

A R E N E



Ile-de-France

Éoliennes en milieu urbain - État de l'art





Préambule

Prenant appui sur la sollicitation de deux maîtres d'ouvrage franciliens, la commune de Sannois (95) et l'OPHLM d'Asnières (93), l'Arene Ile-de-France a confié au groupement de bureaux d'études (Energie du Vent – Abies) la réalisation d'un état de l'art des technologies et des modalités d'implantation d'éoliennes dans l'urbain.

Deux cas d'application ont été approfondis :

- l'implantation d'éolienne(s) sur un bâtiment collectif de hauteur importante, typiquement de 50 m de haut ;
- l'implantation d'une éolienne dans un site dédié mais dans un contexte urbain, c'est-à-dire avec une proximité de nombreux autres usagers de l'espace.

Le présent document vous présente les résultats détaillés de cette analyse dont le pilotage a été assuré conjointement par l'Arene Ile-de-France, la commune de Sannois et Asnières Habitat.

Auteurs :

T. GRIGNOUX, R. GIBERT, P. NEAU, C. BUTHION

Actualisation janvier 2006 (P.SALVI)

Comité de pilotage :

Arene Ile-de-France

Philippe SALVI, chargé de mission énergie

Commune de Sannois

Alexandra BLANCHET, ingénieur (services techniques)

M. FAUVEAU, conseiller municipal, délégué à l'environnement

OPHLM d'Asnières

Philippe PRAT, directeur

Date de rendu de l'étude :

juillet 2004

Toutes les informations et données produites dans le présent rapport sont la propriété de l'ARENE Ile-de-France. Toute utilisation des ces informations doit obligatoirement faire référence aux auteurs et au commanditaire de la présente étude.

Contact Arene Ile-de-France : www.areneidf.org / p.salvi@areneidf.org

Coordination éditoriale : Muriel Labrousse



Sommaire

Synthèse.....	4
1 Introduction.....	8
2. Etat des lieux.....	9
2.1. Les installations existantes.....	9
2.1.1. En France.....	9
2.1.2. En Europe et dans le monde.....	10
2.2. Les produits et techniques existants.....	11
2.2.1. Description technique.....	11
2.2.2. Le recensement des éoliennes existantes.....	14
2.3. Les recherches et développements en cours.....	16
2.4. Les aspects réglementaires.....	17
2.4.1. Les documents d'urbanisme.....	17
2.4.2. Les nuisances sonores.....	19
2.4.3. L'effet stroboscopique des ombres portées.....	20
2.4.4. Les servitudes aéronautiques.....	21
2.4.5. Les servitudes radioélectriques.....	23
2.4.6. Les servitudes liées aux canalisations.....	24
2.4.7. Les monuments historiques.....	24
2.4.8. Les dangers liés aux éoliennes.....	25
2.4.9. Les axes routiers.....	29
2.4.10. Les réceptions TV et radio.....	29
2.4.11. Liens contractuels entre propriétaires.....	29
2.5. Les conditions réglementaires et tarifaires de raccordement.....	30
3. Analyse critique et comparative.....	36
3.1. Analyses techniques.....	36
3.1.1. Encombrement et contraintes d'accessibilité.....	36
3.1.2. Contraintes structurelles et vibratoires.....	37
3.1.3. Mode de consommation de l'électricité produite.....	39
3.1.4. Analyse de sécurité.....	40
3.1.5. Impacts sonores.....	44
3.1.6. Impacts visuels.....	46
3.1.7. Performances énergétiques.....	46
3.1.8. Viabilité et maturité technique.....	53
3.2. Analyse économique.....	54
3.2.1. Démarche de l'analyse économique menée.....	54
3.2.3. Coût de revient du kWh en fonction de l'investissement.....	55
3.2.2. Coût d'investissement des différentes éoliennes.....	57
3.2.4. Résultats.....	59
3.3. Compatibilité réglementaire.....	62



ANNEXE 1 : FICHES PRODUITS

AOC 15/50 50 HZ	64
AUROVILLE - AEP 1500	65
AUROVILLE - AEP 5000	66
AURIVILLE - AEP 10000	67
BERGEY - XL1	68
BERGEY - BWC 1500	69
BERGEY - EXCEL-S	70
E & E CO. – HW - 5A	71
EOLTEC - SIROCCO 5.5-6	72
EOLTEC - WINDRUNNER E10-25	73
EOLTEC - CHINOOK 17-65	74
EOLTEC - CHINOOK 15-75	75
FORTIS - ESPADA 800	76
FORTIS - PASSAAT 1400	77
FORTIS - MONTANA 5000	78
FORTIS - ALIZE 10000	79
FUHLÄNDER - FL30	80
FUHLÄNDER - FL100	81
FUHLÄNDER - FL250	82
GUAL - STATOEOLIEN GSE 4	83
KESTREL 600	84
KESTREL 800	85
KESTREL 2000	86
PROVEN - WT600	87
PROVEN - WT2500	88
PROVEN - WT6000	89
PROVEN - WT15000	90
ROPATEC - WRE.030	91
ROPATEC - WRE.060	92
VERGNET - GEV 5/5	93
VERGNET - GEV 6/5	94
VERGNET - GEV 7/10	95
VERGNET - GEV 10/15	96
VERGNET - GEV 10/20	97
VERGNET - GEV 15/60	98
VERGNET - GEV 26/220	99
WESTWIND - 3 KW	100
WESTWIND - 5.5 KW	101
WESTWIND - 10 KW	102
WESTWIND - 20 KW	103
WINDPORTS 5 KW	104
WINDSIDE - WS-2	105
WINDSIDE - WS-4A	106
WIND TURBINE IND. - 23-10 KW	107
WIND TURBINE IND. - 23-12,5 KW	108
WIND TURBINE IND. - 26-15 KW	109
WIND TURBINE IND. - 26-17,5 KW	110
WIND TURBINE IND. - 29-20 KW	111
WINDWANDLER	112
AFRICAN WIND-POWER - AWP 36	113

ANNEXE 2 : FICHES OPERATIONS DE REFERENCE

LYCEE LEONARD DE VINCI – CALAIS (59)	115
MAISON D'ACUEIL DE BOBIGNY (93)	116
PARC EOLIEN DE DONZERE (26)	117
MANTES EN YVELINES – GUITRANCOURT (78)	118
EQUIHEN-PLAGE (62)	119
CATCHGATE PRIMARY SCHOOL – DURHAM (UK)	120
WANDSWORD (UK)	121
HORNCHURCH (UK)	122
CUMBERNAULD PRIMARY SCHOOL (ECOSSE)	123
DORTMUND (ALLEMAGNE)	124
MACALESTER COLLEGE – ST PAUL MINNESOTA (USA)	125
GREENWICH (UK) – SUNDERLAND (UK)	126
COLLEGE DE TAKU (JAPON)	127



Synthèse de l'étude

Les principaux résultats de l'étude sont les suivants :

Peu de références

- L'analyse des opérations existantes montre que la présence en milieu urbain d'éoliennes de petite ou de moyenne puissance est très limitée, que ce soit en Europe ou dans le reste du monde. Cela est particulièrement vrai pour l'usage d'éoliennes d'une puissance unitaire supérieure à 1 kW sur des immeubles ayant plus de deux étages.

Des contraintes techniques, économiques et réglementaires importantes

- L'analyse systématique d'un point de vue technique, réglementaire et économique des éoliennes existantes met en évidence de nombreuses contraintes pour l'implantation d'éoliennes en milieu urbain.
- La publication du présent document concorde avec la mise en service d'une première réalisation en toiture de bâtiment en France (6 kW) à Equihen-Plage (Pas-de-Calais), éolienne à axe vertical placée à l'horizontal (cf fiche en annexe 2).

Des contraintes purement techniques

- le gisement éolien en milieu urbain est fortement limité par une « rugosité » aérodynamique forte. Le rendement de toute installation qui n'est pas placée à une hauteur importante est médiocre ;
- le corollaire de la contrainte précédente est que le seul lieu en milieu urbain où une installation peut bénéficier d'un rendement intéressant est le toit des immeubles de grande taille. Mais ce milieu est hostile pour des éoliennes : présence de turbulences importantes jusqu'à des hauteurs au-dessus du bâtiment pouvant atteindre la moitié de sa hauteur, flux présentant des incidences fortes (non-horizontalité du vent).
- Dans ce type de milieu, l'utilisation des éoliennes à axe horizontal est déconseillée : car elles perdent en efficacité sous flux incident et en ambiance turbulente, et parce qu'elles sont mécaniquement très sensibles à des ambiances fortement turbulentes. Enfin les éoliennes à axe horizontal de petite ou moyenne puissance tournent à des vitesses très rapides, ce qui engendre un vrai problème de sécurité en cas de rupture de pale.
- Les éoliennes à axe vertical sont plus adaptées à une utilisation sur des toits d'immeubles : la sensibilité de leur productible énergétique à l'incidence du flux est plus faible. Des études théoriques récentes (confirmées par des expérimentations) montrent que certaines formes d'éoliennes à axe vertical peuvent même tirer profit des survitesses en ambiance turbulente pour augmenter leur efficacité. Enfin l'aspect sécurité en cas de rupture de pale est beaucoup moins critique pour ce type d'éoliennes.
- Les éoliennes à axe vertical ont été développées en un nombre d'exemplaires extrêmement restreint. Le retour d'expérience sur ce type de matériel est donc faible, ce qui induit un risque technique non négligeable sur l'utilisation de ce type de produit sur des périodes longues.



- Quel que soit le type d'éolienne utilisée, les niveaux sonores et vibratoires induits par le fonctionnement et les vibrations n'ont pas fait l'objet d'études systématiques qui soient publiées. Les éoliennes existantes ne sont pas validées pour une utilisation dans un contexte de toit d'immeuble de grande dimension.

Des contraintes économiques

- o Les éoliennes de petite et moyenne puissance adaptées au milieu urbain présentent des coûts d'investissement ramenés au kW installé entre 2,5 et 11 k /kW. Etant donné des temps de fonctionnement équivalant plutôt faibles, le coût de revient du kWh produit est dans le meilleur des cas approximativement de 20 c .
- o Avec les tarifs de vente du matériel recueillis, les éoliennes à axe vertical placées sur des toits d'immeubles de grande dimension présentent un coût de revient du kWh produit proche de 15 c /kWh. Ces coûts de revient sont largement supérieurs au meilleur tarif d'achat offert par le gestionnaire du réseau pour des installations d'une puissance inférieure à 3 kVA (10,4 c /kWh, h.t.) .
- o L'autoconsommation de l'énergie produite n'améliore pas sensiblement le coût de revient du kWh produit.

Des incertitudes réglementaires

- o Au-delà de 12 m de haut (compté entre le sol et la partie supérieure de la nacelle), un permis de construire est nécessaire pour être autorisé à implanter une éolienne. L'interprétation restrictive des règles générales d'urbanisme laisse à penser que pour des éoliennes placées sur un bâtiment, la hauteur à prendre en compte pour savoir si un permis de construire est nécessaire inclut la hauteur du bâtiment. Les études nécessaires à la notice d'impact accompagnant un permis de construire sont coûteuses. Les délais d'instruction et d'obtention de ce type de permis de construire peuvent être longs (s'il ne s'agit pas d'une autoconsommation le permis est signé par le Préfet). Cette contrainte est très désavantageuse pour l'implantation d'éoliennes de petite ou moyenne puissance à des hauteurs supérieures à 12 m ou sur des bâtiments de grande taille. Pour ces derniers, la loi POPE (loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique) du 13 juillet 2005 qui prévoit que l'implantation d'éoliennes de plus de 50 m de haut soit soumise à étude d'impact et enquête public serait une contrainte supplémentaire en cas d'interprétation restrictive.
- o La loi POPE qui s'appliquera pour tous les projets dont le permis n'aura pas été déposé avant le 31 juillet 2007, instaure des zones de développement de l'éolien décidées par le Préfet sur demande des communes. Cette disposition pourrait s'appliquer a priori aussi aux éoliennes urbaines quelque soit leur puissance. Dans tous les cas le kWh éolien produit hors ZDE ne ferait pas l'objet d'une obligation de rachat par EDF.
- o Dans le cas du raccordement au réseau électrique, les procédures de raccordement sont complexes et longues.
- o L'adoption prochaine de règles de sécurité autour des éoliennes va renforcer les contraintes en milieu urbain présentant par nature une population dense. Si ces règles s'appliquent à la hauteur globale de l'éolienne, sans tenir compte qu'elle puisse être posée sur un toit d'immeuble ou sans distinction entre éoliennes à axe horizontal et éoliennes à axe vertical, l'installation d'éoliennes à axe vertical sur des bâtiments de grande taille pourrait devenir impossible.



Des contraintes d'usage

- Par nature, le milieu urbain est un milieu présentant une forte densité de population. Les contraintes d'usage de l'espace y sont également denses. Toute implantation d'éolienne devra tenir compte des contraintes et servitudes existantes.

Une filière à l'état de la recherche et développement

Malgré ce constat négatif, la possibilité de produire de l'électricité à partir du vent en milieu urbain demeure une source de recherche et développement. La voie qui est aujourd'hui la plus explorée est celle de l'équipement des toits d'immeubles de grande dimension, là où se trouve le potentiel éolien le plus important. Cette exploitation ne pourra être viable qu'après développement de produits spécifiques (éoliennes à axe vertical) dans des conditions économiques raisonnables. Ces produits devront avoir été validés pour un fonctionnement sur le long terme dans des ambiances sévères. Des programmes sont actuellement engagés (Etats-Unis, Pays-Bas) pour aboutir à ce résultat à l'échéance de 2006/2007.

Une niche d'application viable économiquement

Enfin, au-delà de l'usage urbain, l'utilisation de petites éoliennes approche la viabilité pour des particuliers qui bénéficient d'un site avec un gisement supérieur à 2000/2200 heures, grâce au niveau crédit d'impôt que les lois de finance 2005 et 2006 successives ont institué (40 % en 2005 sur le coût du matériel uniquement, porté à 50 % en 2006). Cette viabilité concerne de petites installations (hauteur de moyeu < 12 m) qui évitent les coûts liés au dépôt d'un permis de construire.



**Rapport
détaillé**



1. Introduction

En application de la convention de Rio (1992) et du protocole de Kyoto (1996), l'Union Européenne s'est donnée comme objectif de produire 22 % d'électricité à partir de ressources renouvelables en 2010 (des objectifs encore plus ambitieux sont prévus pour 2020). Dans ce cadre, la France s'est engagée à porter de 15 à 21 % la part d'électricité d'origine renouvelable dans la consommation intérieure d'électricité totale à l'horizon 2010.

Afin d'atteindre cet objectif, le développement de l'éolien de grande puissance on-shore et off-shore est privilégié, car ces filières sont matures. Un cadre législatif et tarifaire a été mis en place pour favoriser le développement de ces filières.

Parallèlement à l'éolien de grande puissance qui se développe essentiellement dans des espaces ruraux ou à caractère industriel, le développement de l'éolien en milieu urbain constitue une piste à explorer. En effet, pourquoi ne pas produire au plus près du besoin en évitant les coûts de transports ? Cette étude a pour objectif d'estimer la faisabilité réglementaire, technique et financière d'implantation d'éoliennes en milieu urbain.

Dans une première partie, ce rapport réalise l'état des lieux de l'utilisation en milieu urbain de l'éolien de petite et moyenne puissance, en France et dans le monde. Les différentes techniques et produits existants sont énumérés. Un point est fait sur la recherche et les développements en cours. Une analyse de la réglementation applicable est dressée. Les conditions d'accès au réseau électrique et les conditions tarifaires sont rappelées.

Dans une seconde partie, un catalogue non exhaustif des différentes éoliennes répertoriées est présenté sous la forme d'une analyse critique et comparative, que ce soit d'un point de vue technique, économique ou réglementaire.



2. Etat des lieux

2.1. Les installations existantes

Plusieurs exemples d'implantations d'éoliennes de petite ou moyenne puissance ont été répertoriés en milieu urbain ou semi-urbain. Le principal objectif de ces projets est d'être pédagogique, éducatif voire expérimental (cas d'Equihen-Plage en Pas-de-Calais). Ils assurent une partie de la consommation d'électricité d'une collectivité ou d'un lieu public avec un coût de revient du kWh produit très largement supérieur aux tarifs d'achat actuellement en vigueur.

Les principales installations recensées sont décrites ci-après en fonction de leur localisation géographique. L'annexe 2 fournit une fiche synthétique pour chacune de ces installations.

2.1.1. En France

• L'éolienne du lycée Léonard de Vinci (Calais)

L'éolienne installée a une puissance de 132 kW et la production attendue est de 200 000 kWh/an. L'objectif de cette opération est de produire une partie non négligeable de la consommation annuelle du site. Il joue aussi un rôle pédagogique. L'éolienne est en fonctionnement depuis quatre ans.

Trois points sont à noter :

- la très grande proximité d'autres usagers : l'éolienne tourne au dessus des cuisines du lycée ; les premières classes de cours accueillant des élèves sont à quelques dizaines de mètres de l'éolienne. Aucun usager (salariés, professeurs, élèves, association de parents d'élèves) ne s'est plaint de nuisances sonores ou autres ;
- le projet a été élaboré dans le cadre d'une tarification moins avantageuse que la tarification actuelle : il a pu être financé grâce au soutien financier de la région Nord-pas-de-Calais ;
- l'exploitation et la maintenance de l'installation ont directement été prises en charge par le personnel d'entretien du lycée rattaché à l'éducation nationale, ce qui a nécessité un temps d'apprentissage avant une utilisation optimale de l'installation.

• Le parc éolien de Donzère

Cinq éoliennes Nordex N50 de 750 kW sont implantées sur la commune de Donzère (département de la Drome) depuis juin 1999, à proximité de l'autoroute A7. Le diamètre du rotor est de 43 m et la hauteur du mat est de 50 m. Ces éoliennes sont la propriété de la société ADELIS (anciennement SINERG).

Initialement terres agricoles (vignes), la zone d'implantation est devenue une zone industrielle avec l'implantation de plusieurs entrepôts de sociétés accueillant du personnel. Certains de ces bâtiments sont au pied des éoliennes.

Aucun usager ne s'est plaint à ce jour de nuisances. Au moment de la construction de ces bâtiments, aucune garantie particulière n'a été demandée par les assureurs. Un des bâtiments est classé ICPE (installation classée pour la protection de l'environnement), mais aucune analyse de risque n'a été requise en relation directe avec la présence des éoliennes.



• Maison d'accueil de Bobigny

Trois éoliennes de 6 kW (Fortis) sont installées depuis début janvier 2004 à Bobigny. L'électricité produite par ces éoliennes est stockée localement (en batterie) pour alimenter à la demande l'éclairage du hall d'accueil et l'éclairage extérieur. Ces éoliennes sont placées à 10 m de haut sur des pylônes basculables pour l'entretien.

L'énergie produite a pour objectif de fournir tout ou partie de l'éclairage du hall d'accueil, de la salle d'exposition et de luminaires extérieurs. Un commutateur permet de s'alimenter au réseau EDF de façon automatique en cas de besoin. Aucun bilan énergétique réel n'est disponible.

Ces éoliennes sont placées à environ 10/20 m du hall d'accueil du bâtiment et à 10 m l'une de l'autre. L'implantation n'est pas optimale. Le système de basculement des pylônes a été renforcé, ainsi que le système de fixation des éoliennes sur ce pylône. Le coût global relatif à cette installation est de 51 260 HT.



Ph. Sabbi-Arene



• Pas de Calais Habitat à Equihen-Plage

Une éolienne de marque hollandaise Windwall BV de 6 kW a été implantée en 2005 sur le toit d'un bâtiment collectif de Pas de Calais Habitat à Equihen-Plage. La production annoncée est de 7 à 8 000 kWh/an.



H2 Développement





2.1.2. En Europe et dans le monde

• **Au Royaume Uni**

Catchgate Primary School à Durham : l'éolienne est de la marque Gazelle avec une puissance de 20 kW. Il s'agit d'une éolienne à 3 pales dont chacune mesure 5,3 m. La hauteur du mât est de 14,5 m. L'éolienne est placée dans l'enceinte d'un groupe scolaire à environ 30 m des bâtiments.

Wandsword , Hornchurch, Cumbernault : pour ces sites les éoliennes utilisées sont identiques. Il s'agit d'une éolienne de 6 kW de la marque Provenenergy (type WT6000). Leur longueur de pale est de 2,75 m et la hauteur du mât est de 8 à 15 m.

• **Allemagne, Dortmund**

Une éolienne Enercon 40, d'une puissance nominale de 400 kW est en fonctionnement depuis le 1^{er} août 1997. Son diamètre est de 40,3 m. La production d'énergie était de 960 600 kWh/an en 1998. Cette éolienne est placée à environ 200 m des habitations les plus proches.

• **Reste du monde**

Plusieurs cas d'utilisation d'éoliennes à axe horizontal de petite puissance ont été répertoriés (voir annexe 1). Les principaux pays où ces installations existent sont les Etats-Unis, le Canada et le Japon. Les lieux d'implantation sont souvent des lycées ou des universités. Dans la plupart des cas, les données relatives au coût de l'installation, au mode de consommation, aux conditions tarifaires, à l'acceptation locale et à la viabilité de l'installation n'ont pu être obtenus.

2.2. Les produits et techniques existants

2.2.1. Description technique

2.2.1.1. Les différents types d'éoliennes

Il existe deux grandes catégories d'éolienne : les éoliennes à axe horizontal et les éoliennes à axe vertical.





Les éoliennes à axe horizontal

L'axe de rotation supportant les pales est horizontal. Les pales tournent dans un plan vertical. Ces éoliennes comportent trois pales (plus rarement deux pales).

Eolienne à 3 pales



Eolienne bipales

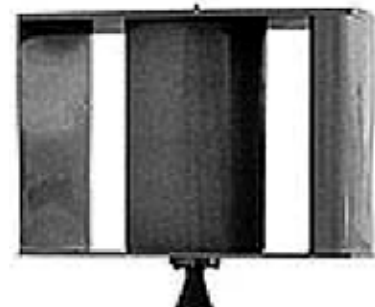
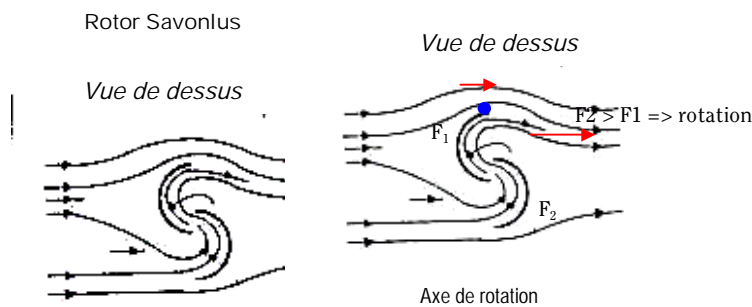


Les éoliennes à axe vertical

L'axe de rotation supportant les pales est vertical. Il existe deux principaux modèles d'éoliennes à axe vertical : les éoliennes à traînée différentielle du type rotor Savonius et les éoliennes à pales tournantes du type rotor Darrieus.

Eoliennes à traînée différentielle

Pour les machines à traînée différentielle, le mouvement de rotation est dû au fait que l'air en mouvement exerce des pressions très différentes sur les différents corps constituant l'éolienne. La figure suivante illustre que la force du vent agissant sur la partie concave est très différente de la force s'exerçant sur la partie convexe, créant ainsi un couple moteur sur l'axe.



Ropatec WRE 030

Eoliennes à pales tournantes



fig. 2

Les machines à pales tournantes du type rotor Darrieus exploitent la portance créée par le vent sur des profils d'ailes (droits ou courbés) pour entraîner une génératrice. La dissymétrie créée par le vent apparent sur les pales avançantes et reculantes crée une modulation du couple moteur en fonction de l'angle de rotation. Le couple de démarrage est très faible et la mise en rotation de ce type d'éolienne nécessite un démarrage commandé à l'aide d'un moteur.



2.2.1.2. La puissance des éoliennes

Une éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor : la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent. La densité de l'air et la vitesse du vent sont des paramètres climatologiques qui dépendent du site. La surface balayée par le rotor dépend directement de l'éolienne et de sa taille. Etant donné que la surface balayée par le rotor s'accroît avec le **carré** du diamètre du rotor, un doublement de celui-ci entraînera une récolte de $2^2 = 2 \times 2 =$ **quatre** fois plus d'énergie.

La figure suivante illustre l'évolution de la puissance unitaire des éoliennes en fonction du diamètre balayé (deux fois le rayon).

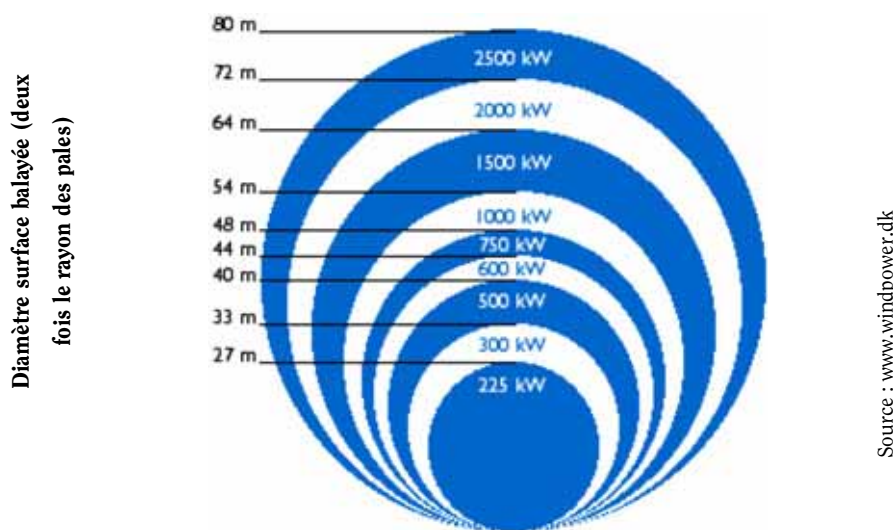


Figure 3 : évolution de la puissance des éoliennes avec la surface balayée

Pour des éoliennes à axe horizontal, lorsque le diamètre de l'hélice varie de 1 à 66 m la puissance varie de 300 W à 2,5 MW. Dans la plupart des cas, les pales sont fabriquées en matériaux composites (fibre de verre / résine polyester, fibre de carbone / résine époxy). La logique économique de l'éolien de grande puissance favorise le développement d'éoliennes de puissance unitaire de plus en plus importante. Au fur et à mesure de cette évolution, les constructeurs abandonnent la commercialisation des éoliennes de faible ou moyenne puissance.

Pour les éoliennes à axe vertical commercialisées, la puissance varie de 60 W à 20 kW pour des dimensions maximales de l'ordre de 4,3 m de diamètre et 50 m de hauteur (Windports 20 kW).

2.2.1.3. Les systèmes de contrôle et d'orientation

Régulation de vitesse

Une régulation de vitesse est utilisée pour limiter ou réguler le couple fourni pour ne pas surcharger ou détruire l'éolienne en cas de vitesses de vent élevées et soutenues. Ainsi, les machines sont soit autorégulées, à calage variable, soit à capacité de roue libre.

Pour les éoliennes autorégulées, le freinage du rotor est assuré par un système purement mécanique (frein à disque). Cette technique peut être mise en œuvre aussi bien pour les éoliennes à axe horizontal que pour les éoliennes à axe vertical.



Pour les éoliennes à calage variable, les pales peuvent pivoter autour de leur axe. Ainsi, le changement d'angle de la pale autour de l'axe de rotation permet de limiter le couple moteur ainsi que la vitesse de rotation de l'hélice.

Pour les machines à capacité de roue libre, la régulation de vitesse est assurée par le pas variable ce qui permet de garder une vitesse de rotation contrôlée quelle que soit la vitesse de vent.

Régulation de puissance

Un système de régulation de la puissance est utilisé lorsque la vitesse du vent augmente au-delà de la vitesse nominale, ce qui permet de limiter le rendement de l'appareil pour que la puissance délivrée reste sensiblement constante. On distingue alors deux modes de régulation : la régulation à décrochement (pales fixes) aussi appelé « stall » et la régulation à variation d'incidence (pales orientables) aussi appelé « pitch ».

Le dispositif « stall » ne permet pas d'avoir une très bonne régulation de la puissance maximale. De plus pour les forts vents, un frein est nécessaire pour bloquer le rotor.

Le dispositif « pitch » permet d'orienter la pale pour réduire l'incidence et maintenir la puissance constante (fig. 3). Ainsi, lors de vent fort, les pales peuvent être placées parallèlement à l'axe (frein non nécessaire).

Il faut noter qu'il n'est pas possible d'équiper les éoliennes à axe vertical de calage variable. Les éoliennes à axe vertical sont donc nécessairement autorégulées.

Dispositif d'orientation

Sont à distinguer :

- le système d'orientation passif : une girouette (un plan vertical fixe) est portée à l'extrémité d'une poutre partant de l'arrière de la nacelle ;
- le système d'orientation actif par servomoteur : un moteur d'orientation électrique est commandé par une girouette.

2.2.2. Le recensement des matériels d'éoliennes existantes de petite et moyenne puissance

2.2.2.1. Limitation du recensement

Dans le cadre de cette étude, seules les éoliennes d'une puissance comprise entre 500 W et 250 kW ont été prises en compte, ce qui correspond approximativement à des éoliennes dont le rayon des pales varie de 1 m à 14 m.

2.2.2.2. Description des produits existants

Parmi les éoliennes existantes, 50 éoliennes de 16 sociétés différentes ont fait l'objet d'une fiche produit (voir Tableau 1). Il faut noter que seules 5 sociétés produisent des éoliennes à axe vertical, en proposant au total 7 éoliennes différentes. Les constructeurs et/ou leur revendeur en France ont été systématiquement sollicités. Certaines données demeurent manquantes. Enfin, certaines éoliennes faisant l'objet de sites internet n'ont pas été répertoriées dans la présente liste, pour cause de manques de données ou absence de réponse du constructeur à nos sollicitations.



Tableau 1 : éoliennes répertoriées

Société	Type	Type de rotor	Puissance (kW)	Nombre de pale	Vitesse de rotation (tr/min)	Longueur de pale (m)
AOC	AOC 15/50 50Hz	axe	60	3	65	7,2
Auroville Energy Products	AWS 1500	axe horizontal	1,5	3	150-450	1,5
	AEP 5000		5	3		2,5
	AEP 10 000		10	3		3,5
Bergey Windpower Company	XL1	axe horizontal	1	3	490	1,25
	BWC 1500		1,5	3		1,5
	Excel-S		10	3		3,5
Cita *	Ch Caphorn 10 Pol	horizontal	10	3	282	2,2
E & E Co.	HW - 5A	horizontal	0,5	2		1,8
Eoltec	Sirocco 5,5-6	axe horizontal	6	2	80-245	2,75
	Windrunner E10-25		25	2	46-140	5
	Chinook 17-65		65	3	25-75	8,5
	Chinook 15-75		75	3	28-85	7,5
Fortis Windenergy	Espada 800	axe horizontal	0,8	2		1,1
	Passaat 1400		1,4	3		1,5
	Montana 5000		5,8	3		2,4
	Alize 10 000		10	3		3,3
Furhländer	FL 30	axe horizontal	30	3	47-71	6,5
	FL 100		100	3	32-47	10,5
	FL 250		250	3	29-39	14,75
Gual.	Statoeolien GSE 4	vertical	13,5	12	0-120	1,5
Kestrel Wind Turbines	Kestrel 600	axe horizontal	0,6	6		0,6
	Kestrel 800		0,8	3		1,1
	Kestrel 2000		2	3		1,8
Provenenergy	WT600	axe horizontal	0,6	3		1,28
	WT2500		2,5	3		1,75
	WT6000		6	3		2,75
	WT15000		15	3		4,5
Ropatec	WRE.030	axe vertical	3		90	1,65
	WRE.060		6		90	1,65
Vergnet	GEV 5/5	axe horizontal	5	2	258	2,5
	GEV 6/5		5	2	213	3
	GEV 7/10		10	2	150	3,5
	GEV 10/15		15	2	139	5
	GEV 10/20		20	2	139	5
	GEV 15/60		60	2	92	7,5
	GEV 26/220		220	2	51	13
Westwind energy	3 kW	axe horizontal	3	3	150-900	1,85
	5,5 kW		5,5	3	120-750	2,55
	10 kW		10	3	110-600	3,1
	20 kW		20	3	110-600	5,2
Windports	5 kW	vertical	5		15-160	4
Wind Turbine Industries Corporation	23-10 kW	axe horizontal	10	3	195	3,68
	23-12,5 kW		12,5	3	205	3,68
	26-15 kW		15	3	205	4,16
	26-17,5 kW		17,5	3	195	4,16
	29-20 kW		20	3	175	4,64
Windside	WS-2	axe vertical	0,6			
	WS-4A		1,2			
Windwandler	Windwandler	axe vertical	3,3	0,8		
	AWP 36	horizontal	1	3		1,8

* CITA a cessé son activité de fabrication d'éoliennes fin 2005



2.3. Les recherches et développements en cours

Actuellement en France, aucun programme de recherches et développement national n'existe relatif aux éoliennes de petites et moyennes puissance. Quelques études sont menées au sein de certains instituts universitaires. Ces initiatives locales demeurent marginales et toujours théoriques, très éloignées de toute industrialisation de produit à vocation commerciale.

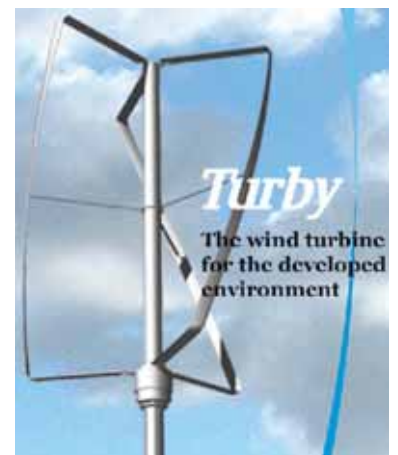
Des sociétés comme EDF ou AREVA restent sensibles à ce sujet, en état de « veille technologique ».



Pays-Bas : un programme d'étude d'éolienne en milieu urbain a été mis en place au Pays-Bas . Son objectif était en 2003 d'installer une douzaine d'éoliennes sur des bâtiments dans les villes d'Amsterdam, La Hague, Tilburg et Twente, afin de mieux connaître leur comportement dans ce type de milieu (tenue aux efforts, effets de la turbulence, performances de production). Les prémices de ce projet ont été présentées lors de l'exposition universelle d'Hanovre en 2000 (fig. ci-contre). A notre connaissance, ce programme ne s'est pas encore concrétisé.

Etats-Unis : un appel à proposition a été lancé par le département d'état américain à l'énergie en mai 2003. Ce programme a pour objectif de rendre viable techniquement et économiquement l'utilisation de l'éolien de petite puissance (100 kW) en particulier pour son utilisation en milieu urbain, pour des implantations dans les secteurs résidentiels et tertiaires (toits des bâtiments urbains). Ce programme a pour objectif de concevoir et financer le développement d'éoliennes pouvant fournir de l'énergie électrique connectée au réseau pour un coût de 10c\$/kWh dans des conditions de vent de 5,3 m/s à 10 m. Ce programme s'étend de fin 2003 à mi-2007. Chaque proposition retenue reçoit sur cette période un financement de 1.500.000 \$.

Pays-Bas : l'université de Delft a un département où plusieurs enseignants travaillent sur la problématique de l'éolien urbain. Après des études théoriques ayant montré que le productible généré par certaines formes d'éoliennes de type Darrieus était amplifié lorsque celle-ci est placée sur le toit d'un immeuble, le développement de ce type d'éolienne a été entrepris. Celui-ci est en cours (éolienne Turby ci-contre). Cette éolienne doit encore être testée en environnement réel. Elle sera proposée à la vente au cours de l'année 2006, à un prix inconnu à ce jour. Ses caractéristiques techniques sont les suivantes :



- amplification du rendement énergétique par rapport au flux normal : entre 1,7 et 2,3 ;
- masse : rotor : 90 kg ; tour : 230 kg ;
- encombrement : tour de 5 m + rotor de 3 m de haut pour 1 m de rayon ;
- puissance 2,5 kW.

Si ce développement se concrétisait par un produit qualifié, à un prix inférieur à 3k /kW, Turby serait un produit particulièrement intéressant pour les toits d'immeuble de grande taille.



2.4. Les aspects réglementaires

L'implantation d'éoliennes doit être compatible avec les autres usages et usagers des lieux ; elle doit également respecter les réglementations en vigueur.

Nous allons dresser un état des lieux réglementaire en la matière, en insistant plus particulièrement sur les points suivants :

- la compatibilité avec les documents d'urbanisme habituels ;
- le respect de la réglementation sur les bruits (de voisinage) ;
- les servitudes techniques (radioélectriques, éloignement, ...) ;
- la compatibilité avec les sites, les monuments protégés, les espaces naturels sensibles ;
- les règles de sécurité (et les dangers présentés par les aérogénérateurs).

2.4.1. Les documents d'urbanisme

Près de 16 000 communes sur les 36 000 communes françaises sont dotés d'un Plan Local d'Urbanisme ou d'un Plan d'Occupation des Sols. Ces documents définissent les modalités de l'utilisation du territoire communal ou intercommunal notamment en déterminant des affectations dominantes : zones urbaines, zones agricoles et zones naturelles. Un parc éolien doit être compatible avec le document d'urbanisme en vigueur sur la commune.

Parmi les documents d'urbanisme locaux, on peut citer :

- le Plan d'Occupation des Sols (POS),
- le Plan Local d'Urbanisme (PLU),
- la Carte communale.

Et parmi les documents d'urbanisme régionaux, on rencontre :

- le SDRIF propre à la région Ile-de-France
- le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU),
- le Schéma de COhérence Territoriale (SCOT).

Le PLU, qui remplace le précédent Plan d'Occupation des Sols depuis janvier 2002, est le principal document de planification en vigueur. Il inclut un projet d'aménagement et de développement durable (PADD) de la commune. Il est soumis à enquête publique lors de son élaboration ou de sa révision et il est opposable aux tiers.

Le SDAU est mis en place au niveau des principales agglomérations. Il présente un zonage. Le règlement et le zonage des documents d'urbanisme des communes de l'agglomération concernée doivent être en conformité avec le SDAU.

La loi POPE du 13 juillet 2005 instaure dans son article 37 des ZDE (Zones de développement de l'éolien) . Elles sont définies par le préfet du département en fonction de leur potentiel éolien, des possibilités de raccordement aux réseaux électriques et à la protection des paysages, des monuments historiques et sites remarquables et protégés. Elles sont proposées par la ou les communes ou les EPCI. Dans ces zones de périmètre définie, est établie la puissance minimale ou maximale des installations d'éoliennes pouvant bénéficier des conditions tarifaires de rachat du kWh électrique éolien . En dehors de ces ZDE, il n'y aurait pas d'obligation de rachat de kWh éolien.



Il n'y a pas d'obligation de ZDE pour les collectivités pour lesquelles le Permis de construire aura été déposé avant le 13 juillet 2007.

2.4.1.1. Le Plan Local d'Urbanisme

Les différentes zones identifiables dans les PLU sont :

- les zones urbaines (zones U),
- les zones agricoles (zones A),
- les zones naturelles ou forestières à protéger (zones N),
- les zones à urbaniser (zones AU).

Un PLU peut être révisé (transformation profonde), modifié (changements limités) ou mis à jour (actualisation).

Sauf interdiction explicite, l'implantation d'aérogénérateurs, comme toute autre installation d'intérêt général, est autorisée dans toutes les zones.

Des « espaces boisés classés » peuvent être créés dans n'importe laquelle des zones. Un parc éolien ne peut être envisagé dans un tel espace à moins de le déclasser.

2.4.1.2. Le Plan d'Occupation des Sols

Les zones présentes dans les POS sont :

- les zones urbaines (préfixe U), subdivisées en :
 - zones d'activité,
 - zones d'habitat dense,
 - zones d'habitat peu dense,
- les zones naturelles (préfixe N) classées en :
 - zones d'urbanisation future (NA),
 - zones d'habitat diffus (NB),
 - zone agricole (NC),
 - zone naturelle (ND).

Les articles 1 et 2 des règlements de chacune des zones permettent d'apprécier la compatibilité des projets éoliens avec les POS.

L'article 1 détaille les équipements et installations autorisés, contrairement à l'article 2 qui précise ceux non autorisés. Le terme « éolienne » n'est généralement pas énoncé, mais il est compris dans « installations d'intérêt général » ou « équipements techniques nécessaires au fonctionnement des services publics ».

Si le POS n'autorise pas une telle implantation (cf. l'intitulé de l'article 1), il doit faire l'objet d'une révision. Une enquête publique conclut la révision ; cette enquête publique peut être **conjointe** avec celle requise pour l'implantation du parc éolien.

Toutefois, pour les projets d'intérêt général, une procédure de révision simplifiée existe.



2.4.2. Les nuisances sonores

Un parc éolien n'est pas un équipement bruyant car, au fil des années (les premières éoliennes datent du début des années 1980) les fabricants d'éoliennes ont fourni de nombreux efforts : capitonnage des nacelles, profilé des extrémités des pales, etc.

2.4.2.1. Le bruit des éoliennes

Le décibel (dB) est une mesure de la pression du niveau sonore. Le dB(A) répond à la sensibilité de l'oreille humaine.

Une éolienne de 1,3 MW est équivalente à une puissance sonore de 104 dB(A) [cela ne signifie pas que les niveaux sonores sont de 104 dB(A) dans la nacelle] ; mais au pied de l'éolienne, le niveau sonore n'est plus que de 60 dB(A) et il est de 38 dB(A) à 500 mètres.

La sensation auditive à 40 dB(A) est « calme » et à 70 dB(A) elle est « bruyante mais supportable » (« échelle des bruits » de Jean Laroche, Code Permanent Environnement et nuisances).

Les éoliennes ne produisent pas de sons particulièrement graves ou aigus.

Les infrasons, de fréquence inférieure à 30 Hz, ne sont pas audibles et sont perçus comme des vibrations. Une éolienne peut produire des infrasons quand les pales passent devant la tour, mais ils ne sont pas perceptibles.

Les éléments qui entrent en jeu dans le niveau sonore perceptible par un riverain d'une éolienne sont :

- l'éloignement : l'atténuation est comprise entre 2 et 4 dB(A) par centaine de mètres au-delà de 200 mètres,
- l'émission sonore des éoliennes : elle varie selon les modèles de 95 à 110 dB(A),
- le nombre d'éoliennes et l'éloignement respectif de chaque éolienne ; l'addition de deux bruits de valeur égale entraîne une augmentation de 3 dB car se sont des nombres logarithmiques : $35 \text{ dB(A)} + 35 \text{ dB(A)} = 38 \text{ dB(A)}$,
- le niveau de bruit ambiant sans les éoliennes,
- la position au vent ou sous le vent des éoliennes.

Le vent doit souffler pour que l'éolienne puisse fonctionner, et le bruit qu'il produit (dans les feuillages, avec les obstacles, etc.) masque, pour partie, le bruit de la machine.

Le bruit émis par une éolienne varie faiblement en fonction de la vitesse du vent : augmentation de 0,2 dB(A)/m/s à 1 dB(A)/m/s.

L'augmentation de la taille des éoliennes ne rime pas avec l'augmentation de leur puissance sonore, car la vitesse de rotation diminue.

2.4.2.2. La réglementation en France

La Circulaire du 27 février 1996 prise en application de la Loi sur le Bruit du 31 décembre 1992 réglemente les **bruits de voisinage**, qui concernent les éoliennes (qui ne sont pas des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement ou ICPE).



Le bruit des éoliennes ne peut pas dépasser le niveau environnant initial de plus de 5 dB(A) le jour (de 7 h à 22 h) et de plus de 3 dB(A) la nuit (de 22h à 7h). Le dépassement est appelé émergence. Le Code de la santé publique ne considère pas comme gênants des bruits inférieurs à 30 dB(A), bruit de l'installation comprise.

Il n'existe aucun éloignement minimal entre les riverains et les éoliennes à respecter réglementairement. En revanche, le respect de la réglementation sur les bruits de voisinage passe par un éloignement suffisant de tout riverain. Le Ministère de l'environnement recommande, pour les grandes éoliennes, un éloignement d'au moins 500 mètres de tout riverain.

Il est possible de faire fonctionner au ralenti, voire d'arrêter plusieurs éoliennes en cas de gêne sonore manifeste. Ceci peut être programmé selon des paramètres multiples comme la vitesse et la direction du vent et/ou la période du jour et de l'année.

La législation française en vigueur apparaît inappropriée aux spécificités de l'énergie éolienne.

Ainsi, les conditions de mesure des niveaux sonores sont fixées par la norme NFS 31-010 de décembre 1996 (« mesurage des bruits de l'environnement »). Les mesures doivent être effectuées avec un vent de vitesse inférieure à 5 m/s (20 km/h), afin de ne pas fausser les mesures du sonomètre. Mais à ces vitesses, les éoliennes ne fonctionnent pas.

La modélisation des niveaux sonores est compliquée par :

- l'atténuation, qui n'est pas linéaire du fait de l'absorption des ondes due à la topographie, l'atmosphère, la végétation, les obstacles, les inversions de températures,
- l'influence de la direction du vent,
- la variabilité entre éoliennes (imperfections de surface des pales).

2.4.3. L'effet stroboscopique des ombres portées

L'effet stroboscopique des ombres portées par les pales est une nuisance de voisinage, comme le bruit.

Plusieurs paramètres interviennent dans ce phénomène :

- la position du soleil, fonction du jour et de l'heure,
- l'existence d'un temps ensoleillé,
- les caractéristiques de la façade concernée (orientation, inclinaison),
- l'orientation du rotor et son angle relatif par rapport à l'habitation concernée,
- la présence ou non de vent (et donc la rotation ou non des pales),
- la présence ou non d'écrans (de masques) végétaux ou autres s'interposant entre les éoliennes et le riverain.

Seule une approche statistique, prenant en compte les fractions d'ensoleillement et les caractéristiques locales du vent, permet d'apprécier quantitativement la probabilité d'une perception de cet effet.

En France, ce phénomène est moins fréquent que sous les latitudes plus septentrionales où les premiers parcs éoliens ont été installés (Danemark, Allemagne) car la hauteur moyenne du soleil est plus élevée (et, inversement, la zone d'influence plus faible).



Concrètement, ce sont plutôt les zones proches à l'ouest et à l'est des éoliennes qui sont les plus susceptibles de subir de tels phénomènes lors du lever ou du coucher du soleil. Des logiciels permettent d'estimer la fréquence de ces phénomènes.

Aucune règle ou réglementation n'existe en la matière même dans les pays pionniers. Cependant, en Allemagne, des maxima de 30 heures cumulées par année ont été parfois recommandés dans certains Länder.

2.4.4. Les servitudes aéronautiques

L'activité aéronautique est l'une des plus importantes contraintes allant à l'encontre de l'implantation des éoliennes. Ces contraintes peuvent entraîner la limitation de la hauteur des éoliennes ou l'interdiction d'implanter un parc. Il est nécessaire de se renseigner sur ces servitudes auprès de l'Armée de l'air et de la Direction de l'Aviation Civile.

2.4.4.1. Les servitudes aéronautiques de dégagement des aérodromes

On dénombre en France près de 600 aérodromes dont plus de 13% sont militaires.

Seulement 71% de ces aérodromes disposent de servitudes aéronautiques de dégagement approuvées.

Le plan de servitudes aéronautiques de dégagement délimite les zones à l'intérieur desquelles la hauteur des constructions ou des obstacles de toute nature est réglementée. L'enveloppe globale des surfaces de dégagement est appelée aire de dégagement.

Les contraintes sont plus fortes dans l'axe, jusqu'à 15 km des pistes pour les plus grands aéroports contre 10 km latéralement.

La réglementation distingue des obstacles massifs, minces ou filiformes. Les éoliennes sont considérées comme des obstacles minces.

L'installation d'éoliennes peut s'effectuer à l'intérieur des surfaces de dégagement aéronautique, si les hauteurs maximales sont respectées.

A l'extérieur des zones de servitudes aéronautiques de dégagement, les éoliennes sont soumises à autorisation délivrée conjointement par les ministres chargés de l'Aviation Civile et des Armées.

2.4.4.2. Les sujétions aéronautiques liées à la circulation aérienne civile et militaire

Les sujétions aéronautiques découlent de l'application de l'Arrêté du 25 juillet 1990. Moins radicales que les servitudes aéronautiques de dégagement, elles doivent également être prises en considération dans l'ordre d'importance préconisé ci-après.

Parmi les sujétions fortes :

- volumes et aires de protection associées aux procédures de circulation aérienne (aspect civil et militaire),
- circuits de piste des aérodromes (aspect civil),
- volumes d'activités des aéronefs de la défense nationale (aspect militaire).



Parmi les sujétions modérées :

- cheminements VFR et points de report VFR (aspect civil),
- plans d'eau d'écopage des aéronefs de la sécurité civile.

Parmi les sujétions variables :

- plate-formes ULM, aéromodélisme, activités de planeurs ultra-légers (PUL), parapentes, ... (aspect civil)

Chaque aérodrome est doté de procédures d'approche, d'atterrissage, de décollage, d'approche interrompue, d'attente ou de remise de gaz, qui définissent des enveloppes à l'intérieur desquelles les aéronefs sont protégés des obstacles existants.

Ces enveloppes peuvent s'étendre à plus de 35 km d'un aérodrome. C'est l'obstacle le plus élevé du secteur considéré qui détermine l'altitude de référence des enveloppes.

L'introduction d'éoliennes dans cette enveloppe nécessiterait la modification des procédures existantes, ce qui est très difficilement accepté tant par l'aviation civile que militaire.

2.4.4.3. Les contraintes de la circulation aérienne : le réseau TBA

Le réseau TBA (très basse altitude) est un ensemble de couloirs de 10 à 20 km de largeur qu'empruntent à très grande vitesse (plus de 700 km/h) les aéronefs de l'Armée de l'air. Il concerne un peu moins d'une vingtaine de couloirs répartis sur l'ensemble du territoire.

2.4.4.4. Le balisage des éoliennes

Il est du ressort et prescrit par l'Aviation Civile.

L'Arrêté du 25 juillet 1990 prévoit dans l'article 2 que « ne peuvent être soumises à un balisage [...] que les installations [...] dont la hauteur en un point quelconque au-dessus du niveau du sol ou de l'eau est supérieure à : ...130 mètres en agglomération (dont les zones industrielles) ;

L'instruction n°20 700 DNA du 16 novembre 2000 définit les modalités de balisage qui sont conformes aux règles internationales.

Les tours doivent être couvertes d'un revêtement blanc au-dessus de 20 m par rapport au sol ou du premier tiers. Les éoliennes de moins de 150 m de hauteur porteront un balisage diurne avec des marques rouges à l'extrémité des pales sur 1/7^e de la longueur **ou** des feux de 20 000 Candelas placés sur la nacelle.

Le balisage nocturne est constitué de feux à éclats rouges ou blancs de 2 000 Candelas placés sur la nacelle.

Pour les groupes d'éoliennes, le choix des éoliennes qui supporteront le balisage dépendra du contour général, de la position de l'éolienne la plus haute, de la distance entre les machines, etc.

L'installation, l'entretien et la maintenance des dispositifs de balisage sont à la charge du développeur.



2.4.4.5. Les servitudes radioélectriques des moyens et aides mis en œuvre pour les besoins de l'aéronautique

Il existe des servitudes connexes : les servitudes radioélectriques des moyens et aides mis en œuvre pour les besoins de l'aéronautique (moyens de télécommunications, de navigation, d'aides à l'atterrissage et de détection). Elles font l'objet d'arrêtés ministériels et sont opposables aux tiers.

Par exemple, les VOR (radiophares omnidirectionnels à très haute fréquence) utilisés à bord des aéronefs font exclure tout ouvrage dans un rayon de 400 m et jusqu'à 2 000 m selon sa hauteur.

Les 80 radars fixes implantés en France (Aviation Civile, armées, Marine, Météo France) se répartissent en radars primaires, qui effectuent de la détection, et secondaires, qui poursuivent les « mobiles » équipés de répondeurs ; parmi ces derniers, les Radars en « bande S », qui sont au nombre de 15 en France, sont sensibles au mouvement des pales, d'où certains avis défavorables du Service Technique de la Navigation Aérienne.

La zone d'un rayon de 5 km ou plus autour d'un radar peut être « gelée » vis-à-vis de toute implantation d'éoliennes.

2.4.5. Les servitudes radioélectriques

Les servitudes radioélectriques sont définies dans le Code des Postes et Télécommunications. Elles sont le fait de centres radioélectriques ou de faisceaux hertziens gérés par des services de l'Etat tels que l'Aviation Civile, l'Armée de l'air, l'Armée de Terre, la Gendarmerie, la Marine nationale, l'Equipement, etc.

L'Agence Nationale des Fréquences, basée à Plouzané dans le Finistère, renseigne sur l'existence de servitudes radioélectriques sur l'ensemble du territoire national.

On distingue deux types de servitudes radioélectriques :

- la protection contre les obstacles,
- la protection contre les perturbations électromagnétiques.

2.4.5.1. Les servitudes de protection contre les obstacles

Leur objectif est d'éviter que les obstacles ne perturbent la propagation des ondes électromagnétiques émises ou reçues par les centres radioélectriques.

L'importance de la zone de servitude dépend de chaque centre radioélectrique. Son rayon peut s'étendre jusqu'à 5 km, mais il est le plus souvent de 1 à 2 km.

Les faisceaux hertziens sont également protégés par de telles servitudes.

A l'intérieur de cette zone de servitude, aucun obstacle artificiel dépassant la hauteur maximale fixée ne peut être créé. La hauteur maximale des obstacles diminue avec l'éloignement, à moins que des zones concentriques au sein desquelles la hauteur maximale est fixe n'aient été déterminées.

Des dérogations sont possibles et doivent être obtenues auprès du ministère concerné. A priori, elles sont plus facilement accordées en périphérie.



2.4.5.2. Les servitudes de protection contre les perturbations électromagnétiques

Il s'agit de servitudes et obligations pour assurer la bonne réception radioélectrique et le bon fonctionnement des centres. Cette servitude est moins contraignante que celle contre les obstacles.

Le rayon maximal de protection est de 3 km. Les zones de protection contre les perturbations radioélectriques s'étendent depuis le sol. Elles concernent la compatibilité radioélectrique de l'installation, mais pas sa hauteur.

In fine, cette servitude se traduit par l'obligation d'équipements électriques certifiés. Ils ne doivent pas émettre dans la gamme des longueurs d'onde du centre radioélectrique.

Les servitudes des centres radioélectriques peuvent être contraignantes pour les parcs éoliens dans la mesure où ces centres, tout comme les parcs éoliens, sont implantés sur des points hauts ou dégagés du relief.

2.4.6. Les servitudes liées aux canalisations

Les canalisations concernées sont les canalisations d'eau et d'assainissement, de gaz d'hydrocarbures, l'électricité, etc.

2.4.6.1. Les servitudes pour la pose des canalisations publiques d'eau potable et d'assainissement

Elles dépendent des Ministères de l'Agriculture, de l'Intérieur et de l'Environnement (code A5).

2.4.6.2. Les servitudes relatives à l'établissement des canalisations de distribution et de transport de gaz

Elles sont dépendantes du Ministère de l'industrie et portent le code 13.

2.4.6.3. Les servitudes relatives à l'établissement des canalisations électriques

Elles dépendent du Ministère de l'industrie sous le code 14.

Pour ces différentes canalisations ou lignes, des règles de sécurité sont opposables. Elles se traduisent avant tout par des règles d'éloignement.

Mais, aujourd'hui, ces règles sont du cas par cas, car aucune « jurisprudence » éolienne n'existe.

La solution réside en l'établissement d'une analyse de risques, base de la détermination de contraintes d'éloignement.

2.4.7. Les monuments historiques

On dénombre en France près de 40 000 monuments historiques. Suivant la loi du 31 décembre 1913, les monuments historiques comportent deux niveaux : inscrits ou classés, le second étant plus contraignant. Il en découle des servitudes de protection des monuments historiques.



La procédure de l'**inscription** à l'inventaire supplémentaire se fait sur l'initiative de la Commission départementale des sites. On compte actuellement 26 000 monuments historiques inscrits en France.

Un projet de **classement** est soumis à enquête publique. La décision est publiée au Journal Officiel, ainsi qu'au Conservatoire des Hypothèques. Tous travaux susceptibles de modifier ou détruire l'état ou l'aspect des lieux sont interdits, sauf sur autorisation expresse du ministre concerné, après avis de l'Architecte des Bâtiments de France. Il existe 14 000 monuments historiques classés en France.

Selon les lois du 31 décembre 1913 et du 25 février 1943, l'installation de tout équipement dans le champ de visibilité défini par un rayon de 500 mètres d'un monument classé ou inscrit est soumise à l'accord de l'Architecte des Bâtiments de France. Localement, des distances plus importantes peuvent être exigées par les organismes participant à l'instruction des projets ou être mentionnées dans les chartes départementales ou territoriales signées par les différents acteurs de la filière éolienne.

Le concept de co-visibilité a été défini, lorsque l'ouvrage à réaliser est visible du monument ou en même temps que lui.

L'implantation d'un parc éolien au sein d'un site inscrit est réglementairement possible, mais le projet devra se soumettre à de nombreuses contraintes.

L'avis de la Commission départementale des sites, perspectives et paysages est sollicité lors de la délivrance d'un permis de construire si un site protégé est concerné ou si le préfet le juge utile.

Des ZPPAUP (zone de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager) peuvent être instituées autour des monuments historiques et des sites à protéger.

Ces ZPPAUP correspondent à des périmètres plus en regard des réalités que le cercle réglementaire de 500 m de rayon.

2.4.8. Les dangers liés aux éoliennes

Les dangers présentés par une éolienne sont liés d'une part aux conditions de fonctionnement normal et d'autre part aux situations accidentelles.

2.4.8.1. Quelques résultats d'études sur les accidents d'éoliennes

Une analyse entreprise par ABIES en 1995 donne un taux d'un accident des pales toutes les 300 années de fonctionnement. Il apparaît également qu'avec l'amélioration des éoliennes et malgré des machines de taille plus importante, le taux d'accident diminue.

Ainsi une étude danoise a été effectuée sur 18 mois en 1998 et 1999 et concernait les pales, les nacelles et les tours (données fournies par WindStats Newsletter) de 2 130 machines totalisant 540 MW. Sur 3 195 années de fonctionnement cumulé, seuls sept accidents ont entraîné la destruction des pales. Le taux est donc d'un accident de pales toutes les 457 années-machines. Et il est à noter que le Danemark a plus de risques de pannes et d'arrêts de production à cause du givre et de la glace.

L'étude Bram-Rademakers sur le risque environnemental des éoliennes aux Pays-Bas (2002) fait apparaître des niveaux de probabilité d'accident très faibles : 10^{-6} par an à 150 m d'une éolienne et 10^{-9} à 190 m, ce qui serait inférieur au risque d'accident d'une centrale nucléaire, qui est de 10^{-7} par an selon la DRIRE du Nord-Pas-de-Calais.



Les données du fabricant d'éoliennes Vestas pour un parc de 12 700 éoliennes révèle que 7 éoliennes ont été détruites sur 13 ans. La transposition de ces données sur le marché français en 2012 (10 000 MW et 6 200 éoliennes) donne une probabilité de destruction de 0,2 éolienne par an.

Une autre étude danoise réalisée à partir de données relevées sur 120 mois entre 1993 et 2003 dans un parc de 1 912 éoliennes montre une probabilité de destruction d'une éolienne par an de 0,00083 (source WindStats).

La transposition de ces données sur le marché français en 2012 (10 000 MW et 6 200 éoliennes) montre une probabilité de destruction de 104 éoliennes sur 20 ans. Avec la prise en compte des améliorations technologiques, cette probabilité descend à 48 éoliennes sur 20 ans. Soit un peu plus de 2 éoliennes chaque année ; ce qui correspondrait à ce qui a été observé en 2003 en Espagne.

Le préfet du Pas-de-calais, à la demande du Ministère de l'Industrie, a pris des mesures pour assurer la sécurité à proximité des éoliennes :

- Dans le périmètre immédiat, d'un rayon correspondant à une hauteur d'éolienne, aucun stationnement de personnes n'est permis.
- Dans le périmètre rapproché, d'un rayon égal à deux hauteurs d'éolienne, il ne peut y avoir d'infrastructure de transport d'électricité ni de route à grande circulation.
- Dans le périmètre éloigné, équivalent à quatre hauteurs d'éolienne, une étude de sécurité est nécessaire.

De plus, une étude de solidité faisant l'objet d'un certificat doit être effectuée par un tiers expert, ainsi que des vérifications périodiques.

Ces mesures, plutôt draconiennes, sont en phase d'amélioration en partenariat avec la profession. Des règles nationales sont escomptées pour l'été 2004.

De façon plus générale, comme pour toute activité humaine, il existe une forme de danger pour les riverains, liée à l'existence et au fonctionnement des parcs éoliens. Les risques potentiels sont dus à la présence de composants lourds en mouvement et à la proximité d'électricité moyenne tension.

Ces risques sont plus importants pour le personnel en charge de l'installation.

Les dangers représentés par les éoliennes en général sont très faibles. C'est pourquoi aucun parc éolien à travers le monde n'est clos. L'éloignement des habitations est tel que les riverains permanents sont situés en dehors de la zone de risque.

A l'heure actuelle, aucun riverain n'a jamais été blessé ou tué par une éolienne dans le monde malgré l'existence de près de 50 000 machines.

2.4.8.2. La réglementation européenne sur les distances de sécurité

Au Royaume-Uni, en Espagne et au Danemark, aucune distance de sécurité n'est imposée.

Aux Pays-Bas, la distance minimale par rapport à une route est la limite du surplomb.

En Allemagne, chaque Land a une réglementation propre (Annexe 1).



2.4.8.3. Les dispositifs réglementaires et d'information préventive concernant les risques naturels

a. Le Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR)

Instauré par la loi Barnier en janvier 1995, il remplace un certain nombre de documents. Il permet d'avoir une connaissance des différents risques majeurs dans un document unique et de fixer les règles notamment en matière d'aménagement. Le plus souvent, les PPR sont instruits au niveau des DDE. Ils présentent un zonage à trois niveaux :

- les secteurs à risque fort,
- à risque moyen,
- à risque faible.

b. L'information préventive

La loi du 22 juillet 1987 précise que « Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. »

L'information préventive comporte trois étapes avec trois types de documents :

- le Dossier Départemental sur les Risques Majeurs (DDRM),
- le Dossier Communal Synthétique (DCS),
- le Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRM).

Le Dossier Départemental sur les Risques Majeurs regroupe les informations sur les risques naturels et technologiques du département sous forme de cartes. Les DDRM ont été réalisés sur l'ensemble du territoire.

Le Dossier Communal Synthétique est établi sous l'égide du préfet et réunit toutes les informations nécessaires au maire pour élaborer le document d'information communal (fonds topographiques au 1/25 000). Les DCS sont en cours d'élaboration.

Le Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs est élaboré sur l'initiative du maire et rappelle les risques encourus, les mesures prises, les consignes de sauvegarde pour le citoyen et comprend un plan d'affichage réglementaire. Les DICRM sont en cours d'élaboration.

Ces documents ne représentent pas une source d'informations suffisante pour les projets éoliens. D'autres données sur les risques climatiques sont à consulter.

2.4.8.4. Les risques naturels

On distingue deux catégories de risques naturels :

- les risques d'origine géologique (mouvements de terrain, séismes, etc.),
- les risques d'origine météorologique (tempêtes, cyclones, inondations, avalanches, feux de forêt, foudre, etc.).



a. Les risques climatiques

La foudre

Les éoliennes sont des objets de grande dimension localisés le plus souvent sur des points hauts du relief et dont une partie des composants est constituée de métaux susceptibles d'attirer la foudre.

Par ailleurs, la principale cause de destruction des pales est la foudre. Ainsi, l'analyse des causes des pannes et des problèmes survenus en 1995 sur des éoliennes en fonctionnement montre que la foudre est responsable de 6% des arrêts.

Pour se protéger des conséquences de la foudre, un paratonnerre est installé à l'arrière de la nacelle et au bout de chaque pale, avec un système parafoudre dans chaque pale. Ces paratonnerres sont reliés à des câbles raccordés à la terre.

Il est important de connaître les risques d'orages locaux dans la zone d'implantation, grâce au service Météorologie de Météo-France. A l'échelle de la commune, deux types d'information sont disponibles :

- le niveau kéraunique,
- la densité de foudroïement.

Le niveau kéraunique est le « nombre de jours par an où l'on entend gronder le tonnerre ». Il ne permet pas de déterminer l'ampleur des orages, mais il est étudié depuis de nombreuses années et il est disponible pour chaque commune. Le niveau kéraunique moyen en France est de 20.

La densité de foudroïement est le « nombre de coups de foudre au sol par km² et par an ». Elle est plus précise et la mesure est automatique. La densité de foudroïement moyenne en France est de 1,2 coups de foudre par km² et par an.

Les tempêtes

Météo France parle de vents tempétueux lorsque les rafales dépassent les 100 km/h. En météorologie marine, une tempête est définie par un vent de force 10 minimum, c'est-à-dire de vitesse supérieure à 90 km/h.

Les éoliennes sont conçues pour supporter de très fortes tempêtes. Les éoliennes et les fondations sont prévues pour résister à des vents de 250 km/h pendant 5 secondes ou 180 km/h pendant 10 minutes. Toutes ces vitesses sont nettement supérieures aux vitesses maximales de vent observées localement.

A ces vitesses, le rotor est arrêté. Il est positionné perpendiculairement au vent de façon à présenter une surface de prise au vent moindre.

Le risque d'incendie

Le risque lié aux incendies de forêt concerne 13% du territoire national. Il existe des schémas d'aménagement de prévention dont les noms diffèrent selon les régions :

- schéma départemental de prévention des incendies de forêt,
- plan de massif,
- plan intercommunal de débroussaillage et d'aménagement forestier, etc.

Les ouvrages électriques liés aux parcs éoliens peuvent être à l'origine d'incendies.

Le risque d'incendie des aérogénérateurs est très faible. Les matériaux constituant la nacelle et la tour sont peu propagateurs de feu.

Il est utile de consulter le SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours), le service Sécurité Civile de la préfecture et la DDAF (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt). Dans les zones à risque, des périmètres de débroussaillage d'un rayon de 50 mètres sont parfois préconisés autour des éoliennes.



b. Les risques géologiques

Le risque sismique

Le risque sismique doit être connu.

Sur la majeure partie du territoire métropolitain, ce risque est classé « négligeable mais non nul ».

2.4.9. Les axes routiers

L'article R 111.18 du Code de l'urbanisme expose que tout bâtiment doit être, sauf exception ou dérogation, éloigné de toute voie publique d'une distance égale à sa hauteur totale. Mais, une éolienne n'est pas un bâtiment mais une installation.

En revanche, l'article L 111-1-4 mentionne **qu'en dehors des espaces urbanisés des communes**, les constructions ou installations sont interdites dans une bande de :

- 100 mètres de part et d'autre de l'axe des autoroutes, des routes express et des déviations au sens du Code de la voirie routière,
- 75 mètres de part et d'autre de l'axe des routes classées à grande circulation.

Concernant les voies communales et les routes secondaires, le Code de l'urbanisme ne prévoit pas d'éloignement spécifique à respecter.

Dans l'état actuel des choses, les règles de l'art imposent une distance minimale d'éloignement égale à une longueur de pale, de façon à éviter tout surplomb de ces voies.

2.4.10. Les réceptions TV et radio

Les parcs éoliens sont susceptibles de générer des perturbations auprès des proches riverains quant aux réceptions TV et radio (échos, masques, etc.). Mais ce phénomène demeure marginal.

En cas de perturbation, les exploitants des parcs éoliens sont tenus de rétablir à leurs frais la bonne réception des signaux, en application de l'art. L 112-12 du Code de la Construction et de l'habitation, et suivant les prescriptions réglementaires relatives à la protection des réceptions de radiodiffusion et télédiffusion contre les parasites électriques (GTE 1094).

En cas de brouillage, les solutions envisageables sont l'installation d'un réémetteur TV ou l'extension de la zone de couverture d'un émetteur local existant sur les zones perturbées ou encore l'utilisation d'un autre mode de réception de la TV (satellite).

Ces solutions ont un coût significatif.

Avec l'apparition de la TNT (télévision numérique terrestre), ces perturbations devraient s'estomper.

2.4.11. Liens contractuels entre propriétaires

L'installation d'éoliennes sur un terrain donné doit être réalisée avec le plein accord du propriétaire et plus largement avec toute personne physique ou morale qui possède des droits sur ce terrain.



Un accord écrit entre les parties doit définir les conditions d'implantation des éoliennes incluant :

- la définition des servitudes cédées (droits d'accès, droits d'implantation (éoliennes, fondations, chemins d'accès, équipement électriques, réseaux), droits de survol, ...)
- la durée du contrat ;
- les conditions de rémunération du propriétaire des terrains et des fermiers éventuels ;
- les clauses de désistement, résiliation, rupture.

Ce contrat passé avec des partenaires privés prend la forme d'un bail emphytéotique.

Ce contrat passé avec des entités publiques prend la forme d'une convention d'occupation de l'espace public.

2.5. Les conditions réglementaires et tarifaires de raccordement

La loi POPE du 13 juillet 2005 a modifié sensiblement les conditions réglementaires et tarifaires (disparition du seuil de 12 MW de puissance notamment) relatives au développement de l'éolien.

Cependant, les dispositions de la loi du 10 février 2000 exposé ci-après au 2.5.1 et notamment son article 10 restent applicables jusqu'au 13 juillet 2007 pour les « installations d'éoliennes auxquelles l'autorité administrative a accordé, pendant ce délai, le bénéfice de l'obligation d'achat et pour lesquelles un dossier complet de demande de permis de construire a été déposé dans ce délai ».

2.5.1 Dispositions prévues par la loi du 10 février 2000 (antérieures à la loi POPE)

L'obligation d'achat et les conditions tarifaires

L'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité prévoit que diverses installations puissent bénéficier de l'obligation d'achat, par EDF ou les distributeurs non nationalisés, de l'électricité qu'elles produisent.

Rentrent dans cette catégorie les installations qui utilisent l'énergie mécanique du vent présentant une puissance installée inférieure à 12 MW.

Sous réserve de la nécessité de préserver le bon fonctionnement des réseaux, Electricité de France et, dans le cadre de leur objet légal et dès lors que les installations de production sont raccordées aux réseaux publics de distribution qu'ils exploitent, les distributeurs non nationalisés mentionnés à l'article 23 de la loi n°46-628 du 8 avril 1946, sont tenus de conclure un contrat pour l'achat de l'électricité bénéficiant de l'obligation d'achat, si les producteurs intéressés en font la demande, et sous réserve du respect des conditions ci-dessous :

- o les limites de puissance installée sont fixées à la valeur maximale de 12 MW par site de production par le décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000
- o le décret n°2001-410 du 10 mai 2001 modifié par le décret n°2003-282 du 27 mars 2003 fixe les obligations qui s'imposent aux producteurs bénéficiant de l'obligation d'achat. Ceux-ci doivent notamment obtenir un certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat pour conclure leur contrat d'achat de l'électricité ; pour cela, ils doivent adresser au Préfet un dossier comportant les pièces mentionnées à l'article 1 de ce même décret, à savoir :

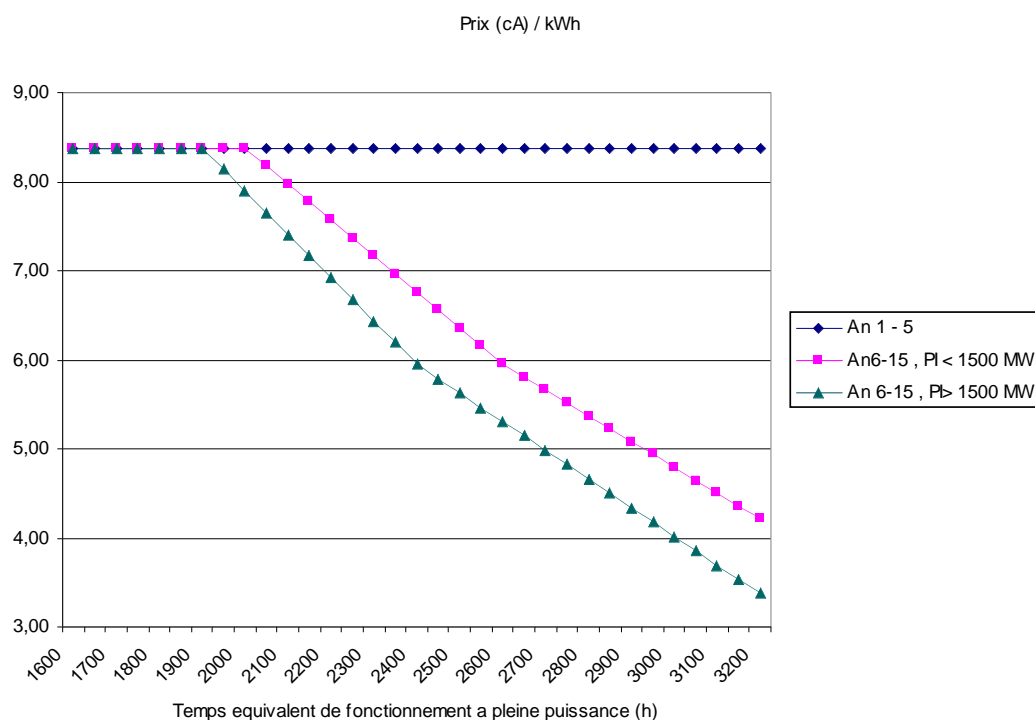


- s'il s'agit d'une personne physique, ses nom, prénom et domicile ou s'il s'agit d'une personne morale, sa dénomination ou sa raison sociale, sa forme juridique, l'adresse de son siège social, son numéro d'identité au répertoire des entreprises et des établissements (SIRET), ainsi que la qualité du signataire du dossier ;
- la localisation de l'installation de production concernée ;
- la ou les énergie primaires et la technique de production utilisées ;
- la puissance installée, la capacité de production de l'installation de production d'électricité et le nombre prévisionnel d'heures de production annuelle.

Dans un délai de deux mois à compter de la réception du dossier contenant l'ensemble des éléments précédents, le préfet délivre s'il y a lieu, un certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat.

Pour l'éolien de petite et moyenne puissance la tarification choisie dépend de la puissance de l'installation :

- si la puissance raccordée est supérieure à 36 kVA, le tarif applicable est celui défini par l'arrêté du 8 juin 2001. Ce tarif dépend du nombre d'heures de fonctionnement en pleine puissance (énergie produite annuellement divisée par la puissance nominale). Le graphe suivant illustre ce prix d'achat jusqu'au 31 décembre 2002 (décroissance de 3% par an ensuite), avec un prix fixe de 8.38c /kWh les cinq premières années et un prix fonction du nombre d'heures de fonctionnement pleine puissance de l'année 6 à l'année 15.



***Tarif d'achat pour l'électricité produite
par la force mécanique du vent (arrêté du 8 juin 2001)***



- si la puissance installée est inférieure à 36 kVA, le producteur a le choix entre les conditions tarifaires précédemment définies et les conditions tarifaires définies par l'arrêté du 13 mars 2002 fixant les conditions spécifiques d'achat de l'électricité produite par les installations d'une puissance inférieure à 36 kVA. Dans ce dernier cadre, le tarif d'achat dépend du lien existant ou non entre le producteur et l'acheteur :
 - si le producteur est lié à l'acheteur par un contrat de fourniture pour sa consommation d'électricité, le tarif d'achat de l'énergie applicable à l'installation et figurant dans le contrat d'achat, hors taxes, est égal au tarif de vente hors abonnement sur toute la durée du contrat. Le tarif le plus favorable pour de la vente d'électricité est de 10,4 c HT/kWh pour une puissance souscrite inférieure à 3 kW et 8,8 c HT/kWh pour une puissance souscrite entre 3 et 36 kW ;
 - si le producteur et l'acheteur ne sont pas liés par un contrat de fourniture, le tarif d'achat applicable est le tarif variable, sans horosaisonnalité et hors abonnement, que se verrait appliquer un consommateur domestique pour une puissance souscrite égale à la puissance maximale installée de l'installation concernée.

L'installation du producteur est décrite dans le contrat d'achat qui précise :

- nombre et type de générateurs ;
- puissance maximale installée ;
- puissance active maximale de fourniture et, le cas échéant puissance active maximale d'autoconsommation ;
- productibilité moyenne annuelle ;
- point de livraison, tension de livraison ;
- référence du contrat de fourniture d'électricité s'il existe.

Conditions de raccordement au réseau électrique

Les textes relatifs aux règles techniques de raccordement des installations de production sont les suivants :

- Le cahier des charges de la concession du réseau d'alimentation générale (RAG) à EDF, annexe de l'avenant du 10 avril 1995 à la convention du 27 novembre 1958. Ce cahier des charges stipule que la tension et le point de raccordement devront être choisis de façon à ne pas créer de perturbations inacceptables sur le réseau.
- Les cahiers des charges de concession pour le service public de distribution de l'énergie électrique. Ils précisent les relations entre le concessionnaire et le producteur pour le raccordement et la surveillance des installations de production.
- Le décret n°2003-229 du 13 mars 2003 et ses arrêtés d'application. Ces textes définissent les principes techniques de raccordement aux réseaux publics des installations de production autonome d'énergie électrique, les schémas de raccordement acceptables et les performances à satisfaire par ces installations.

Toute demande de raccordement d'une installation de production donne lieu à une étude dont les objectifs sont de définir les conditions techniques et financières de raccordement proprement dit de l'installation au réseau existant, de définir les ouvrages à construire ou à modifier pour maintenir le bon fonctionnement du réseau et induit par cette installation.



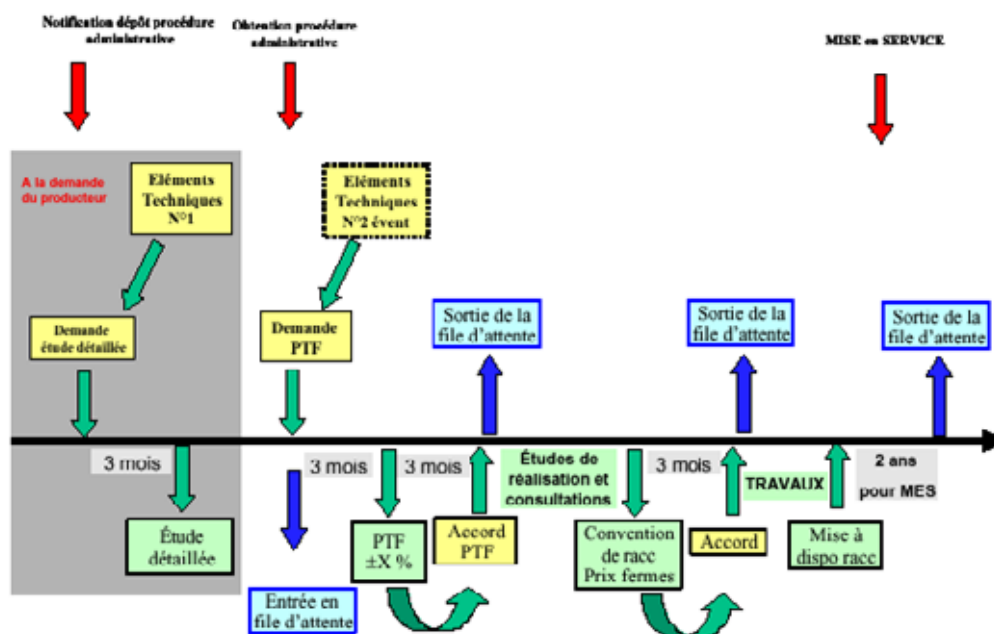
Une nouvelle procédure de raccordement est en vigueur depuis le 7 juin 2004. Celle-ci définit les différentes demandes de raccordement qu'un producteur est autorisé à effectuer en fonction de l'avancement du projet et de son importance :

- o projet inférieur à 2,5 MW : le demandeur peut effectuer une demande de renseignement quant à l'estimation de faisabilité du raccordement de son installation. Le demandeur peut faire cette demande quand il le souhaite ; le reste de la procédure est identique à celle des projets supérieurs à 2,5 MW ;
- o projet supérieur à 2,5 MW : une étude détaillée peut être faite à la demande du producteur lorsque celui-ci dispose de la notification du délai d'instruction d'une demande de permis de construire. L'étude détaillée donnera lieu à une proposition technique et financière (PTF) dès que le producteur est en mesure d'entrée en file d'attente. Cette entrée est possible à réception par le producteur de la décision accordant le permis de construire (et pour les installations non soumises à permis de construire, le récépissé de déclaration d'exploitation ou l'autorisation d'exploitation). La PTF indique les conditions techniques et financières de raccordement, en fonction des projets déjà en file d'attente au moment de la demande. Elle indique le délai dans lequel la convention de raccordement sera établie. Elle fournit une estimation du délai de réalisation ou modification d'ouvrages à la charge du gestionnaire du réseau mais nécessaires pour que l'installation puisse fonctionner à sa puissance maximale.

Après accord des parties sur la PTF, une convention de raccordement est établie par le gestionnaire du réseau. Cette PTF engage le gestionnaire du réseau en terme de coûts et délais. A défaut d'accord après proposition de la PTF dans un délai de 3 mois, le producteur sort de la file d'attente.

Les figures suivantes schématisent les différentes étapes des procédures de raccordement.

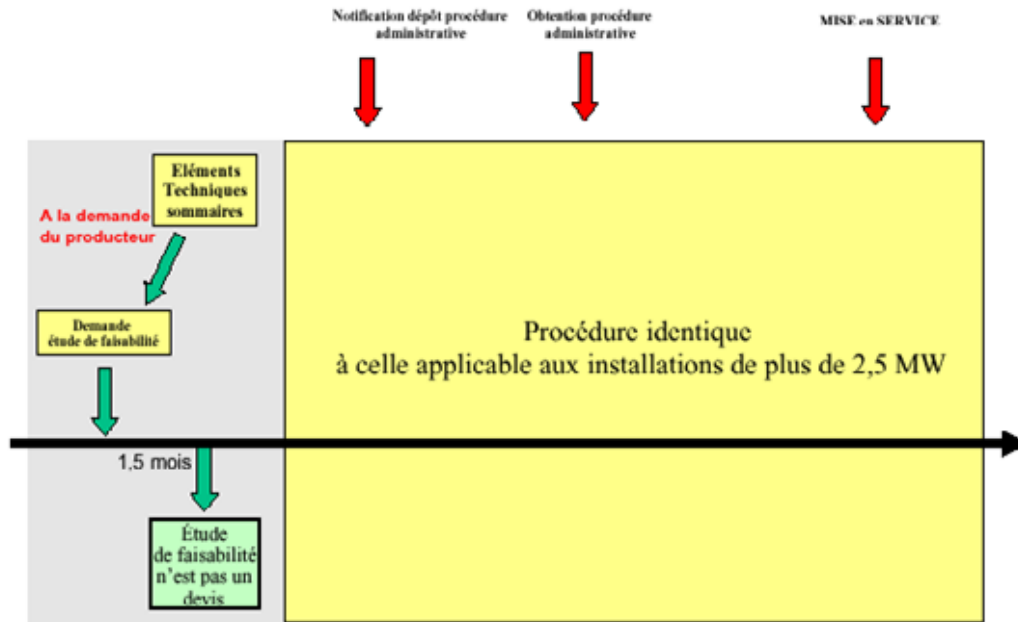
Projet de procédure de projet > 2,5 MW



Procédures de raccordement pour projet > 2,5 MW



Projet de puissance < 2,5 MW



Procédures de raccordement pour projet < 2,5 MW

Cas des installations de puissance inférieure ou égale à 36 kVA

Ces installations sont raccordées en Basse Tension. Elles ne sont pas concernées par les files d'attente relatives aux ouvrages HTB, poste HTB/HTA, réseau HTA. Elles restent soumises aux conséquences des contraintes générées sur les réseaux BT et postes HTA/BT.

Cas des installations de puissance supérieure à 36 kVA et inférieure ou égale à 250 kVA

Ces installations ne sont pas concernées par les files d'attente relatives aux ouvrages HTB, poste HTB/HTA dans le cas où la puissance cumulée de ces installations au niveau de leur poste source HTB/HTA est inférieure ou égale à 1MW. Elles restent soumises aux conséquences des contraintes qu'elles peuvent générer sur les réseaux BT, les postes HTA/BT et le réseau HTA.

2.5.2 Dispositions découlant du vote de la loi POPE (13 juillet 2005)

Pour les installations d'éoliennes dont le permis de construire n'a pas été déposé avant le 13 juillet 2007 et pour lesquelles l'autorité administrative n'a pas accordé avant cette date le bénéfice de l'obligation d'achat, les dispositions de la nouvelle loi POPE s'appliquent .

Celles-ci ont pour effet de supprimer le plafond des 12 MW relatif à l'obligation d'achat du KWh éolien par les distributeurs d'électricité (EDF principalement). Ce sont les communes qui définissent dans le cadre des ZDE approuvées par le préfet les seuils et plafonds de puissance des projets d'éoliennes qui pourront s'implanter dans la ZDE.



Les projets réalisés, quelle que soit leur puissance, continueraient à bénéficier des tarifs de rachat définis dans l'arrêté du 8 juin 2001 pour les puissances supérieures à 36 kW et de l'arrêté du 13 mars 2002 pour les puissances inférieures. (*)

** nota : L'application de la loi POPE au regard des dispositifs existants notamment pour les petites puissances est susceptible de faire l'objet de futures circulaires d'application, postérieures à la publication du présent document.*



3. Analyse critique et comparative

3.1. Analyses techniques

Cette analyse rassemble les différentes difficultés techniques qui pourraient être rencontrées lors de l'implantation d'éoliennes en milieu urbain.

3.1.1. Encombrement et contraintes d'accessibilité

L'encombrement, généré par les éoliennes, varie suivant le type d'éolienne et les phases de l'installation de l'éolienne.

Eolienne de moyenne ou grande puissance

Une fois implantée l'emprise au sol d'une éolienne de moyenne à grande puissance se limite à ses fondations. Une taille typique de celle-ci est 10 m x 10 m sur 3 m de profondeur. Des équipements annexes sont contenus dans un bâtiment de petite taille construit à proximité de l'éolienne. Dans certains cas une partie de ces équipements peut être placée à l'intérieur du mât de l'éolienne. Les lignes électriques sont enterrées.

S'il n'existe pas, un chemin d'accès empierré et présentant une largeur de 3 à 4 m doit être créé jusqu'au pied de l'éolienne afin de permettre le transport des pièces constitutives de l'éolienne, l'accès aux engins de montage. L'accès pendant la durée de fonctionnement de l'installation doit être possible par tout temps.

Les routes d'accès doivent également être suffisamment larges pour permettre le transport des parties de l'éolienne. Les rayons de courbure de ces routes doivent être suffisamment grands pour permettre aux éléments les plus longs d'être transportés.

Eolienne de petite puissance, destinée aux toits des bâtiments

Les contraintes d'accessibilité routière imposée par les éoliennes de grande puissance ne se posent pas pour ce type d'installation. Ces éoliennes se décomposent en éléments suffisamment petits pour pouvoir transiter dans des ascenseurs et des cages d'escalier traditionnels. Les éléments éventuellement particulièrement lourds ou particulièrement volumineux pourraient être acheminés par l'extérieur du bâtiment par des treuils ou des palans spécifiques.

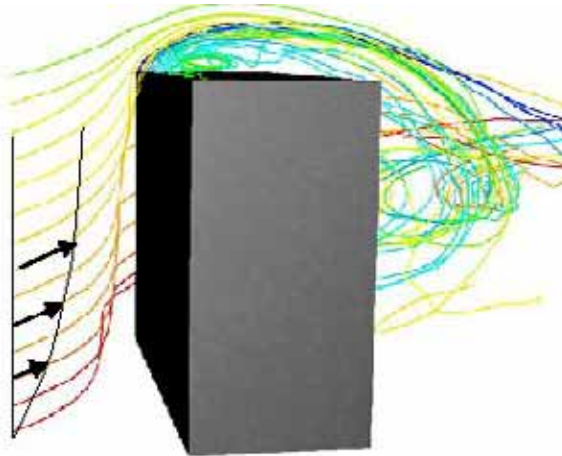
Les équipements électriques associés à l'éolienne doivent être installés dans un local spécifique. En cas d'utilisation de batteries celles-ci doivent être à l'abri du gel et dans un local ventilé.



3.1.2. Contraintes structurelles et vibratoires

Caractéristiques de l'écoulement d'air autour d'un bâtiment et impact sur les éoliennes

Comme l'illustre la figure ci-dessous le flux d'air autour et au-dessus d'un bâtiment est très perturbé.



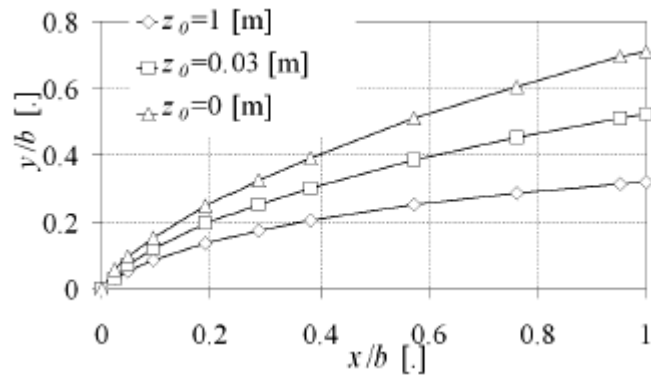
Au dessus du toit, il y a juxtaposition :

- de fortes turbulences ;
- de zones en sur ou sous vitesses par rapport au flux en amont du bâtiment ;
- de fortes incidences du flux d'air qui n'est pas horizontal.

Ces phénomènes sont défavorables à l'installation d'éoliennes à axe horizontal :

- la courbe de puissance des éoliennes à axe horizontal est diminuée en présence de flux d'air non horizontaux ;
- les éoliennes à axe horizontal sont efficaces pour capter l'énergie du vent en étant face à celui-ci. Lorsque celui-ci change constamment de direction (ce qui est le cas en ambiance turbulente), les éoliennes à axe horizontal ont une efficacité fortement diminuée ;
- l'application de forces et couples différents sur les différentes pales accentue fortement les efforts mécaniques supportés par le rotor. Les risques de pannes et d'accident en sont très fortement augmentés.

Pour éviter ces problèmes, la solution consisterait à placer l'éolienne à axe horizontal au dessus de la couche limite séparant la zone turbulente de la zone non turbulente. La figure suivante fournit l'estimée du profil de cette couche limite pour plusieurs valeurs de rugosité amont, en fonction de la distance au bord du bâtiment (exprimée en proportion de la longueur b du bâtiment dans le sens du vent) et de la hauteur au dessus du bâtiment (exprimée en proportion de la hauteur h du bâtiment).



***Limite de séparation zone turbulente/zone non turbulente
au dessus d'un bâtiment de hauteur h et de longueur b***

Il apparaît que dans un contexte urbain présentant des longueurs de rugosité importante, une éolienne à axe horizontal placée au milieu du toit d'un bâtiment doit être placée au-dessus d'une hauteur supérieure à 35%/50% de la hauteur du bâtiment pour éviter les phénomènes liés à la turbulence. Ainsi pour un bâtiment faisant environ 50 m de haut, la hauteur minimale de moyeu devrait être de 20 à 25 m.

Inversement les éoliennes à axe vertical :

- captent le flux indépendamment de la direction de celui-ci ;
- sont moins sensibles aux pertes d'efficacité du fait d'un flux incident.

Des études menées par l'université de Delph aux Pays-Bas montrent que certaines éoliennes de type Darrieus positionnée de façon judicieuse peuvent voir avoir une efficacité énergétique accrue dans des flux à incidence non nulle alors que dans le même temps l'efficacité des turbines à axe horizontal est fortement diminuée.

Effets vibratoires

Couplage éolienne / bâtiment

Le fonctionnement nominal d'une éolienne en rotation induit des efforts à sa base. Ces efforts présentent de multiples composantes fréquentielles potentielles, d'autant plus que les éoliennes de petite et moyenne puissance candidates à une implantation urbaine sont à vitesse de rotation variable et que donc une large gamme de fréquence peut-être parcourue . Bien analysées (grâce à des modèles éléments finis) sur des éoliennes de grande puissance, ces phénomènes sont moins bien connus pour de petites éoliennes (coût de modélisation et de validation important). Pour des éoliennes placées sur un bâtiment sans précautions particulières, ces efforts sont transmis à la structure du bâtiment, ce qui peut engendrer :

- des nuisances sonores spécifiques ;
- la fatigue prématurée de certaines parties du bâtiment ;
- des vibrations désagréables pour les occupants du bâtiment.

Cette interaction éolienne bâtiment dépend à la fois de l'éolienne et du bâtiment. Elle nécessite une étude spécifique, qui peut être complexe.



Interrogés sur cet aspect, plusieurs constructeurs d'éoliennes ont exprimé leurs craintes quant à ces phénomènes. Pour eux, la meilleure solution réside dans l'utilisation de systèmes d'isolation/amortissement placés à la base du mât. Ils n'ont néanmoins pas de solution technique à proposer par manque d'expérience sur le sujet.

Effet des turbulences

Le fonctionnement d'une éolienne en dehors de plages réduites de turbulence, peut engendrer :

- des phénomènes de couplage sur le contrôle d'orientation (passif ou actif) de l'éolienne, provoquant une instabilité directionnelle de l'éolienne autour de son axe d'orientation. Des mouvements rapides et amples en orientation peuvent générer une dégradation partielle ou totale de l'éolienne ;
- les variations d'intensité et de direction du vent apparent sur les pales entraînent une augmentation de la fatigue des pales et de leurs fixations.

3.1.3. Mode de consommation de l'électricité produite

Deux cas sont envisageables : l'autoconsommation de l'énergie produite ou la vente de l'électricité au réseau électrique.

Autoconsommation

L'énergie produite est directement consommée par un système électrique local. La quantité d'énergie produite par une éolienne pouvant varier rapidement l'éolienne ne peut être directement connectée au système qu'elle alimente. L'utilisation d'un régulateur / chargeur de batteries (et éventuellement d'un onduleur) est nécessaire pour orienter la production vers le système électrique utilisateur, recharger les batteries en cas de surproduction par rapport au besoin ou puiser sur les batteries en cas de production insuffisante de la part de l'éolienne. Le dimensionnement de l'éolienne et du pack batteries dépend de plusieurs éléments :

- o autonomie complète ou partielle du système alimenté par rapport au réseau ;
- o niveau de risque pris sur la rupture d'alimentation du système électrique à alimenter.

Pour éviter des pertes inutiles, il est préférable d'alimenter un système fonctionnant en basse tension.

Enfin les batteries doivent être stockées et protégées dans un local spécifique ventilé et à l'abri du gel.

L'autoconsommation n'est envisageable que pour des systèmes de production de faible importance.

Connexion au réseau électrique

Dans le cas d'une connexion au réseau électrique, les conditions et les procédures de raccordement sont décrites dans le §3.5. L'équipement électrique à mettre en place entre l'éolienne et le réseau électrique varie selon le type d'éolienne installée.

La plupart des éoliennes de petites et moyennes puissance envisageables en milieu urbain, sont des éoliennes à vitesse variable qui nécessitent l'utilisation d'un onduleur.



Avantage / inconvénient de l'autoconsommation ou de la connexion au réseau

- En milieu urbain le réseau électrique est présent de façon dense. L'autoconsommation de l'énergie produite ne permet pas d'économiser des coûts de renforcement de réseau ou de création de ligne électrique. Le kWh auto-consommé se substitue à un kWh dont le coût serait au plus égal au kWh acheté à EDF.
- D'un point de vue efficacité énergétique, l'autoconsommation induit des pertes dues au stockage sur une durée plus ou moins longue de l'énergie dans des batteries.
- L'avantage de la mise en place d'un système à usage d'autoconsommation est sa simplicité de mise en œuvre par rapport à la gestion d'un dossier de connexion au réseau électrique qui constitue une procédure lourde, longue et donc potentiellement coûteuse.

3.1.4. Analyse de sécurité

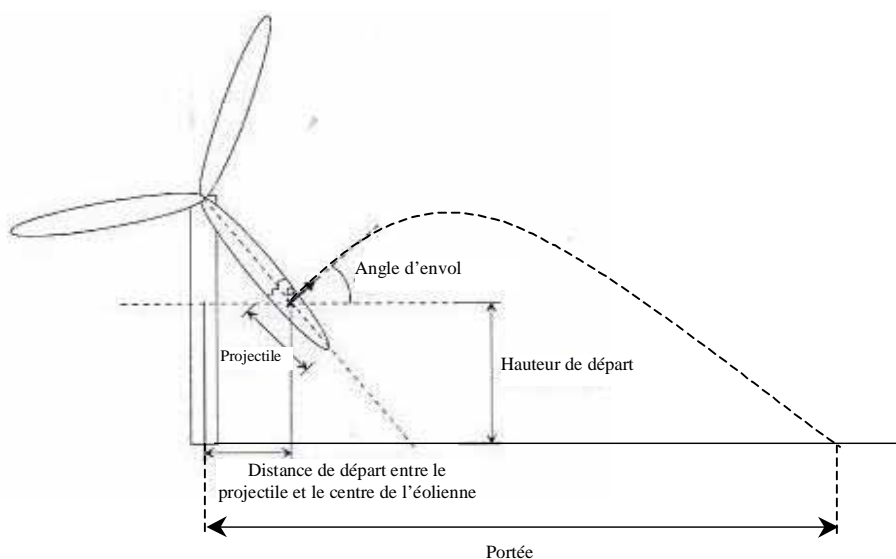
L'analyse menée consiste à estimer l'impact d'un accident sur la sécurité des personnes. Le principal risque d'accident pouvant avoir un impact au-delà de la simple emprise au sol de l'éolienne est celui de l'éjection d'une pale ou d'un morceau de pale. Toutes les analyses menées ne tiennent pas compte des effets de portance aérodynamique sur les pales, mais uniquement des effets gravitationnels. Cette approximation donne néanmoins une très bonne vision de la réalité.

Cas des éoliennes à axe horizontal

L'analyse a été menée pour :

- une pale d'éolienne qui se décroche ;
- un morceau de glace qui pourrait se créer en hiver et qui part de l'extrémité d'une pale.

Le schéma suivant illustre la portée de la pale pour une éolienne à axe horizontal.





L'étude est réalisée pour les deux cas suivants :

- une pale d'éolienne qui se décroche ;
- un morceau de glace qui part d'une extrémité d'éolienne.

Dans chacun des cas sont déterminées la portée maximale et la vitesse à l'impact.

La portée maximale ne dépend au premier ordre que du produit (rayon de la pale x vitesse de rotation). Ce produit augmente fortement pour de petites éoliennes car celles-ci peuvent avoir des vitesses de rotation très importantes.

Or la probabilité de casse de pale n'est pas un phénomène complètement marginal, puisque sa probabilité d'occurrence est estimée à 0,1% sur une période de 15 ans par éolienne (par observation du fonctionnement des éoliennes de grande puissance).

Une telle statistique n'est pas disponible pour les éoliennes de petite et moyenne puissance. Il n'est pas aberrant de considérer que cette statistique est au moins atteinte pour des éoliennes de petites et moyennes puissance en milieu urbain par nature assez turbulent.

Or, la conjugaison de cette statistique 6.10^{-5} /an avec la probabilité d'occupation d'un m^2 par une personne en milieu agricole introduit une probabilité globale de blessure très faible pour une éolienne installée au milieu des champs. En milieu urbain il n'en est pas de même. En effet, la probabilité d'occupation d'un m^2 par une personne est beaucoup plus élevée, ce qui impose la mise en place d'une maintenance stricte pour minimiser les risques d'accidents.



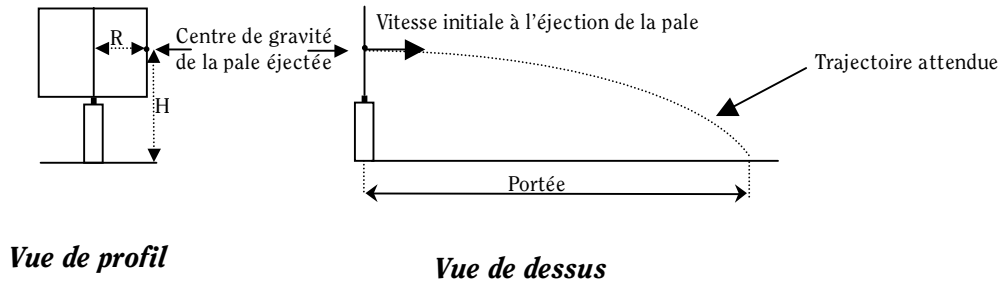
Eolienne	Hauteur du mat	Longueur de pale (m)	Eolienne implantée au sol				Eolienne implantée sur un bâtiment de 50 m de haut			
			Décrochage d'une pale		Ejection d'un morceau de glace		Décrochage d'une pale		Ejection d'un morceau de glace	
			Portée maximale (m)	Vitesse à l'impact (m/s)	Portée maximale (m)	Vitesse à l'impact (m/s)	Portée maximale (m)	Vitesse à l'impact (m/s)	Portée maximale (m)	Vitesse à l'impact (m/s)
AOC 15/50 50HZ	24	7,2	82	33,8	268	54,9	113	46,1	310	63,2
Auroville AWS 1500	21	1,5	147	40,9	530	73,7	185	51,5	576	80,1
Bergey XL1	20	1,25	123	37,9	439	67,3	160	49,1	484	74,2
Eoltec 5,5-6	24	2,75	149	41,7	443	68,1	187	52,2	488	74,9
Eoltec E10-25	24	5	159	43,2	571	77,1	198	53,3	617	83,2
Eoltec Chinook 17-65	32	8,5	142	42,7	485	72,5	178	53,0	530	78,9
Eoltec Chinook 15-75	32	7,5	142	42,6	485	72,3	178	53,0	530	78,8
Fuhrländer FL30	27	6,5	82	34,3	264	54,7	113	46,5	306	63,0
Fuhrländer FL100	35	10,5	97	38,2	305	59,7	127	49,4	347	67,5
Fuhrländer FL250	50	14,75	133	45,1	417	70,0	164	54,9	459	76,7
Vergnet GEV 5/5	18	2,5	133	39,0	483	70,5	171	50,0	529	77,1
Vergnet GEV 6/5	18	3	131	38,8	474	69,9	169	49,8	518	76,6
Vergnet GEV 7/10	24	3,5	98	35,5	331	59,7	132	47,4	375	67,4
Vergnet GEV 10/15	24	5	157	42,9	563	76,6	195	53,2	610	82,7
Vergnet GEV 10/20	24	5	157	42,9	563	76,6	195	53,2	610	82,7
Vergnet GEV 15/60	30	7,5	160	44,4	561	77,2	197	54,3	607	83,3
Vergnet GEV 26/220	50	13	166	48,1	539	77,8	199	57,4	583	83,9
WT Industries 23-10 kW	32	3,68	173	45,6	607	79,7	211	55,3	652	85,6
WT Industries 23-12,5 kW	32	3,68	188	47,2	667	83,3	227	56,6	714	89,0
WT Industries 26-15 kW	32	4,16	233	51,6	844	93,2	273	60,4	891	98,3
WT Industries 26-17,5 kW	32	4,16	214	49,7	767	89,0	253	58,8	813	94,4
WT Industries 29-20 kW	32	4,64	214	49,8	768	89,2	253	58,8	815	94,5

Portée maximale lors de l'éjection d'une pale (éoliennes à axe horizontal)

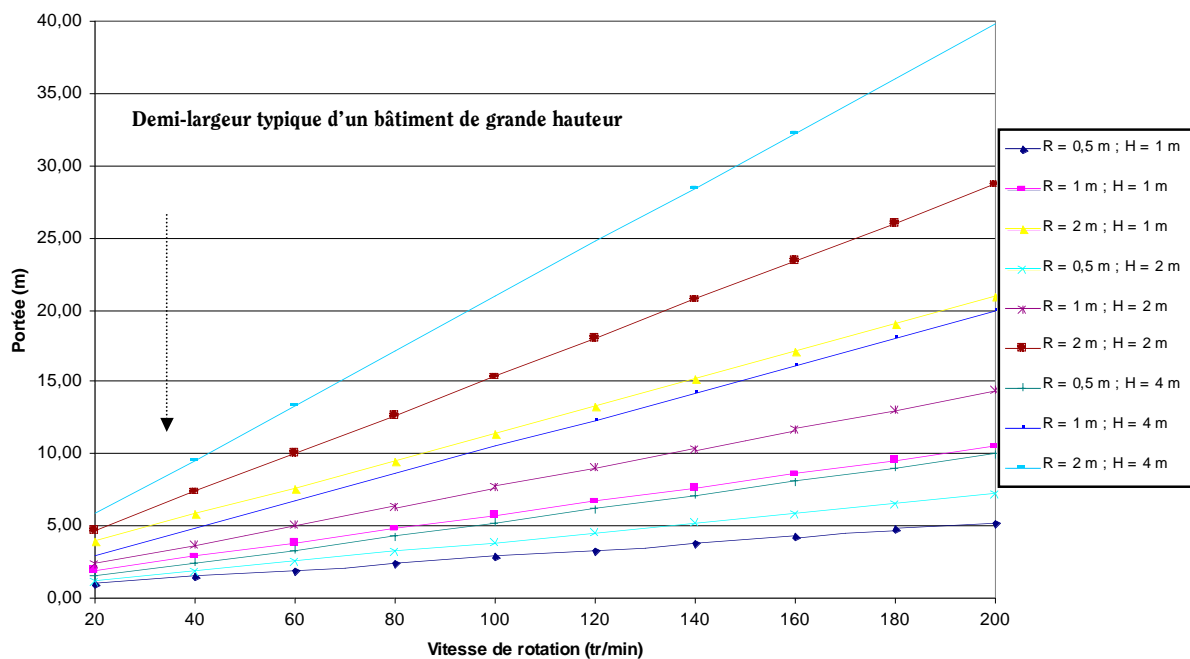


Cas des éoliennes à axe vertical

L'analyse a été menée pour une pale d'éolienne qui se décroche. Le schéma suivant illustre la portée de la pale pour une éolienne à axe horizontal.



La figure suivante fournit la valeur de portée obtenue en fonction de la vitesse de rotation de l'éolienne, pour différentes valeurs de position du centre de gravité de la pale éjectée (R,H).



Les vitesses de rotation des parties tournantes des éoliennes à axe vertical répertoriées sont entre 20 et 100 tours par minute pour des vitesses de vent comprises entre 3 et 25 m/s. Le graphe précédent montre que dans ces régimes de fonctionnement, les pales qui ont un centre de gravité éloigné de moins de 1 m de l'axe de rotation ont la quasi-certitude de ne pas être éjectées à une distance supérieure à 12 m. Cette distance est également la demi-largeur typique d'un bâtiment de grande hauteur. Autrement dit, une pale qui se rompt retomberait sur le toit du bâtiment.

Le problème de sécurité lié à l'éjection de pale est donc fortement réduit dans le cas d'éoliennes à axe vertical.



3.1.5. Impacts sonores

Les niveaux sonores maximaux perceptibles par un riverain d'une éolienne sont définis réglementairement par la réglementation sur les bruits de voisinage.

Cette réglementation est basée sur la notion de dépassement du bruit par rapport au bruit environnant (émergence sonore). L'application de cette notion réglementaire d'émergence suppose une mesure préalable du niveau sonore ambiant auprès des plus proches riverains. Ces mesures permettent de définir un niveau moyen de jour (7h/22h) et un niveau moyen de nuit (22h/7h). Le fonctionnement d'éoliennes ne doit pas entraîner de dépassement supérieur à 5 dB(A) du niveau moyen de jour et 3dB(A) de nuit. C'est le fonctionnement de nuit qui est le plus contraignant.

Le constat du non respect de cette réglementation entraîne, en cas de recours juridique positif d'un tiers, l'arrêt de l'installation (au moins pour les périodes considérées).

La valeur de l'émergence induit par une éolienne donnée dépend fortement de l'ambiance sonore moyenne. Le tableau suivant fournit une caractérisation de ces bruits ambiants en fonction du type d'environnement.

Possibilités de conversation	Sensation auditive	Nbre dB(A)	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs
A voix chuchotée	Calme	20 dB(A)	Studio de radio	Jardin tranquille
		25 dB(A)	Conversation à voix basse à 1,5 m	
		30 dB(A)	Appartement dans quartier tranquille	
A voix normale	Assez Calme	40 dB(A)	Bureau tranquille dans quartier calme	
		45 dB(A)	Appartement normal	Bruits minimaux le jour dans la rue
Assez forte	Bruits courants	50 dB(A)	Restaurant tranquille	Rue très tranquille
		60 dB(A)	Grands magasins Conversation normale	Rue résidentielle
	Bruyant mais supportable	65 dB(A)	Appartement	Bruyant
		70 dB(A)	Restaurant bruyant	Circulation importante

Le bruit émis par une éolienne comprend d'une part, les bruits mécaniques des différents composants en mouvement et d'autre part, le bruit aérodynamique dû au mouvement des pales dans l'air.

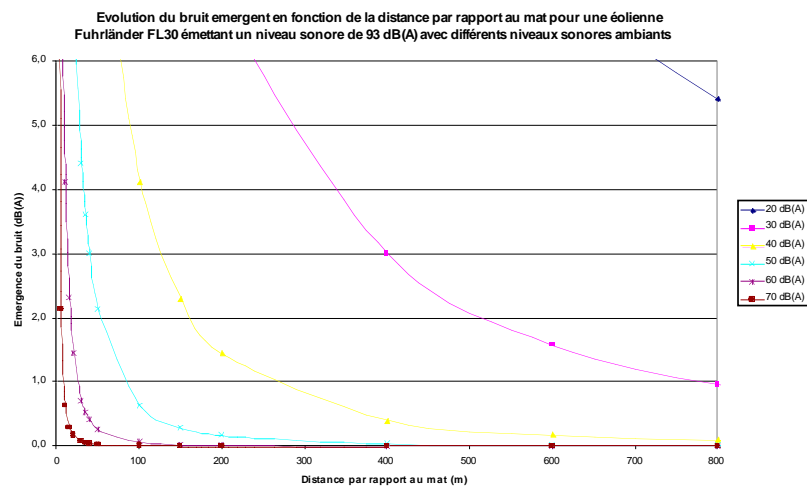


Les éoliennes de petite dimension sont réputées proportionnellement plus bruyantes que les éoliennes de grande puissance. Les fabricants d'éoliennes de grande puissance font établir par des organismes indépendants une caractérisation de la puissance sonore émise par leurs machines selon des procédures et des méthodes clairement établies et reconnues. La plupart des fabricants de petites éoliennes affirme que leurs éoliennes sont peu bruyantes. Mais rares sont ceux qui objectivent cette affirmation en pouvant fournir des chiffres de puissance sonore. Les seules indications fournies sont :

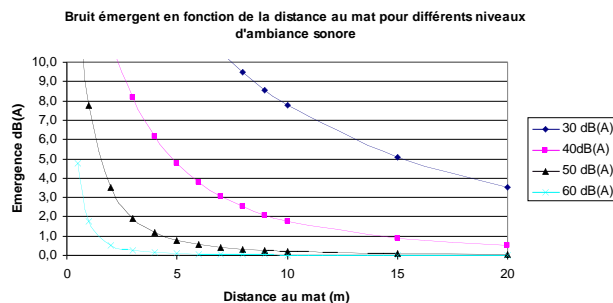
- 93 dB(A) pour le Fuhrländer FL30 de 30 kW ;
- pour les éoliennes de la société Provenenergy :

Vitesse du vent	WT 2500 (2,5 kW)	WT 6000 (6 kW)	WT 15000 (15 kW)
5 m/s	40 dB(A)	45 dB(A)	48 dB(A)
20 m/s	60 dB(A)	65 dB(A)	68 dB(A)

Les valeurs de 93 dB(A) et 68 dB(A) sont utilisées pour déterminer l'émergence en fonction de la distance à l'éolienne pour différentes valeurs d'ambiance (figure 5 avec 93 dB(A), figure 6 avec 68 dB(A)).



Emergences pour l'éolienne Fuhrländer FL30



Emergences pour les éoliennes Provenenergy

Il faut noter qu'en milieu urbain, le niveau sonore ambiant est généralement supérieur à 40 dB(A). L'éloignement minimal à respecter pour ne pas avoir une émergence supérieure à 3 dB(A) est d'environ 130 m avec la FL30 et 7/8 m avec les éoliennes Provenenergy.



Dans le cas d'implantation de plusieurs éoliennes, l'addition de deux bruits de valeur égale généré par deux éoliennes entraîne une augmentation de leur émission de 3 dB(A).

3.1.6. Impacts visuels

Une éolienne est un équipement original par rapport aux autres structures ou bâtiments rencontrés en milieu urbain. Elle se distingue par sa couleur, éventuellement par sa taille et par la mobilité de ses pales. L'impact réel dépendra aussi fortement de ses dimensions.

Pour une éolienne présentant une hauteur de moyeu inférieure à 12 m en milieu urbain, l'impact visuel devrait sauf exception être très faible au-delà de quelques dizaines de mètres.

Pour une éolienne présentant une hauteur supérieure à 12 m, l'aspect paysager est à traiter avec soin à l'intérieur de l'aire d'étude de l'étude d'impact ou de la notice d'impact.

Une cartographie des lieux environnants, des points paysagers sensibles ou remarquables devra être établie. Des simulations visuelles doivent permettre de mieux appréhender l'impact visuel du projet depuis ces différents points de vue. Plus généralement, l'intervention d'un paysagiste est souvent requise.

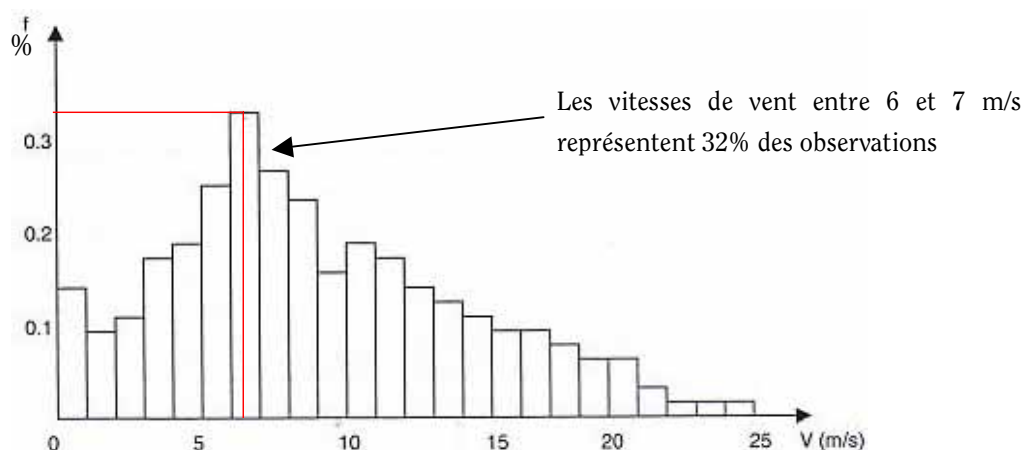
3.1.7. Performances énergétiques

Les performances énergétiques sont déterminées à partir des courbes de puissances de chaque éolienne (fournies par le fabricant) et de la répartition des fréquences des vents.

• Fréquence des vents

La fréquence des vents d'un lieu est obtenue en divisant le nombre d'observations dans une classe donnée par le nombre d'observations totales sur la période considérée.

Une distribution typique a l'apparence suivante :



Loi de Weibull

Les études météorologiques montrent que la distribution fréquentielle des vitesses de vent peut être représentée, avec une bonne précision, par des lois de probabilité appelées lois de Weibull.



L'équation d'une telle loi est la suivante :

$$p(V) = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C} \right)^{K-1} \exp \left(- \left(\frac{V}{C} \right)^K \right)$$

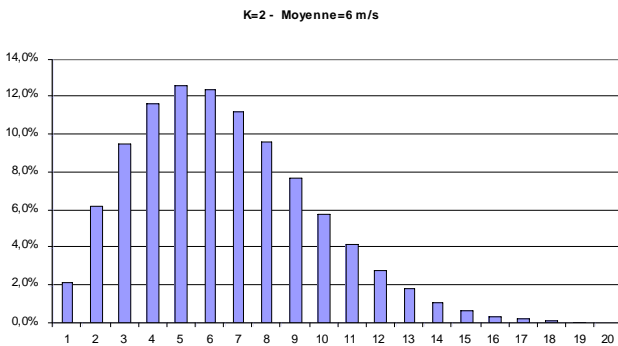
$p(V)$ est la probabilité que le vent souffle à la vitesse V . Cette fonction est définie par deux paramètres :

C : Facteur d'échelle qui est voisin de la vitesse moyenne du vent

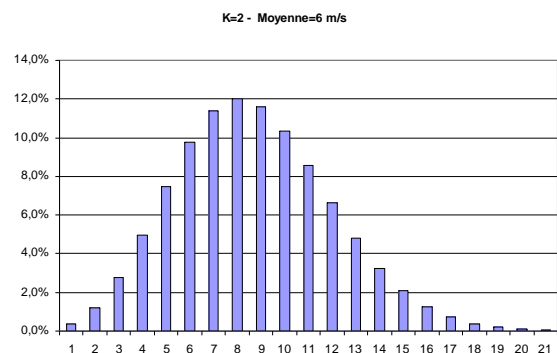
K : Facteur de forme qui caractérise l'étalement du spectre des vitesses du vent autour de la moyenne. Une valeur typique du facteur de forme est 2.

Répartition de l'énergie disponible en fonction de la vitesse

Les graphes suivants montrent la répartition de la vitesse du vent et de l'énergie disponible sur un site présentant une distribution de vent moyenne de 6 m/s et un facteur de forme égal à 2.



Répartition du vent en fonction de la vitesse

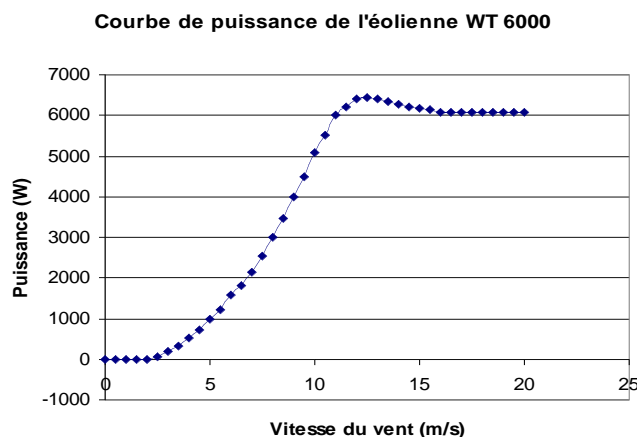


Répartition de l'énergie utile en fonction de la vitesse

La répartition de l'énergie utile montre que les vitesses de vent inférieures à 3m/s représentent moins de 5% de l'énergie utile globale. De même l'énergie utile des vents supérieurs à 20 m/s représente moins de 1% de l'énergie utile globale. La plage de vitesse où les éoliennes doivent être le plus efficace est [4 ;14] m/s. Une très bonne efficacité en dehors de cette plage apporte peu de gain de productible.

L'énergie produite par une éolienne

La capacité de production d'une éolienne se caractérise par sa courbe de puissance. Celle-ci fournit sa capacité de production (puissance en Watt) en fonction de sa vitesse de vent moyenne au niveau du moyeu. Cette courbe à la forme suivante :





Cette courbe de puissance dépend de la température moyenne annuelle du site, de l'altitude du site. Les conditions standards dans lesquelles elle est fournie est une température moyenne de 15°C et une altitude de 0 m au-dessus de la mer.

Dès lors l'énergie produite est l'intégration sur le temps de la courbe de puissance de l'éolienne. Cela s'exprime en fonction de la courbe de puissance P d'une éolienne et de la distribution V de vitesse par :

$$E = \int P(V(t)) dt \quad \text{en kWh/an}$$

Temps équivalent de fonctionnement pleine puissance

Le temps équivalent de fonctionnement pleine puissance (TEFPP) correspond au rapport entre l'énergie brute produite et la puissance nominale de l'éolienne :

$$TEFPP = \frac{E}{P_{nom}}$$

Le TEFPP s'exprime en heure. Elle dépend de chaque éolienne, mais aussi de la distribution de vent sur site.

Evolution de la vitesse du vent avec la hauteur

La vitesse moyenne du vent augmente avec la hauteur. La loi d'évolution la plus couramment utilisé pour décrire cette évolution est une loi exponentielle de type :

$$\frac{V_h}{V_{h_2}} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^{\alpha}$$

est un paramètre qui dépend de la rugosité de terrain locale. Le tableau suivant fournit la valeur typique de α pour différents types d'environnement.

Type d'environnement	Classe de rugosité	α
Plans d'eau (lacs, mer)		
Surfaces de sable lisses	0	0,07
Surfaces de neige lisses		
Sol lisse et nu		
Pistes et taxiways d'aéroport		
Zone aéroportuaire avec peu de bâtiments et d'arbres	1	0,15
Terrain agricole avec très peu de constructions, d'arbres, etc.,		
Terrain agricole d'allure ouverte		
Terrain agricole d'allure fermée	2	0,22
Terrain avec beaucoup d'arbres et de buissons		
Banlieue de ville	3	0,30
Forêt, centre ville	4	0,40



L'évolution du vent en fonction de la hauteur est défavorable à l'utilisation de l'éolien en milieu urbain. En effet, en considérant des hypothèses optimistes du point de vue de la ressource en vent du type :

- vent orographique (vent existant au niveau d'une région indépendamment des effets de rugosité) de 6,8 m/s à 90 m,
- classe de rugosité égale à 3,

les vitesses de vent moyen en fonction de la hauteur sont :

Hauteur	Vitesse moyenne estimée
90 m (vent orographique)	6,8 m/s
80 m	6,5 m/s
70 m	6,3 m/s
60 m	6,0 m/s
50 m	5,7 m/s
40 m	5,3 m/s
30 m	4,9 m/s
20 m	4,3 m/s
10 m	3,5 m/s

Détermination du productible en fonction de la vitesse du vent

Le temps de fonctionnement pleine puissance des éoliennes répertoriées est déterminé pour différentes vitesses moyennes de vent au moyeu (donc au premier ordre en fonction de leur hauteur d'implantation). Ces résultats sont présentés dans le tableau suivant pour des vitesses moyennes de 5,5 m/s, 6 m/s et 6,5 m/s, ainsi que sous forme de nuages de points.

Les principaux enseignements de cette analyse sont :

- un rendement nettement supérieur pour les éoliennes à axe horizontal par rapport aux éoliennes à axe vertical ;
- un productible faible quelle que soit le type d'éolienne pour une vitesse moyenne au moyeu de 5,5 m/s, ce qui correspond à une vitesse de vent moyen maximale atteignable aux hauteurs de moyeu en rapport avec les puissances d'éoliennes considérées.

Nota 1 : contrairement aux publicités commerciales de nombreux fabricants d'éoliennes de moyenne ou petite puissance, il n'existe pas à ce jour de produits « miracles » dont le productible soit particulièrement élevé par rapport à ceux de la concurrence. Les productibles présentés le sont pour des vitesses de vent le plus souvent égales au moins à 6 m/s. Une telle vitesse de vent n'est accessible à hauteur de moyeu des éoliennes de petite et moyenne puissance que sur des sites particulièrement ventés, présentant de faibles rugosités. Ces valeurs ne sont pas atteignables dans des milieux urbains standards avec de fortes rugosités.



Nota 2 : les courbes de puissance des petites éoliennes sont à considérer avec prudence, car contrairement aux courbes de puissance des éoliennes de grande puissance elles ne sont pas garanties. Elles ne sont présentées avec aucune incertitude. En toute rigueur des marges d'erreur liées à ces incertitudes devraient être ajoutées, diminuant le productible certain d'autant.

Nota 3 : l'ensemble des pertes et incertitudes nécessitent de raisonner sur la base d'un productible réel de 15 à 20% inférieur au productible calculé ici.

			Vitesse de vent moyen de 5,5 m/s		Vitesse de vent moyen de 6 m/s		Vitesse de vent moyen de 6,5 m/s	
			TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)	TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)	TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)
Eoliennes à axe vertical	E & E Co.	HW - 5A	1674	1255	1915	1436	2172	1629
	Ropatec	WRE.030	923	2768	1189	3568	1484	4452
		WRE.060	903	5415	1168	7006	1461	8766
	Windports	Windports 5 kW	1085	5426	1364	6818	1685	8424
	Windside	WS-2	955	573	1154	692	1343	806
		WS-4	945	1134	1141	1369	1326	1592
AOC	15/50 - 50 Hz	1890	103954	2310	127044	2721	149643	
Eoliennes à axe horizontal	African Wind Power	AWP36	2295	3052	2713	3609	3107	4132
	Auroville Energy Products	AWS 1500	1474	2211	1789	2683	2095	3142
		AEP 5000	1458	7550	1769	9164	2072	10733
		AEP 10 kW	1542	18223	1873	22134	2197	25968
	Bergey	XL1	2005	2466	2405	2959	2797	3440
		BWC 1500	1687	2885	2033	3476	2362	4040
		Excel - S	681	8119	873	10414	1086	12961
	Cita *	Ch Caphorn 10 Pol	1295	15545	1633	19596	1987	23848
	Eoltec	Sirocco 5.5-6000	2080	12584	2507	15166	2926	17700
		WindRunner E10-25	1614	41482	1989	51129	2371	60942
		Chinook 17m-65kW	1867	125081	2279	152684	2688	180105
		Chinook 15m-75kW	1404	105325	1754	131513	2117	158785
	Fortis Windenergy	Espada 800	1710	1283	2067	1550	2426	1820
		Passaat 1400	1517	2123	1844	2581	2179	3050
		Montana 5000	1309	7569	1600	9247	1904	11005
		Alize 10000	1844	18439	2220	22195	2581	25809
	Fuhrländer	FL30	2035	71442	2425	85110	2802	98364
		FL100	1623	201790	1997	248276	2373	295107
		FL250	1362	406662	1668	497911	1980	591101
	Kestrel	Kestrel 600	921	599	1150	748	1400	910
Kestrel 800		1903	1560	2187	1793	2417	1982	
Kestrel 2000		2335	4834	2717	5624	3045	6304	

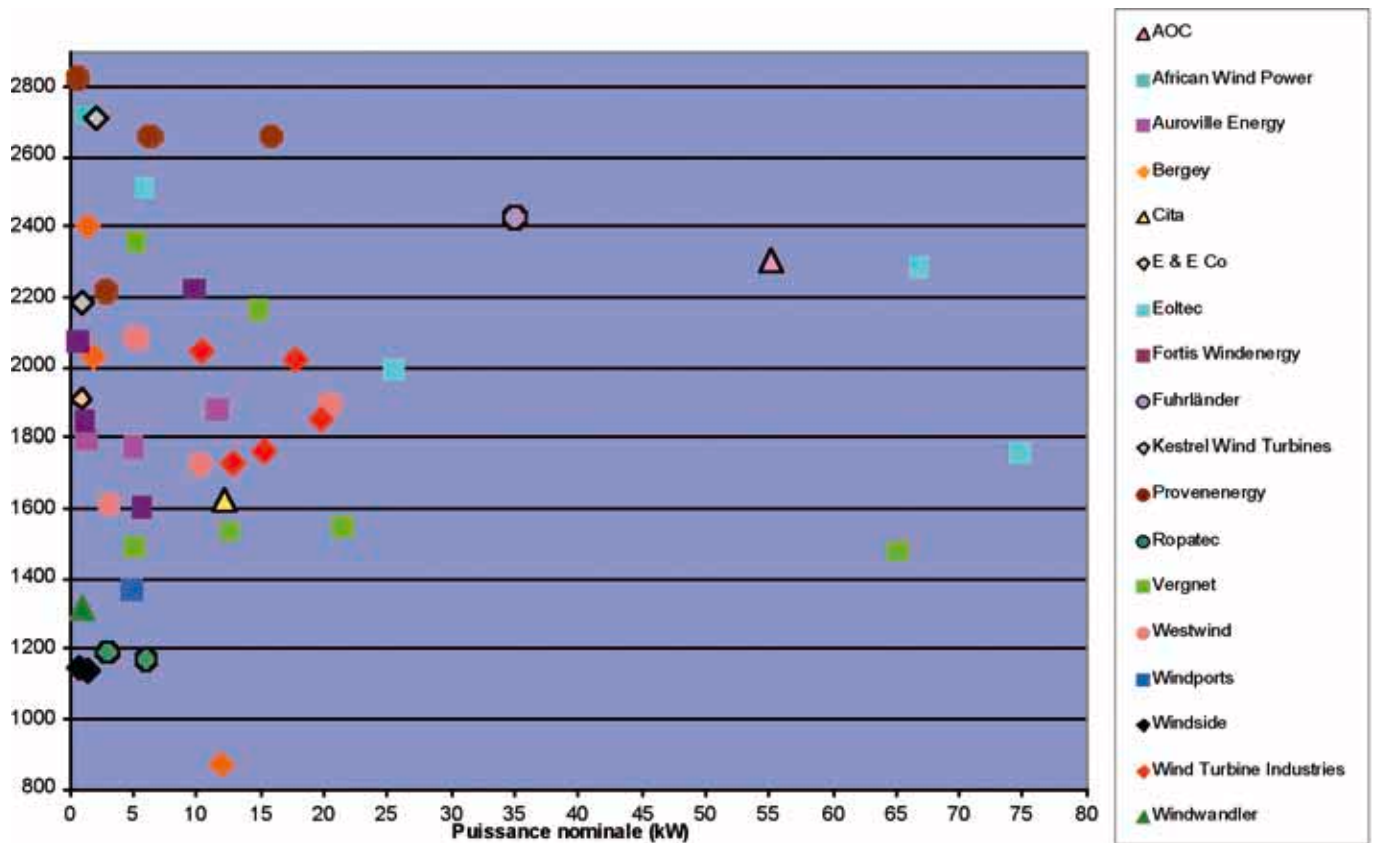
* Cita a cessé son activité de fabrication d'éoliennes fin 2005

Temps de fonctionnement équivalent pleine puissance pour les éoliennes répertoriées

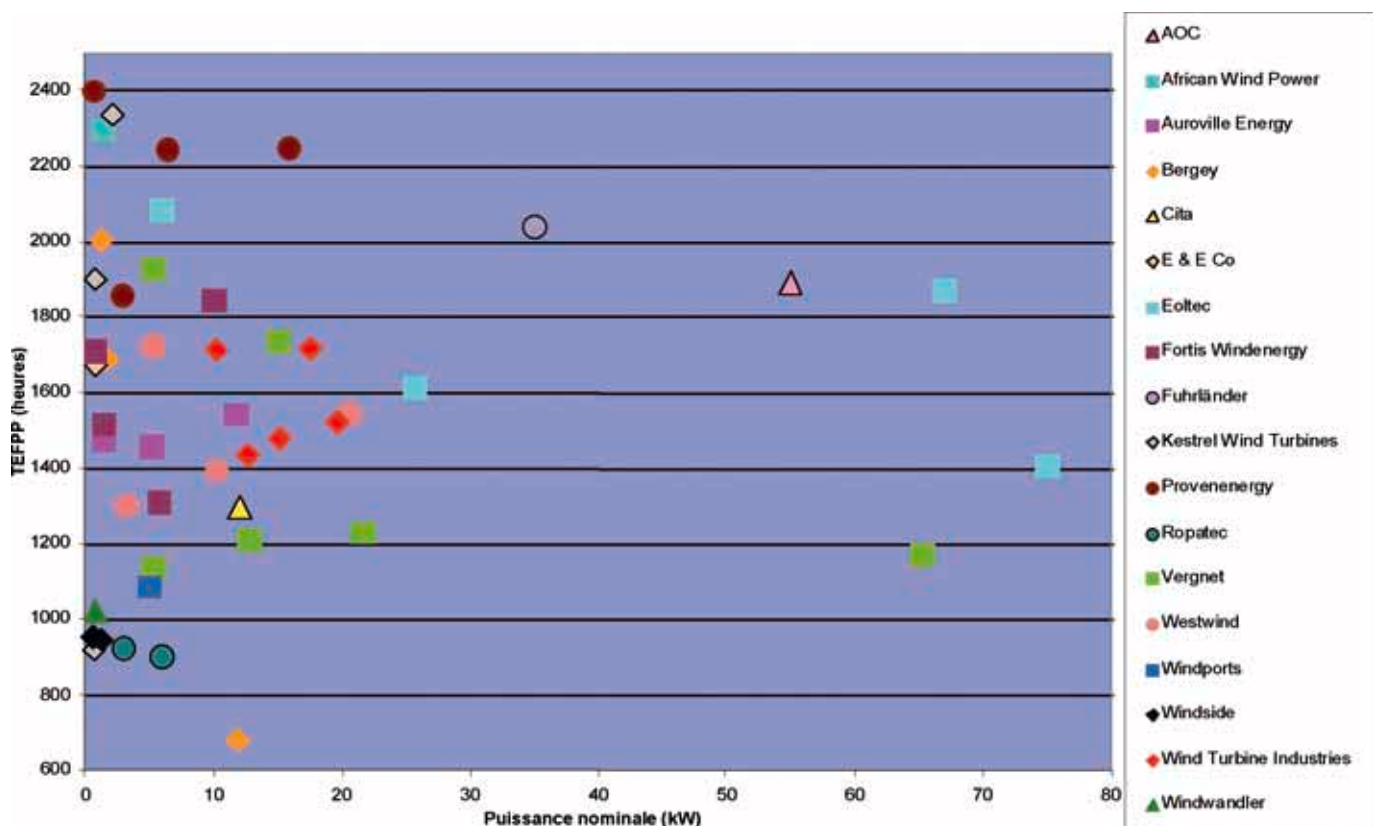


			Vitesse de vent moyen de 5,5 m/s		Vitesse de vent moyen de 6 m/s		Vitesse de vent moyen de 6,5 m/s	
	Marque	Type	TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)	TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)	TEFPP (heures)	Energie produite (kWh)
Eoliennes à axe horizontal	Provenenergy	WT600	2398	1702	2821	2003	3229	2292
		WT2500	1855	5324	2216	6361	2578	7400
		WT6000	2244	14426	2655	17072	3056	19649
		WT15000	2245	35825	2657	42407	3058	48811
	Vergnet	GEV 5/5	1138	6040	1485	7887	1852	9832
		GEV 6/5	1925	10260	2353	12542	2775	14790
		GEV 7/10	1209	15456	1531	19563	1861	23783
		GEV 10/15	1734	26026	2157	32375	2577	38673
		GEV 10/20	1227	26524	1543	33345	1866	40330
		GEV 15/60	1171	76503	1472	96145	1787	116709
		GEV 26/220	1287	282324	1636	358882	1998	438255
	Westwind Energy	3 kW	1301	4137	1611	5123	1925	6121
		5,5 kW	1720	9149	2082	11075	2435	12957
		10 kW	1393	14293	1723	17679	2055	21086
		20 kW	1544	31706	1896	38934	2244	46078
	Wind turbine industrie corporation	23-10 kW	1713	17576	2051	21048	2360	24212
		23-12,5 kW	1436	18161	1738	21988	2019	25545
		26-15 kW	1478	22411	1769	26813	2038	30890
		26-17,5 kW	1716	30135	2023	35520	2302	40428
		29-20 kW	1522	30030	1856	36626	2162	42664
	Windwandler	Windwandler	248	819	320	1056	405	1336

Temps de fonctionnement équivalent pleine puissance pour les éoliennes répertoriées



Temps de fonctionnement pleine puissance des éoliennes répertoriées pour une vitesse moyenne de vent de 6 m/s



Temps de fonctionnement pleine puissance des éoliennes répertoriées pour une vitesse moyenne de vent de 5,5 m/s



3.1.8. Viabilité et maturité technique

Les éoliennes à axe horizontal représentent la technologie la plus éprouvée : nombre d'exemplaires installés élevé, éoliennes les plus anciennement installées depuis plus de 15 ans, durées cumulées de fonctionnement très importantes. Le vrai marché actuel de l'éolien de petite et moyenne puissance est celui de l'électrification de sites isolés. En effet, l'utilisation d'éolienne de petites et moyennes puissance devient très compétitif dès que leur utilisation permet d'éviter la construction de nouvelles lignes électriques d'alimentation et cela même avec des niveaux de vents moyens. Les fabricants d'éoliennes américaines bénéficient ainsi d'un marché intérieur important, indépendant des politiques publiques et qui a permis à certains d'entre eux de s'affirmer comme des leaders mondiaux du secteur. Certains d'entre eux proposent des garanties pouvant aller jusqu'à 5 ans. Les éoliennes à axe horizontal peuvent être considérées comme une technologie éprouvée et fiable, à condition de s'adresser auprès d'un constructeur présentant de nombreuses références.

Aucune éolienne à axe vertical commercialisée ne possède un nombre significatif d'exemplaires commercialisés. La durée d'expérience de ce type de matériel est systématiquement faible. Considérant que les contraintes qui s'exercent sur des éoliennes au cours d'une durée de vie de 15 à 20 ans sont très importantes, le risque d'occurrence de pannes majeures sur des périodes aussi longues, pour ce type de matériel assez nouveau n'est pas à exclure.

Tous les constructeurs d'éoliennes à axe vertical affirment que leur matériel peut être utilisé sur des bâtiments, y compris des bâtiments de très grande taille. Mais aucun ne peut à ce jour, prétendre à un retour d'expérience satisfaisant. **Ce type d'implantation ne peut être envisagé autrement que dans un cadre expérimental et de qualification de matériel.**

Enfin, contrairement à l'éolien de grande puissance, l'utilisation de l'éolien de petite et moyenne puissance est diffus et il n'existe pas de centralisation des cas de pannes de ce type d'éoliennes. Les constructeurs étant la source principale d'information, il est impossible d'obtenir d'eux un jugement objectif de la viabilité de leur produit.



3.2. Analyse économique

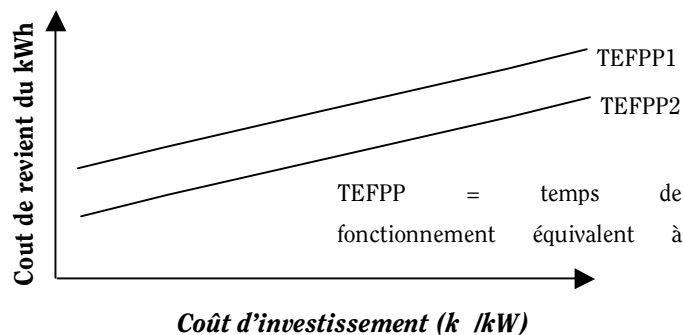
3.2.1. Démarche de l'analyse économique menée

L'objectif de l'analyse économique est de déterminer la viabilité financière de l'investissement réalisé dans une installation éolienne en milieu urbain. Pour arriver à cet objectif :

- le coût des éoliennes et de leur équipement ont été relevés auprès des constructeurs ;
- les autres coûts d'investissement sont estimés (études, équipements électriques, fondations, ...)

pour aboutir pour chaque éolienne à un coût global d'investissement par kW installé.

Par ailleurs une étude générique permet de déterminer le coût de revient du kWh produit par une installation quelconque dont le montant d'investissement et le temps de fonctionnement sont déterminés. Le résultat d'un tel paramétrage prend la forme suivante :



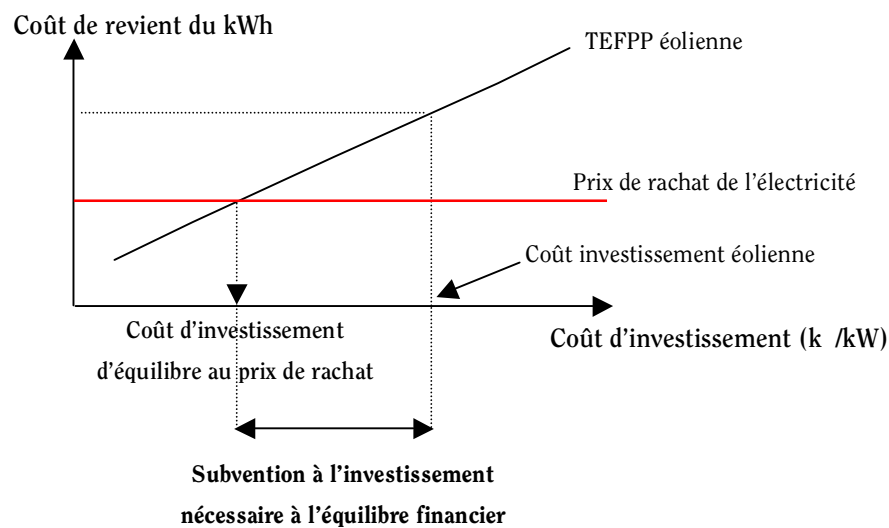
Pour une éolienne donnée, le plan précédent peut être utilisé de diverses manières :

1/ détermination de la rentabilité ou non d'une installation pour un niveau de vent donné.

Le nombre d'heures de fonctionnement équivalent pleine puissance d'une des éoliennes répertoriées est fourni pour un niveau de vent donné par le tableau du §3.1.7. L'installation est alors placée dans le plan précédant en fonction de son temps de fonctionnement équivalent pleine puissance et de son coût d'investissement. En est déduit le coût de revient du kWh produit. Si celui-ci est supérieur au prix du kWh acheté ou évité, l'installation n'est pas rentable. Dans le cas contraire elle est rentable.

2/ détermination du coût de subvention par kW installé nécessaire pour rendre l'installation rentable dans des conditions de prix données.

Le nombre d'heures de fonctionnement équivalent pleine puissance d'une des éoliennes répertoriées est fourni pour un niveau de vent donné par le tableau du §3.1.7. A nombre d'heures de fonctionnement donné, le coût de revient de l'électricité produite dépend du coût d'investissement par kW et évolue sur une droite. L'intersection de cette droite avec le prix d'achat de l'électricité du projet définit le coût d'investissement d'équilibre. Si le coût d'investissement est plus élevé, la différence correspond à un coût de subvention par kW permettant d'assurer l'équilibre financier du projet. La figure suivante illustre cette méthode.



3.2.2. Coût de revient du kWh en fonction de l'investissement

Cette étude générique permet de déterminer le coût de revient du kWh produit par une installation quelconque dont le montant d'investissement et le temps de fonctionnement sont déterminés.

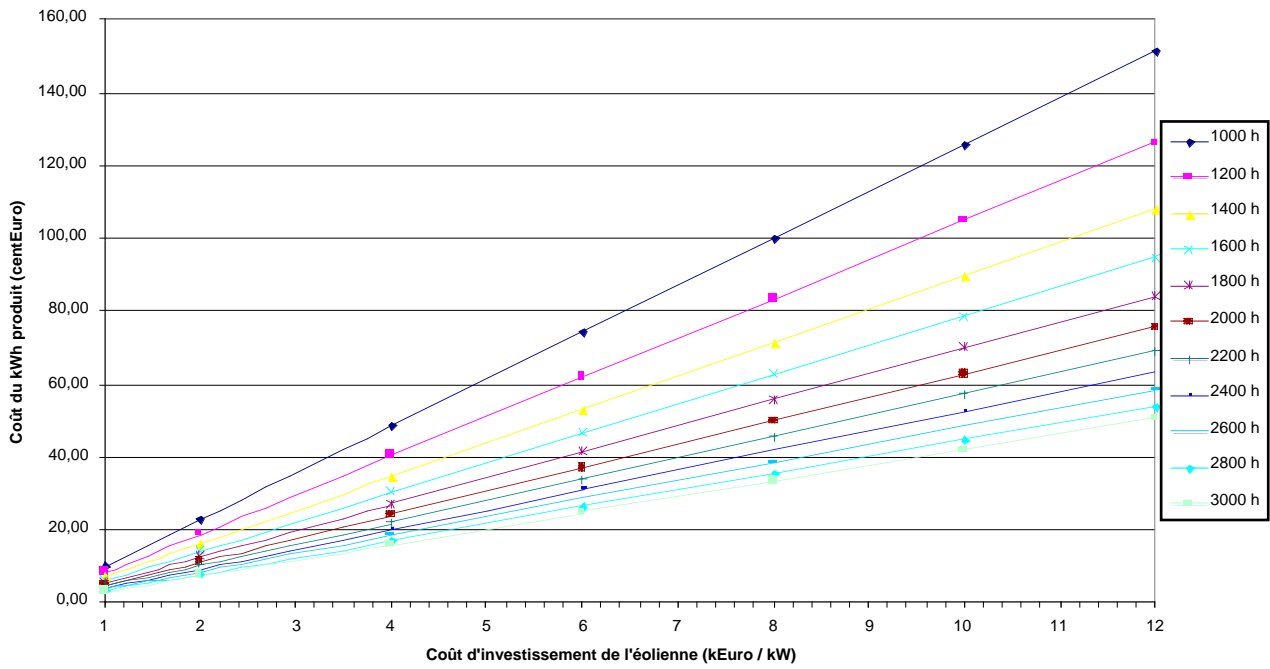
Les hypothèses prises en compte sont :

- un taux d'inflation de 2,5 % ;
- un coût de fonctionnement annuel égal à 3% du coût global d'investissement ;
- la durée de vie du projet est fixée à 15 ans.

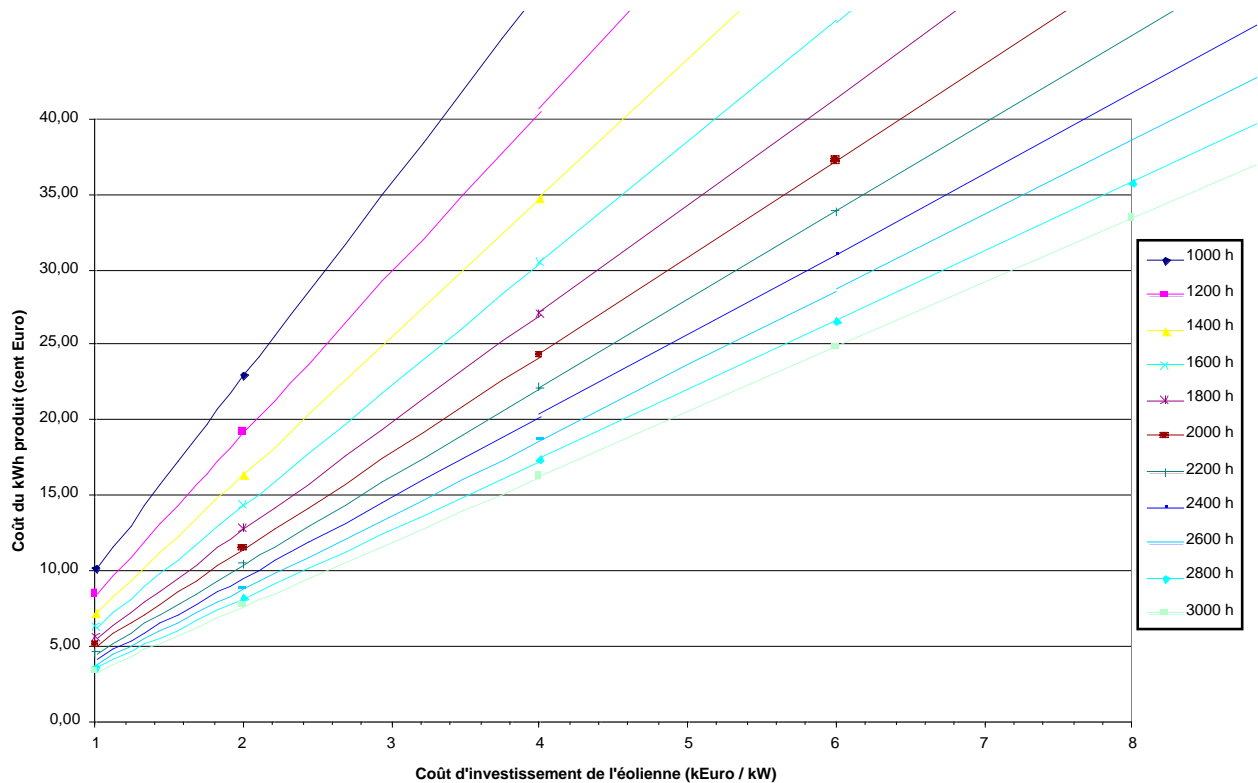
Le modèle utilisé est basé sur un bilan comptable réel de société. Une taxe professionnelle, un impôt sur les bénéfices au taux de 33% et un amortissement sur 5 ans sont des éléments internes au modèle. Ce modèle serait à adapter au cas de la comptabilité publique, ainsi qu'au cas d'un particulier. Dans ce dernier cas, les coûts à considérer doivent être des coûts TTC. Par contre un particulier peut bénéficier d'un crédit d'impôt établi à 50% du coût du matériel (NC la pose et installation) pour 2006.

Avec l'ensemble de ces hypothèses, le coût de revient du kWh est le prix de vente de l'électricité pour lequel la somme des flux financiers du projet sur la durée de celui-ci est égale au montant de l'investissement initial. Ces flux financiers sont non actualisés.

Les graphes suivants fournissent les résultats obtenus pour des durées équivalentes de fonctionnement pleine puissance comprises entre 1000 heures et 3000 heures.



Coût de revient du kWh en fonction du coût d'investissement, pour différentes valeurs de temps de fonctionnement équivalent pleine puissance



Coût de revient du kWh en fonction du coût d'investissement, pour différentes valeurs de temps de fonctionnement équivalent pleine puissance



3.2.3. Coût d'investissement des différentes éoliennes

Le coût global d'investissement dans une ou plusieurs éoliennes intègre :

- les études et le dimensionnement de l'installation ;
- l'obtention des autorisations éventuellement nécessaires pour construire et raccorder au réseau électrique ;
- l'achat du générateur et de sa tour ;
- l'achat des équipements électriques annexes permettant de relier en toute sécurité l'éolienne et le réseau électrique qu'elle alimente ;
- la mise en place et mise en service de l'ensemble du système.

Le coût d'investissement global est déterminé pour les éoliennes pour lesquelles des prix fiables ont été obtenus et pour des éoliennes qui sont réellement en état d'être actuellement produites et commercialisées.



Les éléments de coût recueillis auprès des constructeurs sont fournis dans le tableau suivant.

Société	Type	Prix (Euro)	Composants
AOC	AOC 15/50 50Hz	70110	Turbine, Mât (24m)
Auroville Energy Products	AWS 1500	5572	Turbine, Mât (18, 21 ou 23m), Batterie, Inverter
	AEP 5000	18161	Turbine, Mât, Batterie, Inverter
	AEP 10 000	30122	Turbine, Mât, Batterie, Inverter
Bergey Windpower Company	XL1	2657	Turbine, Mât (20m)
	BWC 1500	4428	Turbine
Eoltec	Sirocco 5,5-6	12000	Turbine
	Windrunner E10-25	30000	Turbine
Fortis Windenergy	Espada 800	4126	Turbine, Mât (12-24m), controller
	Passaat 1400	4747	Turbine, Mât (12-24m), controller
	Montana 5000	12840	Turbine, Mât (18m), controller
	Alize 10 000	47900	Turbine, Mât (18-36m), controller
Furhländer	FL 30	76000	Turbine, Mât (18-27m)
	FL 100	165000	Turbine, Mât (35m)
	FL 250	269000	Turbine, Mât (41,5-50m)
Gual	Statoeolien GSE 4	16000	Tout compris
Kestrel Wind Turbines	Kestrel 600	1711	Turbine, Mât (9m)
	Kestrel 800	2170	Turbine, Mât (9m)
	Kestrel 2000	4400	Turbine, Mât (9m)
	Kestrel 600	1711	Turbine, Mât (9m)
	Kestrel 800	2170	Turbine, Mât (9m)
	Kestrel 2000	4400	Turbine, Mât (9m)
Provenenergy	WT600	4555,2	Turbine, Mât (12m)
	WT2500	9767,4	Turbine, Mât (11m)
	WT6000	16738,9	Turbine, Mât (15m)
	WT15000	33434	Turbine, Mât (15m)
Ropatec	WRE.030	9361	Turbine
	WRE.060	13627	Turbine
Westwind energy	3 kW	14386,08	Turbine, Mât (24m)
	5,5 kW	18542,66	Turbine, Mât (24m)
	10 kW	38214	Turbine, Mât (30m)
	20 kW	59274	Turbine, Mât (30m)
Windports	5 kW	18000	Turbine
Windside	WS-2	13800	Turbine
	WS-4A	26400	Turbine
Windwandler	Windwandler	6000	Turbine
African Wind Power	AWP 36	2911	Turbine, Tour (20 m)



Le coût d'investissement global peut dépendre :

- de la hauteur de moyeu : si la hauteur de moyeu est inférieure à 12 m, il n'est pas nécessaire d'obtenir un permis de construire. Si la hauteur de moyeu est supérieure à 12 m, le permis de construire est obligatoire. Un coût lié aux études supplémentaires nécessaires pour la réalisation d'une notice d'impact est pris en compte (30 000 €). Ce coût est porté à 60 000 € pour les éoliennes d'une puissance supérieure à 50 kW, pour tenir compte d'un investissement plus lourd qui avant d'être entrepris nécessite des études plus approfondies (campagne de mesures de vent par exemple) ;
- de la connexion ou non au réseau électrique. En effet l'équipement électrique à utiliser n'est pas le même selon qu'une option ou l'autre est utilisée. Néanmoins, par soucis de simplification un même coût forfaitaire de raccordement est utilisé et pris égal à 1k €/kW installé pour les puissances inférieures à 36 kW. Ce coût est certainement optimiste. Ne sont pas pris en compte les pertes dues aux charges/décharges batteries et aux marges de dimensionnement dans le cas d'une auto-consommation.
- En cas de connexion au réseau la gestion du dossier de raccordement est une procédure longue et complexe. Le coût associé n'a pas été pris en compte.

Les autres éléments du modèle d'investissement sont :

- 1 k €/kW pour les fondations et la main d'œuvre de montage, jusqu'à 10 kW installé. 0,5 k €/kW entre 10 kW et 36 kW installé ;
- un coût global des équipements électriques, des fondations et de main d'œuvre de montage égal à 50% du coût de l'éolienne et de son mat dans le cas d'une éolienne de puissance supérieure à 36 kW.

3.2.4. Résultats

Les coûts d'investissements issus du §3.2.3 sont placés dans les plans (coût d'investissement, coût de revient du kWh) pour différentes valeurs de potentiel éolien à hauteur de moyeu. Sont ajoutés les droites représentatives des différents prix d'achat possibles de l'électricité :

- Dans le cas d'une puissance installée supérieure à 36 kW, le prix d'achat est celui du grand éolien défini par l'arrêté du 8 juin 2001. Il est représenté à son niveau le plus élevé 8,38 c €/kWh ;
- dans le cas d'une puissance installée inférieure à 36 kW, le prix d'achat est celui de l'abonnement le moins favorable à l'achat et le plus favorable à la vente (puissance souscrite de 3 kW en base) : 10,4 c h.t./kWh.

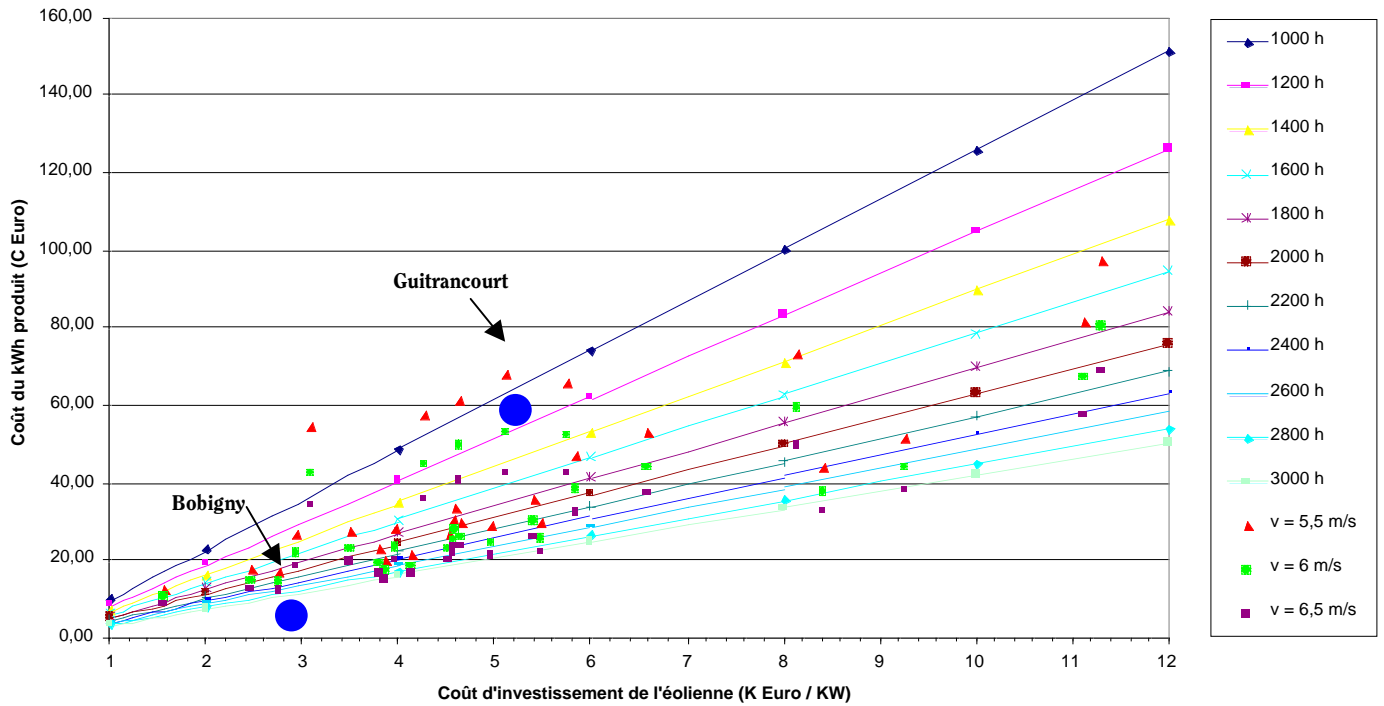
Le potentiel éolien considéré à hauteur de moyeu est de 6,5 m/s, 6 m/s et 5,5 m/s. Par rapport aux valeurs estimées au §3.1.7, ce potentiel éolien est optimiste, en particulier pour les installations de taille réduite avec une hauteur de moyeu faible. Par contre des vitesses entre 5,5 et 6 m/s peuvent être considérées comme potentiellement assez représentatives du gisement qui serait obtenu si les éoliennes analysées étaient placées sur le toit d'un bâtiment de 50 m de haut.



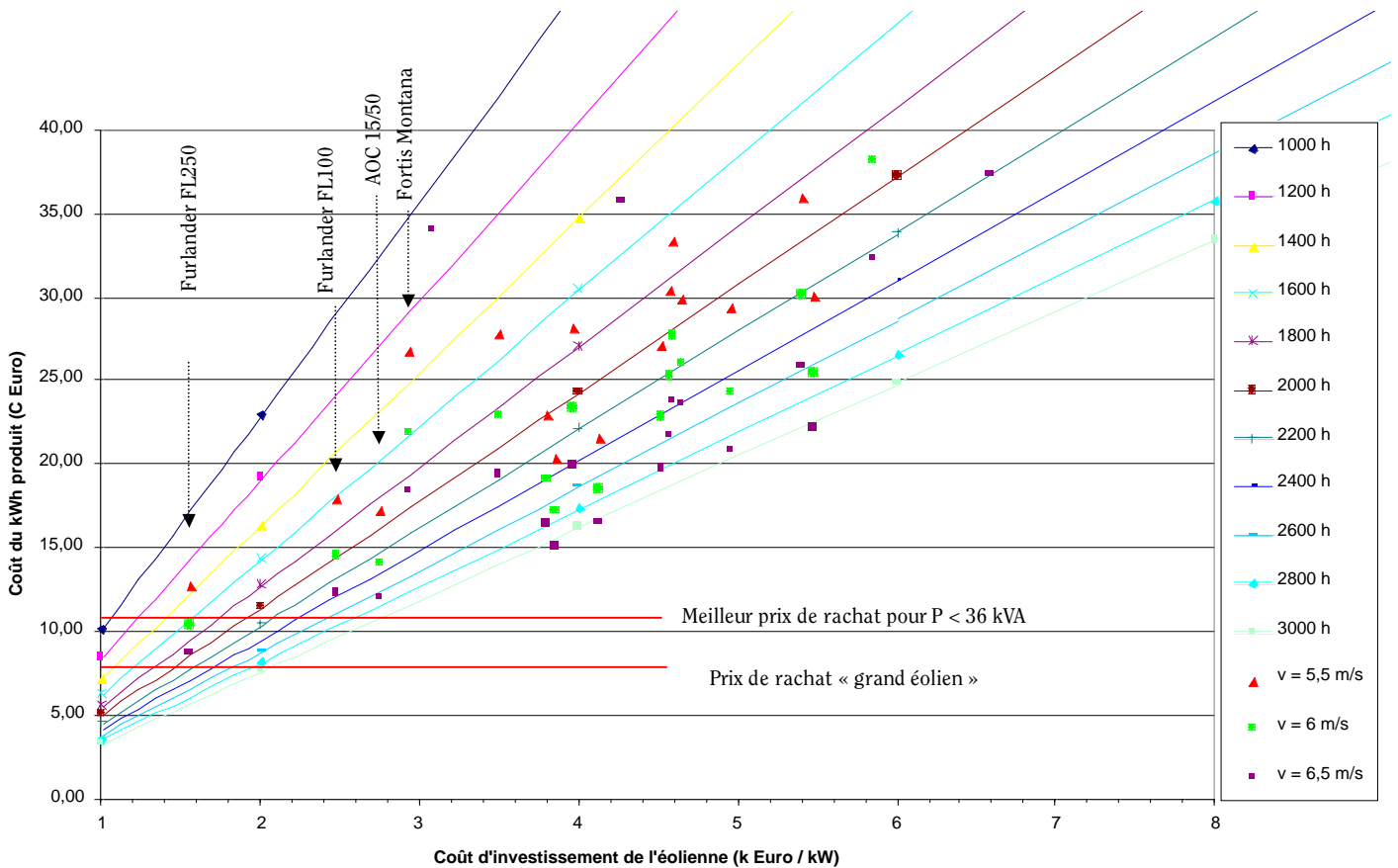
Il apparaît que :

- quelle que soit l'éolienne de petite ou moyenne puissance considérée et quelle que soit sa configuration (raccordée ou non, à plus ou moins de 12 m) le coût de revient du kWh produit est largement plus élevé que le coût d'achat ou évité. Ce mauvais résultat s'explique par un prix du matériel ramené au kW installé élevé et par des frais d'études et d'installation élevés et pour partie indépendants du nombre de kW installés. Ces frais seront d'autant mieux amortis que la puissance installée est importante. Cela explique que les trois installations présentant le coût d'investissement le plus faible soient les trois éoliennes de plus forte puissance (FL 250, FL100 et l'AOC 15/50). Néanmoins, ces éoliennes sont placées sur des mâts d'une hauteur comprise entre 50 m et 24 m. A ces hauteurs, le gisement devrait sensiblement être inférieur au gisement pris en compte pour l'étude économique.
- les éoliennes placées à une hauteur par rapport au sol inférieure ou égale à 12 m ont un gisement faible (de l'ordre de 5 m/s) qui engendre un coût de revient du kWh élevé, au minimum égal à 40 c /kWh ;
- les éoliennes placées à une hauteur supérieure à 12 m, ont un coût d'investissement qui augmente du fait du coût du dépôt du permis de construire. Le coût de revient du kWh produit est alors élevé (40 c /kWh au minimum) même dans des conditions de vent très favorables ;
- les éoliennes placées sur un bâtiment de grande taille et qui ne seraient pas soumises aux coûts liés au dépôt d'un permis de construire présentent dans des conditions de vent favorables un coût de revient du kWh le plus faible de l'ordre de 20 c /kWh. Ce coût est néanmoins le double du prix d'achat le plus favorable. Il augmente pour les éoliennes à axe vertical.
- La loi de finances pour 2006 fixe le crédit d'impôt lié à l'investissement individuel dans des sources de production d'énergie renouvelable à 50% du coût du matériel. Le coût de revient réel d'une telle installation n'est plus que de 70 à 75 % du coût de l'investissement global compris installation . En conséquence, le coût de revient réel d'un investissement dans le petit éolien peut alors se limiter à une valeur comprise entre 1,75 k et 2,5 k par kW installé (hors frais de dépôt de construire). Dans ces conditions, pour une puissance inférieure à 36 kW, la rentabilité est possible sur 15 à 20 ans ans, pour de larges plages de potentiel de site (site présentant un potentiel > 2000 h). Cette viabilité se limite au projet de petites dimensions qui peuvent éviter le dépôt d'un permis de construire. Il faut noter qu'obtenir un potentiel éolien supérieur à 2000 heures à moins de 12 m de hauteur, n'est pas facile en milieu urbain, à cause d'une rugosité importante.
- le niveau des subventions à l'investissement et qui permettrait de le rendre viable pour le porteur de projet dépend entièrement du niveau de vent sur site et du type d'éolienne installée. Il doit être au minimum de 1,5 k /kW installé.

A titre indicatif, les installations de Guitrancourt et Bobigny ont été placées dans le graphique coût d'investissement / coût de revient du kWh produit sur la page suivante.



**Coût de revient du kWh produit pour les différentes éoliennes en fonction du coût d'investissement par kW .
Sont superposées les courbes de temps de fonctionnement équivalent pleine puissance.**



Coût de revient du kWh produit pour les différentes éoliennes en fonction du coût d'investissement par kW. Sont superposées les courbes de temps de fonctionnement équivalent à pleine puissance



3.3. Compatibilité réglementaire

L'implantation d'éoliennes en milieu urbain possède quelques spécificités, avec des conséquences notamment réglementaires.

Tout d'abord, en zone rurale ou industrielle l'implantation d'éoliennes de petite ou grande dimension n'est pas souvent prévue dans les documents d'urbanisme. A fortiori, en milieu urbain l'implantation d'éoliennes n'est jamais prévue. Dès lors, il faut raisonner par analogie avec d'autres équipements comme les pylônes.


La première compatibilité réglementaire à analyser se rapporte aux risques et dangers occasionnés par le fonctionnement des éoliennes, dans ces milieux urbains fréquentés quotidiennement par un grand nombre de personnes.

Mais aucune texte réglementaire ne régit à l'heure actuelle ces dangers. Depuis le début de l'année 2004, le Ministère de l'Industrie travaille, en partenariat avec la profession, à établir des règles. Elles devraient se concrétiser par des distances d'éloignement des tiers fonction de la hauteur d'une éolienne.

La seconde compatibilité à analyser concerne les nombreux usages et usagers des lieux, particulièrement nombreux en milieu urbain, avec les servitudes associées. Mais, au-delà des servitudes, c'est également la règle du « premier arrivé » : le nouvel équipement ou aménagement se doit de respecter les utilisations antérieures des lieux.

La question des éventuelles nuisances sonores est liée à la relative proximité d'un grand nombre de riverains. C'est de nuit, entre 22 heures et 7 heures, où les ambiances sont calmes et l'émergence réglementaire plus sévère, que des contraintes au fonctionnement d'une éolienne peuvent apparaître.

Les questions de l'intégration paysagère peuvent sembler plus simples. En effet étant donné la faible latitude dans le choix d'un site éolien (cf. précédemment) d'une part, et le nombre limité d'éoliennes à implanter sur un même site d'autre part, la réponse des services de l'Etat en charge des questions paysagères sera positive ou négative. Mais elle pourra difficilement être conditionnée à l'étude d'autres variantes, par nature en quantité extrêmement réduite.



ANNEXE I :
Fiches produits



AOC 15/50 50 HZ

Commentaire : éolienne à axe verticale américaine de 60 kW présentée dans sa version 50 Hz (55 kW). Sa conception est proche de celle des éoliennes de grande puissance. Plus de 8 exemplaires sont en fonctionnement à travers le monde (Etats-Unis, Europe, Afrique). La société fabricante a été en liquidation avant d'être rachetée récemment par des investisseurs canadiens.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	65 tr/min
Surface balayée	177 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4,6 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	59,5 m/s
Type de régulation	Stall
Poids	-

Pales	
Longueur	7,2 m
Matériau	Epoxy /Fibre de Verre
Poids	150 kg

Génératrice	
Puissance nominale	60 kw
Tension nominale	400V
Type	3 phases, 4 pôles asynchrone
Vitesse de rotation	1800 tr/min à 60Hz
Poids (rotor + génératrice)	2420 kg

Système d'orientation	
Type	passif

Freinage	
Conception	Frein aérodynamique

Tour / Support	
Hauteur	24 m
Encombrement au sol	-
Poids	3210 kg
Prix catalogue	-

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	Plus de 8
Prix catalogue	70110 dollars (turbine et tour)
Durée de garantie	N.C.
Certification	IEC 61400
Maintenance : Semi annuelle	

Fabricant Atlantic Orient Corp.
www.aocwind.net

Fournisseur -

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	0
5	1360
6	10450
7	18630
8	27270
9	35910
10	40910
11	45380
12	49230
13	51920
14	53460
15	55000
16	54230
17	53080
18	52310
19	51540
20	50770
21	50150
22	49800
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



Auroville - AWS 1500

Commentaire : éolienne à axe horizontal. Uniquement installée en Inde. Voir site : www.aurovillewindsystems.com.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	150-450 tr/mn
Surface balayée	7,07m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,3 m/s
Vent d'arrêt	-
Vent extrême	55 m/s
Type de régulation	Régulation passive
Poids	85 kg

Pales	
Longueur	1,5 m
Matériau	N.C.
Poids	-

Génératrice	
Puissance nominale	1,5 kW
Tension nominale	24/48 V
Type	Permanent Magnet
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	-

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	Freinage absent

Tour / Support	
Hauteur	18 m, 21 m et 23 m
Encombrement au sol	-
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	5130
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

Fabricant Auroville Energy Product, Inde

Fournisseur -

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	40
5	120
6	210
7	340
8	480
9	640
10	800
11	900
12	1200
13	1390
14	1500
15	1470
16	340
17	300
18	320
19	340
20	360
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



(Turbine, tour, onduleur)

Mise à jour : 17/03/2004



AUROVILLE - AEP 5000

Commentaire : éolienne à axe horizontal. Uniquement installée en Inde. Voir site : www.aurovillewindsystems.com.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	19,63 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,3 m/s
Vent d'arrêt	-
Vent extrême	55 m/s
Type de régulation	Régulation passive
Poids	280 kg

Pales	
Longueur	2,5 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	5 kW
Tension nominale	24/48 V
Type	Permanent Magnet Alternator
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	Freinage absent

Tour / Support	
Hauteur	18 m, 21 m et 23 m
Encombrement au sol	-
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	Au moins 3
Prix catalogue	15600
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

Fabricant Auroville Energy Product, Inde

Fournisseur -

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	170
5	420
6	750
7	1080
8	1580
9	2080
10	2670
11	3500
12	4080
13	4670
14	5000
15	5000
16	1170
17	1000
18	1080
19	1160
20	1200
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



(Turbine, Tour, Batterie, Inverter)

Mise à jour : 17/03/2004



AURIVILLE - AEP 10000

Commentaire : éolienne à axe horizontal. Uniquement installée en Inde. Voir site : www.aurovillewindsystems.com.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	38,48 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,3 m/s
Vent d'arrêt	-
Vent extrême	55 m/s
Type de régulation	Régulation passive
Poids	480 kg

Pales	
Longueur	3,5 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	10 kW
Tension nominale	24/48 V
Type	Permanent Magnet Alternator
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	Pas de freinage

Tour / Support	
Hauteur	18 m, 21 m et 23 m
Encombrement au sol	-
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	Au moins 3
Prix catalogue	28500
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

Fabricant Auroville Energy Product, Inde

Fournisseur -

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	360
5	1000
6	2000
7	2800
8	3600
9	5180
10	6540
11	8000
12	9640
13	11450
14	11820
15	11450
16	6000
17	4450
18	2720
19	2910
20	3090
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie-

Photographie



(Turbine, Tour, Batterie, Inverter)

Mise à jour : 17/03/2004



BERGEY - XL1

Commentaire : éolienne parmi les plus utilisées du marché. Essentiellement destinée à l'alimentation de batteries ou au pompage de l'eau. Voir site Internet : www.bergey.com.

Rotor		Fabricant	Bergey Windpower Co.
Type de rotor	Axe horizontal		USA
Nombre de pales	3	Fournisseur	N.C.
Vitesse de rotation	0/490 tr/mn	Caractéristiques de puissance	
Surface balayée	4,91 m ²	Vitesse vent	Puissance*
Hauteur/Largeur	-	[m/s]	[W]
Vent de démarrage	3 m/s	3	25
Vent d'arrêt	N.C.	4	60
Vent extrême	54 m/s	5	130
Type de régulation	Régulation passive	6	250
Poids	N.C.	7	385
		8	530
		9	720
		10	890
		11	1080
		12	1200
		13	1225
		14	1200
		15	1150
		16	1090
		17	1030
		18	990
		19	925
		20	900
		21	-
		22	-
		23	-
		24	-
		25	-
		* puissance non garantie	
Pales			
Longueur	1,25 m		
Matériau	N.C.		
Poids	N.C.		
Génératrice			
Puissance nominale	1 kW		
Tension nominale	24 VDC Nominal		
Type	Permanent Magnet Alternator		
Vitesse de rotation	N.C.		
Poids	N.C.		
Système d'orientation			
Type	Passif par gouvernail arrière		
Freinage			
Conception	Passif, mise en drapeau		
Tour / Support			
Hauteur	9, 13, 20, 26, 32 m		
Encombrement au sol	-		
Poids	N.C.		
Prix catalogue	566; 808; 894; 1075; 1345		
Autres			
Nombre d'exemplaires installés	>15		
Prix catalogue	2100 (Turbine)		
Durée de garantie	5 ans		
Certification	N.C.		

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



BERGEY - BWC 1500

Commentaire : éolienne parmi les plus utilisées du marché. Essentiellement destinée à l'alimentation de batteries ou au pompage de l'eau. Voir site Internet : www.bergey.com.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	4,91 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,6 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	54 m/s
Type de régulation	Powerflex
Poids	76 kg

Pales	
Longueur	1,5 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	1,5 kW
Tension nominale	24V
Type	Permanent Magnet Alternator
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	Passif, mise en drapeau

Tour / Support	
Hauteur	9, 13, 20, 26, 32 m
Encombrement au sol	-
Poids	N.C.
Prix catalogue	1270; 1820; 2012; 2400; 3026

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	>15
Prix catalogue	4428 (turbine)
Durée de garantie	5 ans
Certification	N.C.

Fabricant	Bergey Windpower Co.	USA
Fournisseur		N.C.

Caractéristiques de puissance		
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]	
3		0
4		50
5		160
6		300
7		460
8		640
9		820
10		1030
11		1260
12		1500
13		1620
14		1710
15		1660
16		400
17		350
18		390
19		-
20		-
21		-
22		-
23		-
24		-

* puissance non garantie

Photographie




Mise à jour : 17/03/2004



BERGEY - EXCEL-S

Commentaire : nous émettons des doutes sur la viabilité de la courbe de puissance jointe. Eolienne parmi les plus utilisées du marché. Usage varié : charge de batteries, pompage d'eau, connexion au réseau. Voir site Internet : www.bergey.com.

Rotor		Fabricant	Bergey Windpower Co.
Type de rotor	Axe horizontal		USA
Nombre de pales	3	Fournisseur	N.C.
Vitesse de rotation	310 tr/min	Caractéristiques de puissance	
Surface balayée	38,48 m ²	Vitesse vent	Puissance*
Hauteur/Largeur	3 m/2,2 m	[m/s]	[W]
Vent de démarrage	3,4 m/s	3	0
Vent d'arrêt	N.C.	4	70
Vent extrême	54 m/s	5	350
Type de régulation	Powerflex	6	710
Poids	N.C.	7	1070
Pales		8	1640
Longueur	3 m	9	2210
Matériau	N.C.	10	3140
Poids	N.C.	11	4000
Génératrice		12	5070
Puissance nominale	10 kW	13	6050
Tension nominale	24 V	14	7210
Type	Permanent Magnet Alternator	15	8350
Vitesse de rotation	-	16	9570
Poids	-	17	10710
Système d'orientation		18	11500
Type	Passif par gouvernail arrière	19	11930
Freinage		20	11850
Conception	Passif, mise en drapeau	21	11570
Tour / Support		22	11110
Hauteur	9, 13, 20, 26, 32 m	23	10640
Encombrement au sol	-	24	10280
Poids	N.C.	25	-
Prix catalogue	N.C.	* puissance non garantie	
Autres		Photographie	
Nombre d'exemplaires installés	>40, depuis 1988		
Prix catalogue	18878 (turbine)		
Durée de garantie	5 ans		
Certification par	California Energy Commission		

Mise à jour : 17/03/2004



E & E Co. – HW – 5A

Commentaire : éolienne potentiellement intéressante par l'addition des systèmes de type Savonius et Darrieus. Pas de contact en Europe. Nombre d'exemplaires commercialisés inconnu.

Rotor	
Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	-
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	N.C.
Hauteur/Largeur	2,55 m x 2 m
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	25 m/s
Vent extrême	60 m/s.
Type de régulation	N.C.
Poids (ensemble)	330 kg.

Pales	
Hauteur	2 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	500 W
Tension nominale	12V, 100V, 200 V
Type	N.C.
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Aucun

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	N.C.
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	2000 .
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

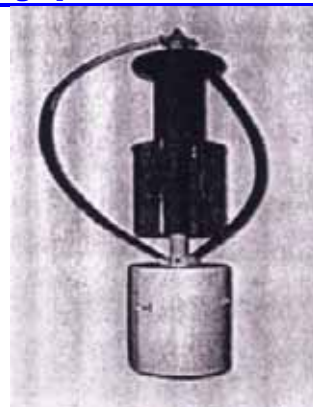
Fabricant	E & E Co., Japon www.eande.jp
Fournisseur	Inexistant en Europe

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	60
4	80
5	120
6	150
7	180
8	220
9	260
10	305
11	360
12	420
13	500
14	660
15	750
16	750
17	750
18	750
19	750
20	750
21	750
22	750
23	750
24	750
25	750

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



EOLTEC - SIROCCO 5.5-6

Commentaire : constructeur français. Eolienne bipale. Aucune éolienne visible en France. Une éolienne en fonctionnement à l'étranger (Ecosse). Néanmoins commercialisée.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	80-245 tr/min
Surface balayée	23,76 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	Inférieure à 3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	Décrochage
Poids	202 kg

Pales	
Longueur	2,75 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	6 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Synchrone, entraînement direct
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passive par gouvernail aval

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18, 24, 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.
Maintenance :inspection annuelle	

Fabricant Eoltec – Nice - France
www.eoltec.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	140
4	340
5	670
6	1160
7	1810
8	2710
9	3820
10	5000
11	5700
12	6000
13	6000
14	6000
15	6000
16	6000
17	6000
18	6000
19	6000
20	6000
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



EOLTEC - WINDRUNNER E10-25

Commentaire : constructeur français. Un prototype à venir. Non commercialisée.

Rotor	
Type de rotor	www.eoltec.com
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	46-140 tr/min
Surface balayée	78,6 m ²
Hauteur/Largeur	6
Vent de démarrage	2,8 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	Décrochage
Poids	670 kg (rotor + génératrice)

Pales	
Longueur	5 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	25 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Synchrone, entraînement direct
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Actif par servomoteur et reducteur

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18, 24, 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	1
Prix catalogue	30 000
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Eoltec – Nice - France
www.eoltec.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	400
4	1000
5	2000
6	3500
7	5500
8	8200
9	11700
10	16100
11	21400
12	25000
13	25000
14	25000
15	25000
16	25000
17	25000
18	25000
19	25000
20	25000
21	-
22	-
23	-
24	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



EOLTEC - CHINOOK 17-65

Commentaire : éolienne non développée.

Rotor	
Type de rotor	www.eoltec.com
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	25-75 tr/min
Surface balayée	227 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	50 m/s
Type de régulation	Décrochage
Poids	1450 kg (rotor + génératrice)

Pales	
Longueur	8,5 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	65 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Synchrone, entraînement direct
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Actif par servomoteur et reducteur

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	32, 40 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	0.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Eoltec – Nice - France
www.eoltec.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	1200
4	3000
5	6100
6	10800
7	17200
8	26000
9	38000
10	52000
11	65000
12	65000
13	65000
14	65000
15	65000
16	65000
17	65000
18	65000
19	65000
20	65000
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



EOLTEC - CHINOOK 15-75

Commentaire : éolienne non développée.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	28-85 tr/min
Surface balayée	176,7 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	Décrochage
Poids	1410 kg (rotor + génératrice)

Pales	
Longueur	7,5 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Généralité	
Puissance nominale	75 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Synchrone, entraînement direct
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Actif par servomoteur et reducteur

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	32, 40 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	0
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Eoltec – Nice - France
www.eoltec.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	1000
4	2500
5	5000
6	8600
7	13500
8	20400
9	29100
10	40000
11	53100
12	70000
13	75000
14	75000
15	75000
16	75000
17	75000
18	75000
19	75000
20	75000
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FORTIS - ESPADA 800

Commentaire : Fortis est une société néerlandaise créée en 1997. Un des leaders européens dans la fourniture d'éoliennes de petite puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	3,8 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,1 m
Matériau	Fibre de verre et epoxy
Poids	N.C.

Génératrice			
Puissance nominale		800 W	
Tension nominale		230 V	
Type	Permanent magnet	Sycom	
Vitesse de rotation		240 – 1000 tr/min	
Poids		N.C.	

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	12-24 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (de la tête de la tour)	52 kg
Prix catalogue (de la tête de la	2651

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	1475
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Fortis - Pays Bas
	www.fortiswindenergy.com
Fournisseur	N.C.

Caractéristiques de puissance		
Vitesse vent [m/s]	Puissance*	
	[W]	
3	0	
4	30	
5	70	
6	130	
7	200	
8	280	
9	380	
10	470	
11	550	
12	600	
13	640	
14	680	
15	720	
16	740	
17	750	
18	750	
19	750	
20	740	
21	720	
22	700	
23	680	
24	660	
25	640	

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FORTIS - PASSAAT 1400

Commentaire : Fortis est une société néerlandaise créée en 1997. Un des leaders européens dans la fourniture d'éoliennes de petite puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	7,65 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,5 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	1400 W
Tension nominale	N.C.
Type	Permanent magnet Sycom
Vitesse de rotation	180 – 775 tr/min
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	12-24 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (de la tête de la tour)	75 kg
Prix catalogue (de la tête de la	2651

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	2096
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Fortis – Pays Bas
www.fortiswindenergy.com
Fournisseur N.C.

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	40
5	120
6	230
7	350
8	460
9	600
10	730
11	890
12	1020
13	1150
14	1290
15	1380
16	1400
17	1400
18	1400
19	1380
20	1360
21	1300
22	1250
23	1210
24	1180
25	1170

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FORTIS - MONTANA 5000

Commentaire : Fortis est une société néerlandaise créée en 1997. Un des leaders européens dans la fourniture d'éoliennes de petite puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	19,62 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	2,4 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice			
Puissance nominale	5800 W		
Tension nominale	N.C.		
Type	Permanent	magnet	Sycom
Vitesse de rotation	120 – 450 tr/min		
Poids	N.C.		

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (de la tête de la tour)	280 kg
Prix catalogue (de la tête de la	7435

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	5405
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Fortis – Pays-Bas
	www.fortiswindenergy.com
Fournisseur	N.C.

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	90
4	220
5	440
6	720
7	1110
8	1440
9	2000
10	2690
11	3310
12	3870
13	4380
14	4880
15	5390
16	5690
17	5780
18	5690
19	5390
20	4880
21	4500
22	4000
23	3690
24	3600
25	3690

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FORTIS - ALIZE 10000

Commentaire : Fortis est une société néerlandaise créée en 1997. Un des leaders européens dans la fourniture d'éoliennes de petite puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	38,5 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	3,3 m
Matériau	Fibre de verre et Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice			
Puissance nominale	10000 W		
Tension nominale	N.C.		
Type	Permanent	magnet	Sycom
Vitesse de rotation	25 – 300 tr/min		
Poids	N.C.		

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18 - 36 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (de la tête de la tour)	500 kg
Prix catalogue (de la tête de la	22200

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	25700
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Fortis – Pays-Bas
	www.fortiswindenergy.com
Fournisseur	N.C.

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	500
5	1000
6	1800
7	2700
8	4000
9	5200
10	6700
11	8500
12	9800
13	10000
14	10000
15	9800
16	3850
17	3200
18	3300
19	3400
20	3500
21	3700
22	3850
23	4050
24	4400
25	4650

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FUHRLÄNDER - FL30

Commentaire : éolienne fiable commercialisée depuis 15 ans.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	47/71 tr/min
Surface balayée	133 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	55 m/s
Type de régulation	stall
Poids	640 kg

Pales	
Longueur	6,5 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	30 kW
Tension nominale	400 V (50/60 Hz)
Type	asynchrone à commutation de
Vitesse de rotation	1.000 / 1.500
Poids (nacelle)	1200 kg

Système d'orientation	
Type	moto-réducteur

Freinage	
Conception	Frein à disque

Tour / Support	
Hauteur	18/27 m (mât en
Encombrement au sol	N.C.
Poids	2100/3000 kg
Prix catalogue	-

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	8
Prix catalogue	76 000 (turbine+mât)
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Fuhrlander –Allemagne
	www.fuhrlander.de
Fournisseur	aucun

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	420
4	1630
5	3550
6	6900
7	11920
8	16940
9	21950
10	26140
11	28000
12	30000
13	30000
14	31150
15	31150
16	33040
17	35100
18	32200
19	28230
20	25930
21	25090
22	24460
23	25090
24	25090
25	25510

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FUHLÄNDER - FL100

Commentaire : éolienne proche des éoliennes de grande puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	32/47 tr/min
Surface balayée	346 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	67 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	2300 kg

Pales	
Longueur	10,5 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	100 kW
Tension nominale	400 V (50/60 Hz)
Type	asynchrone à commutation de
Vitesse de rotation	1.000 / 1.500
Poids (nacelle)	4600 kg

Système d'orientation	
Type	N.C.

Freinage	
Conception	Frein à disque

Tour / Support	
Hauteur	35 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	18000 kg
Prix catalogue	-

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	20
Prix catalogue	165 000 (turbine + mat)
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Fuhrländer - Allemagne
www.fuhrländer.de

Fournisseur aucun

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	1080
4	2160
5	7950
6	17350
7	29640
8	44820
9	62890
10	78070
11	93970
12	107710
13	118550
14	124340
15	121440
16	120000
17	112050
18	106990
19	101200
20	96870
21	96140
22	95000
23	93990
24	96870
25	101200

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



FUHLÄNDER - FL250

Commentaire : éolienne identique au niveau technologique des éoliennes de grande puissance.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	29/39 tr/min
Surface balayée	683 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	67 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	4900 kg

Pales	
Longueur	14,75 m
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	250 kW
Tension nominale	400 V (50/60 Hz)
Type	asynchrone à commutation de
Vitesse de rotation	750/1.000 tr/min
Poids (nacelle)	9800 kg

Système d'orientation	
Type	N.C.

Freinage	
Conception	Frein à disque

Tour / Support	
Hauteur	41,5/50 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	27.000/32.000 kg
Prix catalogue	-

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	36
Prix catalogue	269 000 (turbine + mat)
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Fuhrlander - Allemagne
Fournisseur	www.fuhrlander.de aucun

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	1510
4	6060
5	24240
6	33330
7	57580
8	89390
9	124240
10	157580
11	184850
12	216670
13	219700
14	236360
15	246970
16	253030
17	266670
18	272730
19	287880
20	296970
21	296970
22	290910
23	281820
24	275760
25	269700

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



GUAL - STATOEOLIEN GSE 4

Commentaire : éolienne à axe vertical s'intégrant sur tout types de bâtiments (privés, collectifs, commerciaux, administratifs, industriels, buildings, ...)

Rotor

Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	Stator : 12 Rotor : 8
Vitesse de rotation	De 0 à 120 tr/min
Surface balayée	6 m ²
Hauteur/Largeur	1m50 / 4m00
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	50 m/s
Vent extrême	70 m/s
Type de régulation	électronique
Poids	500 Kg

Pales

Longueur	1m50
Matériau	PVC ou acier ou inox
Poids	Stator : 3 Kg Rotor : 7 Kg

Génératrice

Puissance nominale	P maxi : 13500 W
Tension nominale	N.C.
Type	Synchrone aimants permanents
Vitesse de rotation	N.C.
Poids génératrice	80 kg

Système d'orientation

Type	Aucun
------	-------

Freinage

Conception	Electronique, mécanique +
------------	---------------------------

Tour / Support

Hauteur	Support urbain
Encombrement au sol	25 m ²
Poids (tour et support)	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	5 ans
Certification	Normes CE

Fabricant

GUAL Industrie – France
Tél : 04 68 64 31 05
www.gual-industrie.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
2	0
4	80
5	150
8	510
10	700
12	990
14	1190
15	1320
16	1510
18	1800
20	3070
22	3400
24	3920
25	4400
28	5400
30	6000
35	8000
40	10000

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 06/01/2006



KESTREL 600

Commentaire :

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	6
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	1,13 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	33,3 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	0,6 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	600 W
Tension nominale	12, 24, 36, 48 V
Type	Permanent magnet 5 phases
Vitesse de rotation (turbine)	800 tr/min
Poids (turbine totale)	21 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	6, 9, 12 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	500, 700, 1500

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	1011
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.
Maintenance : Inspection visuelle périodique	

Fabricant	Kestrel Wind Turbines Afrique du Sud
Fournisseur	aucun www.kestrelwind.co.za

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	9
4	18
5	36
6	54
7	80
8	110
9	150
10	210
11	270
12	340
13	430
14	500
15	550
16	590
17	615
18	630
19	640
20	647
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



KESTREL 800

Commentaire :

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	3,8 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	38,9 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,1 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	800 W
Tension nominale	12, 24, 36, 48 V
Type	Permanent magnet 5 phases
Vitesse de rotation (turbine)	1100 tr/min
Poids (turbine totale)	25 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	6, 9, 12 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	500, 700, 1500

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	1470
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.
Maintenance : Inspection visuelle périodique	

Fabricant	Kestrel Wind Turbines Afrique du Sud
Fournisseur	aucun www.kestrelwind.co.za

Caractéristiques de puissance		
	Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
	3	10
	4	40
	5	100
	6	170
	7	270
	8	370
	9	470
	10	590
	11	710
	12	790
	13	-
	14	-
	15	-
	16	-
	17	-
	18	-
	19	-
	20	-
	21	-
	22	-
	23	-
	24	-
	25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



KESTREL 2000

Commentaire :

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	10,18 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	38,9 m/s
Type de régulation	?
Poids	?

Pales	
Longueur	1,8 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	?

Génératrice	
Puissance nominale	2000 W
Tension nominale	12, 24, 36, 48 V
Type	Permanent magnet 5 phases
Vitesse de rotation (turbine)	400 tr/min
Poids (turbine totale)	80 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	9 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	1800

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	2600
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.
Maintenance : Inspection visuelle périodique	

Fabricant	Kestrel Wind Turbines Afrique du Sud
Fournisseur	aucun www.kestrelwind.co.za

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	30
4	120
5	280
6	520
7	800
8	1130
9	1430
10	1800
11	2070
12	1920
13	2030
14	1930
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



PROVEN - WT600

Commentaire : éolienne multi-usages avec fournitures possibles « en kit » de l'ensemble du système nécessaire à la connexion au réseau.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	5,11 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	65 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,28 m
Matériau	Polypropylène
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	600 W
Tension nominale	12, 24, 48 V
Type	Permanent magnet
Vitesse de rotation	500 tr/min
Poids	70 kg

Système d'orientation	
Type	N.C.

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	5,5 ou 12 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	120 ou 350 kg
Prix catalogue	1525,70 ou 1861,50

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	2693,70
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant	Provenenergy
	UK
Fournisseur	aucun
	www.provenenergy.com

Caractéristiques de puissance		
	Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
	3	20
	4	60
	5	120
	6	190
	7	250
	8	360
	9	480
	10	610
	11	670
	12	710
	13	700
	14	680
	15	675
	16	675
	17	675
	18	675
	19	675
	20	675
	21	-
	22	-
	23	-
	24	-
	25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



PROVEN - WT2500

Commentaire : éolienne multi-usages avec fournitures possibles « en kit » de l'ensemble du système nécessaire à la connexion au réseau.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	9,62 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	65 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,75 m
Matériau	Polypropylène
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	2500 W
Tension nominale	24, 48 V
Type	Permanent magnet
Vitesse de rotation	300 tr/min
Poids	190 kg

Système d'orientation	
Type	N.C.

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	6,5 ou 11 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	241 ou 445 kg
Prix catalogue	2372,50 ou 4431,10

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	5336,30
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Provenenergy
UK

Fournisseur
www.provenenergy.com

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	70
4	180
5	360
6	560
7	770
8	1090
9	1450
10	1840
11	2180
12	2450
13	2700
14	2800
15	2870
16	2800
17	2730
18	2730
19	2730
20	2730
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



PROVEN - WT6000

Commentaire : éolienne multi-usages avec fournitures possibles « en kit » de l'ensemble du système nécessaire à la connexion au réseau.

Rotor		Fabricant	Provenenergy
Type de rotor	Axe horizontal		UK
Nombre de pales	3	Fournisseur	
Vitesse de rotation	N.C.		www.provenenergy.com
Surface balayée	23,75 m ²	Caractéristiques de puissance	
Hauteur/Largeur	-	Vitesse vent	Puissance*
Vent de démarrage	2 m/s	[m/s]	[W]
Vent d'arrêt	N.C.	3	200
Vent extrême	65 m/s	4	530
Type de régulation	N.C.	5	1000
Poids	N.C.	6	1570
		7	2130
		8	3000
		9	4000
		10	5070
		11	6000
		12	6400
		13	6400
		14	6270
		15	6170
		16	6070
		17	6070
		18	6070
		19	6070
		20	6070
		21	-
		22	-
		23	-
		24	-
		25	-
		* puissance non garantie	
Pales			
Longueur	2,75 m		
Matériau	Bois/Epoxy		
Poids	N.C.		
Génératrice			
Puissance nominale	6000 W		
Tension nominale	48 V		
Type	Permanent magnet		
Vitesse de rotation	200 tr/min		
Poids	500 kg		
Système d'orientation			
Type	N.C.		
Freinage			
Conception	N.C.		
Tour / Support			
Hauteur	9 ou 15 m		
Encombrement au sol	N.C.		
Poids	360 ou 656 kg		
Prix catalogue	4285,10 ou 5402		
Autres			
Nombre d'exemplaires installés	N.C.		
Prix catalogue	11336,90		
Durée de garantie	N.C.		
Certification	N.C.		



Mise à jour : 17/03/2004



PROVEN - WT15000

Commentaire : éolienne multi-usages avec fournitures possibles « en kit » de l'ensemble du système nécessaire à la connexion au réseau.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	63,62 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	65 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	4,5 m
Matériau	Fibre de verre/Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	15000 W
Tension nominale	48 V
Type	Permanent magnet
Vitesse de rotation	160 tr/min
Poids	1100 kg

Système d'orientation	
Type	N.C.

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	15 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	1200 kg
Prix catalogue	11680

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	21754
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Provenenergy
UK

Fournisseur
www.provenenergy.com

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	400
4	1280
5	2460
6	3840
7	5320
8	7490
9	9950
10	12610
11	14870
12	15860
13	15860
14	15460
15	15360
16	14970
17	14970
18	14970
19	14970
20	14970
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



ROPATEC - WRE.030

Commentaire : éolienne peu efficace

Rotor

Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	
Vitesse de rotation	90 tr/min
Surface balayée	7,26 m ²
Hauteur/Largeur	3,3 m x 2,2 m
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	75 m/s
Type de régulation	autorégulé aérodynamiquement
Poids	430 kg

Pales

Longueur	1,65 m
Matériau	acier
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	3000 W
Tension nominale	48 V
Type	Multi pôles excités permanent
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	-
------	---

Freinage

Conception	non nécessaire
------------	----------------

Tour / Support

Hauteur	8, 12, 20 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	9361
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

Fabricant

Ropatec, Italie
www.ropatec.com

Fournisseur

Krug sarl - Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	20
4	60
5	125
6	210
7	330
8	500
9	710
10	1040
11	1375
12	1830
13	2300
14	3000
15	3000
16	3000
17	3000
18	3000
19	3000
20	3000
21	3000
22	3000
23	3000
24	3000
25	3000

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



ROPATEC - WRE.060

Commentaire : éolienne peu efficace

Rotor	
Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	
Vitesse de rotation	90 tr/min
Surface balayée	14,52 m ²
Hauteur/Largeur	3,3 m x 4,4 m
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	75 m/s
Type de régulation	autorégulé aérodynamiquement
Poids	700 kg

Pales	
Longueur	1,65 m
Matériau	acier
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	6000 W
Tension nominale	48 V
Type	Multi pôles excités permanent
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	-

Freinage	
Conception	non nécessaire

Tour / Support	
Hauteur	8, 12 , 20 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	13627
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

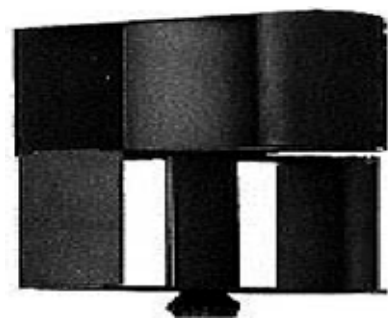
Fabricant	Ropatec, Italie www.ropatec.com
Fournisseur	Krug sarl - Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	40
4	120
5	200
6	410
7	650
8	980
9	1390
10	2040
11	2860
12	3760
13	4690
14	5880
15	6000
16	6000
17	6000
18	6000
19	6000
20	6000
21	6000
22	6000
23	6000
24	6000
25	6000

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 5/5

Commentaire : éolienne à axe horizontal bi-pales, multi-usages.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	259 tr/min
Surface balayée	19,63 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	2,5 m
Matériau	Bois/Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	5000 W
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	410 kg

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	12 ou 18 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	590 ou 790 kg
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran – France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance	
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	0
5	70
6	320
7	710
8	1350
9	1950
10	2710
11	3720
12	4520
13	5000
14	5280
15	5310
16	5280
17	5260
18	5240
19	5150
20	5090
21	5050
22	5000
23	4930
24	4860
25	4780

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 6/5

Commentaire : éolienne à axe horizontal bi-pales, multi-usages.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	213 tr/min
Surface balayée	28,27 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	3 m
Matériau	Bois/Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	5000 W
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	410 kg

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	12 ou 18 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	590 ou 790 kg
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran – France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	80
5	360
6	930
7	1650
8	2540
9	3430
10	4000
11	4710
12	5000
13	5220
14	5330
15	5310
16	5280
17	5260
18	5240
19	5110
20	5040
21	4970
22	4900
23	4820
24	4710
25	4640

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 7/10

Commentaire : éolienne à axe horizontal bi-pales, multi-usages.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	135 ou 150 tr/min
Surface balayée	38,48 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	5,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	3,5 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	10 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	550 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18, 24 ou 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	1480, 1880 ou
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran - France
Tél : 02 38 52 39 70

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	0
5	0
6	1220
7	2440
8	3780
9	5170
10	6560
11	7830
12	9000
13	10110
14	10890
15	11670
16	12220
17	12660
18	12780
19	12780
20	12780
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 10/15

Commentaire : éolienne à axe horizontal bi-pales, multi-usages.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	139 tr/min
Surface balayée	78,54 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	5 m
Matériau	Composite carbone
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	15 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	570 kg

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18, 24 ou 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	1480, 1880 ou
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran - France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance	
Vitesse [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	0
5	490
6	1850
7	4290
8	6590
9	8680
10	11020
11	12980
12	14440
13	15010
14	15010
15	15010
16	15010
17	15010
18	15010
19	15010
20	15010
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 10/20

Commentaire : éolienne à axe horizontal bi-pales, multi-usages.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	139 tr/min
Surface balayée	78,54 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	5 m
Matériau	Composite carbone
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	20 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	620 kg

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	18, 24 ou 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	1480, 1880 ou
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran – France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance	
Vitesse [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	0
5	480
6	1850
7	4190
8	6610
9	8870
10	11050
11	12900
12	14840
13	16450
14	18060
15	19190
16	20240
17	20970
18	21450
19	21610
20	21580
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 15/60

Commentaire : éolienne bi-pales, à mat basculant pouvant être implantée en zone cyclonique.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	92 tr/min
Surface balayée	176,71 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	4 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	7,5 m
Matériau	Composite fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	60 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	2400 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	24, 30 ou 40 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	3400, 4100 ou
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran - France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	640
5	2130
6	5740
7	10640
8	17020
9	24260
10	31490
11	38720
12	46170
13	52130
14	58300
15	62130
16	64900
17	65320
18	65320
19	65100
20	64890
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



VERGNET - GEV 26/220

Commentaire : éolienne bi-pales, à mat basculant pouvant être implantée en zone cyclonique.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	51 tr/min
Surface balayée	530,93 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	52 m/s
Type de régulation	Décrochage aérodynamique
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	13 m
Matériau	Fibre de verre/Epoxy
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	220 kW
Tension nominale	N.C.
Type	Asynchrone IP55
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (nacelle, pale,	7400 kg

Système d'orientation	
Type	Passif

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	50 ou 60 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids (tour et support)	9600 kg
Prix catalogue	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Vergnet – Saran - France
Tél : 02 38 52 39 70
www.vergnet.fr

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	1500
5	9000
6	20900
7	37310
8	58200
9	83580
10	120900
11	158300
12	189550
13	201490
14	209700
15	214930
16	217910
17	219400
18	219400
19	217160
20	214180
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WESTWIND - 3 KW

Commentaire : constructeur leader sur le marché australien.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	150 - 900 tr/min
Surface balayée	10,75 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	190 kg

Pales

Longueur	1,85 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	3 kW
Tension nominale	48, 96, 110, 120 V
Type	3 Phase Star Connected
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	N.C.
------------	------

Tour / Support

Hauteur	18 ou 24 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	6294,32 ou 7561,22

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	6824,86
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Westwind Energy , Australie

www.westwind.com.au

Fournisseur Krug sarl, Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	20
4	110
5	190
6	330
7	580
8	820
9	1190
10	1600
11	2000
12	2390
13	2730
14	2980
15	3140
16	3140
17	3000
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WESTWIND - 5.5 KW

Commentaire : constructeur leader sur le marché australien.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	120 - 750 tr/min
Surface balayée	20,43 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	3 m/s
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	200 kg

Pales

Longueur	2,55 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	5,5 kW
Tension nominale	48, 96, 110, 120 V
Type	3 Phase Star Connected
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	N.C.
------------	------

Tour / Support

Hauteur	24 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	7561,22

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	10981,44
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Westwind Energy , Australie

www.westwind.com.au

Fournisseur Krug sarl, Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	40
4	190
5	460
6	920
7	1400
8	2000
9	2670
10	3390
11	4000
12	4590
13	4960
14	5220
15	5320
16	5220
17	5160
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie

N.C.

Mise à jour : 17/03/2004



WESTWIND - 10 KW

Commentaire : constructeur leader sur le marché australien.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	110 - 600 tr/min
Surface balayée	30,19 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	380 kg

Pales

Longueur	3,1 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	10 kW
Tension nominale	110, 120 V
Type	3 Phase Star Connected
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	N.C.
------------	------

Tour / Support

Hauteur	18, 24 ou 30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	9148, 13884 ou 18642

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	19572
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Westwind Energy , Australie

www.westwind.com.au

Fournisseur Krug sarl, Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	130
4	340
5	610
6	1260
7	1840
8	2890
9	4210
10	5580
11	7100
12	8360
13	9340
14	10000
15	10260
16	10000
17	10000
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WESTWIND - 20 KW

Commentaire : constructeur leader sur le marché australien.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	70 - 160 tr/min
Surface balayée	30,19 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	380 kg

Pales

Longueur	5,2 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	20 kW
Tension nominale	110, 120 V
Type	3 Phase Star Connected
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	N.C.
------------	------

Tour / Support

Hauteur	30 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	21504

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	37770
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant Westwind Energy , Australie

www.westwind.com.au

Fournisseur Krug sarl, Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	130
4	530
5	1320
6	2900
7	4730
8	6970
9	9470
10	12100
11	15260
12	17300
13	18950
14	20000
15	20260
16	20000
17	20000
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie

N.C.

Mise à jour : 17/03/2004



Windports 5 kW

Commentaire : éolienne installée à un seul exemplaire. Bien adaptée aux toits d'immeuble, ce concept n'a néanmoins pas été validé dans ce type d'environnement. Un exemplaire doit être installé prochainement au Japon sur un bâtiment de 50 étages.

Rotor	
Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	-
Vitesse de rotation	15-160 tr/mn
Surface balayée	N.C.
Hauteur/Largeur	4,13 m / 4,4 m
Vent de démarrage	1,8 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	55,5 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids (ss arbre de	1000 kg

Pales	
Longueur	-
Matériau	Matériaux composites
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	5 kW
Tension nominale	N.C.
Type	N.C.
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Aucun

Freinage	
Conception	N.C.

Tour / Support	
Hauteur	N.C.
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	1.
Prix catalogue	17500
Durée de garantie	2 ans.
Certification	N.C.

Fabricant Windports, Canada
www.windports.com

Fournisseur Aucun en France

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	315
5	315
6	390
7	660
8	1050
9	1450
10	1840
11	2360
12	3030
13	3680
14	4600
15	5530
16	6450
17	7630
18	8680
19	10000
20	11710
21	13420
22	15260
23	16970
24	19470
25	21840

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WINDSIDE - WS-2

Commentaire : éolienne verticale, résiste à des conditions extrêmes (températures, vent, humidité). Produit jusqu'à 60m/s. Connexion réseau et charge de batteries. Très peu bruyante.

Rotor	
Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	2 m ²
Hauteur/Largeur	2,7 m / 1 m
Vent de démarrage	2,0 m/s
Vent d'arrêt	Aucun
Vent extrême	60 m/s
Type de régulation	électronique
Poids total	380 kg

Pales	
Longueur	2760mm x 1020mm.
Matériau	Acier / composite
Poids	20 kg

Génératrice	
Puissance nominale	2000 W
Tension nominale	1-400 V/12,24,48 V
Type	Aimants permanents.
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (total de l'éolienne)	400.

Système d'orientation	
Type	Non Requis

Freinage	
Conception	électronique

Tour / Support	
Hauteur	Défini par le besoin
Encombrement au sol	Selon implantation.
Poids	N.C.
Prix catalogue	Sur étude.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	20 dans 7 pays
Prix catalogue	Sur devis
Durée de garantie	3 ans.
Certification	CE.

Fabricant	Windside - Finlande www.windside.com
Fournisseur	Cap-EnR www.cap-enr.com

Caractéristiques de puissance		
Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]	
3	10	
4	20	
5	35	
6	50	
7	75	
8	105	
9	150	
10	200	
11	275	
12	350	
13	450	
14	600	
15	750	
16	-	
17	-	
18	-	
19	-	
20	-	
21	-	
22	-	
23	-	
24	-	
25	-	

Photographie



Mise à jour : 19/04/2006



WINDSIDE - WS-4

Commentaire : éolienne verticale, résiste à des conditions extrêmes (températures, vent, humidité). Produit jusqu'à 60m/s. Connexion réseau et charge de batteries. Très peu bruyante.

Rotor	
Type de rotor	Axe vertical
Nombre de pales	2
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	4 m ²
Hauteur/Largeur	4760/1020 mm
Vent de démarrage	1,5 m/s
Vent d'arrêt	aucun.
Vent extrême	60 m/s.
Type de régulation	électronique.
Poids	660 kg.

Pales	
Longueur	4760/1020 mm -
Matériau	Acier / composite.
Poids	40 kg

Génératrice	
Puissance nominale	1500 W
Tension nominale	1-400 V/12,24,48 V
Type	Aimants permanents.
Vitesse de rotation	N.C.
Poids (total de l'éolienne)	700 kg

Système d'orientation	
Type	Non Requis

Freinage	
Conception	électronique.

Tour / Support	
Hauteur	Défini par le besoin
Encombrement au sol	Selon implantation.
Poids	N.C.
Prix catalogue	Sur étude.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	15 dans 6 pays.
Prix catalogue	Sur devis
Durée de garantie	3 ans
Certification	CE.

Fabricant	Windside - Finlande www.windside.com
Fournisseur	Cap-EnR www.cap-enr.com

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	20
4	40
5	70
6	100
7	150
8	210
9	300
10	400
11	550
12	700
13	900
14	1200
15	1500
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

Photographie



Mise à jour : 19/04/2006



WIND TURBINE IND. - 23-10 KW

Commentaire : éolienne reprenant la marque Jacobs.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	195 tr/min
Surface balayée	42,5 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	53 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	1900 lbs

Pales

Longueur	3,68 m
Matériau	Bois laminé
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	10 kW
Tension nominale	40-180 VAC
Type	Synchrone 3 Phases
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	Disque manuel
------------	---------------

Tour / Support

Hauteur	26, 32, 39 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	4300, 6200, 8200
Prix catalogue (génératrice + tour)	23502, 25002, 26839

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	1 an
Certification	N.C.

Fabricant Wind Turbines Industries, USA
www.windturbine.net

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	340
4	570
5	910
6	1480
7	2230
8	3370
9	4900
10	7180
11	9920
12	10260
13	10260
14	10260
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WIND TURBINE IND. - 23-12,5 KW

Commentaire : éolienne reprenant la marque Jacobs.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	205 tr/min
Surface balayée	42,5 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	53 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	1900 lbs

Pales	
Longueur	3,68 m
Matériau	Bois laminé
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	12,5 kW
Tension nominale	40-180 VAC
Type	Synchrone 3 Phases
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	Disque manuel

Tour / Support	
Hauteur	26, 32, 39 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	4300, 6200, 8200
Prix catalogue (génératrice + tour)	23502, 25002, 26839

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	1 an
Certification	N.C.

Fabricant Wind Turbines Industries,USA
www.windturbine.net

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	340
4	570
5	910
6	1480
7	2230
8	3370
9	4900
10	7180
11	9920
12	12650
13	12650
14	12650
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WIND TURBINE IND. - 26-15 KW

Commentaire : éolienne reprenant la marque Jacobs.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	205 tr/min
Surface balayée	54,37 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	53 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	1900 lbs

Pales

Longueur	4,16 m
Matériau	Bois laminé
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	15 kW
Tension nominale	40-180 VAC
Type	Synchrone 3 Phases
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	Disque manuel
------------	---------------

Tour / Support

Hauteur	26, 32, 39 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	4300, 6200, 8200
Prix catalogue (génératrice + tour)	23502, 25002, 26839

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	1 an
Certification	N.C.

Fabricant Wind Turbines Industries, USA
www.windturbine.net

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	570
4	800
5	1250
6	1890
7	2740
8	4220
9	6040
10	8550
11	10260
12	14480
13	15160
14	15160
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WIND TURBINE IND.26-17,5 KW

Commentaire : éolienne reprenant la marque Jacobs.

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	195 tr/min
Surface balayée	54,37 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	53 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	1900 lbs

Pales	
Longueur	4,16 m
Matériau	Bois laminé
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	17,5 kW
Tension nominale	40-180 VAC
Type	Synchrone 3 Phases
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	Disque manuel

Tour / Support	
Hauteur	26, 32, 39 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	4300, 6200, 8200
Prix catalogue (génératrice + tour)	23502, 25002, 26839

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	1 an
Certification	N.C.

Fabricant Wind Turbines Industries,USA
www.windturbine.net

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	800
4	1140
5	1940
6	2850
7	4100
8	5700
9	8000
10	10830
11	13790
12	17560
13	17560
14	17560
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WIND TURBINE IND.29-20 KW

Commentaire : éolienne reprenant la marque Jacobs.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	175 tr/min
Surface balayée	67,64 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	53 m/s
Type de régulation	N.C.
Poids	2500 lbs

Pales

Longueur	4,64 m
Matériau	Fibre de verre
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	20 kW
Tension nominale	40-180 VAC
Type	Synchrone 3 Phases
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation

Type	Passif par gouvernail arrière
------	-------------------------------

Freinage

Conception	Disque manuel
------------	---------------

Tour / Support

Hauteur	26, 32, 39 m
Encombrement au sol	N.C.
Poids	4300, 6200, 8200
Prix catalogue (génératrice + tour)	23502, 25002, 26839

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	1 an
Certification	N.C.

Fabricant Wind Turbines Industries,USA
www.windturbine.net

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	0
4	530
5	1120
6	2400
7	4130
8	6530
9	9200
10	12800
11	17200
12	19730
13	19730
14	19730
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



WINDWANDLER

Commentaire : éolienne originale et « design » mais la courbe de puissance montre une éolienne peu efficace.

Rotor

Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	
Vitesse de rotation	N.C.
Surface balayée	N.C.
Hauteur/Largeur	1390/1000 mm
Vent de démarrage	2,5 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	N.C.
Type de régulation	N.C.
Poids	N.C.

Pales

Longueur	-
Matériau	N.C.
Poids	N.C.

Génératrice

Puissance nominale	800 W
Tension nominale	N.C.
Type	N.C.
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	45 kg

Système d'orientation

Type	Aucun
------	-------

Freinage

Conception	N.C.
------------	------

Tour / Support

Hauteur	N.C.
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.
Prix catalogue	N.C.

Autres

Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	6000
Durée de garantie	N.C.
Certification	N.C.

Fabricant

Windwandler, Allemagne
www.windwandler.de

Fournisseur

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	6
4	18
5	45
6	70
7	110
8	150
9	200
10	250
11	350
12	500
13	675
14	850
15	1010
16	1175
17	1360
18	1550
19	1760
20	2100
21	2690
22	3300
23	3300
24	3300
25	3300

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



AWP 36

Commentaire :

Rotor	
Type de rotor	Axe horizontal
Nombre de pales	3
Vitesse de rotation	700 - 850 tr/min
Surface balayée	10,18 m ²
Hauteur/Largeur	-
Vent de démarrage	3 m/s
Vent d'arrêt	N.C.
Vent extrême	50 m/s
Type de régulation	Safran pivotant
Poids	N.C.

Pales	
Longueur	1,8 m
Matériau	Matériaux composites
Poids	N.C.

Génératrice	
Puissance nominale	1 kW
Tension nominale	12, 24, 36, 48, 110, 220 ou 3P
Type	Synchrone, aimants perm. , Néodymium
Vitesse de rotation	N.C.
Poids	N.C.

Système d'orientation	
Type	Passif par gouvernail arrière

Freinage	
Conception	Aucun

Tour / Support	
Hauteur	9, 13, 16, 25 ou 32
Encombrement au sol	N.C.
Poids	N.C.

Autres	
Nombre d'exemplaires installés	N.C.
Prix catalogue	N.C.
Durée de garantie	2 ans
Certification	N.C.

Fabricant AfricanWindPower -

Fournisseur Krug sarl - Limoux

Caractéristiques de puissance

Vitesse vent [m/s]	Puissance* [W]
3	15
4	90
5	210
6	310
7	450
8	720
9	910
10	1120
11	1260
12	1330
13	1310
14	1160
15	1030
16	940
17	850
18	770
19	710
20	650
21	570
22	510
23	420
24	330
25	110

* puissance non garantie

Photographie



Mise à jour : 17/03/2004



ANNEXE II :
Fiches opérations
de référence



Lycée Léonard de Vinci – Calais (Nord, France)

Synthèse du projet

Une éolienne a été implantée dans le lycée HQE Léonard de Vinci de Calais. Ce lycée s'est lancé dans une démarche HQE afin de limiter sa consommation énergétique, produire une partie de l'énergie nécessaire à son fonctionnement grâce à l'installation d'une éolienne, d'une cogénération et de cellules photovoltaïques.

Installée et en fonctionnement depuis quatre ans l'éolienne est au cœur d'un espace de vie : les cuisines du lycée sont sous l'éolienne, les premières salles de classe sont à quelques dizaines de mètres. Aucun usager, ni association de parents d'élèves ne s'est plaint de gênes ou n'a exprimé d'inquiétudes relatives à cette éolienne.

Les habitations les plus proches sont à environ 300 m de l'éolienne.

Eolienne installée / puissance

Puissance installée : 130 kW. Hauteur de moyeu : 35 m. Longueur de pale : environ 10 m.

Energie produite / performances

La production d'énergie attendue au départ était de 150 000 kWh/an, soit un temps de fonctionnement équivalent plein puissance de 1150 heures. Le productible annuel moyen enregistré a été de 155 900 kWh. La vitesse moyenne attendue à hauteur de moyeu est de 6 m/s.

Coûts

Le coût du projet a été de 160 000 €.

Contact - Image

Daniel Delsart, Maison de l'environnement

Parc Ziegler

106, avenue du Casino BP21

59941 Dunkerque cedex 2

Tél. : 03 28 20 30 40

Fax : 03 28 20 30 39

mail : dk-envir@netinfo.fr





Maison d'accueil de Bobigny (France)

Synthèse du projet

Trois éoliennes Fortis de 6 KW sont installées à proximité de l'entrée de la maison d'accueil du parc départemental de la Bergère. Celles-ci sont placées sur des pylônes basculables à 9 m de haut. Elles sont à quelques mètres du hall d'entrée et d'accueil du public et à quelques dizaines de mètres des premiers bureaux. L'énergie produite est stockée et auto-consommée en alternance avec le courant électrique du réseau. Le projet est d'abord une proposition d'architecte.

Ce projet d'éoliennes n'a pas fait l'objet de démarches administratives particulières. Le permis de construire a été demandé en même temps que celui du bâtiment.

Eolienne installée / puissance

Puissance installée : 18 kW. Hauteur de moyeu : 9 m. Longueur de pale : environ 2,5 m.

Energie produite / performances

Le productible prédit n'a pas été communiqué. Aucun bilan énergétique n'est encore disponible.

L'estimée grossière du productible à attendre de cette installation est au maximum de l'ordre de 1100 heures de fonctionnement équivalent à pleine puissance.

A ce jour l'installation n'a pas été réceptionnée pour des problèmes de basculement batteries / réseau électrique.

Coûts

Le coût du projet a été de 51 260 €, financé entièrement par le conseil général de Seine Saint-Denis.

Contact - Image

Thierry Morin

Service Espaces Verts

Tél. : 01 43 93 98 20





Parc éolien de Donzère (Drome, France)

Synthèse du projet

Proposé dans le cadre du programme « Eole 2005 » le parc éolien de Donzère est en fonctionnement depuis 1999. 5 éoliennes Nordex de 750 kW sont en fonctionnement. Ce site se caractérise par sa très grande proximité de l'autoroute A7 et par l'implantation de bâtiments industriels avec du personnel au pied des éoliennes.

Eolienne installée / puissance

Puissance installée : 3,75 MW. Hauteur de moyeu : 50 m. Longueur de pale : environ 23 m.

Energie produite / performances

N.C.

Coûts

N.C.

Contact - Image





Mantes en Yvelines – Guitrancourt (Yvelines, France)

Synthèse du projet

Une éolienne a été implantée sur la commune de Guitrancourt. Elle est placée à 625 m des premières habitations sur un domaine de traitement des déchets de la société EMTA (centre d'enfouissement de déchets). La Communauté d'Agglomération de Mantas en Yvelines est propriétaire du terrain.

Eolienne installée / puissance

Eolienne VERGNET bipale, GEV 15-60

Puissance nominale : 60 kW

Longueur des pales : 7,5 m

Hauteur du mat : 40 m

Energie produite / performances

La production d'énergie attendue est de 51 500 kWh/an.

Coûts

Le coût total de l'installation de l'éolienne s'élève à un montant de 283 913

Les subventions sont :

- 60 000 par la Région Ile de France
- 90 000 par le département des Yvelines.

Avec ces éléments, le cout de revient du kWh produit est supérieur à 50 c .

Contact - Image





Immeuble collectif – Equihen-Plage (Pas-de-Calais, France)

Synthèse du projet

Le projet est soutenu par le FRAMEE (Conseil Régional Nord-Pas de Calais et ADEME Nord Pas de Calais).

Le projet d'Equihen Plage sur la Résidence Grand Air de Pas de Calais Habitat a pour objectif de suivre les performances de l'installation sur une période de 12 mois. Pour la première éolienne urbaine installée sur un bâtiment collectif en France, le bureau d'études H2 Développement a choisi pour le maître d'ouvrage Pas de Calais Habitat une éolienne à axe vertical placée horizontalement sur un châssis auto-portant.

Son installation est facile puisqu'il suffit de poser la structure sur des plots béton installés sur la toiture terrasse. Le rotor (en fait deux rotors) entraîne une génératrice à vitesse variable raccordée au réseau au travers d'un onduleur (pour fournir du courant à fréquence constante). L'ensemble de la mécanique est très simple, facile d'accès et légère (pales en carbone, vitesse de rotation lente), l'essentiel du poids étant dû au support qui stabilise l'ensemble.

Eolienne installée / puissance

Eolienne WindWall BV (Hollande)

Puissance nominale : 6 kW

2 rotors de 5 m de long et 2,8 m de diamètre

Energie produite / performances

La production annuelle estimée est de 7 à 8 000 kWh.

Contact - Image

H2 Développement

10 rue du Marché

59000 Lille – France

Tél. : 33 (0)328 524 853

www.h2-developpement.fr

h2@h2-developpement.fr





Catchgate Primary School – Durham (UK)

Synthèse du projet

Une éolienne de 20 kW a été implantée dans l'enceinte de l'école primaire de Catchgate au Royaume Uni. Cette éolienne a été installée pour produire une partie de sa consommation énergétique, mais elle joue aussi un rôle éducatif.

Eolienne installée / puissance

Marque GAZELLE à 3 pales, type 20 kW.

Longueur de pale : 5,3 m

Hauteur du mat : 14,5 m

Energie produite / performances

La production se fait en 400/415 Volts, triphasé

La production est de 50 000 kWh/an avec un vent de 6,5 m/s

Coûts

Non communiqué

Contact - Image

www.catchgate-durham.sch.uk





Wandsword - UK

Synthèse du projet

Le but de ce projet est de montrer qu'il est possible d'intégrer des énergies renouvelables comme les éoliennes de petite ou moyenne puissance pour produire une partie de l'énergie nécessaire aux établissements tertiaires.

Eolienne installée / puissance

Marque Provenenergy, type WT6000

Puissance nominale : 6 kW

Longueur de pale : 2,75 m

Hauteur du mat : 15 m

Energie produite / performances

La production d'énergie attendue est de 17 072 kWh/an pour une vitesse de vent de 6m/s et de 11 798 kWh/an pour un vent de 5 m/s

Coûts

Non communiqué

Contact - Image

Barbara Peen : 01908 852925

Shaun Harley : 01908 853828





Hornchurch - UK

Synthèse du projet

Le but de ce projet était de créer un site qui utilise les énergies renouvelables comme le solaire photovoltaïque, l'énergie verte et enfin l'éolien. Ainsi, 3 éoliennes ont été implantées à proximité immédiate de la station service BP de Hornchurch.

Eolienne installée / puissance

Marque Provenenergy, type WT6000

Puissance nominale : 6 kW

Longueur de pale : 2,75 m

Hauteur du mat : 15 m

Energie produite / performances

La production d'énergie obtenue par les 3 éoliennes est de 123 kWh/jour ce qui représente 44 920 kWh/an

Coûts

Non communiqué

Contact - Image

Barbara Peen : 01908 852925

Shaun Harley : 01908 853828





Cumbernauld Primary School - Ecosse

Synthèse du projet

Le but de projet est de montrer qu'il est possible d'intégrer des énergies renouvelables comme les éoliennes de petites ou moyenne puissance dans le milieu urbain.

Eolienne installée / puissance

Marque Provenenergy, type WT6000

Puissance nominale : 6 kW

Longueur de pale : 2,75 m

Hauteur du mat : 15 m

Distance au premier bâtiment : 30 m.

Energie produite / performances

La production d'énergie attendue est de 17 072 kWh/an pour une vitesse de vent de 6 m/s et de 11 798 kWh/an pour un vent de 5 m/s

Coûts

Non communiqué

Contact - Image

Ron DUFOUR

Education Officer

Municipal Buildings

Education département

North Lanarkshire Council

Kildonan Street

Coatbridge

ML5 3BT

Tél. : 01236 812258





Dortmund – (D)

Synthèse du projet

Une éolienne de 500 kW a été implantée sur la commune de Dortmund près l'autoroute A45. Elle est placée à 190 m des premières habitations. L'opération a débuté le 1^{er} août 1997. La vitesse moyenne des vents dans la ville est de 5,1 m/s

Eolienne installée / puissance

ENERCON 40.

Puissance nominale : 500 kW.

Diamètre du rotor : 40,3 m

Energie produite / performances

La production d'électricité générée par l'éolienne était de 730 000 kWh/an en 1997, et de 960 600 kWh/an en 1998.

Coûts

Le coût total de l'éolienne s'élève à un montant de 511 000

Les subventions ont été de l'ordre de 64 000 par l'Union Européenne.

Les 447 000 restants ont été avancés par la compagnie municipale (DEW). Cette somme a été empruntée auprès des membres de la communauté locale.

Contact - Image

Dortmunder Energie und Wasserversorgung GmbH

Herr Albert HERZMANN

Ostwall 51

44 135 DORTMUND

Tél. : +49 231 544 3653

Fax : +49 231 544 2381

Internet : <http://www.dew.de>





Macalester College – St Paul, Minnesota (USA)

Synthèse du projet

Une éolienne a été implantée au lycée Macalester, sur la commune de St Paul dans le Minnesota, au bord du terrain de football et à proximité immédiate avec des bâtiments de ce lycée.

Eolienne installée / puissance

Marque BERGEY, type EXCEL-S.

Puissance nominale : 10 kW

Longueur de pale : 3 m

Energie produite / performances

La production d'énergie de cette éolienne est de l'ordre de 10 414 kWh/an pour une vitesse moyenne de vent de 6 m/s

Coûts

Le montant total de l'installation s'élève à 41 000

La répartition de ce montant est la suivante :

18 040 pour la turbine

10 660 pour le mat

12 300 pour le travail d'ingénierie et la main d'œuvre

Contact - Image

Jesse GOLDMAN, mail : jgoldman@macalester.edu

Brett SMITH, mail : smithb@macalester.edu

Mark DICKINSON, mail : dickinsonm@macalester.edu





Greenwich (UK)



Sunderland (UK)





Collège de Taku (Japon)





A R E N E



Ile-de-France

94 bis, avenue Suffren
75015 PARIS

Tél. 01 53 85 61 75 - Fax 01 40 65 90 41

www.arenidf.org