



L'ÉOLIEN URBAIN

Contexte

Le développement du réseau électrique Français à largement favorisé la production centralisée, ce qui implique de longs trajets à l'énergie, source de pertes énergétiques et de création de réseaux denses et coûteux.

La production d'électricité de manière décentralisée et à partir de procédés renouvelables propose de rapprocher la production de l'utilisateur.

Cette production décentralisée est déjà effective avec la création de parcs éoliens ou de fermes photovoltaïques. Ici, le rapprochement entre production et consommation est poussé à son maximum.

Comme l'installation de photovoltaïque en toiture de bâtiment, l'installation d'éolienne urbaine permet de donner une image verte de la cité et une unité « écologique » à ses habitants.

Cependant si l'installation de photovoltaïque est devenue une réalité, l'implantation d'éolienne urbaine reste jusque là très anecdotique.

Etat actuel de la technologie disponible et adapté au milieu urbain

Les zones ouvertes sont modélisables à grande échelle, caractérisées par des vents dominants relativement stables et réguliers.

A l'inverse les zones urbaines, sont des zones marquées par des obstacles et couloirs de vents. Les vents dominants n'ont plus le pas sur les turbulences et variations rapides de régimes de vents.

Il existe cependant différents types d'éoliennes adaptées au milieu urbain, chaque type ayant ses propres avantages et limites.

La mise en rotation des éoliennes est effectuée grâce à l'énergie cinétique (vitesse) du vent qui entraîne l'hélice raccordée à la génératrice qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique utilisable.

Il existe trois grands types d'éoliennes :

- les éoliennes à axe horizontal qui ressemblent aux éoliennes classiques (type hélice)
- les éoliennes à axe vertical. Ces dernières ne sont pas tributaires de la direction du vent : quelle que soit sa direction, l'éolienne en soutire de l'énergie. Elles sont de ce fait moins sensibles aux turbulences et perturbations diverses.
- les éoliennes à axe horizontal non orientable. Elles permettent de limiter l'élévation de l'ouvrage mais exigent un vent ayant une direction constante.

Dans l'ensemble les dimensions de ces éoliennes permettent une production électrique limitée, mais la possibilité d'implanter un grand nombre d'éolienne, au plus près des consommations permet de pallier ce problème sans recours au gigantisme des éoliennes classiques.



En haut : éolienne de type Savonius, au milieu éolienne type Darrieus ; En bas éolienne type Savonius avec stator extérieur (source : joana Abriel)



Eolienne à axe horizontal (type classique)

Ce type d'éolienne ressemble aux éoliennes conventionnelles présentes dans les parcs éoliens. Elles utilisent l'effet de portance pour se mettre en rotation. Leur taille est cependant plus petite (diamètre de 2 à 10 m) ce qui permet de les implanter facilement.

Pour fonctionner au maximum de leur capacité, ces éoliennes ont besoin d'être orientées face au vent. Il est donc nécessaire que l'éolienne possède un système d'orientation ou que le vent ait une direction constante. Dans le premier cas, l'orientation rapide face à un vent turbulent impose une petite taille de l'éolienne qui sera plus réactive. Dans le deuxième cas, la présence d'un couloir de vent oblige le vent à avoir une orientation constante qui permet de s'affranchir d'un système de contrôle de l'orientation.

Au vu des diamètres de pale mis en jeu, les puissances sont relativement faibles (jusqu'à 20kW). Du fait de leur petite taille, la vitesse de rotation est grande, ce qui génère des vitesses en bout de pale élevées. Ces hautes vitesses peuvent induire des nuisances sonores non négligeables si l'installation n'est pas correctement étudiée.

La technologie utilisée pour ces éoliennes est actuellement mature et éprouvée. Il existe un nombre conséquent de produits et d'entreprises compétentes pour estimer, dimensionner et évaluer l'installation et la production qui en découle.

Malheureusement il est nécessaire de noter que la turbulence en milieu urbain en dessous du toit peut pousser les éoliennes à axe horizontal à chercher le vent sans réussir à capter un flux d'air leur permettant de générer de l'électricité, ce qui implique des temps annuels d'équivalent pleine puissance potentiellement faibles.

Il ne faut pas oublier que le rendement de ce type d'éolienne est très bon, il se rapproche de 50%. Ce rendement correspond à l'énergie que l'éolienne arrive à soustraire au vent, le maximum théorique est de 59%, ce maximum porte le nom de limite de Betz.



Eolienne à axe horizontal non orientable

L'éolienne présentée ci-contre est une éolienne de type Darrieus qui, comme précédemment, utilise la portance comme moteur.

Cette éolienne n'est pas orientable, elle est donc dépendante de l'orientation du vent.

La vitesse n'est cependant plus un problème, elle peut résister à des événements extrêmes.

De plus ce type d'éolienne, ayant une hauteur très limitée, permet de limiter l'impact visuel et de faciliter considérablement l'implantation surtout sur un site déjà existant (la structure porteuse n'a pas besoin d'être renforcée).

Encore à l'état de prototype, ce type d'éolienne pourrait se développer dans des projets d'implantation sur site existant où la direction du vent est stable.

Le rendement d'un aérogénérateur de type Darrieus est de 40%.



Eolienne à axe vertical

Il est possible en milieu urbain d'installer des éoliennes à axe vertical, qui permettent de s'affranchir de l'orientation du vent.

Ces éoliennes ont été conçues pour être moins sensibles aux turbulences du vent urbain.

Elles ont une vitesse de rotation relativement faible ce qui implique des nuisances sonores réduites.

La hauteur de ces éoliennes, bien que limitée, impose souvent la mise en place de fondations solides, généralement incompatibles avec une installation sur un bâtiment existant. Il est cependant possible, de limiter l'usage de fondations importantes grâce à un haubanage du mat et l'utilisation de fondation hors sol (type poids).

D'un point de vue technique ces éoliennes utilisent soit la portance soit la trainée.

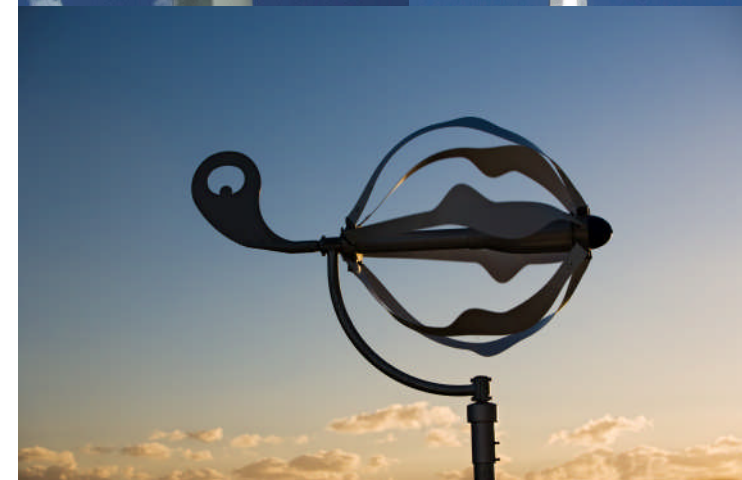
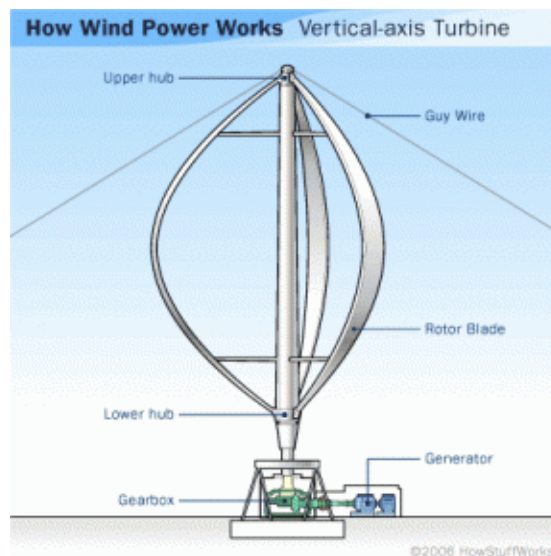
Elles sont respectivement de type Darrieus ou de type Savonius. Il existe un autre type, marginal, utilisant l'effet Venturi (Energy Ball).

Le développement de ce type d'aérogénérateur permet de limiter les prix d'installation et de devenir compétitif.

Certains constructeurs n'hésitent pas à affirmer que ce type d'éolienne permet « de surpasser n'importe quelle éolienne de puissance nominale équivalente ou supérieure dans une comparaison kWh produit/€ investi. »



Fondation hors sol et haubanage permettent de faciliter l'implantation
(Source : mercinat.com et lewebpedagogique.com)



Eolienne de type Windspire (en haut à gauche), UGE (en haut à droite), Energy Ball (en bas) ;
(Source : mercinat.com ; winddose.com ; <http://www.homeenergy.nl>)



Tableau récapitulatif des différents types d'éoliennes urbaines.

Type d'éolienne	Axe horizontal classique (hélice)	Axe horizontal Savonius	Axe horizontal Darrieus	Axe vertical Savonius	Axe vertical Darrieus
Avantages	-Technologie mature -Coût limité	-Facilité d'implantation (pas de fondation) -Générateur placé au sol	-Facilité d'implantation (pas de fondation) -Esthétique -Peu bruyant -Générateur placé au sol	-Omnidirectionnel -Démarrage à faible vitesse de vent -Générateur placé au sol	-Omnidirectionnel -Peu bruyant -Générateur placé au sol -Faible encombrement -Esthétique
Inconvénients	-Difficulté d'intégration -Encombrement -Potentiellement bruyant	-Nécessite un vent de direction stable -Faible rendement	-Nécessite un vent de direction stable	-Faible rendement -Masse importante	-Faible rendement -Démarrage difficile

Comparaison entre type et taille

D'un point de vue rentabilité, les éoliennes basées sur la trainée (Savonius) ne peuvent extraire la même quantité d'énergie que les éoliennes utilisant la portance (Darrieus).

Ce constat est induit par la technologie elle-même. En effet, les modèles utilisant la trainée ne peuvent avoir une vitesse supérieure à la vitesse du vent.

Cependant une faible vitesse de rotation est peu désavantageuse en milieu urbain car elle limite les nuisances sonores, les vibrations et l'impact ornithologique.

Pour l'implantation urbaine, les deux types décrits ci-dessus ne sont pas équivalents.

Les éoliennes à axe horizontal, bénéficient de l'essor des éoliennes classiques de grandes dimensions. Elles possèdent donc un rendement important, un retour d'expérience complet et d'un prix relativement faible. Malheureusement ces éoliennes posent le problème de l'intégration architecturale, des nuisances sonores et parfois de contrainte spatiale.

Les éoliennes à axe vertical sont omnidirectionnelles. Elles s'intègrent facilement dans l'environnement urbain, ne produisent pas de nuisances sonores ou d'impact sur les populations ornithologique. Ces éoliennes ont cependant comme inconvénient leur rendement relativement faible et des coûts d'investissement assez haut du fait de l'émergence du marché.

Il existe actuellement une cinquantaine de fabricants d'éoliennes de petites dimensions adaptable au milieu urbain. En général, l'esthétique de ces machines est travaillée pour faciliter leur intégration. Certains constructeurs ont développés un design qui permet d'installer ces éoliennes de façon visible afin de favoriser l'image « écologique » du site, de la ville.

La production électrique n'est pas comparable avec les éoliennes de grandes dimensions classiques, ce type d'éolienne permet malgré tout de décentraliser la production électrique, de limiter les pertes en lignes et le cas échéant de participer à la production d'énergie pour la création de bâtiment à énergie positive.

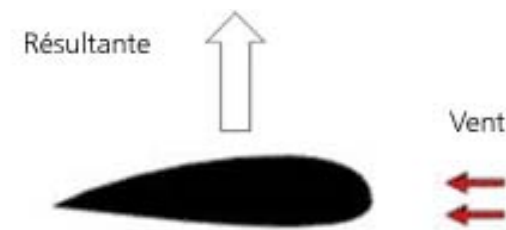


Schéma de principe de la portance

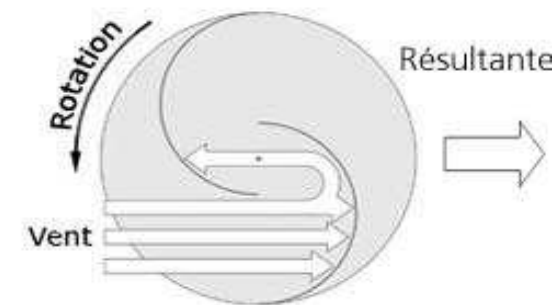


Schéma de principe de la trainée

Application au périmètre d'Euroméditerranée

Le périmètre d'Euroméditerranée est marquée par un régime de vent dominants de direction N-O / S-E avec de temps à autres des vents de direction N-E / S-O.

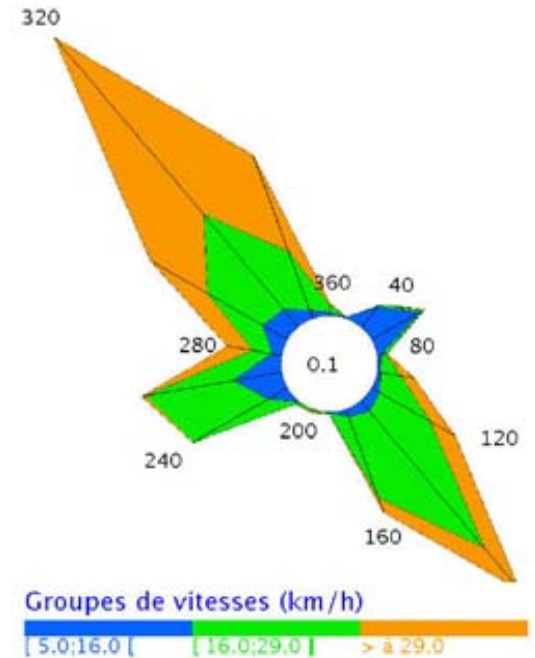
Les valeurs suivantes proviennent de la station météorologique de Marseille. Ces vents sont majoritairement fort (33,8% du temps le vent est supérieur à 29 km/h et 83,5% du temps il est supérieur à 16 km/h, il est en revanche inférieur à 5 km/h que 0,1% du temps).

La présence de vents fort avec des directions dominantes clairement marqués indique un fort potentiel d'implantations d'aérogénérateurs.

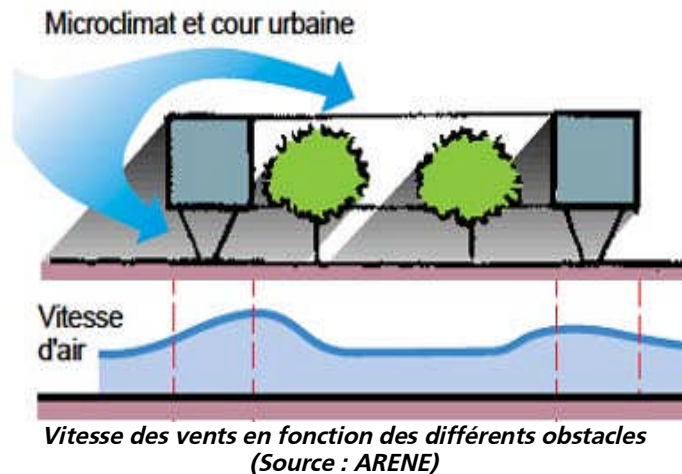
Ces données sont cependant à modérer par les modifications apportées par les zones urbaines, qui peuvent changer totalement les caractéristiques des vents. Il est donc nécessaire de d'étudier chaque projet au cas par cas afin de définir s'il existe un réel potentiel éolien et de définir le type d'éolienne le plus apte à être implantée.

Il est à noter que le vent marin peut être exploité sur l'ensemble du littoral car il existe peu d'obstacle réduisant la force du vent en bordure du littoral.

La morphologie de l'environnement urbain, caractérisée par une forte rugosité (le vent est ralenti par la présence de bâtiments) peut être un avantage. La vitesse moyenne des vents est plus faible en ville que dans un milieu ouvert (tableau ci-dessous). Malgré ce constat, certains points présentes des vitesses moyennes plus élevées qu'en milieu ouvert grâce à des accélérations dues aux obstacles (schéma ci-dessous droite et gauche).

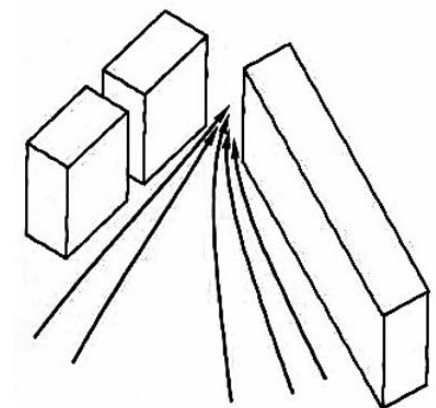


Rose des vents à Marseille (Source : Météo France)



H [m]	V_H/V_{10}	
	S (suburbain)	S (urbain)
10	0.6	0.36
20	0.73	0.47
30	0.82	0.55
40	0.89	0.62

Vitesse des vents par rapport à un vent à 10 m en zone ouverte (Source : ARENE)



L'effet Venturi en milieu urbain (Source : projet RUROS)

Aspect économiques et mise en œuvre

D'un point de vue économique, le prix d'installation d'une machine dépend très fortement de la puissance installée, du constructeur et du type d'éolienne.

A titre d'exemple le coût total par kW installé peut varier de près de 2 000 euros à plus de 26 000 euros soit un rapport de 1 à 13.

La puissance produite sur l'année par kW installé dépendra aussi du type de machine et du site. Elle varie de 500 Wh à plus de 60 kWh par kW installé. D'une manière générale, il semble que l'installation d'éolienne en milieu urbain représente un coût de l'ordre de 200% du coût d'un système classique. Zen outre le temps de fonctionnement en équivalent pleine puissance est généralement plus faible en milieu urbain qu'en zone ouverte, ce qui accentue la différence en termes de rentabilité.

Ces données sont à modérer par la réduction attendue des coûts d'investissement en cas de développement du marché et par la possibilité d'améliorer fortement les temps en équivalent pleine puissance si le projet est pensé lors de la conception des bâtiments alentour (image ci-contre).

Le temps de retour économique d'un projet éolien dépend en grande partie de l'investissement, de la production réalisée et du prix de rachat de l'énergie.

Si l'installation est prévue pour un particulier, dans sa résidence principale, il peut bénéficier d'un crédit d'impôt représentant 50% du matériel à condition que celle-ci soit installée par un professionnel.

Si le maître d'ouvrage n'est pas un particulier, il peut tout de même bénéficier d'aides proposées par les régions. A titre d'exemple les entreprises peuvent bénéficier d'un abattement de la taxe professionnelle et d'un amortissement sur 12 mois (gain d'impôts jusqu'à 33%)

En France, le tarif de rachat est défini par la loi du programme sur les orientations de la politique énergétique. Cette loi indique que les projets implantés en dehors des ZDE (zones de développement éolien) ne peuvent prétendre au tarif de rachat de l'électricité. Il est donc nécessaire de passer un contrat directement avec un fournisseur d'énergie afin de s'exonérer de la procédure ZDE. Une autre solution consiste à autoconsommer la production.

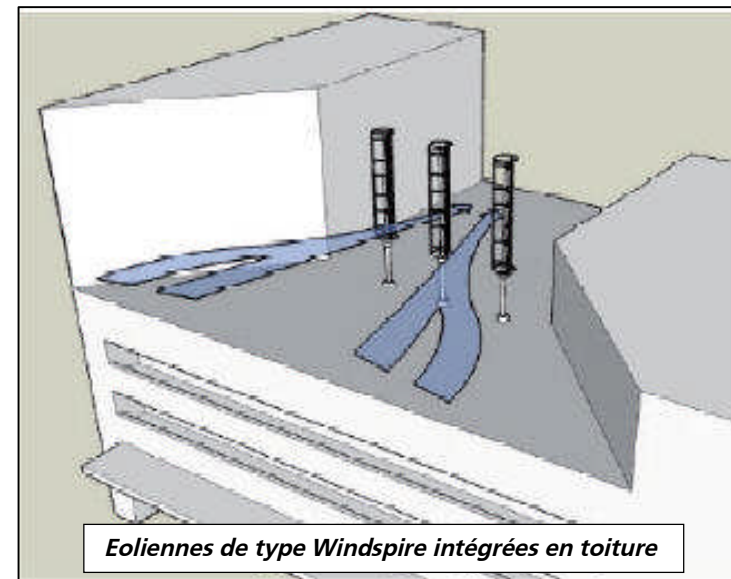
La création d'une ZDE est soumise à la validation par le Préfet. La ZDE peut être proposée par une commune ou des communautés de communes. La demande doit prendre en compte le potentiel éolien de la zone, les possibilités de raccordement et la protection du paysage, des sites remarquables et des monuments historiques.

Au niveau réglementaire, pour l'installation d'une éolienne, différents documents, en fonction de la hauteur du moyeu, peuvent être nécessaires (hauteur du bâtiment à prendre en compte en cas d'implantation en toiture).

Hauteur	< 12 m	12 m < H < 50 M	> 50 m
Documents	- Déclaration de travaux	- Permis de construire - Notice d'impact	- Permis de construire - Etude d'impact - Enquête publique

L'implantation d'éolienne en milieu urbain est règlementée par le Plan Local d'Urbanisme (PLU), celui-ci laisse le choix aux communes quant à l'implantation d'éolienne. Donc, sans indication contraire, l'implantation de projet éolien est autorisée. Dans le cas contraire une révision du PLU est envisageable.

A l'heure actuelle, la loi Grenelle 2 ne s'intéresse qu'aux éoliennes de grande taille.



Eoliennes de type Windspire intégrées en toiture

Aspect environnementaux

Lors du fonctionnement de la machine, la production d'électricité ne s'accompagne d'aucun rejet polluant, que ce soit pour l'eau, l'air ou tout autre type de rejet.

L'impact sur la faune est limité dans le cas d'éoliennes classiques, il est encore plus réduit par les vitesses de rotation lente qui augmentent la visibilité de l'ouvrage.

Au niveau acoustique, les éoliennes à axe vertical ont fortement réduit leurs nuisances sonores.

Le dernier point est l'intégration architecturale dans le tissu urbain. Ces éoliennes, de taille modérée, peuvent s'intégrer facilement en ville, grâce à leurs différentes formes, tailles et matières.

Certains constructeurs proposent actuellement différents coloris pour permettre une meilleure intégration.

Dans le cas d'éoliennes implantées sur les toitures, leur visibilité est réduite au minimum. L'impact visuel peut être tourné comme un avantage : afin d'exprimer l'implication sociétale et les objectifs du projet.

Concernant l'énergie nécessaire à construire l'éolienne, le temps de retour énergétique (le temps de fonctionnement nécessaire à « rembourser » l'énergie consommé à la construction) est inférieur à un an.

Le démantèlement et le recyclage d'éolienne en fin de vie est maîtrisé et ne pose pas de problème particulier, la majorité des matériaux constitutifs de l'éolienne étant recyclable facilement.



Pramac de Starck



S322 de HelixWind



1kW 2ndG d'UGE



East vertical 1kW de Ropatec

Exemples d'éoliennes adaptées au milieu urbain (type Darrieus pour la 1^{ère}, 3^{ème} et 4^{ème} ; type Savonius pour la 2^{ème})



Sources documentaires...

- <http://www.mercinat.com>
- <http://www.cg40.fr>
- <http://www.outilssolaires.com>
- Météo France
- <http://www.urbanwind.net>
- <http://www.enerzine.com>

Quelques Références...

- Eolienne horizontale à Equihen (62)
- WindSpire au Lycée de Redon (35)
- Skystream à Kervignac (56)
- Statoéolien à Fontenay-sous-bois
- Turboéolienne Elena 15 à Paris (20^{ème})
- Pramac à Montélimar (26)

Principaux fabricants...

- QuietRevolution
- Tozzi Nord
- Mariah Power
- Urban Green Energy
- Power Your House
- Ropatec
- HelixWind