommandé que les actions de maintenance préventive soient bien définies dès le départ (carnet d'entretien avec calendrier prévisionnel...).

La garantie peut également porter sur la production de l'éolienne par rapport à un prévisionnel théorique. Très rarement développée jusqu'ici, cette garantie "production" pourrait être directement souscrite auprès d'un assureur.

Enfin, il est conseillé de demander à l'installateur une attestation récente de son assureur prouvant qu'il a souscrit une garantie décennale.

Assurance: responsabilité civile obligatoire

Une assurance responsabilité civile professionnelle, liée à la production d'électricité, est obligatoire. Elle couvre des dommages qui seraient causés à des tiers pendant l'exploitation. Son coût doit être proportionné à la puissance.

A priori, l'inclusion de la petite éolienne dans le contrat d'habitation n'entraîne pas de surcoût, au pire une légère surprime. En effet, un petit aérogénérateur est considéré comme un équipement extérieur, au même titre qu'une piscine ou qu'un barbecue.

Attention, l'assurance responsabilité civile ne protège pas contre les dommages électriques, causés par le vandalisme, le vol, la foudre, l'incendie, les dégâts des eaux, ou encore le bris de machine.

Ces cas peuvent être pris en charge par une assurance multirisques et perte d'exploitation. Celle-ci couvre alors le manque à gagner généré par l'arrêt accidentel de l'éolienne. Ainsi, l'assureur verse au propriétaire le montant des recettes qui auraient dû être engrangées par la vente de l'électricité produite.

COMPENSATIONS FINANCIÈRES ?

Que ce soit en cas de production inférieure aux prévisions ou de non production pour cause d'accident, il est possible de négocier des compensations financières, avec l'installateur de l'éolienne ou plus vraisemblablement avec un assureur. Pour cela, il est nécessaire de déterminer le niveau de production minimale admissible, en partant de l'étude de vent sur le site et des caractéristiques de la machine (courbe de puissance). Le contrat doit aussi préciser la durée maximale de remboursement.



UNE BONNE GARANTIE POUR COUVRIR LA RÉPARATION OU LE REMPLACEMENT DE PIÈCES DÉFECTUEUSES, ET UNE ASSURANCE POUR SURMONTER UN ÉVENTUEL INCIDENT: DEUX CONDITIONS INDISPENSABLES POUR ÉVITER TOUTE DÉCONVENUE APRÈS L'ACHAT D'UNE PETITE ÉOLIENNE.

L'économie d'un projet :

Voici trois exemples bien différents qui donnent des points de repère sur le plan économique. Les coûts affichés sont des prix moyens observés. À chaque porteur de projet de remplir ensuite ce tableau en fonction de sa propre situation.

Dans les deux exemples choisis pour le raccordement au réseau électrique, trois hypothèses de vitesse moyenne de vent ont été prises, et ce au niveau du rotor. Elles représentent autant de sites avec des qualités distinctes : 5 m/s pour un site correctement venté, 6 m/s pour un site bien venté, 7 m/s pour un site très bien venté.

Toujours dans le cas du raccordement au réseau électrique, le choix de l'autoconsommation s'impose ici car le petit éolien ne rentre dans les faits jamais dans le cadre d'une ZDE ouvrant droit au tarif d'achat garanti. Autre solution, non étudiée ici : le recours à un autre opérateur qu'EDF ou une Entreprise Locale de Distribution (dans le cadre de l'obligation d'achat), qui achèterait directement le kWh produit (voir ces questions p.9).

Chiffres à manier avec précaution

Ces chiffres sont à manier avec précaution car ils représentent des ordres de grandeur sur des sites théoriques. Mais ils reflètent la situation actuelle réelle, avec la prise en compte d'un tarif de vente à 0,1125 €/kWh et une première option de taux d'actualisation de 5% du capital investi. C'est comme si l'on empruntait avec un taux de 5% sur la totalité de l'investissement. Certaines personnes pourront se contenter d'un taux d'actualisation à peine supérieur à 1%, comme si elles plaçaient leur argent sur un livret A (d'où une seconde option de taux d'actualisation à 1,25%). D'autres accepteront une rentabilité nulle pour produire une électricité réellement "verte", valorisant leur gisement local...

L'économie de ces projets peut considérablement varier suivant de nombreux paramètres, comme l'impact sur la fiscalité ou les charges sociales pour le propriétaire de l'éolienne, les évolutions de coût

des matières premières, des transports de composants, ou encore le taux de change avec le dollar.

Surtout, trois paramètres peuvent renforcer la rentabilité du petit éolien dans un futur proche :

- Le développement du petit éolien à grande échelle en France, qui aurait pour conséquence de faire chuter les coûts d'investissement affichés ici.
- La revalorisation du kWh produit, à travers l'instauration d'un tarif d'achat spécifique au petit éolien, qui rendrait pertinent nombre de projets de petit éolien.
- La revalorisation du kWh produit, à travers l'augmentation probable du coût du kWh pour tous les consommateurs d'électricité en France, qui rendrait à plus long terme rentable le choix de l'autoconsommation.

DEUX NOTIONS À COMPRENDRE

Le prix de revient ou coût global actualisé (CGA) du kWh est ce que coûte la production d'un kWh en tenant compte de l'investissement (subventions déduites), de la maintenance, de l'actualisation de l'argent et de la durée de vie du générateur. Pour qu'un projet soit rentable, le tarif d'achat du kWh doit être supérieur aux prix de revient de ce kWh.

Le "temps de retour global" est le coût total de l'installation, auquel l'on ajoute les charges et frais financiers sur la durée de fonctionnement, divisé par les recettes annuelles moyennes = nombre d'années.

Quelques exemples...

Exemple 1

Une "20 kW" chez un agriculteur, raccordée au réseau, en Languedoc-Roussillon L'éolienne

Puissance nominale : 20 kW

Durée de vie estimée : 20 ans

Répond aux critères de la subvention du Conseil Régional Languedoc-Roussillon

Mise en service : 2009

Propriétaire : Agriculteur professionnel, assujetti à la TVA

POSTE	COÛT en €	RECETTES en €
1. Frais de raccordement H.T.	1 200	
2. Génie civil HT (base 10% du poste 3)	6 000	
3. Coût H.T. pose comprise (hors génie civil et frais de raccordement)	60 000	
4. Investissement HT (1 + 2 + 3)	67 200	
5. Subvention Conseil Régional Languedoc-Roussillon		15 000
6. Solde HT à la charge du propriétaire de l'éolienne (4 - 5)	52 200	
7. Exploitation et entretien-maintenance (moyenne annuelle) ¹	1 000	

¹Très variable selon la puissance de l'aérogénérateur, le type de mât, les vitesses du vent locales et le niveau de turbulences sur le site.

Vitesse moyenne du vent (en mètre par seconde) 3 hypothèses	5 m/s	6 m/s	7 m/s
Production annuelle	21 000 kWh	34 000 kWh	47 000 kWh
8. Valorisation de la production électrique (moyenne annuelle)	2 400 €	3 800 €	5 300 €
TAUX D'ACTUALISATION À 5 %			
Prix de revient du kWh	0,24 €	0,15 €	0,11 €
Temps de retour global	43 ans	27 ans	20 ans
TAUX D'ACTUALISATION À 1,25 %			
Prix de revient du kWh	0,18 €	0,15 €	0,11 €
Temps de retour global	33 ans	21 ans	15 ans

Quelques exemples...

Exemple 2

Une "1,5 kW" raccordée au réseau chez un particulier de Normandie

L'éolienne

Puissance nominale : 1,5 kW
 Durée de vie estimée : 20 ans
 Mise en service : 2009
 Propriétaire : Particulier, dans le cadre d'une résidence principale de plus de 2 ans (couple marié, avec deux enfants à charge)

POSTE	COÛT en €	RECETTES en €
1. Frais de raccordement H.T.	500	
2. Génie civil HT (base 10% du poste 3)	1 200	
3. Coût H.T. pose comprise (hors génie civil et frais de raccordement)	12 000	
4. Part matériel HT (hors génie civil et frais de raccordement)	11 000	
5. TVA (5,5%)	750	
6. Investissement TTC avant aides (1 + 2 + 3 + 5)	14 500	
7. Crédit d'impôt (sur le matériel TTC)		5 800
8. Solde TTC à la charge du propriétaire de l'éolienne	8 700	
9. Exploitation et entretien-maintenance (moyenne annuelle) ¹	190	

¹Sur cette gamme de puissance, la maintenance est généralement assurée en partie par le propriétaire de l'éolienne, pour limiter les coûts.

Vitesse moyenne du vent (en mètre par seconde) 3 hypothèses	5 m/s	6 m/s	7 m/s
Production annuelle	2 440 kWh	3 650 kWh	4 800 kWh
10. Valorisation de la production électrique (moyenne annuelle)	270 €	410 €	540 €
TAUX D'ACTUALISATION À 5 %			
Prix de revient du kWh	0,36 €	0,24 €	0,19 €
Temps de retour global	66 ans	43 ans	33 ans
TAUX D'ACTUALISATION À 1,25 %			
Prix de revient du kWh	0,28 €	0,19 €	0,14 €
Temps de retour global	50 ans	33 ans	25 ans

Exemple 3

Une "6 kW" financée par le Facé dans l'Aude

L'éolienne

Puissance nominale : 6 kW
 Durée de vie estimée : 20 ans
 Mise en service : 2009

Le site

Territoire en régime d'Électrification Rurale

Non raccordé au réseau

Propriétaire de la maison : Particulier, maison habitée de façon permanente

Propriétaire de l'éolienne : La collectivité concédante (syndicat d'électrification, commune ou communauté de communes).

Projet répondant aux critères du Facé.

POSTE	COÛT en €
1. Coût HT installation complète (avec génie civil et batterie), pose comprise	57 000
2. TVA (19,6%)	11 172
3. Coût H.T. pose comprise	68 172
4. Financement Facé (65 % du TTC)	44 312
5. Financement Ademe + Région (16,2 % du HT)	9 234
6. Récupération de TVA par la mairie	11 172
7. Solde à la charge du bénéficiaire (1 - 4 - 5)	3 454
8. Abonnement forfaitaire mensuel (à la charge du bénéficiaire)	45
9. Maintenance annuelle de l'éolienne ¹	900
10. Maintenance annuelle des équipements de gestion, conversion et stockage (remplacement de la batterie à 10 ans) ¹	1 300

¹Très variable selon la puissance de l'aérogénérateur, le type de mât, les vitesses du vent locales et le niveau de turbulences sur le site ; à la charge du concessionnaire, ERDF.

Aides financières et fiscalité...

Crédit d'impôt et TVA

Pour les particuliers, les dépenses de fournitures* engagées pour l'acquisition d'une petite éolienne pour l'habitation principale ouvre droit à un crédit d'impôt de 50%.

Sur une même habitation, le montant des dépenses TTC ouvrant droit au crédit d'impôt ne peut excéder :

- 8000 € pour une personne célibataire + 400 € par personne à charge
- 16000 € pour un couple marié ou pacsé + 400 € par personne à charge

Si le crédit d'impôt est supérieur au montant de l'impôt dû, l'excédent est remboursé au ménage : c'est par exemple le cas des ménages non imposables.

Toujours pour les particuliers, les dépenses de matériel et de main d'œuvre engagées pour l'acquisition d'une petite éolienne pour l'habitation principale ne sont soumises qu'à une TVA de 5,5%, pour les logements de plus de deux ans.

*Desquelles on aura déduit les autres aides correspondantes perçues, par exemple de la Région.

Subventions locales

Certaines régions, des départements, et même des communes, proposent une aide financière pour l'acquisition d'une petite éolienne. À titre d'exemple, en 2010, la Région Languedoc-Roussillon prend en charge 25% du montant de l'investissement (fourniture, installation, génie civil), plafonné à 60 000 € HT, pour l'installation d'une petite éolienne :

- À axe horizontal,
- Testée sur les sites d'essais régionaux (voir p.10),
- Dotée d'un système de suivi des performances pour les modèles d'une puissance supérieure ou égale à 10 kW,
- Sous réserve de fournir les résultats de suivi des mesures de vent et de puissance au terme de la première année d'exploitation (pour modèles de puissance supérieure ou égale à 10 kW).

Dans certains cas, l'Ademe peut subventionner la phase d'étude et des projets innovants.

Pour toute information actualisée sur des aides locales, contactez un conseiller de l'Espace Info Énergie qui couvre la zone où s'inscrit le projet.

de la Région Languedoc-Roussillon

Dispositif d'intervention pour le petit éolien

Ce dispositif concerne les installations éoliennes à axe horizontal d'une puissance inférieure ou égale à 36 kva et dont les machines sont référencées ou en cours de référencement sur les sites d'essais régionaux (SEPEN...).

Montant de l'aide régionale
25 % du montant de l'investissement plafonné à 60 000 € HT.

Composition du dossier de demande de subvention

- ▶ Lettre de demande de subvention adressée au Président de la Région Languedoc-Roussillon, laquelle doit préciser si l'installation est destinée à la revente totale ou partielle de l'électricité produite
- ▶ Devis de l'installation, celui-ci doit comprendre un système de suivi des performances de l'installation pour les installations supérieures ou égales à 10 kW (anémomètre, girouette et enregistreur de données)
- ▶ Production prévisionnelle de l'installation (simulation sur une année)

▶ Copie du courrier d'information à la commune du projet ou copie du permis de construire si le mât de l'installation est supérieur ou égal à 12 mètres

▶ RIB

▶ Justificatif de domicile pour les particuliers

▶ Statuts du maître d'ouvrage: extrait Kbis pour les entreprises, ou extrait de parution au JO pour les associations

Pour le paiement

- ▶ Copie des factures acquittées
- ▶ Photographie de l'installation
- ▶ Procès-verbal de réception des travaux

Pour les installations supérieures ou égales à 10 kW et pour le versement du solde de la subvention correspondant à un acompte de 10 %, le bénéficiaire devra fournir les résultats de suivi des mesures de vent et de puissance au terme de la première année d'exploitation.

Adresser le dossier à :
Monsieur le Président de la Région Languedoc-Roussillon
Hôtel de Région
Direction de l'environnement
201 avenue de la Pompignane
34064 Montpellier cedex 2

Info énergie Languedoc-Roussillon
N° Azur 0 810 810 034
PRIX APPEL LOCAL

la Région Languedoc Roussillon

Site isolé en zone rurale: l'option "Facé"

Sur un site non raccordé au réseau public de distribution d'électricité, et situé sur un territoire en régime rural d'électrification, l'installation d'une petite éolienne peut bénéficier d'un financement par le Fonds d'Amortissement des Charges d'Électrification (Facé), sous certaines conditions :

- Le site concerné est l'habitation permanente et/ou destiné à une activité professionnelle
- Le coût de l'opération doit être sensiblement inférieur à celui de l'option raccordement (dans la pratique, le dossier est généralement accepté à partir de - 15%)
- Le coût du raccordement est élevé (dans la pratique, le dossier est généralement accepté pour un coût de raccordement supérieur ou égal à 30 000 €)
- La consommation prévue n'est pas anecdotique (par exemple, le dossier ne sera pas accepté s'il s'agit faire fonctionner seulement quelques lampes)
- L'éolienne est la meilleure solution (seule ou en association avec une autre source, comme le photovoltaïque)
- Les règles d'urbanisme sont respectées
- Le projet est viable (site approvisionné en eau...)

Si le dossier est accepté, l'investissement est pris en charge à 65% du montant TTC par le Facé (montant TTC plafonné à 50 000 € pour la base du calcul) et à 16,2% du HT par la région et l'Ademe. La TVA est récupérée (19,6% du HT). Au final, il ne reste que 5,07% du TTC à la charge du bénéficiaire. Le délai administratif est d'un an environ.

Attention, l'installation ne vous appartiendra pas. Sa concession est généralement confiée à ERDF ou à une entreprise locale de distribution (ELD). Vous devrez payer un abonnement forfaitaire mensuel. Renseignez-vous auprès de votre mairie ou du syndicat départemental d'électrification.

N.B. : sur un site non raccordé au réseau public de distribution d'électricité et situé sur un territoire en régime urbain, l'installation d'une petite éolienne peut bénéficier d'un financement par l'Ademe (35% de l'investissement HT plafonné à 50 000 €), EDF (35%) et par la Région (25%).

IMPOSITION DU REVENU ÉLECTRIQUE

Le revenu tiré de la vente de l'électricité injectée sur le réseau par l'éolienne est imposable dans la catégorie des bénéficiaires industriels et commerciaux (BIC).

Si le chiffre d'affaires généré est inférieur à 76 300 € HT, ce qui est pour l'instant toujours le cas en petit éolien, le régime d'imposition est celui du micro BIC. Le bénéfice imposable est alors égal aux recettes brutes annuelles, diminuées d'un abattement forfaitaire de 71%, sans que cet abattement puisse être inférieur à 305 €.

Lorsque le chiffre d'affaire annuel est supérieur à 76 300 € HT c'est le réel BIC qui s'applique avec un calcul d'imposition selon l'impôt sur le revenu.

Lire le paysage sur trois échelles

Chaque implantation de petite éolienne est unique. Il est donc nécessaire de définir les rapports entre le site concerné et le territoire. Trois échelles de lecture de paysage, distinctes et progressives, sont à prendre en compte, à partir de la carte IGN au 1/25 000^e correspondant au site (cf. carte IGN sur www.geoportail.fr).

1^{RE} ÉCHELLE : LE SITE DANS SON ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT

Une investigation doit être menée dans un rayon de 500 mètres autour de la zone d'implantation afin d'appréhender tous les éléments constituant cette première échelle de territoire :

- Parcelles adjacentes au terrain (friche ou culture)
- Constructions privées ou publiques (habitation, bureau, exploitation agricole, industrielle)...
- Relief (plat, pentu, butte, falaise, colline)...

- Présence immédiate d'une rivière, d'un plan d'eau.
- Végétation (protégée ou non)...
- Infrastructures très proches ou jouxtant la propriété (chemin, route, autoroute, voie ferrée, ligne et pylônes électriques)...
- Sites et édifices classés ou inscrits.

L'ensemble de ces éléments peut composer un environnement encombré ou peu chargé, voire aéré et même très ouvert.

2^E ÉCHELLE : LE SITE DANS SON ENVIRONNEMENT ÉLOIGNÉ

Sont prises en compte ici les dominantes qui caractérisent le paysage et leurs proportions dans l'occupation du territoire. L'investigation doit être menée sur un rayon d'un kilomètre autour de la zone d'implantation et doit prendre en compte :

- L'effet de masse créé par l'accumulation, la répétition ou l'enchaînement de plusieurs éléments (alignement d'arbres, forêt, village...), car à cette échelle l'élément individuel (un arbre, une maison...) n'est plus important.
- La proportion des surfaces et des masses ainsi constituées : l'étendue de champs par rapport aux bois, l'importance du bâti par rapport aux espaces agricoles (hameaux, villages, agglomération)...
- Le relief (collinaire ou tabulaire, escarpé)...

3^E ÉCHELLE : LE SITE DANS LE GRAND PAYSAGE

Cette troisième échelle conduit à élargir l'aire d'investigation à un rayon de trois kilomètres. Il s'agit de définir les éléments géographiques qui englobent la parcelle d'implantation (couloir valléen, succession de collines ou de falaises, enchaînement de villages...) qui donnent à cette portion spécifique de territoire une identité bien marquée (terroir).

Au-delà d'un rayon de 3 km, la distance entraîne une dilution de l'éolienne dans le grand paysage, notamment à cause des aérosols (poussières en suspension dans l'air).



Prendre en compte les composantes paysagères

Après avoir défini ces trois échelles de lecture de paysage, il convient d'en préciser les composantes qui interagissent et peuvent s'amplifier mutuellement, créant des ensembles de paysage. La description ci-dessous donne des indices permettant une insertion paysagère réussie.

Perception visuelle

Il est nécessaire d'identifier les différentes vues sur le site d'implantation à partir des trois échelles de lecture de paysage décrites précédemment : depuis un village voisin, une route adjacente... En effet, le caractère et le positionnement du site occasionnent des points de vue et des fenêtres visuelles variées. Par interaction avec les éléments physiques qui l'environnent, la perception visuelle d'une éolienne peut être occultée, atténuée ou accentuée. Ces différentes vues permettent de recalibrer plus finement l'éolienne sur le terrain.

Dominantes liées au terroir (relief, végétaux, matières et couleurs)

Sur des surfaces vastes, ouvertes et uniformes, tout

élément de superstructure ajouté crée une nouvelle émergence forte. A l'inverse, un paysage fractionné, une topographie "chahutée", un paysage rocaillieux ou une forêt créent des masques visuels qui permettent d'absorber plus facilement un nouvel élément.

Nature du tissu d'implantation et son affectation (habitat, champ, pâture, forêt, friche...)

Sur un vaste terrain recevant de la monoculture (blé, maïs, tournesol) ou en bordure d'un plan d'eau, une éolienne constituera un repère fort. Mais dans une "mosaïculture", l'éolienne sera "absorbée" par le fractionnement des surfaces. Il en sera de même avec une alternance de champs et de bosquets ou de haies bocagères.



CHAMP - SURFACE OUVERTE



BELVÈDÈRE - EFFET D'ACCENTUATION



HABITAT JOUXTANT LES CHAMPS

Topographie des terrains

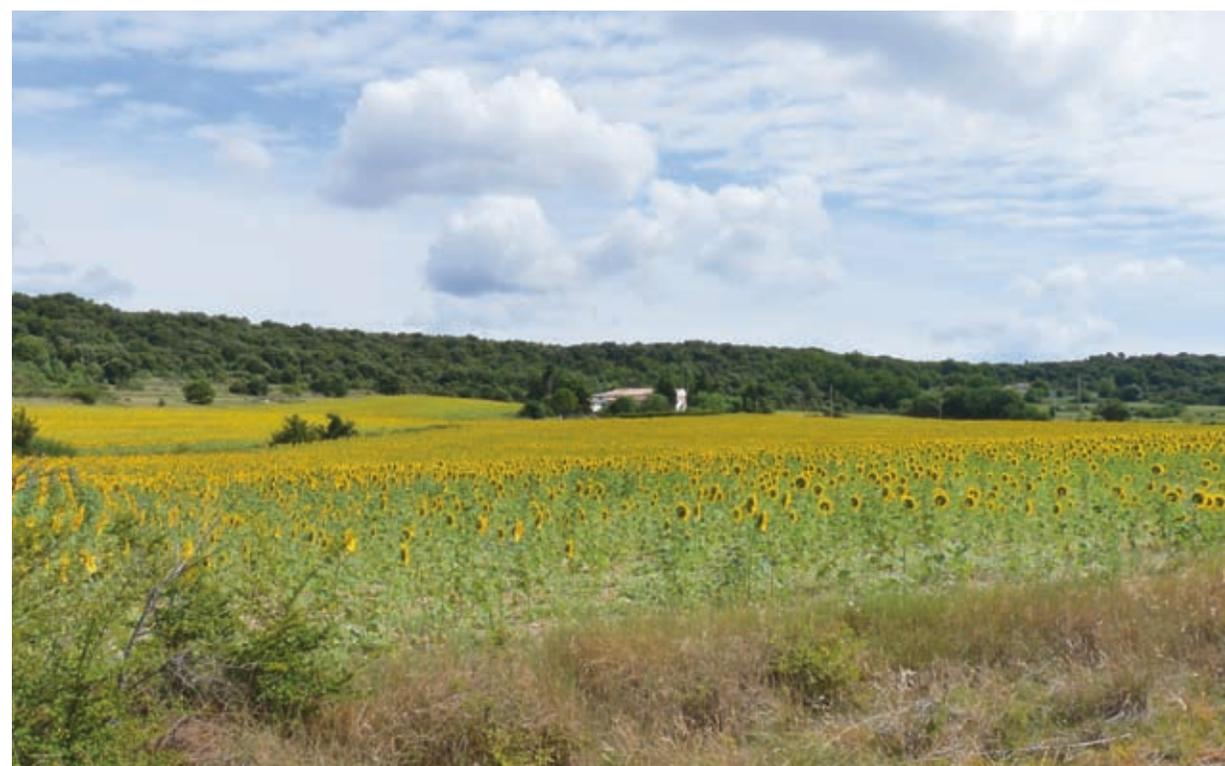
Selon la topographie du site, l'implantation de la petite éolienne peut être accentuée ou dissimulée. Par exemple, l'implantation sur une butte accentue sa hauteur, tandis que l'implantation derrière une butte la dissimule au moins partiellement.



FORÊT ET PÂTURES - ESPACE FRACTIONNÉ



DERRIÈRE LA BUTTE - DISSIMULATION



MONOCULTURE - TOURNESOL



SITE REMARQUABLE

Dimensionnement et maillage de l'espace (grandes parcelles ouvertes, cloisonnement serré de haies bocagères...)

L'implantation d'une petite éolienne ne doit pas gêner le maillage existant. Ainsi, le positionnement dans de grands espaces ouverts est parfois à proscrire. Mais dans d'autres cas, une implantation unique et bien lisible peut créer un effet de repère dans le paysage. Enfin, l'installation contre un fond de paysage composé de haies bocagères existantes peut permettre d'intégrer l'éolienne dans le site.

Importance des infrastructures (voie routière, ferrée, fluviale) et des superstructures (pylônes électriques, grand éolien...)

Selon les contraintes du site, le rassemblement des infrastructures techniques peut être préférable. Dans d'autre cas, il faut éviter la gêne entre les infrastructures, comme par exemple, la proximité d'une route, d'une voie ferrée ou d'une ligne à haute tension.

Valeur patrimoniale du site ou du bâti environnant (inscrit, classé)

L'implantation d'une éolienne doit être réalisée en net retrait de sites ou édifices protégés par les Monu-

ments Historiques afin de limiter au maximum les co-visibilités gênantes. Certains ensembles de très grande valeur patrimoniale (espace d'intérêt national, paysage remarquable, symbolique ou de portée culturelle largement reconnue) interdisent totalement une quelconque implantation d'éolienne qui viendrait "parasiter" l'harmonie et la cohérence du site. C'est par exemple le cas sur la pointe du Raz ou le Mont-Saint-Michel (voir www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine).

Valeur culturelle et touristique

Tout élément ajouté ne doit pas perturber l'image de cohérence d'un terroir. En effet, les habitants sont souvent attachés à leur paysage qui se caractérise par des spécificités et un vécu. Et les touristes sont en recherche de paysages de qualité, chargés d'histoire. Cependant, le paysage n'est pas un musée. Il est amené à évoluer.

Présence de zones naturelles protégées (ZNIEFF, ZICO, Zone Natura 2000...)

Il faut établir des reculs vis-à-vis de ces zones paysagères protégées, d'intérêt faunistique et floristique: l'implantation d'une éolienne à proximité de ces zones peut perturber le lieu naturel d'habitat des oiseaux (voir www.ecologie.gouv.fr).



VILLAGE ET SITE CLASSÉ



GRANDS ESPACES OUVERTS



PROMISCUITÉ DES LIGNES ÉLECTRIQUES



LIGNES BOCAGÈRES - MAILLAGE



VUE EN CONTRE-PLONGÉE - ACCENTUATION



TERROIR VITICOLE AOC



PROMISCUITÉ DE LA ROUTE



GRAPHISME - AMPLIFICATION VISUELLE



HAUT-LIEU TOURISTIQUE

Le type de l'éolienne a une influence

Tous les modèles d'éoliennes n'ont pas le même impact visuel sur le paysage environnant. Plusieurs critères entrent en jeu.

Couleur

- Après retour d'expérience sur le grand éolien, la nuance gris-bleu clair (blanc papyrus - RAL 9018 et blanc gris - RAL 9002) via le recours à une peinture mate ou satinée constitue l'un des meilleurs choix. En effet, cette teinte s'harmonise parfaitement avec les ciels nuageux.
- Blanc pur, couleur vive et peintures brillantes sont très repérables, car généralement peu communs dans l'environnement paysager d'implantation.
- Les couleurs en dégradé (ex : vert à la base et bleu au rotor), trop artificielles, s'intègrent mal dans un paysage dominé par la nature.



BIPALE



MÂT TUBULAIRE AUTOPORTANT



MÂT EN TREILLIS



TRIPALE



AÉRODYNAMISME DU ROTOR

Type de mât

- Haubané, très léger dans sa structure du fait de la faible section du tube, mais dont l'emprise importante au sol (câbles d'amarrage) est contraignante ;
- En treillis, ayant une structure ajourée à l'image industrielle ;
- Tubulaire autoportant, d'un diamètre comparativement supérieur au modèle haubané et donc plus visible.

Nombre de pales

- Les modèles bipales présentent un design peu équilibré dans l'espace ;
- Les éoliennes tripales offrent une meilleure intégration sur site.

Design du rotor

- Un rotor de forme angulaire présente des lignes saillantes plus visibles ;
- Un rotor fuselé, par son aérodynamisme, se fonde plus facilement dans le paysage.

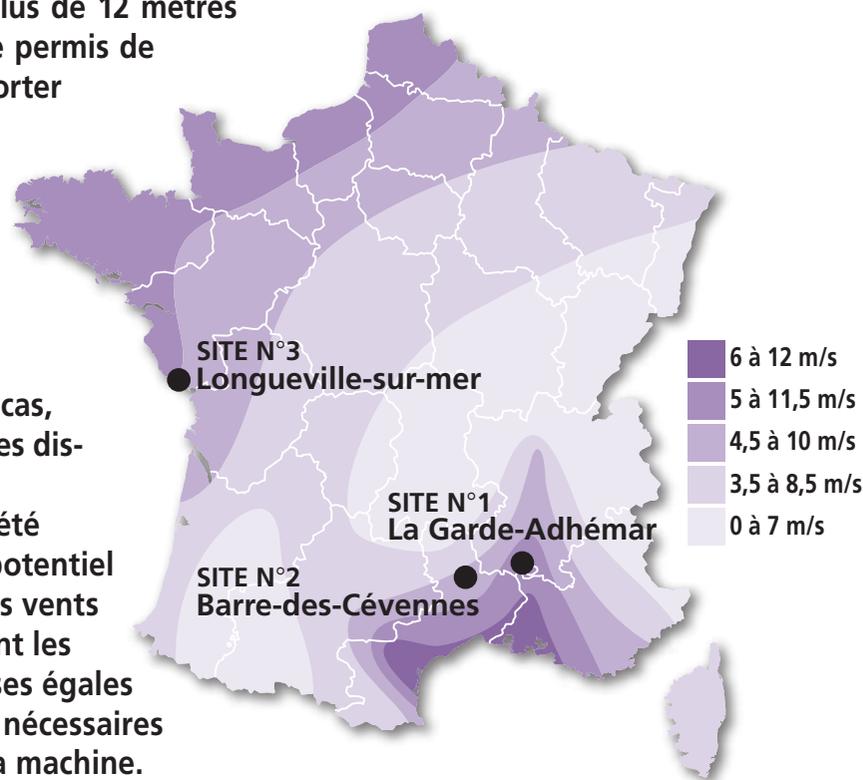


MÂT HAUBANÉ

Étude de cas

Pour une éolienne de plus de 12 mètres de haut, la demande de permis de construire doit comporter une notice d'impact avec un volet paysager. Or, à l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode d'analyse.

Ce paragraphe présente 3 exemples d'études de cas, choisis dans des paysages distincts. Un repérage a d'abord été effectué au niveau du potentiel éolien, sur une carte des vents indiquant sommairement les zones offrant des vitesses égales ou supérieures à 5 m/s, nécessaires au bon rendement de la machine.



SITE N°1 LA GARDE-ADHÉMAR (DRÔME)

En léger retrait du grand axe nord-sud du couloir rhodanien.

Caractéristiques : végétation spontanée de garrigue (milieu calcaire), alternant avec des cultures de céréales mais à dominante viticole, topographie au relief prononcé, villages "perchés" et forte attractivité touristique. Présence d'un parc éolien à moins de 5 km.

SITE N°2 BARRE-DES-CÉVENNES (LOZÈRE)

Caractéristiques : milieu rural avec une très faible densité d'habitat, paysage alternant forêts de conifères et pâtures, relief marqué par de grandes fractures (falaise, tables affleurantes...), substrat de grès (sols acides) et climat montagnard sous influence méditerranéenne.

SITE N°3 LONGEVILLE-SUR-MER (VENDÉE)

Caractéristiques : paysage sans relief, parcellaire agricole très ouvert, structuré par un réseau de fossés drainants, cordon littoral océanique proche, soumis à une forte pression touristique estivale. Présence d'un parc éolien à proximité et d'un moulin à vent restauré à 2 km.

Malgré la grande qualité paysagère qui émane de deux d'entre eux (n°1 et n°2), ces trois sites ne doivent pas être considérés comme des lieux d'exception. Les critères de leur analyse paysagère "ouverte" peuvent être extrapolables à la plupart des situations. Toutefois, ils ont aussi été choisis pour la qualité patrimoniale du bâti ou du paysage, ce qui augmente le niveau des contraintes, mais permet d'identifier une palette élargie de critères.



SITE PAYSAGER DE LA GARDE-ADHÉMAR (RAYON=500 M)



SITE PAYSAGER DE BARRE-DES-CÉVENNES (RAYON=500 M)



SITE PAYSAGER DE LONGEVILLE-SUR-MER (RAYON=500 M)

Élaborer un photomontage

Après avoir étudié les échelles de lecture du paysage et ses composantes, puis les critères d'insertion et enfin l'implantation et le choix de l'éolienne, il est nécessaire de réaliser plusieurs prises de vue, afin de réaliser un photomontage. Ce dernier permettra d'évaluer clairement les incidences de l'éolienne dans son environnement.



PHOTOMONTAGE DE TROIS ÉOLIENNES DANS LE PAYSAGE.

Dans le rayon des deux premières échelles de lecture de paysage (de 500 m à 1 km) et non dans la troisième échelle (fort éloignement, donc absorption visuelle de la machine), un certain nombre de repérages doivent être menés, notamment sur les aspects suivants:

- Choisir un point émergent ou tout au moins une “fenêtre visuelle” bien dégagée.
- Considérer les axes routiers proches comme le meilleur moyen de découvrir le site et son environnement.
- Rechercher d'éventuelles co-visibilités (télescopage avec le patrimoine protégé aux titre des Monuments Historiques ou avec des éléments remarquables).

Méthode pratique

- Conditions climatiques privilégiées pour réaliser une prise de vue optimale: ciel dégagé ou nuageux, ni pluie ni brouillard.
- Choisir des lieux fréquentés (route principale, village...) afin d'être réaliste.
- Éviter les premiers plans trop présents et colorés, perturbant la perception (panneaux publicitaires, voitures...).
- Éviter des “fenêtre visuelle” étroites et fugitives qui ne représentent pas la réalité.

- Éviter de faire des zooms et des panoramiques (collage de 2 à 3 photos) qui déforment exagérément la réalité, dans un sens ou dans l'autre.
- Utiliser une focale comprise entre 35 mm et 50 mm, correspondant à la perception de l'œil humain.

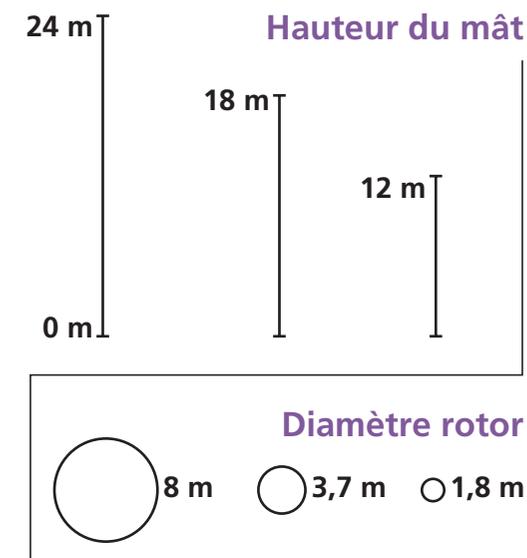
La présentation du photomontage s'effectuera au format A4 paysage.

Ce photomontage reprend le premier cas d'étude de La Garde-Adhémar, dans un rayon de 500 mètres. Les trois modèles d'éoliennes ont volontairement été choisis avec des hauteurs de mât et des diamètres de rotor différenciés, afin d'illustrer les rapports d'échelle qui s'introduisent entre chaque machine et le fond de paysage (boisements, cultures, constructions...).

Quelle que soit la hauteur, le fond boisé absorbe “partiellement” la machine (y compris la plus massive). La couleur claire du mât et du rotor (compris pales) tranche cependant avec la couleur sombre du fond de paysage.

Les arbres (peupliers) disposés en avant du boisement — qui ont une échelle comparable avec l'éolienne centrale — facilitent l'intégration de l'éolienne, car il s'agit d'éléments végétaux également verticaux.

Le bâti, placé à l'arrière plan des peupliers, n'interfère pas avec la machine à droite sur le photomontage. On observe en revanche une interaction avec l'éolienne à gauche sur l'image, car il y a opposition entre la verticalité de l'éolienne et l'horizontalité du bâti. Cette opposition souligne la présence de l'aérogénérateur.



Mais une relation est créée entre le hangar agricole et la fonction “éolienne”: il y a “association d'images” entre ces deux outils de production.

Le dégagement visuel du premier plan (parcelles en culture) a pour effet d'amplifier les hauteurs des machines, alors qu'une haie arbustive ou arborée placée en avant créerait une atténuation de la hauteur (moindre émergence visuelle). Dans ce cas précis, les incidences des machines dans leur environnement n'ont pas été masquées.

Site paysager de La Garde-Adhémar

3 échelles de lecture du paysage

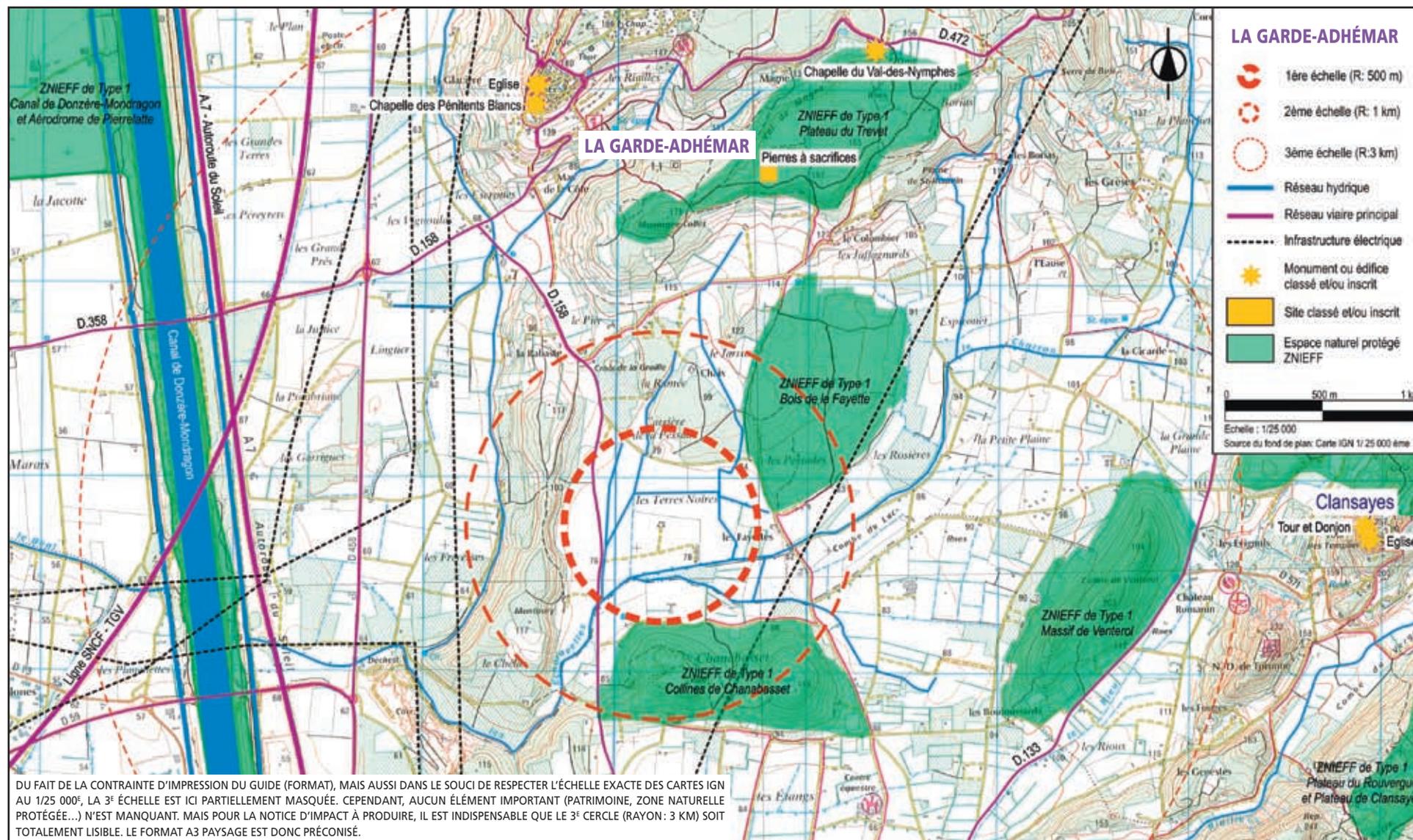
- 1^{re} échelle de lecture de paysage (rayon de 500 m)
Espace ouvert à dominante agricole.
- 2^e échelle de lecture de paysage (rayon de 1 km)
Blocage visuel et physique sur 2 côtés par des boisements classés en ZNIEFF.
- 3^e échelle de lecture de paysage (rayon de 3 km)
Couloir valléen adjacent de la vallée du Rhône à l'ouest. (Surplomb visuel au nord par un village "perché" et classé aux Monuments Historiques). Vallée viticole du Tricastin à l'est.

Composantes paysagères

- **La perception visuelle.**
Depuis les points hauts (villages et falaises): vue plongeante sur le site. Depuis les exploitations agricoles et habitations environnantes: "fenêtres visuelles" très étroites, limitées par les boisements ou les reliefs. Depuis la RD.158 adjacente: cône visuel large.
- **Les dominantes liées au terroir** (relief, végétal, matière, couleur).
Paysage à dominante viticole, le long du couloir rhodanien.

- **La nature du tissu d'implantation et l'affectation** (habitat, champ, pâture, forêt, friche...)
Lieu d'implantation: parcelles de tournesol et de lavande, ponctuées de lignes bocagères de ripisylve, liées aux cours d'eau périphériques. En périphérie du site: habitat regroupé en point haut, boisements denses de feuillus persistants.
- **La topographie des terrains sur le site**
Implantation dans un vallon encadré par 3 reliefs calcaires à l'ouest, au nord et au sud.
- **Le dimensionnement et le maillage de l'espace** (grandes parcelles ouvertes, cloisonnement serré de haies bocagères...)
Maillage structuré des parcelles agricoles, surfaces ouvertes et planes, fractionnées par des lignes bocagères et encadrées par des reliefs périphériques.
- **L'importance des infrastructures** (voie routière, ferrée, fluviale) **et superstructures** (pylônes électriques, grand éolien...)
Grand couloir de communication rhodanien à l'ouest,

- en retrait du site. A proximité immédiate: présence de la D.158 à l'ouest et de la ligne électrique à l'est. Réseau de ruisseaux encadrant le site, accompagné de cordons de ripisylve.
- **La valeur patrimoniale du site ou du bâti environnant** (inscrit, classé). Présence d'édifices et de monuments protégés par les Monuments Historiques, tous établis en point haut: église et chapelle à La Garde-Adhémar (dans la 3^e échelle d'intervention) et tour/donjon et église à Clansayes (au-delà de la 3^e échelle d'intervention).
- **La valeur culturelle et touristique.** Bâti en fond de vallon: exploitations agricoles. Villages perchés pour des raisons défensives historiques. Site implanté à proximité du terroir viticole "AOC, Coteaux du Tricastin" (3^e échelle d'intervention).
- **La présence de zones naturelles protégées** (ZNIEFF, ZICO, Zone Natura 2000...) Site encadré au plus proche par deux ZNIEFF de type I au nord-est et au sud, correspondant à des boisements.



Critères d'insertion de l'éolienne

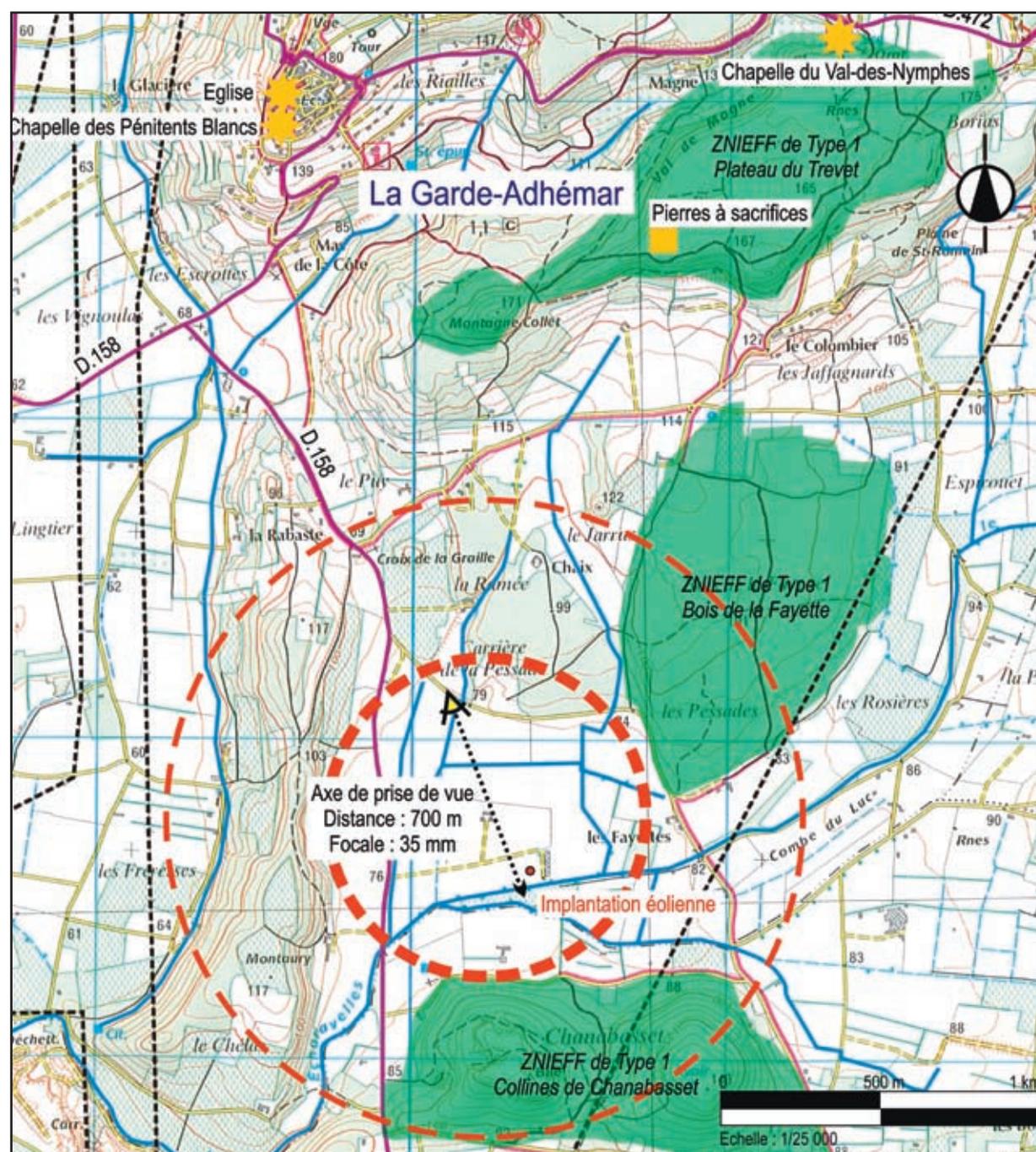
- **Regroupement des éléments construits**
Privilégier l'implantation à proximité des deux hangars, en retrait sur flanc sud-est. Préserver la demeure de maître de toute implantation adjacente.
- **Implantation volontaire en retrait de la voirie riveraine.** Éviter une amplification visuelle depuis la RD.158.
- **Insertion sur un fond végétal.** Privilégier la ligne de ripisylve située au sud des hangars, mais en retrait des arbres pour des raisons aérauliques.
- **Établissement de reculs vis-à-vis du patrimoine protégé.** Décaler la machine de l'axe visuel créé par la D.158 en direction de La Garde-Adhémar. Limiter les vues depuis les éléments protégés, situés en belvédère, par un recul volontaire de 2,5 km (absorption visuelle).

Implantation et choix de la machine

- **Implantation de l'éolienne à l'est des hangars, le long du cordon de ripisylve.**
Insertion paysagère: hauteur de la machine comparable à la ligne de ripisylve (hauteur Peupliers: 15 m), mât tubulaire autoportant ou haubané en acier galvanisé mat, application de la même couleur (RAL 9002 - Blanc Gris) pour les pales, le rotor et le gouvernail.
- **Choix du modèle:** JIMP 20 - 20 kW - Mât: 24 m de haut - Diamètre des pales: 10 m - Tri-pales.

Site paysager de La Garde-Adhémar

Carte de repérage de la prise de vue.



L'éolienne se détache sur le fond de paysage vert sombre, correspondant à la ligne de ripisylve, ainsi qu'au boisement de feuillus persistants (colline fermant le paysage). Toutefois, la couleur blanc gris atténue son impact dans le paysage environnant.



PRISE DE VUE CIBLÉE



PHOTOMONTAGE

Site paysager de Barre-des-Cévennes

3 échelles de lecture du paysage

- 1^{re} échelle de lecture de paysage (rayon de 500 m)
Flanc du massif boisé, en limite du Parc National des Cévennes.
- 2^e échelle de lecture de paysage (rayon de 1 km)
Moutonnement des parcelles à dominante agricole. Blocage visuel au nord et au sud par deux massifs rocheux.
- 3^e échelle de lecture de paysage (rayon de 3 km)
Espace ouvert de prairie, enclavé par les boisements

du Parc National des Cévennes. Unique village de Barre-des-Cévennes implanté derrière la “barre” rocheuse, au sud-ouest.

Composantes paysagères

- **La perception visuelle**
Blocage physique au sud correspondant à la barre rocheuse de Barre-des-Cévennes, qui supprime toutes co-visibilité depuis le village et son église; blocage également au nord par le massif boisé du Parc.

Légère échancrure visuelle dans le boisement, au niveau du lieu-dit “Bramadou”.

“Fenêtres visuelles” depuis la D.983 (route la plus empruntée) et depuis la D.62 (accès aux exploitations riveraines).

- **Les dominantes liées au terroir** (relief, végétal, matière, couleur)

Paysage rural immédiat à dominante agricole (élevage), entouré par les boisements denses de résineux du Parc.

- **La nature du tissu d’implantation et l’affectation** (habitat, champ, pâture, forêt, friche...)

Exploitations agricoles attenantes aux parcelles. Enveloppe boisée de conifères. Habitat regroupé à Barre-des-Cévennes, au sud de la “barre” rocheuse.

- **La topographie des terrains**

Moutonnement du relief. Zone ouverte dominée par la “barre” rocheuse des Cévennes.

- **Le dimensionnement et le maillage de l’es-**

pace (grandes parcelles ouvertes, cloisonnement serré de haies bocagères...)

Enchaînement de prairies d’élevage, bordées par une lisière boisée. Haies bocagères résiduelles.

- **L’importance des infrastructures** (voie routière, ferrée, fluviale) et superstructures (pylônes électriques, grand éolien...)

Présence d’un réseau viaire principal à l’ouest du site (D.20 et D.683). Ruisseau de Malzac au sud structurant le vallon et accompagné par un cordon étroit de ripisylve.

- **La valeur patrimoniale du site ou du bâti environnant** (inscrit, classé)

Église protégée à Barre-des-Cévennes, implantée au sud de la “barre” rocheuse des Cévennes.

- **La valeur culturelle et touristique**

Site remarquable de la barre-des-Cévennes: véritable belvédère de grand attrait touristique.

- **La présence de zones naturelles protégées** (ZNIEFF, ZICO, Zone Natura 2000...)

En limite nord: Parc National des Cévennes. Au sud-est: Zone Natura 2000 “Vallée du Tarn, du Tarnon et de la Mimente” au sud et ZNIEFF de type I correspondant au Bois de Malzac.



Critères d’insertion de l’éolienne

- **Implantation en retrait de l’ancienne ferme**
Positionner l’éolienne hors du champ visuel de la ferme (façade sud), établie en surplomb du vallon.

- **Utilisation du fond boisé arrière**
Profiter de la lisière boisée arrière pour mieux absorber visuellement la machine.

- **Reculs vis-à-vis de l’échancrure visuelle du bois**

Eviter une position impactante de la machine au milieu de l’échancrure visuelle au col.

Implantation et choix de la machine

Implantation à l’arrière de la maison, vers le flanc du massif boisé et en retrait de l’échancrure visuelle du col.

Insertion paysagère: petite taille de la machine pour limiter son incidence visuelle, du fait de sa position en surplomb par rapport à la combe, mât haubané en acier galvanisé mat, application de la même couleur (RAL 9018 - Blanc Papyrus) pour les pales, le rotor et le gouvernail.

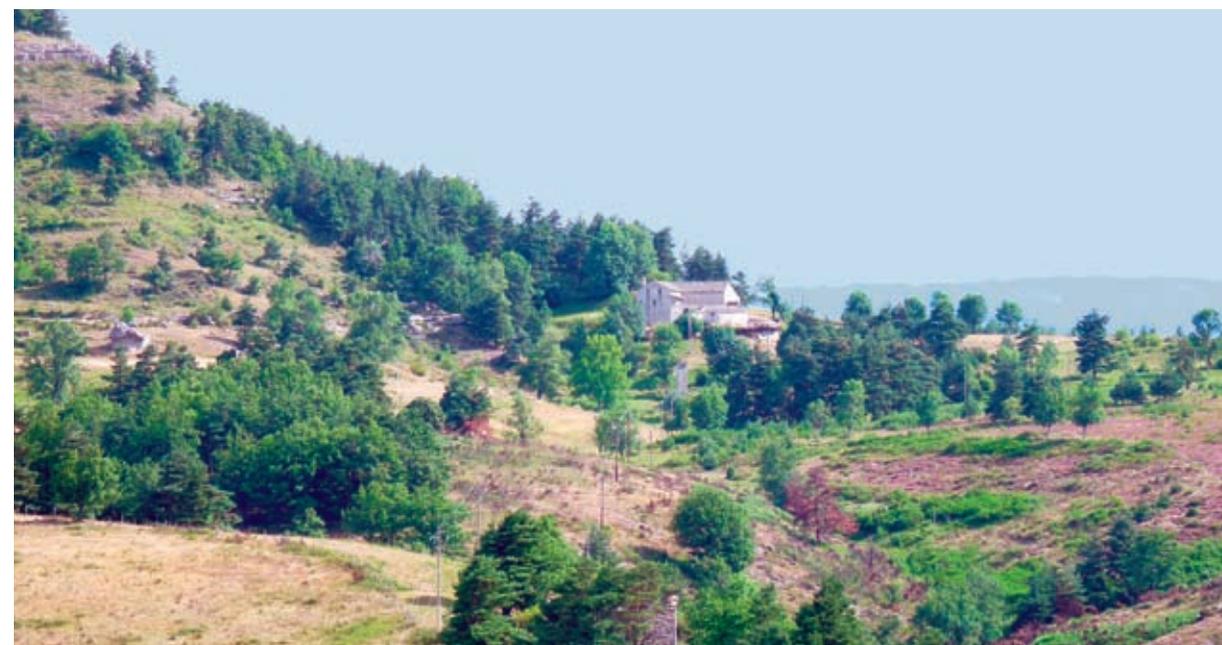
Choix du modèle: Zephyr - Air Dolphin - 1 kW
- Mât: 12 m de haut - Diamètre des pales: 1.8 m - Tri-pales.

Site paysager de Barre-des-Cévennes

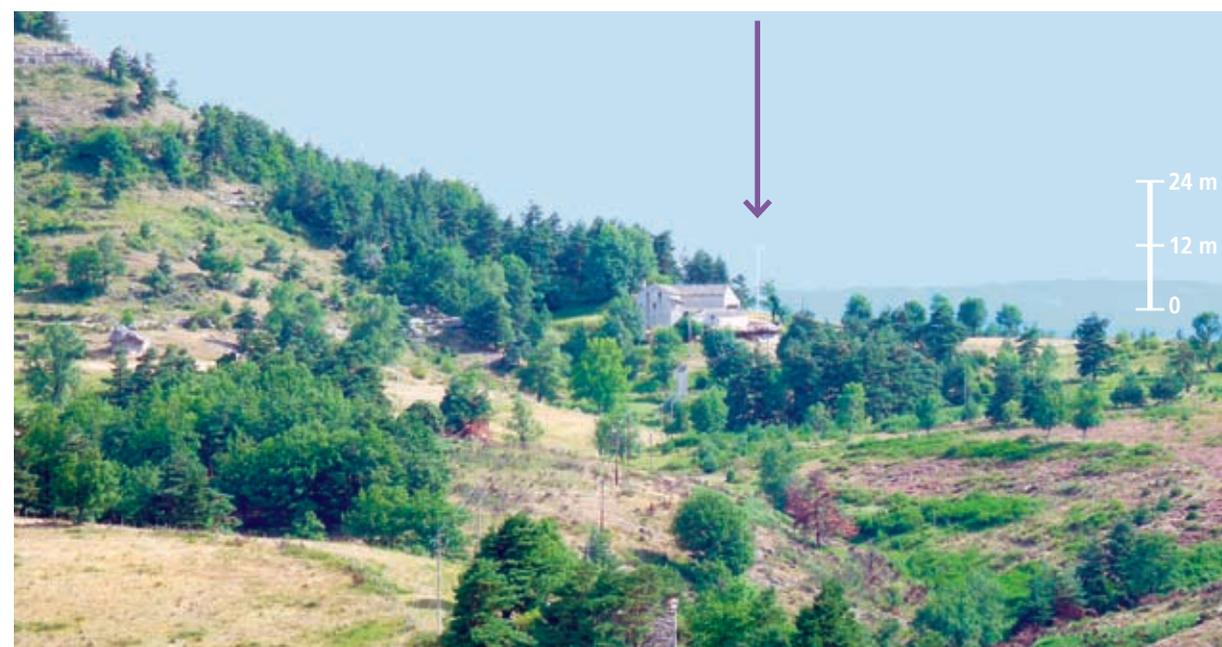
Carte de repérage de la prise de vue.



Du fait de sa position en hauteur, l'éolienne émerge du fond de ciel nébuleux, avec lequel elle tend à fusionner, notamment par sa couleur blanc-gris.



PRISE DE VUE CIBLÉE



PHOTOMONTAGE

Site paysager de Longeville-sur-Mer

3 échelles de lecture du paysage

- 1^{re} échelle de lecture de paysage (rayon de 500 m)
“Le Grand Fief” : alignement arboré enveloppant une maison de maître et des hangars agricoles, au sein d’un maillage très lâche de parcelles agricoles.
- 2^e échelle de lecture de paysage (rayon de 1 km)
Grandes surfaces ouvertes à dominante agricole, structurées par un réseau de chemins d’exploitation. Présence d’un parc éolien à proximité.
- 3^e échelle de lecture de paysage (rayon de 3 km)

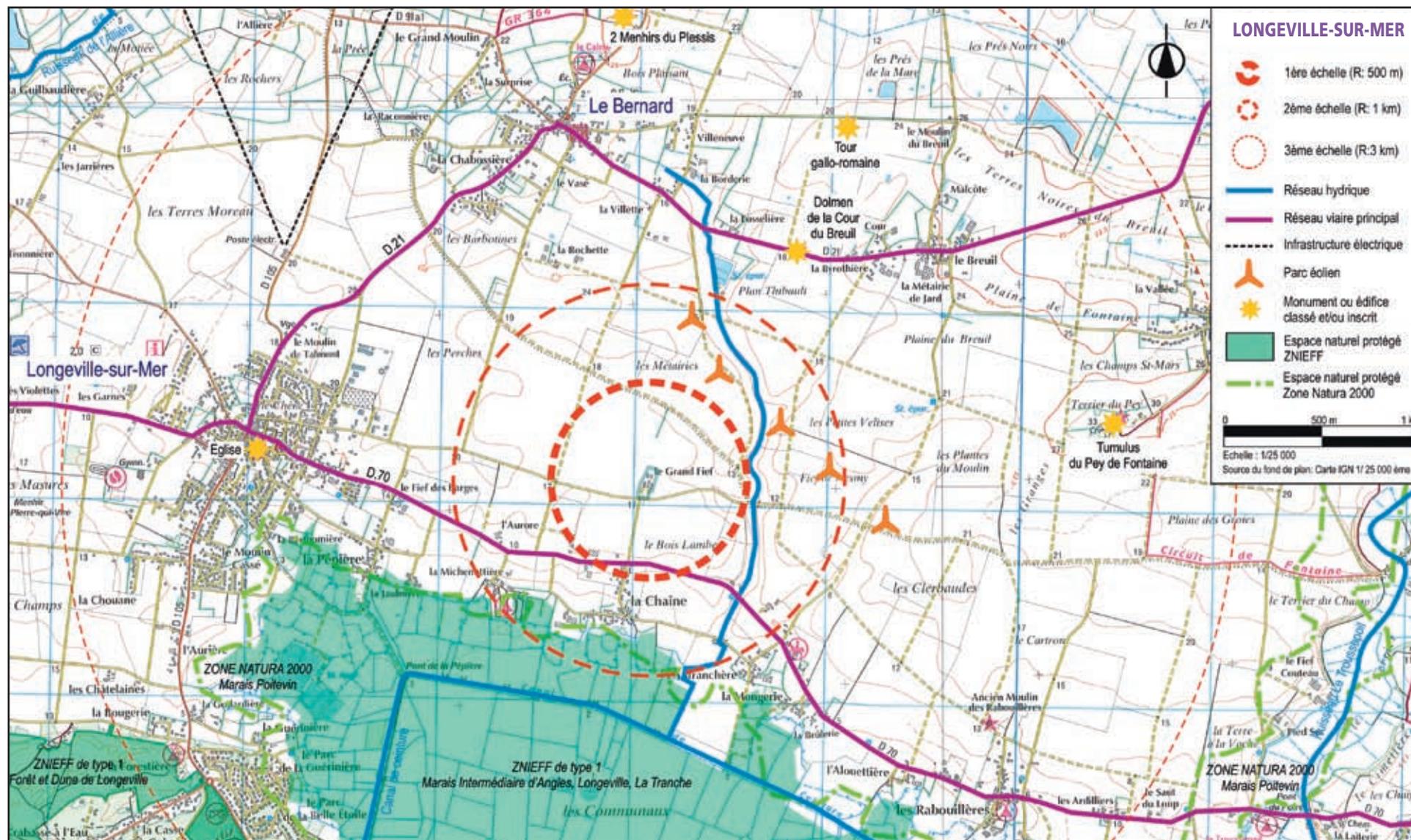
Présence au sud du Marais Poitevin, accompagné par son réseau de canaux. A l’ouest, le bourg de Longeville-sur-Mer et au nord, le hameau de “Le Bernard”.

Composantes paysagères

- **La perception visuelle**
“Fenêtres visuelles” depuis la D.70, fragmentées par les nombreuses habitations implantées le long de la route. Vue large sur le site depuis les parcelles agricoles adjacentes.

- **Les dominantes liées au terroir** (relief, végétal, matière, couleur)
Paysage de grandes cultures céréalières et oléagineux, à proximité de la côte atlantique.
- **La nature du tissu d’implantation et l’affectation** (habitat, champ, pâture, forêt, friche...)
Parcelles de cultures intensives. Absence de boisement. Habitat aggloméré en villages et quelques exploitations agricoles disséminées.
- **La topographie des terrains**
Territoire au relief quasiment plat, jouxtant successivement les marais et le littoral vendéen.
- **Le dimensionnement et le maillage de l’espace** (grandes parcelles ouvertes, cloisonnement serré de haies bocagères...)
Maillage de grandes parcelles ouvertes, structuré par un réseau de chemins d’exploitation. Haies bocagères quasi inexistantes.
- **L’importance des infrastructures** (voie rou-

- tière, ferrée, fluviale) et superstructures (pylônes électriques, grand éolien...)
- Présence de la route départementale D.70 au Sud, reliant les deux bourgs principaux (Longeville-sur-Mer/Angles), D.21 à l’ouest (Longeville/Le Bernard). Présence d’un parc éolien composé de 5 machines au nord/est.
- **La valeur patrimoniale du site ou du bâti environnant** (inscrit, classé)
Présence d’une église protégée par les Monuments Historiques à Longeville-sur-Mer. Forte empreinte historique liée aux nombreux menhirs et tumulus recensés aux alentours.
- **La valeur culturelle et touristique**
Présence de la côte atlantique vendéenne au sud du site, entraînant une forte occupation touristique estivale.
- **La présence de zones naturelles protégées** (ZNIEFF, ZICO, Zone Natura 2000...)
Présence au sud de la Zone Natura 2000 “Marais Poitevin” et de la ZNIEFF de type 1 “Marais intermédiaire d’Angles, Longeville et La Tranche”.



Critères d’insertion de l’éolienne

- **Utilisation privilégiée de la lisière arborée de la propriété**
Profiter des arbres (enveloppant la maison et les hangars), pour absorber visuellement la machine. Regrouper la machine (élément technique) avec les hangars agricoles pour éviter toute implantation dans le champ visuel de la maison de maître.
- **Implantation volontaire hors de la vue du parc éolien**
Placer l’éolienne dans l’enceinte boisée de la propriété, afin d’éviter toute comparaison d’échelle avec les grandes éoliennes.

Implantation et choix de la machine

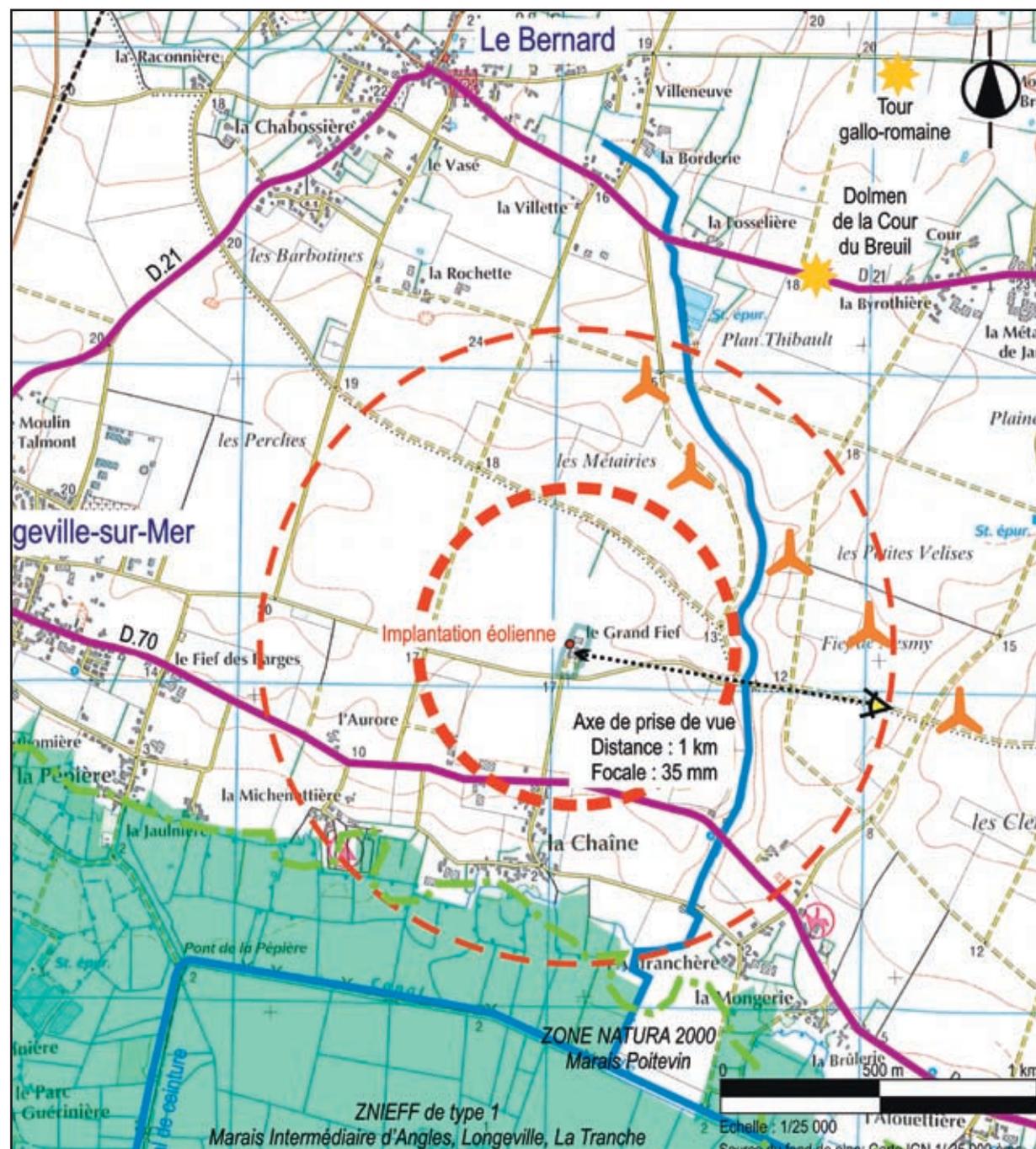
Implantation dans l’enceinte boisée de la propriété, mais à proximité des hangars.

Insertion paysagère : choix d’un mât haubané et d’un système de pales profilées pour être en cohérence avec le milieu maritime proche et application de la même couleur (RAL 9018 - Blanc Papyrus) pour les pales, le rotor et le gouvernail.

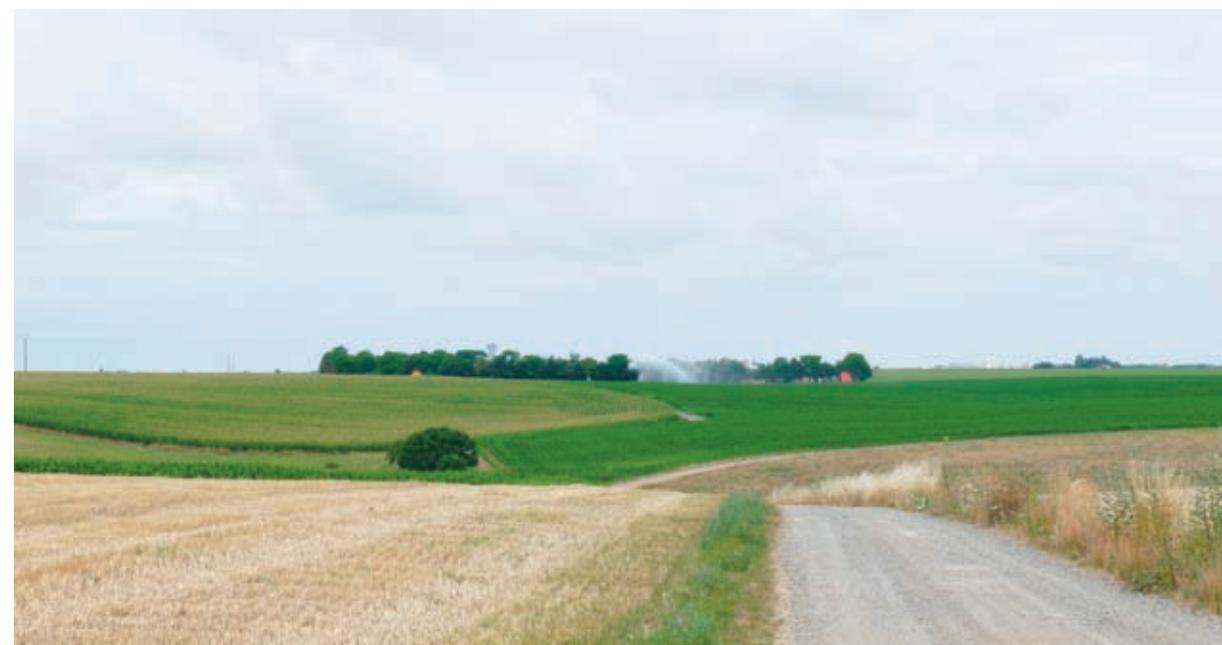
Choix du modèle : South Wind Power - Skystream 3.7 - Mât : 18 m de haut - Diamètre des pales : 3,72 m - Tri-pales.

Site paysager de Longeville-sur-Mer

Carte de repérage de la prise de vue.



Du fait de sa position volontaire au cœur de la propriété, derrière la lisière arborée, l'éolienne est partiellement masquée (sur la moitié de la hauteur). Elle émerge toutefois sur le fond de ciel nébuleux avec lequel elle fusionne.



PRISE DE VUE CIBLÉE



PHOTOMONTAGE

Impact sonore

Que dit la loi ?

Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme. L'application de la réglementation sur les bruits de voisinages incombe au maire de la commune où se produit le bruit.

Il n'existe pas de norme spécifique officielle pour la mesure du bruit des éoliennes ; c'est donc la norme "bruits de voisinage" qui est appliquée.

Lorsque le bruit est d'origine domestique (cas d'une éolienne produisant de l'électricité pour l'usage d'une famille), la mesure n'est pas obligatoire pour constater une infraction ; il suffit que l'agent habilité constate que sa durée, sa répétition ou son intensité sont excessives.

Ce n'est pas le cas lorsque le bruit est lié à une activité professionnelle ou de loisir. L'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé est alors caractérisée si l'émergence globale de ce bruit perçu par autrui, est supérieure à des valeurs limites définies par la loi. Par exemple, pour une éolienne fonctionnant en permanence, le bruit généré ne doit pas dépasser ("émerger") de plus de 5 décibels pondérés "A"-dB(A)- le niveau sonore ambiant

entre 7h à 22h, et de 3 dB(A) de 22h à 7h. Toutefois, l'émergence n'est recherchée que lorsque le niveau de bruit est supérieur à 25 décibels A si elle est mesurée à l'intérieur des pièces principales d'une habitation, ou à 30 dB (A) dans les autres cas.

Il n'existe pas de distance minimale réglementaire à respecter entre la machine et le voisinage. Mais bien sûr, plus l'éloignement est important, plus le risque de nuisance est réduit.

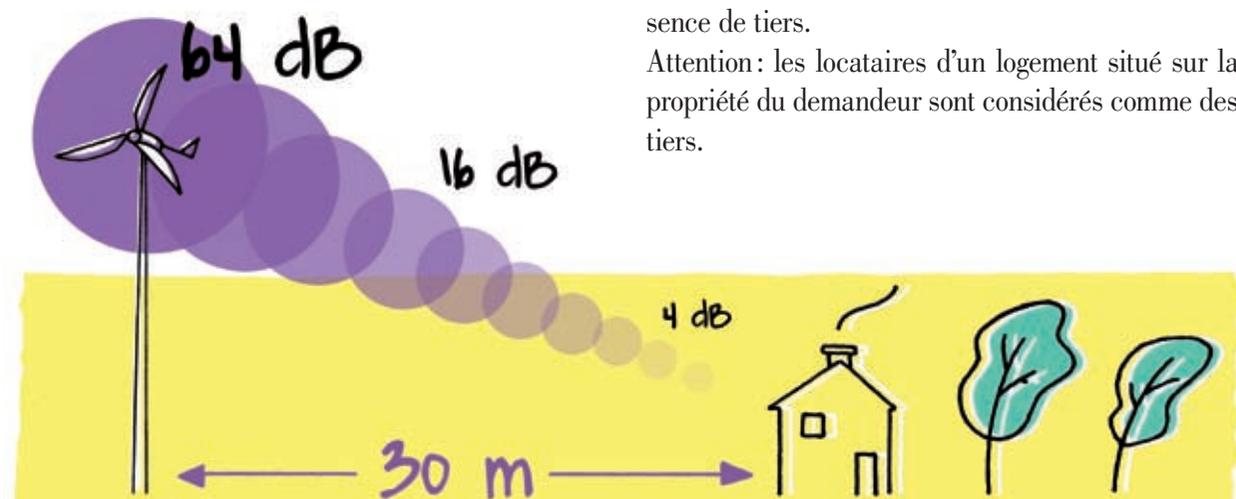
Comment l'évaluer ?

En France, des mesures acoustiques rigoureuses sont effectuées sur le Site expérimental pour le petit éolien de Narbonne (voir p.10).

Dans le cas d'une demande de permis de construire, les directions départementales des affaires sanitaires et sociales (DDASS) se basent sur les éléments figurant dans le dossier (notice d'impact) et permettant une évaluation de l'existence d'une infraction : mesures du niveau de bruit ambiant chez les tiers, couplée à une modélisation montrant les niveaux sonores attendus en fonctionnement, ou toute autre démonstration apportée par le demandeur sur les niveaux sonores attendus.

En l'absence de ces informations, les DDASS peuvent parfois considérer qu'il n'y a manifestement pas de risques d'infraction, par exemple en cas d'absence de tiers.

Attention : les locataires d'un logement situé sur la propriété du demandeur sont considérés comme des tiers.



LE BRUIT DÉCROÎT FORTEMENT AVEC LA DISTANCE : SELON UN FACTEUR 4 À UNE QUINZAINE DE MÈTRES, ET UN FACTEUR 8 À UNE TRENTAINE DE MÈTRES.



LES SYSTÈMES DE RÉGULATION SONT SOURCES DE BRUIT, LE PRINCIPE DE L'EFFACEMENT, OU "FURLING", EN PARTICULIER.

Quels facteurs interviennent ?

L'impact sonore ne dépend pas que des caractéristiques de l'aérogénérateur (puissance acoustique, vitesse en bout de pales, forme des pales, systèmes de régulation...), mais aussi de facteurs propres à chaque site, par exemple :

- **Activité humaine** : en zone urbaine ou industrielle bruyante, l'émergence sera moindre qu'en milieu rural.
- **Présence d'un couvert végétal** : le bruit provoqué par le vent dans le feuillage couvre souvent celui de l'éolienne.
- **Topographie et positionnement des riverains**. Exemple : l'impact sonore peut être fortement aggravé si la machine est située sur une crête et les voisins en contrebas direct à l'abri du vent (le niveau ambiant est alors plus faible) ; de même si les riverains sont placés en aval du vent dominant faisant fonctionner l'aérogénérateur.
- **Météorologie** : sens et force du vent, présence d'un sol gelé ou couvert de neige, pluie... les conditions climatiques jouent aussi.

Au-delà de l'impact sonore, la perception du bruit varie selon les individus et selon l'acceptation du bruit.

AUTRES IMPACTS POTENTIELS

Effets stroboscopiques

Il s'agit de la gêne que peuvent générer les ombres portées des pales en mouvement. En France, il n'existe pas de réglementation en la matière. Des logiciels permettent de préciser les éventuelles périodes de gêne.

Perturbations pour l'aviation et les centres radioélectriques

Dans certains cas, les services administratifs peuvent imposer une peinture de couleur spécifique et une balise repérables par les avions, une hauteur à ne pas dépasser, une distance minimale par rapport à un centre radioélectrique...

Infrasons

La fréquence d'un son représente le nombre de vibrations par seconde de l'onde acoustique. Elle s'exprime en Hertz (Hz). La gamme des fréquences perçues par l'homme varie entre 16 et 20 000 Hz ; les infrasons se situent en dessous de 20 Hz. Les mesures d'infrasons actuellement réalisées pour toutes les dimensions d'éoliennes courantes concordent sur un point : les infrasons qu'elles émettent, même à proximité immédiate (100 à 250 m de distance) sont largement inférieurs aux seuils d'audibilité.

A l'heure actuelle, il n'a été démontré aucun impact sanitaire des infrasons sur l'homme, même à des niveaux élevés.

Champs électromagnétiques

Dans les parcs éoliens, les seuls champs magnétiques sont liés au poste de livraison et aux câbles souterrains, les machines elles-mêmes ne produisant aucun champ. Toutefois, les câbles à champ radial, souvent utilisés dans les parcs éoliens, émettent des champs très faibles voire négligeables dès que l'on s'en éloigne. A l'heure actuelle, plus de 80 expertises internationales ont conclu à l'absence d'effet sur la santé de ces champs.

Impact sur la faune et la flore

A l'heure actuelle, contrairement au "grand" éolien, il n'existe pas de données fiables relatives à l'impact des petites éoliennes sur la faune et la flore. On ne peut donc qu'émettre des hypothèses, en ayant cependant à l'esprit que tout aménagement doit être abordé selon le principe de la proportionnalité : comme il s'agit de petites éoliennes, on peut raisonnablement supposer de faibles impacts.

En règle générale, pour limiter les impacts sur l'environnement, il est préférable :

- d'éviter les zones d'implantation sur des milieux naturels patrimoniaux ou les zones de déplacement et de reproduction privilégiées par les oiseaux
- de choisir une configuration d'aérogénérateur et un fonctionnement adaptés

Risque de collision

Les oiseaux et les chauves-souris sont les deux principales catégories d'animaux susceptibles d'être impactés, notamment par collision avec les haubans (câbles qui relient le mât au sol sur certains modèles) et les pales (surtout avec les mâts en treillis parfois utilisés comme perchoirs par certains oiseaux).

On peut supposer que le risque augmente si la machine est proche de haies, d'une forêt ou d'une rivière, où la présence de ces animaux est généralement plus forte.

Par rapport aux grandes éoliennes, les risques de collision avec les petites pourraient être :

- plus élevées car ces espèces volent en majorité à faible hauteur
- moindres car la surface balayée par l'hélice est réduite et parce que les petits aérogénérateurs ne sont pas groupés en parc (effet de rideau)

Plusieurs précautions sont envisageables : peinture des pales qui se détache de l'environnement, éclairage intermittent de couleur blanche, effaroucheurs sur les haubans...

Il existe aussi la possibilité d'agir sur le fonction-

nement même de l'aérogénérateur. Comme pour le "grand" éolien, il est possible d'arrêter une petite éolienne à certains moments afin de limiter son impact (par exemple au début des nuits d'été pour limiter les risques de collision avec des chauves-souris).

La présence d'espèces rares, menacées ou protégées doit faire l'objet d'une attention particulière.

La flore a priori peu concernée

Les petites éoliennes sont souvent installées dans des environnements artificialisés (pelouses, gazons, prés...) peu propices aux espèces végétales rares, menacées ou protégées, dont la présence doit faire l'objet d'une attention particulière.

En outre, la surface impactée par l'emprise au sol est faible : petites fondations (en particuliers pour les modèles haubanés), faible dégagement nécessaire autour du mât, voies d'accès pour l'installation et la maintenance réduites.

Toutefois, plusieurs précautions sont envisageables : voie d'accès unique pour les engins de chantier, nombre de passages et de manœuvres limité, travail sur sol sec...

PREMIÈRE ÉTUDE EN FRANCE

En 2010, l'espace naturel protégé des Marais du Vigueirat (Bouches-du-Rhône) doit installer un dispositif sophistiqué permettant de récupérer les oiseaux et chauves-souris blessés ou tués dans un rayon de 25m autour d'une petite éolienne (25kW - diamètre hélice: 10m - mât haubané - hauteur: 18m). Objectifs: dénombrer les éventuels animaux entrés en collision avec la machine, identifier les espèces, le type d'individus (sexe, âge) et les périodes concernées (saison, jour/nuit, conditions météo...). L'équipe doit également observer si l'aérogénérateur a un impact sur la nidification des oiseaux nicheurs à proximité. L'étude doit durer cinq ans.



Retours d'expériences...

Une éolienne pour le plaisir

Sylvie Lebreton vit en famille dans une maison de 240 m² habitables de l'Hérault. En juillet 2006, elle plante une éolienne haute de 18 mètres. Sa motivation : le plaisir visuel et la production d'électricité "verte".



18 m de haut pour s'extraire des obstacles

Le choix de l'éolienne se fait alors sur des critères simples. L'installateur, qu'elle choisit pour sa renommée, lui conseille d'installer l'aérogénérateur à 18 mètres de haut. Objectif : s'extraire des turbulences générées par sa maison, celle du voisin, les pins du jardin et l'école en face de la rue. "Parmi quatre modèles proposées par l'installateur, j'ai ensuite choisi celui combinant au mieux puissance, résistance et respect de mon budget", précise-t-elle. Sylvie Lebreton prend une garantie de cinq ans auprès de l'installateur. Son assureur inclut l'éolienne dans son assurance responsabilité civile, sans surcoût.

Un permis de construire facilement obtenu

Qui dit éolienne de plus de 12 mètres, dit permis de construire. Sylvie Lebreton dépose donc sa demande auprès du maire du village. "Il a accueilli mon projet favorablement, se souvient-elle. Sa seule inquiétude : que le nombre de demandes similaires explose, auquel cas il aurait proposé la construction d'une éolienne de grande taille commune". Mais ce ne fut pas le cas. Le dossier est donc transmis à la section locale de la Direction Départementale de l'Équipement. Devant la nouveauté de la demande, le dossier est toutefois renvoyé pour avis à la DDE de Montpellier. Le permis est accordé en moins de deux mois et les travaux commencent.

Une implantation aisée... hormis le raccordement

L'éolienne est installée dans le seul coin du jardin disposant d'un dégagement de 18 mètres et d'un rayon de 6 mètres pour l'ancrage des haubans. Après les travaux de génie civil, un mois d'attente est nécessaire pour que le béton des plots d'ancrage



"MOINS DE BRUIT QUE LE VENT DANS LES PINS"; IMPORTANT POUR LES VOISINS...

puisse sécher. La livraison de l'éolienne venue d'Afrique est bloquée un moment aux douanes de Toulouse... mais une fois arrivée sur place, son montage est bouclé en un jour et demi. "Le raccordement au réseau a finalement été le seul point noir, explique Sylvie Lebreton. Quand le technicien est arrivé, il a inversé le tarif "heures pleines" et "heures creuses" pour l'achat du surplus d'électricité injecté au réseau!".

Des problèmes de voisinage

Sylvie Lebreton pensait enfin être au bout de ses peines... Mais un graffiti "éolienne dehors" apparaît un jour sur un de ses murs. Apparemment l'acte isolé d'un voisin. "La plupart de mes voisins l'acceptent sans problème, assure-t-elle. Elle fait moins de bruit que le vent dans les pins, que la pompe du jardin, que les cigales ou qu'une mobylette... Son bruit émergent est inférieur à deux décibels. Et elle n'a jamais tué un oiseau ou une chauve-souris, pourtant nombreux dans le coin."

1000 kWh produits chaque année

Depuis sa mise en service en juillet 2006, l'éolienne produit 1000 kWh en moyenne chaque année.

L'ÉOLIENNE EN BREF

- Modèle : AWP 3.6
- Hauteur : 18 m
- Diamètre de l'hélice : 3,60 m
- Puissance nominale : 1200 W pour un vent de 11 m/s
- Vitesse de démarrage : 3 m/s
- Mât haubané
- Régulation et protection anti-tempête par safran pivotant

ASPECTS FINANCIERS

- Coût de l'éolienne : 12 000 €
- Frais de Génie civil : 1000 €
- Frais de raccordement : 400 € (incluant celui des panneaux photovoltaïques)
- Dépenses totales : 13 400 €
- Crédit d'impôt : 6 000 €
- Subvention de la Région Languedoc-Roussillon : 3000 €
- Location du compteur à EDF : 26 €/an
- Location d'un treuil pour entretien : 57 €/an
- Recette électrique 2008 : 20 € pour 240 kWh de surplus revendus

"Je m'attendais plutôt à 1300 kWh, avoue-t-elle". L'éolienne couvre donc un peu moins d'un quart des 4500 kWh consommés annuellement par le foyer, dont 50 % sont dévolus au fonctionnement de deux pompes extérieures pour l'irrigation du jardin et la filtration de la piscine. Les 20 m² de panneaux photovoltaïques, d'une puissance crête de 2600 W, fournissent quant à eux 3000 kWh en moyenne chaque année. La combinaison de l'énergie du vent à celle du soleil apporte donc une certaine complémentarité.

[AVIS D'EXPERTS]

LE PAYSAGISTE : L'émergence visuelle de l'éolienne, installée dans un jardin au sein d'un lotissement, est concurrencée par les autres infrastructures et constructions riveraines. Grâce à la couleur grise claire et mate de sa structure fine et galvanisée, le mât haubané est très peu visible. En revanche, le blanc pur des pales et du rotor impacte le voisinage.

L'INGÉNIEUR : L'éolienne fonctionne un peu plus de 800 heures équivalent pleine puissance. C'est peu et il n'est pas sûr que l'éventualité de monter le mât à 24 m ait changé grand chose ici. Car même si nous sommes en milieu péri-urbain, avec des obstacles, cette petite machine semble bien dégagée avec son mât de 18 mètres. Règle numéro 1 : il faut un site avec du vent...



LÉGENDES À CRÉER...

LE MÊME AÉROGÉNÉRATEUR SUR UN SITE DE DORDOGNE...

Installé seul dans une maison de 250 m² équipée en “tout électrique” à Lacropte, Robert Laurent a installé une AWP 3.6, en juillet 2005. Son objectif: “alléger la facture d’électricité de mon habitation consommant 8000 kWh/an, et utiliser une énergie renouvelable”. Afin d’éviter les turbulences générées par les arbres environnants qui culminent à 20 mètres, il est décidé de l’installer à 24 m.

17 000 euros, génie civil compris

Pour évaluer le vent sur sa colline élevée, il récupère les données d’une station météo proche. Son installateur lui propose une éolienne de 5 kW. “Trop onéreuse pour mon budget, je me suis rabattu sur l’AWP 3.6 de 1,2 kW qui, génie civil compris, m’a coûté 17 000 € avec une garantie de deux ans”. Il bénéficie d’un crédit d’impôt de 3 200 €, mais d’aucune aide régionale.

L’obtention du permis de construire est un peu plus compliqué que prévu: “mon dossier est passé entre les mains de six administrations et fut accepté au bout de quatre mois”. Echaudé par ces lourdeurs administratives, il choisit de ne pas la raccorder au réseau électrique. Après six semaines d’attente pour le séchage du béton des cinq plots d’ancrage, l’éolienne est installée en deux jours.

700 kWh par an

Au final, l’éolienne ne produit que 700 kWh/an, soit à peine un dixième de la consommation de l’habitation. “En cause: des vents trop irréguliers, 50 % sont inférieurs à 3 m/s, et les trois minutes nécessaires à l’onduleur pour s’initialiser à chaque fois que l’éolienne démarre”.

A noter également: suite à une tempête qui plie le mât en deux en janvier 2009, l’assurance habitation de Robert Laurent a pris en charge la quasi-totalité du dommage.

(Site internet sur cette réalisation: www.e-eolienne.info)

[AVIS D’EXPERTS]

L’INGÉNIEUR: Ici, le nombre d’heures équivalent pleine puissance descend à moins de 600 par an, car on cumule deux handicaps. L’aérogénérateur a beau être à 24 mètres de haut, il n’émerge que de 4 mètres au-dessus des arbres environnant. Il aurait fallu un mât d’au moins 30 mètres dans ces conditions. Et, surtout, la zone n’est visiblement pas assez ventée.

Quant à la valorisation de l’électricité pour du chauffage, c’est un peu aberrant sur le plan énergétique. Pour baisser sa consommation l’électricité, ce sera toujours plus pertinent de travailler sur l’isolation de la maison et l’amélioration du chauffage existant, plutôt que de mettre en place une nouvelle production, aussi renouvelable soit-elle.



Retours d'expériences...

Une éolienne en complément

Pierre Barriac est agriculteur à Rieuepeyroux, dans l'Aveyron. En 2003, il implante une Bergey de 10 kW perchée sur un mât autoportant de 18 m. Ses motivations : compléter son dispositif énergétique, la passion des éoliennes et l'aspect pédagogique du projet.



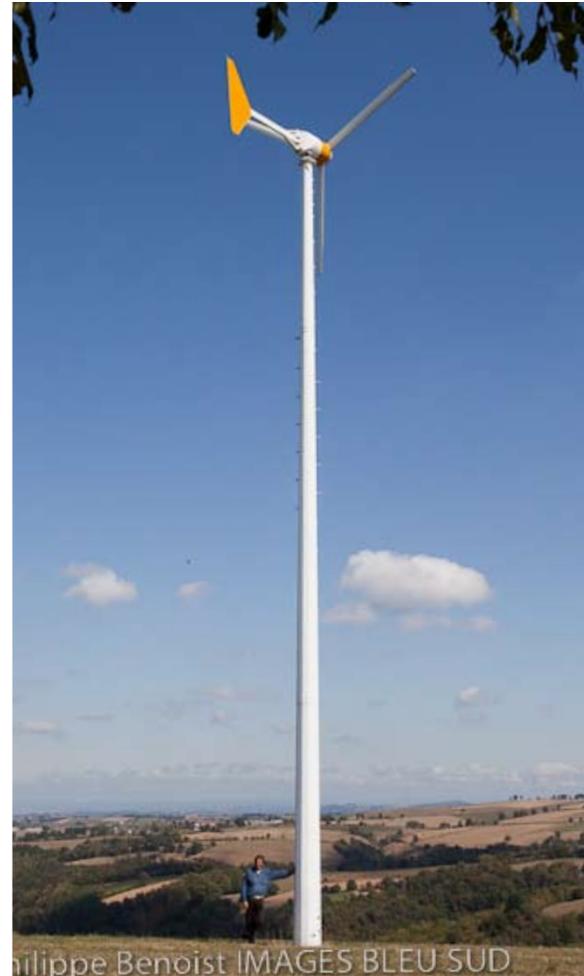
rateur sur un mât de 18 m autoportant. Objectifs : se dégager des obstacles environnants, récupérer des vents plus forts, limiter l'emprise au sol pour permettre le fauchage de la parcelle et limiter l'impact visuel. "Toutefois, l'installation et la maintenance sont plus lourdes qu'avec un mât haubané", concède l'agriculteur. La demande de permis de construire est déposée courant 1999, après concertation avec le voisinage. Située à 200 m de la première habitation voisine, la machine n'a jamais fait l'objet de plainte.

Lenteurs administratives

Mais avant d'en arriver là, trois ans s'étaient déjà écoulés depuis le lancement du projet. "À l'époque aucun cadre technique et réglementaire n'était prévu pour les petites éoliennes, se souvient Pierre Barriac. J'ai dû contacter moi-même divers services jusqu'à à Lyon et Paris." La lenteur administrative est telle que la demande de permis arrive à échéance courant 2000 ! L'agriculteur en dépose une nouvelle en 2001, qui est finalement acceptée à deux conditions : hauteur limitée à 30 m maximum pour ne pas gêner le relais téléphonique situé à moins de 2 km, et couleur blanche exigée par la Direction générale de l'aviation civile. Mais il n'est pas encore au bout de ses peines...

Premier aérogénérateur particulier de moins de 100 kW raccordé au réseau français

Le raccordement s'avère aussi délicat d'un point de vue purement technique. "Le boîtier de connexion de la Bergey était prévu pour fonctionner en monophasé 10 kW aux États-Unis. Ce qui est interdit en France, explique l'agriculteur. Après maintes recherches, j'ai finalement trouvé un fabricant allemand qui a accepté de concevoir un onduleur triphasé 10 kW



Philippe Benoist IMAGES BLEU SUD
MÂT AUTOPORTANT POUR LIMITER L'EMPRISE AU SOL.

sur mesure !" Au final, sept années auront été nécessaires à la concrétisation du projet. En septembre 2003, Pierre Barriac devient le premier particulier raccordant une éolienne de moins de 100 kW au réseau électrique français. La machine injecte la totalité de l'électricité produite sur le réseau, seule option proposée par EDF à l'époque. Des batteries offrant une petite journée d'autonomie sont prévues pour palier à d'éventuelles coupures du réseau sur ce site situé en bout de ligne. L'onduleur leur donne la priorité.

Environ 6 500 kWh produits chaque année

Depuis sa mise en service, la Bergey produit environ 6 500 kWh chaque année, contre un productible initialement estimé à 13 000 kWh. "Le site n'est pas très venté, constate l'agriculteur. Il y a certes des périodes de vent fort, mais aussi beaucoup de périodes calmes". Cette production réelle représente toutefois près de 60 % de la consommation électrique de la ferme (ventilateur, broyeur, évacuateur de fumier, petite scierie) et de l'habitation (appareils électroménagers, hifi, bureautique, éclairage...). Ne disposant pas de toiture exposée au sud, Pierre Barriac a installé ses 8 m² de capteurs photovoltaï-

L'ÉOLIENNE EN BREF

- Modèle : Bergey Excel (Etats-Unis)
 - Hauteur : 18 m
 - Diamètre de l'hélice : 6,20 m
 - Puissance nominale : 10 kW pour un vent de 13 m/s
 - Vitesse de démarrage : 3 m/s
 - Mât autoportant
 - Régulation et protection anti-tempête par safran pivotant
- ### ASPECTS FINANCIERS
- Coût de l'éolienne : 25 000 €, garantie 5 ans
 - Mât, installation et raccordement pris en charge par la société Cegelec
 - Subvention du Syndicat intercommunal d'énergies de l'Aveyron : 50 % du total
 - Crédit d'impôt : aucun
 - Location des compteurs à EDF : 108,50 €/an
 - Recette électrique 2008 : 793,48 €
 - Temps de retour estimé : environ 15 ans
 - Assurance : responsabilité civile agricole sans surcoût

Site internet sur cette réalisation
www.soleil-vie-vent.com

ques, d'une puissance crête de 1 kW, sur un pignon de l'habitation : ils apportent près de 1100 kWh par an. "Ces capteurs produisent plus l'été par très beau temps, tandis que l'éolienne produit davantage l'hiver et par mauvais temps, explique-t-il. Les deux systèmes présentent donc une bonne complémentarité. Mais le prix de vente du kWh photovoltaïque est nettement plus avantageux".

[AVIS D'EXPERTS]

LE PAYSAGISTE : L'émergence visuelle de l'éolienne, implantée en point haut, est en partie atténuée par l'effet "mosaïque" des champs, mais aussi par la volumétrie des hangars agricoles à proximité. La moitié basse du mât tubulaire autoportant est aussi absorbée ponctuellement par les haies bocagères. Mais, en définitive, la couleur blanc pur du mât et des trois pales, tout comme le jaune vif du gouvernail, rendent l'installation très facilement repérable.

L'INGÉNIEUR : L'éolienne fonctionne environ 650 heures équivalent pleine puissance. Pour cette gamme de puissance, qui entraîne des investissements importants, il est capital de faire une véritable mesure de vent. Ici, le mât haubané aurait pu être une solution intéressante : la machine aurait pu être montée au moins à 24 m pour un coût inférieur au mât autoportant de 18 m... Ce qui aurait aussi engendré des coûts de maintenance moindres.



LORS DU MONTAGE DE L'AÉROGÉNÉRATEUR 10KW AIRCON.

UNE ÉOLIENNE DE MÊME PUISSANCE DANS LE RHÔNE

Pascal Loulmet gère une ferme auberge de 480 m² à Yzeron. Désireux de produire de l'électricité "propre", il opte pour la solution éolienne. Il installe une station météo quatre mètres au dessus de son toit. Une méthode peu orthodoxe dont il retire une valeur moyenne annuelle du vent de 4,5 m/s.

Changement de modèle en cours de route

L'exploitant choisit un aérogénérateur chinois de 20 kW proposé par France Eoliennes. Il prévoit de l'installer à 40 m de la ferme sur un site à vent de dominante nord, et juché à 18 m au sommet d'un mât conique. Le permis est facilement obtenu. Côté raccordement, ERDF annonce que la ligne doit être renforcée pour pouvoir accepter l'éolienne, ou qu'une ligne séparée doit être créée par laquelle la machine injectera la totalité de sa production sur le réseau. Moins onéreuse, c'est la seconde solution qui est retenue. Le modèle chinois est mis en place fin juin 2007. Problème: il ne fonctionne pas correctement... jusqu'au jour où ses pales cèdent!

50 000 euros tout compris, aides non déduites

Echaudé, Pascal Loulmet opte alors pour un modèle plus cher mais ayant davantage de références: une Aircon allemande de 10 kW mise en service en juillet 2008, et garantie trois ans. Il l'assure en responsa-

bilité civile pour 50€/an. Au total, l'aérogénérateur, le mât treillis, le génie civil, le raccordement, et l'installation lui coûtent 50 000€. Somme à laquelle devront prochainement être soustraits 10 000€ de subvention prévue par le Conseil Régional Rhône-Alpes, et un crédit d'impôt de 4 000€.

14 000 kWh/an

Sur sa première année de fonctionnement, l'Aircon a produit 13 000 kWh, ce qui représente un peu moins de la moitié de la consommation de la ferme. Le productible avait été estimé à 18 000 kWh. "Je ne conseille pas l'acquisition d'une petite éolienne à quelqu'un dont la seule motivation est la rentabilité", conclut Pascal Loulmet.

(Site internet sur cette réalisation: www.fermeleplat.com)

[AVIS D'EXPERTS]

L'INGÉNIEUR: L'aérogénérateur affiche 1 400 h de fonctionnement annuel à pleine puissance, ce qui est correct. L'écart entre productions prévisionnelle et réelle s'explique en partie par la mesure de vent. Placer un anémomètre au-dessus d'un toit n'est pas une bonne chose: la pente peut provoquer une accélération qui donne une valeur plus élevée que la réalité... ou bien le contraire. Il est dommage de vouloir économiser quelque 1 000€ pour une campagne de mesure de vent qui permet de s'assurer du bien-fondé d'un aérogénérateur qui va en coûter 50 000€.



Philippe Benoist IMAGES BLEU SUD

Retours d'expériences...

Une éolienne pour valoriser le site et moins dépendre du fuel

Les Soyez vivent dans une maison de 250 m² à Courset (Pas-de-Calais). En 2007, ils implantent une Eoltec de 6 kW à 24 m de haut. Objectifs : tirer profit d'un lieu très venté où trône la structure d'un ancien radar, et réduire leur consommation de fuel.



lance-t-il. Je ne voyais donc pas l'intérêt de dépenser plus pour un mât de mesure et une étude précise."

24 m de haut pour se hisser au dessus des arbres

En concertation avec son installateur, Jérôme Soyez prévoit d'ériger son futur aérogénérateur à 24 mètres de haut afin de dépasser la cime des plus grands arbres environnants, et de tirer profit de vents moins turbulents. Son choix se porte sur l'Eoltec Scirocco bipale de 6 kW, vantée par l'installateur comme une des meilleures dans sa catégorie de puissance. La demande de permis de construire est déposée à la mairie. Cinq mois plus tard, n'ayant pas de réponse de l'administration à ses appels répétés, il décide d'implanter l'éolienne sans attendre.

Problème de ligne électrique

L'installateur n'étant pas chaud pour ancrer la machine dans le béton allemand, le propriétaire en assume l'entière responsabilité. Il faudra quatre jours pour mener à bien la mission, les techniciens devant faire face à une tempête persistante. Mr Soyez creuse lui-même la tranchée de raccordement sur 60m jusqu'à un bâtiment jouxtant la maison. La Scirocco entre en service en novembre 2007. Le surplus d'électricité non consommé est injecté au réseau. Mais l'installateur interpelle rapidement ERDF sur le fait que le bout de ligne raccordant le site au réseau ne parvient pas à absorber le courant produit par l'éolienne quand elle tourne à plein régime. Dans ces moments là, il faut donc allumer des appareils électriques (four, radiateurs) afin d'absorber le surplus.

Casse au printemps 2008

A quelques sauts du disjoncteur près, tout se passe bien jusqu'à un jour très venté du printemps 2008.

Le terrain de la famille Soyez présente deux inconvénients. Tout d'abord, il est en plein vent, ce qui a obligé ses propriétaires à planter de nombreux arbres pour protéger des rafales une maison difficile à chauffer. Autre particularité : la présence de blocs bétons d'un radar ayant servi aux allemands durant la seconde guerre mondiale, et dont la destruction coûterait très cher. "En 2006, j'ai décidé d'acquérir un aérogénérateur pour transformer ces deux désagréments en avantages, explique Jérôme Soyez. Mais aussi pour diminuer nos dépenses de fuel alimentant une chaudière fatiguée, et passer progressivement au chauffage électrique. Le tout sur une propriété isolée où une petite éolienne ne gênerait personne."

Impasse sur l'évaluation précise du vent

Pour avoir une idée plus précise du vent soufflant sur son terrain, Jérôme Soyez se contente d'une carte des vents fournie par le Conseil régional du Nord Pas-de-Calais. Celle-ci indique une vitesse moyenne annuelle d'environ 6,5 m/s. Il ne lui en faut pas plus pour concrétiser son projet. "Point culminant du secteur avec ses 201 mètres d'altitude, le site prend tout le vent, notamment de dominante sud-ouest en provenance de la Manche située à 10 km à vol d'oiseau,



L'ÉOLIENNE EST INSTALLÉE SUR UN ANCIEN RADAR DE L'ARMÉE ALLEMANDE.

Ce jour-là, une rupture du réseau général empêche le frein moteur de fonctionner. En l'absence de ce frein, la machine devrait en théorie se réguler avec un système mécanique. Mais, l'éolienne se met à tourner à toute vitesse, dans tous les sens et à vibrer... le gouvernail casse net et tombe au sol ! Elle est arrêtée six mois et le dommage couvert par la garantie. Le fabricant Eoltec en a profité pour améliorer le système de régulation. "Mais ERDF n'a toujours pas trouvé la réelle cause de ce problème de ligne", se plaint Jérôme Soyez. En février 2009, un déclencheur automatique est donc installé pour mettre deux radiateurs électriques sans thermostat à pleine puissance quand il y a trop de vent. "Même si nous chauffons huit à neuf mois dans notre région, ces radiateurs tournent parfois en plein été quand on en a pas besoin..." déplore-t-il.

10 000 kWh sur 18 mois

De novembre 2007 à fin octobre 2009, l'Eoltec a produit près de 10 000 kWh malgré six mois d'arrêt. Une simple règle de trois permet d'estimer sa production moyenne annuelle à environ 6 000 kWh,

L'ÉOLIENNE EN BREF

- Modèle : Eoltec Scirocco bipale
- Hauteur : 24 m
- Diamètre de l'hélice : 5,60 m
- Puissance nominale : 6 kW pour un vent de 12 m/s
- Vitesse de démarrage : 3 m/s
- Mât haubané
- Régulation et protection "anti-tempête" par contrôle de pas centrifuge

ASPECTS FINANCIERS

- Coût éolienne, mât et installation : 36 565,52 €, garantie 2 ans
- Frais de raccordement : 201,45 €
- Déclencheur automatique et deux radiateurs pour compenser le problème de ligne électrique : 130 €
- Dépenses totales : 36 896,97 €
- Crédit d'impôt : 50 % sur le matériel, plafonné à 9 000 €
- Subvention : aucune
- Location du compteur à EDF : 26,55 €/an
- Recette électrique annuelle estimée à 164 € (sans compter la non consommation de fuel)
- Temps de retour estimé : environ 15 ans
- Assurance : extension responsabilité civile sans surcoût

ce qui représente 100 % de la consommation électrique du foyer en 2009. Dans le même temps, la consommation de fuel, dont le prix est en constante augmentation, est passée de 3 000 à 1 500 litres annuels. "Hormis ce problème de ligne électrique, nous sommes donc plutôt satisfaits, concède Jérôme Soyez. Toutefois, l'éolienne émet un sifflement qui pourrait poser problème si nous avions des voisins proches sous le vent dominant."

[AVIS D'EXPERTS]

LE PAYSAGISTE : L'émergence visuelle de l'éolienne est partiellement affaiblie par les boisements périphériques qui absorbent la moitié de la hauteur. La légèreté du mât haubané, de couleur gris clair, caractérise cette installation. Mais la couleur jaune du rotor et du gouvernail rend finalement l'éolienne repérable. Enfin, l'esthétique d'une machine bipale est moins équilibrée que celle d'une tripale.

L'INGÉNIEUR : La production est faible : elle correspond à un vent de 4 m/s en prenant les données du constructeur. On est très loin des 6,5 m/s pris en compte au départ. Premier problème : on est au milieu de grands arbres ; l'éolienne n'est pas assez dégagée malgré un mât à 24 m. Enfin, il est dangereux de trop s'appuyer sur un atlas des vents réalisé pour le grand éolien, à 50 m de haut. Cet atlas est une première indication pour savoir s'il est judicieux de se lancer dans une mesure de vent précise, à la hauteur d'une petite éolienne.



Retours d'expériences...

Une éolienne pour électrifier une île isolée

Depuis 2007, Soizic et David Cuisnier gèrent une ferme auberge sur la petite île bretonne de Quéménès. Une Proven de 2,5 kW et 70 m² de panneaux photovoltaïques couvrent les besoins en électricité.



Propriétaire des 30 hectares de l'île sauvage de Quéménès depuis 2003, le Conservatoire du Littoral décide d'y installer un couple d'agriculteurs pour gérer une ferme auberge de 200 m² habitables. Une question se pose alors : comment électrifier de manière écologique ce bout de terre situé à 8 km de la côte du Finistère ?

Évaluation précise des besoins

Divers appareils basse consommation devront être alimentés : armoires frigorifiques, lave-linge, lave-vaisselle, lampes, ordinateur, télévision, petit électroménager... Mais aussi un système de pompage-surpression pour l'eau. Autant d'équipements nécessaires au couple et aux touristes, qui peuvent être jusqu'à dix accueillis dans trois chambres d'hôtes, d'avril à octobre. Après une étude approfondie confiée à des bureaux d'étude, la consommation quotidienne des usages prioritaires est estimée à près de 11,5 kWh d'avril à septembre, et de 9,7 kWh d'octobre à mars. Soit un total d'environ 4000 kWh/an. Deux options sont alors envisagées : des panneaux photovoltaïques seuls, ou couplés à une petite éolienne capable d'exploiter le potentiel de cette île battue par les vents.

Vent et soleil disséqués

Quéménès est totalement plate, sans arbre ni aucun obstacle naturel. Seule la mer la sépare de ses voisines Molène et Ouessant. Elle ne présente pas de microclimat particulier. Pour évaluer le vent, les bureaux d'étude se sont donc basés sur les données de la station Météo France d'Ouessant (rose des vents basée sur dix années de mesures et vitesses moyennes quotidiennes sur cinq ans), et sur la base de données Nasa SSE. Selon leurs calculs, le vent souffle à une vitesse moyenne annuelle 6,7 m/s à 10 mètres du sol (hauteur pressentie pour l'aérogénérateur). Quant à l'estimation du rayonnement solaire, elle est issue des données du service SoDa (Solar Data bases). Leur étude conclut à la supériorité technique, économique et environnementale d'un système hybride.

Installation hybride sécurisée

L'option retenue associe une éolienne Proven 2,5 kW, résistante aux climats sévères et démarrant à faible vitesse de vent (productible estimé à 4-500 kWh/an), couplée à 70 m² de modules photovoltaïques gris anthracite, en surtoiture (6,4 kWc). L'électricité produite est stockée dans une batterie d'accumulateurs (2500 Ah sous 48 V) qui offre jusqu'à sept jours d'autonomie. Des systèmes de débordement (chauffage et production d'eau chaude) consomment le courant excédentaire. Un groupe électrogène Diesel de secours complète le dispositif.

Les travaux débutent en juillet 2007 pour une mise en service le 11 septembre suivant. "Nous n'avons eu recours au groupe électrogène qu'entre les mois de février et avril 2009, précise David Cuisnier. L'éolienne était alors en réparation, suite à une casse du générateur générée par un frottement entre le rotor et le stator." La garantie de l'installateur a couvert le dommage.



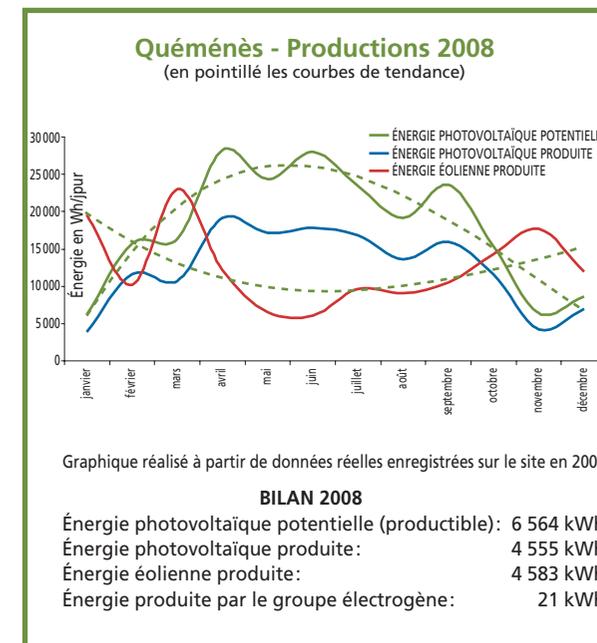
MÊME À SEULEMENT 9M DE HAUT, L'ÉOLIENNE PRODUIT BIEN CAR IL N'Y A QUASIMENT PAS D'OBSTACLE AU SOL.

Complémentarité vent / soleil

En 2008, l'éolienne a produit un peu plus de 4500 kWh; autant que les panneaux photovoltaïques. Mais ce chiffre ne correspond pas au maximum qu'aurait pu produire l'aérogénérateur. En effet, en période de surproduction, il tourne à vide. "C'est le cas 50 % du temps les mois chauds, où les panneaux solaires suffisent, note David Cuisnier. En revanche, c'est l'éolienne qui apporte la majorité de l'électricité produite en automne/hiver, quand l'ensoleillement est moindre." Les courbes établies à partir des données de production en 2008 le prouvent : la complémentarité vent/soleil est quasi parfaite (voir ci-contre) !

Intégration paysagère réussie

Afin de respecter le paysage de ce site classé, l'éolienne devait être implantée dans la continuité du bâti existant. Elle a donc été placée à une trentaine de mètres du bâtiment le plus proche et juchée à 9 m de haut seulement. "Grâce à une simulation, nous avons déterminé la meilleure implantation pour minimiser l'impact des turbulences générées par les bâtiments, explique Philippe Brulé, bureau d'études sur cette installation. Quant à la faible hauteur de mât qui nous a été imposée, elle ne représente pas un handicap dans ce milieu plat dépourvu d'obstacles dans l'axe des vents dominants." Mât autoportant basculant esthétique, couleur qui se fond dans le paysage, socle discret... tout a été mis en œuvre pour une intégration paysagère réussie.



[AVIS D'EXPERTS]

LE PAYSAGISTE: La verticalité du mât contraste avec un paysage à dominante horizontale, soulignant son émergence. Toutefois, sous certains angles, la faible hauteur du mât est partiellement absorbée grâce à la présence immédiate de constructions. Enfin, le choix d'une couleur très sombre pour le rotor et les pales souligne inutilement la machine dans un environnement très "dénudé".

L'ÉOLIENNE EN BREF

- **Modèle:** Proven WT2500 tripale (Ecosse)
- **Hauteur:** 9 m
- **Diamètre de l'hélice:** 3,50 m
- **Puissance nominale:** 2,5 kW pour un vent de 12 m/s
- **Vitesse de démarrage/maximum (m/s):** 3,5/65
- **Mât autoportant basculant**
- **Régulation mécanique:** inertielle par pied de pale souple

ASPECTS FINANCIERS

- **Éolienne (mât, installation, raccordement):** 30 513 €
- **Lot photovoltaïque (comprenant batterie, chargeur, onduleur, groupe électrogène...):** 113 046 €

- **Aménagement électrique:** 16 978 €
- **Total TTC:** 160 537 €
- **Maintenance actuellement sous garantie**
- **Garantie éolienne:** 5 ans (pièces, main d'œuvre, déplacements) pour 1 600 € H.T.
- **Subvention:** coût total pris en charge par l'Ademe (25%), le Conservatoire du littoral (25%), la Fondation EDF (25%) et la région Bretagne (25%).
- **Assurance:** responsabilité civile professionnelle sans surcoût

Site internet sur cette réalisation
www.iledequemenes.fr





QUÉMÉNÉS: D'AVRIL À SEPTEMBRE, LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES ONT APPORTÉ ENVIRON 3000 KWH CONTRE PRÈS DE 1500 POUR L'ÉOLIENNE. UN RAPPORT INVERSÉ D'OCTOBRE À MARS.

“ÉLECTRIFICATION COOPÉRATIVE” DANS L'AUDE

En 1992, vingt particuliers créaient la coopérative Aude Energies Renouvelables (AER). Objectif: électrifier par éoliennes, ou panneaux photovoltaïques, leurs habitations rurales non raccordables au réseau. Le projet fut financé à 90 % par l'Europe, l'Ademe, la Région Languedoc-Roussillon et EDF; 10 % du coût restant à la charge des coopérateurs.

Mutualiser la maintenance sur quinze ans

“La coopérative a notamment permis de mutualiser les coûts de maintenance sur les quinze années d'amortissement des installations, période durant laquelle elle en était propriétaire”, explique son gérant, Philippe Brulé. A sa création, AER parvient à négocier une garantie de service de 7 ans et demi. Outre les 10 % du montant de l'investissement global de leur équipement, les coopérateurs versent une

cotisation mensuelle (1/1000^e de l'investissement). Le génie civil est aussi à leurs frais.

Deux éoliennes pour vingt sites

En 1993, deux aérogénérateurs et 18 panneaux photovoltaïques sont installés. “Seuls deux sites présentaient un besoin en électricité et un potentiel justifiant l'investissement dans une petite éolienne”, explique Philippe Brulé. Perchées à 12 mètres de haut, les deux machines Vergnet de 5 kW remplissent toutes leurs promesses. En 1995, dix modules photovoltaïques supplémentaires sont mis en service.

Une expérience réussie

“La forme coopérative a rempli tous les objectifs que nous nous étions fixés, conclut Philippe Brulé. Une réussite telle qu'AER a servi de référence pour l'élaboration du Fonds d'Amortissement des Charges d'Électrification mis en place en 1995 au niveau national” (voir p.17). En 2005, la moitié du parc de la coopérative a été transférée vers le FACÉ.



Aérogénérateur

Générateur transformant une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Le terme "éolienne" englobe l'aérogénérateur et le mât.

Anémomètre

Appareil permettant de mesurer la vitesse du vent.

Ah

Ampère-heure. Unité de mesure de la capacité de stockage d'électricité d'une batterie d'accumulateurs. Pour déterminer la quantité d'énergie stockée par la batterie, on doit aussi connaître sa tension.

Coefficient de puissance (Cp)

Rapport entre l'énergie récupérée par l'éolienne et l'énergie du vent qui traverse la surface balayée par les pales.

Courbe de puissance

Courbe indiquant la puissance de l'aérogénérateur en fonction de différentes vitesses de vent.

Covisibilité

Terme employé lorsque deux éléments (ex : une éolienne et un monument historique) peuvent être embrassés par un même regard ou que l'un est visible à partir de l'autre.

dB(A) - Décibel A

Unité de mesure du bruit pondéré pour tenir compte de la sensibilité auditive de l'oreille humaine.

DDASS

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales.

DDTM

Direction Départementale des Territoires et de la Mer.

DREAL

Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (fusion des DRIRE, DRE et DIREN).

Facteur de charge

Mesure de la productivité pour une éolienne et un site donnés. Rapport entre l'énergie réellement produite et celle qui l'aurait été si l'aérogénérateur avait produit tout le temps à sa puissance nominale, sur une période donnée, un an en général (8 760 heures). D'où le lien direct entre "facteur de charge" et "nombre d'heures équivalent pleine puissance".

Garantie décennale

Obligation pour l'installateur de l'éolienne de souscrire une assurance de responsabilité civile décennale, garantissant au maître d'ouvrage (attestation fournie avant travaux) la solidité de l'ouvrage ou des éléments d'équipement indissociables, et ce pendant dix ans.

Générateur

Appareil qui transforme une énergie quelconque en énergie électrique.

Hélice

Partie de l'aérogénérateur constituée des pales, du moyeu et de l'arbre moteur.

Induction

Création d'un courant électrique par le mouvement relatif entre des aimants (l'inducteur) et des bobines de fil électrique (l'induit).

kW

Kilowatt, soit 1 000 watts (W). Unité de mesure de la puissance. Un watt est la puissance d'un système résistif débitant une intensité d'un ampère (A) sous une tension d'un volt (V).

kWh

Kilowatt-heure, soit 1 000 watts-heure (Wh). Unité de mesure de la quantité d'énergie. Un Wh est l'énergie consommée, ou délivrée, par un appareil d'un watt (W) pendant une heure (h).

Nacelle

Élément de l'aérogénérateur situé en haut du mât, contenant le générateur, et la machinerie associée, nécessaires à la production d'électricité.

Onduleur

Équipement assurant la conversion d'un courant continu en courant alternatif. Dans le domaine éolien, il permet d'adapter le format de production aux caractéristiques du réseau (tension et fréquence).

Productible

Estimation de la production potentielle de l'éolienne sur une période donnée, en kWh.

Puissance nominale

Puissance de sortie d'une éolienne correspondant à une vitesse de vent donnée (vitesse nominale), en W. La puissance nominale correspond la plus souvent à la puissance maximale que la génératrice est capable de délivrer en continu.

Redresseur

Appareil permettant de transformer le courant alternatif fourni par l'éolienne en vue de son stockage sur une batterie d'accumulateurs.

Régulation

Terme englobant les systèmes qui permettent de réguler la vitesse de rotation de l'éolienne pour qu'elle ne se détériore pas en cas de fort vent.

Rotor

Partie mobile du générateur.

Stator

Partie fixe du générateur.

Systèmes d'orientation

Dispositifs permettant aux pales de capter un maximum de vent malgré ses changements de direction.

Taux de disponibilité annuel de l'éolienne

Pourcentage de l'année pendant lequel l'éolienne est en état de produire, c'est-à-dire hors périodes de panne et de maintenance.

Turbulences

Perturbations de l'écoulement de l'air essentiellement générées par des obstacles. Elles influent sur la production de l'éolienne et augmentent sa "fatigue".

ZDE

Zone de Développement Eolien. Seules les petites éoliennes situées sur ces zones du territoire peuvent bénéficier de l'obligation d'achat garanti du kWh fourni par un aérogénérateur.

ZICO

Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux.

ZNIEFF

Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique. Les ZNIEFF de type 1 sont généralement d'une superficie limitée. Les ZNIEFF de type 2 caractérisent des grands ensembles naturels.

Zone Natura 2000

Réseau européen de sites naturels ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelles qu'ils contiennent.

Pour en savoir plus...

Un premier contact...

Les Espaces Info Énergie: un réseau de conseillers indépendants et une information gratuite **0810 060 050** ou www.ademe.fr/info-energie pour connaître l'EIE le plus proche.



Quelques livres...

“**Éoliennes et aérogénérateurs** - Guide de l'énergie éolienne”, Guy Cuntz, Éditions Édisud, 167 p.

“**Guide de l'énergie éolienne** - Les aérogénérateurs au service du développement durable.”, Collection Études et filières, 161 p.

“**Guide des énergies vertes pour la maison**”, Patrick Piro, Éditions Terre vivante - L'écologie pratique, 159 p.

“**Le grand livre de l'éolien**”, Paul Gipe, Éditions du Moniteur/Observ'ER, 508 p.

“**Les éoliennes en 50 questions réponses - 2^e édition**”, Editions Systèmes Solaires.

“**Produire son électricité avec les énergies solaire et éolienne**: Principes, exemples de réalisation”, Jean-Paul Blugeon, Éditions Ulmer, 143 p.

Quelques liens Internet...

Ademe: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. www.ademe.fr

AWEA: American Wind Energy Association (États-Unis). www.awea.org/smallwind

BWEA, British Wind Energy Association (Grande-Bretagne). www.bwea.com/noabl/index.html

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Espagne). Site de certification pour les petites éoliennes. www.ciemat.es

CLER: Comité de Liaison Énergies Renouvelables. Association loi 1901 regroupant plus de 150 professionnels des énergies renouvelables répartis sur tout le territoire national. www.cler.org

Conservatoire du littoral. www.conservatoire-du-littoral.fr

DWIA: Danish Wind Industry Association (Danemark). www.windpower.org

“**Eoliennes en milieu urbain - État de l'art**”, étude de l'Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies (Arene - Ile-de-France), juillet 2004 actualisée en janvier 2006, 129 p. Téléchargeable sur www.arenidf.org

ERDF: Électricité Réseau Distribution France. www.erdfdistribution.fr

EWEA: European Wind Energy Association (en anglais). www.ewea.org

Facé: Fonds d'Amortissement des Charges d'Électrification. www.face-infos.com

FEE: France Énergie Éolienne (branche éolienne du Syndicat des énergies renouvelables). fee.asso.fr

Géoportail: Le portail des territoires et des citoyens. Cartes IGN accessibles, intéressant notamment pour le volet paysager de la notice d'impact. www.geoportail.fr

Groupe de découverte et de promotion du petit éolien et des petites éoliennes dans les pays francophones. fr.groups.yahoo.com/group/petit-eolien

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. www.developpement-durable.gouv.fr

NREL: National Renewable Energy Laboratory (États-Unis). Site de certification pour les petites éoliennes. www.nrel.gov

Pôle Énergies 11: Association regroupant la majorité des acteurs du département de l'Aude en matière d'énergie, avec une action particulière sur le petit éolien. www.pole-energies11.org

SEPEN: Site Expérimental pour le Petit Éolien de Narbonne. www.sepen-montplaisir.fr

Small Wind Energy: Site sur le petit éolien de l'Association canadienne de l'énergie éolienne (ACÉÉ). www.smallwindenergy.ca

Small Wind Industry: Site sur l'industrie du petit éolien supporté par la Commission européenne. www.smallwindindustry.org

Tripalium: Association consacrée à l'auto-construction d'éoliennes individuelles. www.tripalium.org

Wind-Works: Site de Paul Gipe regroupant des articles sur l'éolien (en anglais). www.wind-works.org

Quelques articles de presse...

“**Éolien: gare aux vents contraires**”, Sciences & Avenir n°723, mai 2007.

“**Le petit éolien dans les pays en développement**”, Numéro spécial petit éolien, Scarabée Bulletin de liaison du réseau des experts de l'énergie décentralisée, n°15, juillet 2005.

“**Le petit éolien en test**”, Systèmes Solaires n°189, 2009.

“**Une éolienne à la maison**”, La maison écologique n°53, octobre-novembre 2009, p.21.

“**Une éolienne dans votre jardin!**”, Habitat Naturel n°7 p.44.

Réalisation du Guide

Comité de rédaction:

PHOTOGRAPHIES

Philippe Benoist, Images Bleu Sud

(sauf page 5 droite, photos Charles Touron, p. 15 gauche Philippe Brulé, p. 20 Xavier Phan, p. 21 ERDF, p. 23 Franck Turlanp. 28 à 33 et 36 à 51 TerreHistoire) + reportages téléphoniques illustrés par les propriétaires des machines.

RÉDACTION, REPORTAGES

Jean-Philippe Braly, journaliste scientifique indépendant.

EXPERTISE TECHNIQUE

Les membres du Sepen :

Philippe Brulé, gérant du bureau d'études ENR 11

Bertrand Richer, gérant du bureau d'études Éole Conseil

Charles Touron, gérant du bureau d'études ENR Touron

EXPERTISE "PAYSAGE"

Alain Quiot, paysagiste associé du bureau d'études Terre-Histoire

CONCEPTION GRAPHIQUE ET MISE EN PAGE

Bertrand Espinadel, Com. à la ville

ILLUSTRATIONS

Antoine Moreau-Dusault

COORDINATION, SECRÉTARIAT DE RÉDACTION

Michel Lentheric, chargé de mission au département Énergies Renouvelables de l'ADEME

Xavier Phan, chargé de mission "petit éolien" à Pôle Énergies 11

Franck Turlan, coordonnateur de Pôle Énergies 11.

Remerciements

La réalisation de ce guide n'aurait pu se faire sans l'aide de :

Nicolas Brun, conseiller énergie à l'association Gefosat

Dominique Coste, responsable de l'unité "Droits des Sols" au service "Urbanisme, Environnement, Développement et Territoires" de la DDTM de l'Aude

Leïla Debiesse, Chargée de mission "Gestion du patrimoine naturel", EMAS, Amis des Marais du Vigueirat

Emmanuel Jeanjean, chargé de mission à Rhônal'énergie-Environnement

Xavier Grojean, expert comptable – consultant CER France à Carcassonne (expertise comptable et conseil)

Jay Hudnall, gérant de la société Ti'éole (installation de petites éoliennes)

Olivier Krug, gérant de la société Krugwind (installation de petites éoliennes)

Paul Neau, gérant du bureau d'études Abies (expertises environnementales)

Céline Thompson, ingénieur d'études Sanitaires au service "Santé-Environnement" de la DDASS de l'Aude

Philippe Zuliani, acousticien, membre de l'équipe technique du Sepen

Et un remerciement tout particulier aux personnes qui ont répondu favorablement à notre demande pour la partie "retours d'expériences" :

Pierre Barriac, Soizic et David Cuisnier, Robert Laurent, Sylvie Lebreton, Pascal Loulmet, Anne et Jérôme Soyez.