



# VADE-MECUM

pour l'implantation  
d'éoliennes de faible puissance  
en Wallonie

## **Ont participé à l'élaboration de cette étude :**

<b>APERe :</b>	Bruno Claessens ( <a href="mailto:bclaessens@apere.org">bclaessens@apere.org</a> ) Michel Huart ( <a href="mailto:mhuart@apere.org">mhuart@apere.org</a> )
<b>Compagnons d'Eole :</b>	Christophe Grulois ( <a href="mailto:c.grulois@compagnons-eole.be">c.grulois@compagnons-eole.be</a> ) Fernand Platbrood ( <a href="mailto:platbrood.f@scarlet.be">platbrood.f@scarlet.be</a> ) Eric Verlaet
<b>Vents d'Houyet :</b>	Bernard Delville ( <a href="mailto:info@vents-houyet.be">info@vents-houyet.be</a> ) Guy Brunin - ( <a href="mailto:bruninguy@yahoo.fr">bruninguy@yahoo.fr</a> ) Amandine Brunin
<b>E.R.B.E. sprl :</b>	Jean-François Van Belle
<b>SPW - DGO4 :</b>	Sonya Chaoui ( <a href="mailto:sonya.chaoui@spw.wallonie.be">sonya.chaoui@spw.wallonie.be</a> )

## Préface

Dans le cadre de ses obligations relatives à la Directive européenne concernant la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, le Gouvernement wallon s'est engagé à produire, à l'horizon 2020, 8000 GWh d'électricité verte, dont 4500 GWh provenant d'énergie éolienne.

Ces objectifs ambitieux ne pourront être atteints que grâce aux parcs équipés de grandes éoliennes dont les turbines atteignent actuellement des puissances nominales de 2,5, 3 voire 6 MW. Toutefois la contribution attendue du moyen et du petit éolien reste non négligeable.

Tout comme les autres sources d'énergie renouvelable (photovoltaïque, solaire thermique, pompes à chaleur, ...) le petit éolien constitue une solution intéressante pour les particuliers, les exploitants agricoles et les entreprises wallonnes.

Par ailleurs, le petit éolien contribue à créer une filière d'emplois non-délocalisables, favorise une dynamique d'autonomie énergétique et sensibilise davantage les citoyens wallons aux énergies renouvelables.

Installer une petite éolienne demande beaucoup de patience et de persévérance car les obstacles ne sont pas inexistantes : démarches administratives, contraintes urbanistiques, limites techniques, exigences de raccordement au réseau, etc.

C'est dans ce cadre que la Wallonie vous propose un vade-mecum pour l'implantation d'une éolienne de faible puissance en Wallonie. Il a pour objectif de fournir à tout auteur de projet l'ensemble des informations pratiques et explications utiles pour mener à bien la mise en œuvre d'une éolienne de faible puissance. Seules les éoliennes d'une puissance égale ou inférieure à 10 kW sont considérées dans le présent document, les éoliennes de moyenne ou de grande puissance faisant l'objet d'une réglementation et de procédures distinctes.

Ce vade-mecum se veut être un outil d'aide à la décision qui fournit de la manière la plus objective possible une synthèse des connaissances essentielles aux porteurs de projets.

Il permettra de disposer des informations relatives à la législation et à la technique tout en fournissant les bases pour estimer la rentabilité du projet.

Un logiciel de sensibilisation a également été développé. Il est destiné à permettre d'évaluer la pertinence d'un projet d'éolienne de faible puissance. Il faut cependant attirer l'attention de son utilisateur sur le caractère théorique du calcul de productible proposé, celui-ci étant fortement influencé par le relief local et le régime des vents dont la complexité ne peut être intégrée dans ce simple outil. Ce logiciel permet donc une première approche globale et donne une idée de l'impact des différents paramètres environnementaux et techniques sur la productivité des éoliennes de faible puissance. Il permet de comparer rapidement diverses éoliennes soumises à un même régime de vent.

Dominique SIMON  
Inspecteur Général

## Table des matières

<b>PRÉFACE .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>2. COMMENT CHOISIR UN BON SITE ÉOLIEN .....</b>	<b>9</b>
2.1. ENERGIE DU VENT .....	9
2.2. IDENTIFICATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION .....	10
2.3. ÉOLIENNES EN MILIEU RURAL .....	11
2.4. ÉOLIENNES EN MILIEU URBAIN .....	12
<b>3. QUELLE DOIT ÊTRE LA CAPACITÉ DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE DE L'ÉOLIENNE ? .....</b>	<b>13</b>
3.1. NOTIONS DE BASE .....	13
3.2. ESTIMER LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE .....	13
3.3. CHOISIR L'INSTALLATION ÉOLIENNE .....	14
3.3.1. <i>Consommation domestique ordinaire</i> .....	14
3.3.2. <i>Consommation importante</i> .....	15
3.3.3. <i>Consommation autonome</i> .....	16
<b>4. PUIS-JE INSTALLER UNE ÉOLIENNE ? .....</b>	<b>17</b>
4.1. LES CONTRAINTES .....	17
4.1.1. <i>Les nuisances sonores</i> .....	17
4.1.2. <i>Les servitudes urbanistiques</i> .....	18
4.1.3. <i>Les servitudes techniques</i> .....	19
4.2. DOSSIER DE DEMANDE DE PERMIS D'URBANISME .....	19
4.2.1. <i>Demande de permis d'urbanisme</i> .....	20
4.2.2. <i>Enquête publique et affichage</i> .....	20
4.2.3. <i>Incidences sur l'environnement</i> : .....	21
<i>Notice d'évaluation des incidences sur l'environnement</i> .....	21
4.3. RECOURS .....	21
4.3.1. <i>Le recours au Gouvernement</i> .....	21
4.3.2. <i>Le recours au Conseil d'Etat</i> .....	22
<b>5. AIDES DISPONIBLES POUR L'INSTALLATION D'UNE ÉOLIENNE DE PETITE PUISSANCE EN WALLONIE .....</b>	<b>23</b>
5.1. RÉDUCTION CONDITIONNELLE DU TAUX DE TVA .....	23
5.2. MÉCANISME DE COMPENSATION .....	23
5.3. CERTIFICATS VERTS .....	24
5.4. OCTROI ANTICIPÉ DE CERTIFICAT VERTS .....	24
5.5. AUDIT ÉNERGÉTIQUE RELATIF À L'ÉVALUATION DE LA PERTINENCE D'UN INVESTISSEMENT ET À L'ÉLABORATION D'UN PLAN GLOBAL D'ACTION (AMURE) .....	25
5.6. DÉDUCTION FISCALE POUR INVESTISSEMENTS ÉCONOMISEURS D'ÉNERGIE DANS LES ENTREPRISES (ENTREPRISES, INDÉPENDANTS, PROFESSIONS LIBÉRALES) .....	25
5.7. AIDES À L'INVESTISSEMENT POUR LES INVESTISSEMENTS ENVIRONNEMENTAUX ET EN UTILISATION DURABLE DE L'ÉNERGIE (INDÉPENDANTS, ENTREPRISES) .....	25
5.8. AUDIT ÉNERGÉTIQUE UREBA (CPAS, PROVINCES, ECOLES, ASBL UREBA) .....	26
<b>6. QUE FAIRE AVEC L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE ? .....</b>	<b>26</b>
6.1. USAGE DE COMMERCE .....	27
6.2. VALORISATION DIRECTE DE L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR RACCORDEMENT AU RÉSEAU PUBLIC DE DISTRIBUTION .....	27
<i>Avantages du raccordement au réseau de distribution</i> .....	27
6.3. INSTALLATION ÉOLIENNE ISOLÉE AUTONOME AVEC ACCUMULATEURS .....	30

<b>7. PRÉVOIR LE RACCORDEMENT AU RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ.....</b>	<b>32</b>
7.1. SÉCURITÉ DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES.....	32
7.1.1. <i>Que faut-il faire ?</i> .....	32
7.1.2. <i>Prescriptions techniques</i> .....	33
7.2. EXIGENCES DU GESTIONNAIRE DE RÉSEAU (GRD) .....	34
7.2.1. <i>Que faut-il faire ?</i> .....	34
7.2.2. <i>Prescriptions techniques</i> .....	34
7.3. EXIGENCES DE LA CWAPE.....	37
7.3.1. <i>Que faut-il faire</i> .....	37
7.3.2. <i>Prescriptions techniques</i> .....	37
<b>8. RÉALISATION DE L'INSTALLATION D'UNE ÉOLIENNE .....</b>	<b>38</b>
8.1. UN PEU DE TECHNIQUE... .....	38
8.1.1. <i>Types d'éoliennes</i> .....	38
8.1.2. <i>Le rotor</i> .....	39
8.1.3. <i>Puissance du vent et limite de Betz</i> .....	40
8.1.4. <i>Caractéristiques du vent</i> .....	41
<i>Vitesse moyenne du vent et modélisation</i> .....	41
<i>Rose des vents</i> .....	43
<i>Rugosité et Cisaillement du vent</i> .....	44
<i>Obstacles et effet d'abri</i> .....	45
<i>Relief</i> .....	46
8.1.5. <i>Puissance d'une éolienne</i> .....	46
8.1.6. <i>Energie produite par une éolienne</i> .....	47
8.1.7. <i>Générateur</i> .....	48
8.1.8. <i>Mécanisme d'orientation</i> .....	48
8.1.9. <i>Mât</i> .....	48
8.1.10. <i>Régulation et contrôle</i> .....	49
8.1.11. <i>Frein de service et frein d'urgence</i> .....	50
8.1.12. <i>Sécurité, aménagements, équipements complémentaires et ancrage</i> .....	51
8.1.13. <i>Maintenance</i> .....	52
8.2. COMPARAISON TECHNIQUE DES MODÈLES DISPONIBLES ET CHOIX .....	52
8.2.1. <i>Quelques exemples</i> .....	52
8.2.2. <i>Pour aller plus loin</i> .....	52
8.3. CHOISIR SON INSTALLATEUR .....	58
<b>9. APRÈS L'INSTALLATION DE L'ÉOLIENNE.....</b>	<b>59</b>
9.1. RACCORDEMENT AU RÉSEAU BASSE TENSION.....	59
9.1.1. <i>Conformité des installations électriques au RGIE</i> .....	59
9.1.2. <i>Demande de mise en service du raccordement auprès du GRD</i> .....	59
<i>Installation de production d'énergie de puissance inférieure ou égale à 10 kVA</i> .....	59
<i>Très petite installation de production d'énergie</i> .....	60
9.1.3. <i>Demande d'octroi de certificats verts et de labels de garantie d'origine auprès de la CWaPE</i> .....	60
<i>Obtenir la certification de l'installation de production d'énergie</i> .....	60
<i>Introduire la demande d'octroi de certificats verts</i> .....	61
<i>Solliciter l'octroi des certificats verts</i> .....	61
<i>Remarque importante :</i> .....	61
9.1.4. <i>Contrat de vente de l'électricité à un Fournisseur ou au GRD</i> .....	61
9.2. AUTRES DÉMARCHES.....	62
<b>10. SÉCURITÉ ET PRÉVENTION DES ACCIDENTS.....</b>	<b>63</b>
10.1. LES NORMES DE SÉCURITÉ.....	63
10.2. IDENTIFICATION DES RISQUES.....	64
10.2.1. <i>Bris de pale</i> .....	64
10.2.2. <i>Incendies</i> .....	64
10.2.3. <i>Chute du mât</i> .....	64
10.2.4. <i>Projection de glace</i> .....	64
10.3. PRÉCAUTIONS À PRENDRE .....	65
<b>11. ASPECTS FINANCIERS ET RENTABILITÉ DU PROJET .....</b>	<b>66</b>

11.1. ESTIMATION DE LA PRODUCTION ANNUELLE POTENTIELLE SUR LE SITE ENVISAGÉ.....	66
11.2. APPROCHE DES ASPECTS FINANCIERS DU PROJET.....	67
<b>12. OÙ SE RENSEIGNER ? .....</b>	<b>70</b>
<b>13. CONCLUSIONS.....</b>	<b>72</b>
<b>14. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>73</b>
14.1. LIVRES, REVUES ET PUBLICATIONS .....	73
14.2. LIVRES, REVUES ET PUBLICATIONS POUR ALLER PLUS LOIN.....	74
14.3. ETUDES .....	75
14.4. SITES INTERNET.....	75

# 1. Introduction

L'installation d'une petite éolienne est une aventure passionnante qui présente le triple intérêt de pouvoir à la fois organiser son indépendance énergétique, réduire sa facture d'électricité et contribuer à préserver l'environnement.

Les éoliennes produisent de l'énergie électrique sans consommer de combustible et sans émettre de gaz à effet de serre.

La source de l'énergie éolienne est la force cinétique du vent. Et le vent est une ressource illimitée, gratuite et inépuisable...

Malgré cela, l'installation d'une éolienne de faible puissance ne peut s'inscrire utilement que dans une démarche globale visant avant tout à réduire les consommations d'énergie existantes. Il est en effet cohérent d'adopter un comportement visant à une utilisation rationnelle de l'énergie (comportement URE) et d'adopter des mesures d'isolation avant d'installer une petite éolienne.

Des conseils sur les mesures à prendre pour économiser l'énergie peuvent être obtenus auprès des « Guichets de l'énergie »<sup>1</sup> de la Région wallonne ou sur le « Portail de l'énergie en Région wallonne »<sup>2</sup>.



Source : Aircon

Installer une petite éolienne demande une certaine dose de patience et de persévérance car les obstacles ne sont pas inexistantes : démarches administratives, contraintes urbanistiques, limites techniques, exigences du raccordement au réseau, etc...

C'est pour aider à réaliser ce type de projet que ce vade-mecum a été réalisé. Il a pour objectif de fournir à tout particulier, à tout entrepreneur indépendant, exerçant une profession libérale, responsable de PME ou agriculteur les informations pratiques et explications utiles pour mener à bien la mise en œuvre d'une éolienne de faible puissance.

Les éoliennes, comme les panneaux photovoltaïques, sont visibles et c'est une bonne chose : leur visibilité nous rappelle que l'énergie est rare et qu'il faut l'utiliser avec bon sens et modération...



Source : Eoltec

Cette étude couvre la catégorie des petites éoliennes. Dans cette catégorie, la puissance nominale maximale théorique est de 500kW.

En pratique, ce vade-mecum met un accent particulier sur les turbines d'une puissance inférieure à 10 kW, puisque celles-ci bénéficient du système de la compensation (compteur qui « tourne à l'envers ») et répondent à la grande majorité des besoins en énergie électrique des citoyens (un ménage moyen en Wallonie consomme environ 3600 kWh/an hors chauffage et eau chaude sanitaire).

Il est évident que dans le cadre des éoliennes de faible puissance et au regard des coûts importants de raccordement exigés, il n'est économiquement pas raisonnable d'envisager l'installation d'une éolienne d'une puissance supérieure à la puissance maximale du raccordement existant ou prévu initialement.

<sup>1</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/les-guichets-de-l-energie.html?IDC=6060>

<sup>2</sup> <http://energie.wallonie.be>

Ce vade-mecum apporte des réponses aux questions que se posent non seulement les citoyens, mais également les plus gros consommateurs d'électricité que sont les agriculteurs et les PME qui cherchent à réaliser leur indépendance énergétique et qui trouvent dans le petit éolien une solution partielle, voire totale.

Dans ces limites, le vade-mecum se veut le plus complet possible et synthétise chronologiquement et le plus objectivement possible la démarche d'approche et de mise en œuvre d'un projet d'installation d'une éolienne de faible puissance.

La première étape de la démarche est le choix d'un site approprié. Il est nécessaire d'évaluer objectivement les qualités du ou des sites d'implantations projetés afin de s'assurer de l'existence d'un gisement éolien suffisant.

Il faut ensuite estimer au mieux la puissance optimale de l'installation éolienne en fonction des besoins en énergie particuliers et de la configuration des installations électriques.

Les réglementations communales ou régionales encadrent le développement urbanistique afin d'assurer une intégration harmonieuse des éoliennes dans le paysage. Il est donc important, avant d'aller plus loin, de s'informer sur les limites et contraintes qu'elles imposent.

Certaines aides sont disponibles par le biais de programmes visant à favoriser le développement des énergies renouvelables ou l'utilisation rationnelle de l'énergie. Les démarches pour pouvoir prétendre à ces aides doivent généralement s'effectuer avant la réalisation du projet.

La valorisation de l'énergie électrique produite par une éolienne n'est possible que grâce à des équipements électriques annexes et, dans la plupart des cas, à l'aide d'un raccordement au réseau de distribution public d'électricité. Une connaissance basique des principes, contraintes et limites des équipements techniques est primordiale pour préparer en toute connaissance de cause l'installation de l'éolienne.

D'une manière semblable, outre les aspects purement commerciaux, le choix d'une éolienne se base sur des considérations techniques qui nécessitent quelques connaissances élémentaires sur les technologies mises en œuvre.

Enfin, la mise en service de l'installation éolienne ne pourra s'effectuer qu'après quelques démarches administratives et vérifications techniques essentielles à la sécurité de tous.

Les exemples qui illustrent ce document ne sont cités qu'à titre d'illustrations, en dehors de toute considération commerciale ou autre...

Les données reprises dans ce vade-mecum sont celles en vigueur en juillet 2010.

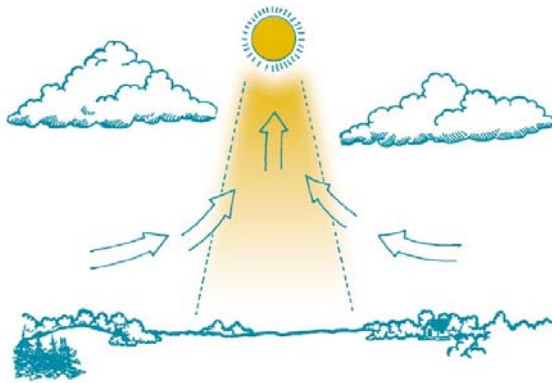


## 2. Comment choisir un bon site éolien

La quantité d'énergie produite annuellement par une petite éolienne dépend fortement du régime de vent local.

### 2.1. Energie du vent

Le vent est un phénomène complexe lié à des déplacements de masses d'air. Le réchauffement de la terre par le soleil varie en fonction des lieux mais aussi au rythme des saisons et de l'alternance jour-nuit. Lorsque l'air se réchauffe à certains endroits, il devient moins dense et a tendance à s'élever en altitude. Ce faisant, il génère une zone de basse pression dans laquelle s'engouffrent l'air des zones à proximité. Le mouvement de ces masses d'air est le vent.

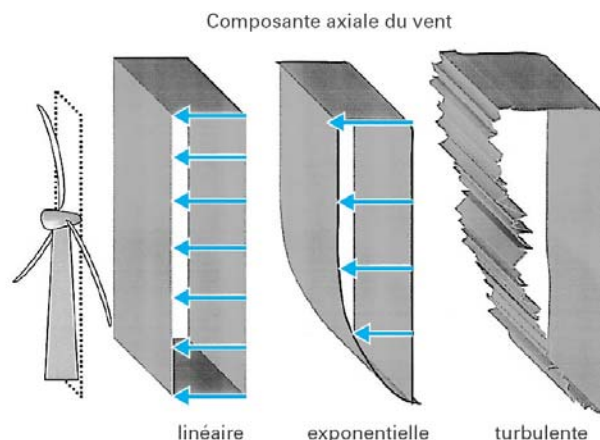


Source : Ministère canadien des Ressources naturelles

Le vent va être caractérisé par une vitesse et une direction. Le contact de la surface de la terre ainsi que la présence d'obstacles éventuels va influencer le type d'écoulement de ces masses d'air. On parlera ainsi de vents réguliers lorsque l'écoulement n'est pas perturbé et de vents turbulents lorsque la direction du vent est en constante fluctuation.

L'une des caractéristiques les plus importantes du vent est que l'énergie qu'il contient est proportionnelle au cube de sa vitesse. Il en résulte que si la vitesse du vent double, l'énergie éolienne est multipliée par 8. Cela implique donc que de faibles variations dans la vitesse du vent vont représenter de grosses différences dans les quantités d'énergie électrique produites annuellement par une éolienne.

Les turbulences diminuent l'efficacité de la récupération de l'énergie du vent et donc la production d'électricité ; elles sont dues aux différents obstacles (reliefs, arbres, bâtiments...).



Source : Techniques de l'ingénieur, traité Génie énergétique

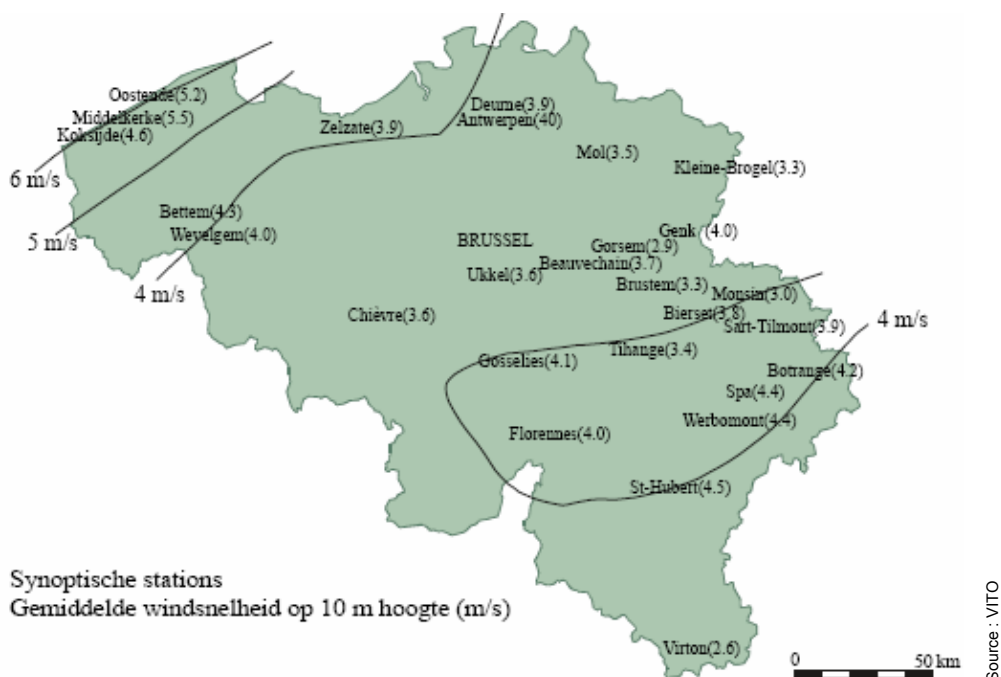
Les turbulences entraînent également une fatigue dans les constituants de l'éolienne et peuvent provoquer des dommages qui raccourcissent durée de vie opérationnelle.

Dans les zones où le relief est très complexe, il n'est pas rare de voir doubler la quantité d'énergie produite en déplaçant l'installation de seulement quelques dizaines de mètres.

La première chose à faire avant d'installer une éolienne est donc de s'assurer de la qualité et de la quantité du vent sur le site.

## 2.2. Identification du potentiel de production

Le préalable à toute installation d'éolienne est d'identifier correctement le potentiel de production d'un site. Cet élément est d'autant plus déterminant dans nos régions que la vitesse moyenne annuelle du vent à basse altitude (10 m) est proche du minimum considéré comme exploitable par la plupart des constructeurs d'éoliennes, à savoir 4 m/s.



Il convient de prendre en compte une série de critères objectifs car il ne suffit malheureusement pas que l'endroit "semble venteux" pour que l'installation d'une éolienne s'avère productive, même si ce critère est évidemment favorable.

En effet, le potentiel de production d'un projet éolien sera évidemment influencé par le gisement de vent disponible sur le site envisagé mais aussi par le type d'éolienne que l'on envisage d'y implanter.

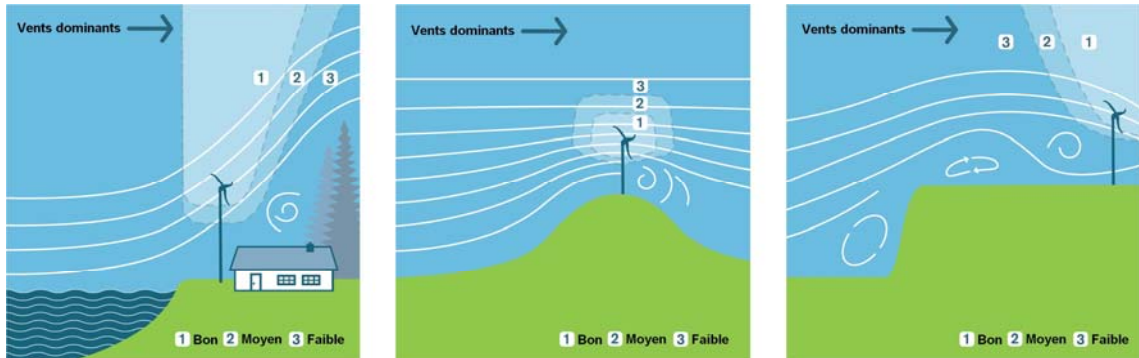
Idéalement le choix du type et du modèle de l'éolienne se fera une fois que les caractéristiques du site auront été déterminées.

La manière la plus précise de déterminer ces caractéristiques est d'y réaliser une étude des vents pendant quelques mois. Ces caractéristiques peuvent également être très correctement approchées à l'aide de logiciels spécialisés mis en œuvre par des professionnels avertis. Etant donné le coût de ce type d'étude, il est néanmoins possible de se baser sur certains critères d'évaluation avant de pousser plus la démarche plus loin.

## 2.3. Eoliennes en milieu rural

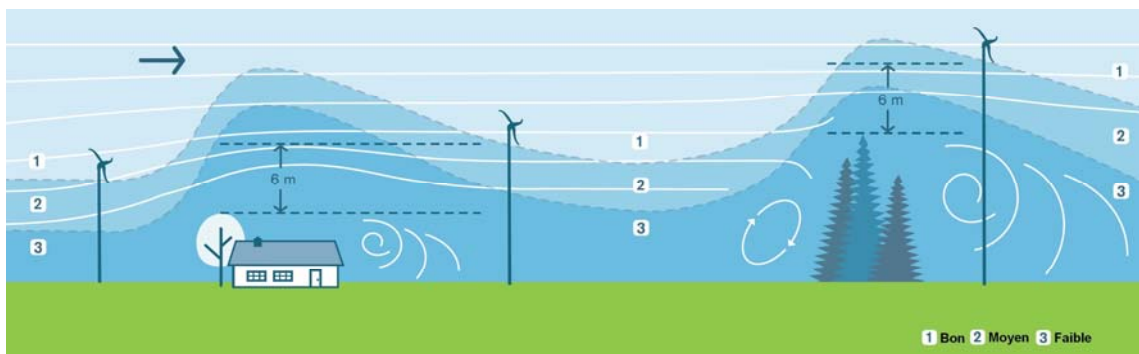
La position idéale pour une éolienne est un espace ouvert à plat avec un bon vent à partir d'au moins une direction (vent dominant).

Une côte, ou le sommet d'une colline lisse avec un espace ouvert dans la direction des vents dominants sont également intéressants. Le vent accélère de façon significative vers le sommet d'une colline en pente douce pour peu que le débit d'air soit raisonnablement régulier et avec peu de turbulences.



Lors du choix de l'implantation, il conviendra de se tenir le plus possible à l'écart des obstacles proches tels que les grands arbres et les bâtiments, ou, si ce n'est pas possible, d'implanter l'éolienne sur un mât en veillant à ce que le générateur soit bien au-dessus des obstacles.

Il est recommandé d'implanter la machine de manière telle qu'elle se situe 6 m au-dessus tous les obstacles environnants comme les arbres ou les bâtiments dans un rayon de 75 m (voir figure).



De manière générale, le sol ralentit la vitesse du vent, il en résulte que plus une éolienne sera placée sur un support élevé, plus elle produira d'énergie.

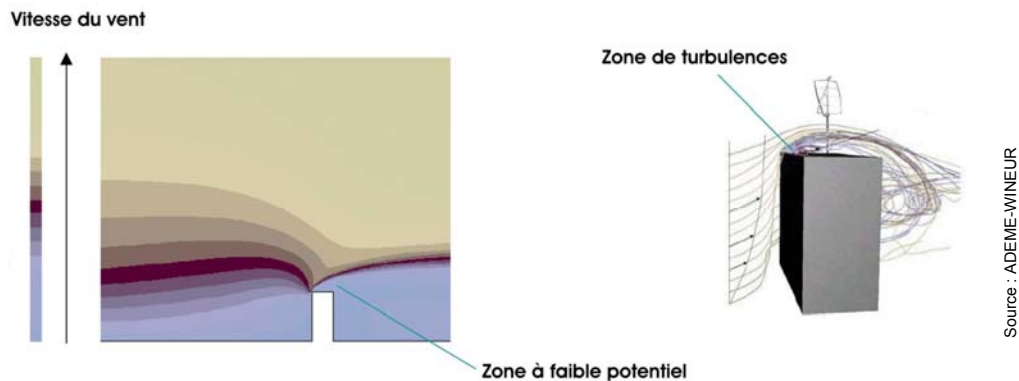
Indépendamment de la présence éventuelle d'obstacles, la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Il est donc préférable de placer l'éolienne le plus haut possible. En pratique, le choix de la hauteur d'implantation résultera d'un compromis entre les possibilités réglementaires, le type d'éolienne choisi, le coût du pylône et la production électrique souhaitée.

## 2.4. Eoliennes en milieu urbain

En milieu urbain, la vitesse du vent et sa direction sont beaucoup plus imprévisibles, surtout à proximité immédiate des bâtiments élevés. Dans les endroits où les turbulences sont inévitables, les éoliennes à axe vertical<sup>3</sup> vont plus facilement capter la ressource contenue dans le vent.

Suite aux différentes expériences européennes, les conclusions que l'on peut tirer à l'heure actuelle sont :

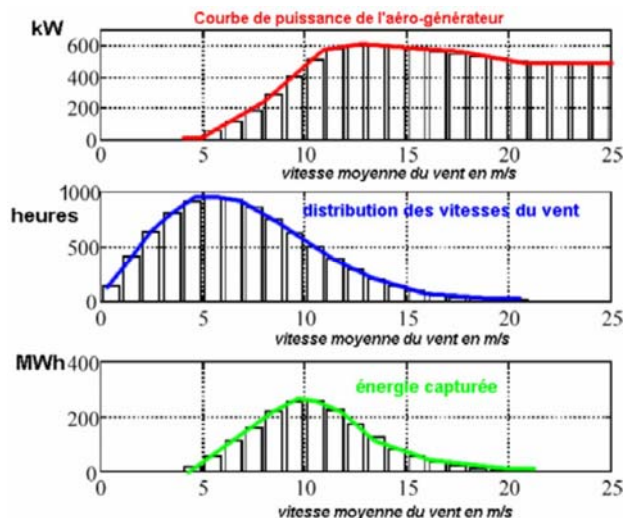
- le vent soufflant autour d'un bâtiment va être dévié en passant au dessus du bâtiment. Afin d'utiliser ce vent de manière optimale, il faut une certaine marge entre le bord du bâtiment et la flèche de l'éolienne qui doit être calculée pour chaque site ;
- les turbulences en milieu urbain vont défavoriser les éoliennes à axe horizontal qui vont chercher le vent sans réussir à capter un flux d'air suffisamment régulier pour leur permettant de générer de l'électricité ;
- là où la direction des vents dominants est conservée l'utilisation d'éoliennes à axe vertical peut être possible, cependant elles doivent être placées de manière à récupérer le vent au-dessus du bâtiment et donc placées pas trop bas.



Lors de la sélection d'une éolienne, la courbe de puissance doit être évaluée en prenant en considération le profil détaillé du vent. En effet, la vitesse de vent moyenne ne permettra pas forcément d'obtenir des informations adéquates, même si cette valeur a été mesurée à l'endroit précis de la future installation.

Idéalement, il faut pouvoir disposer de la distribution temporelle et directionnelle des vents afin de pouvoir extrapoler la production annuelle en fonction de la courbe de puissance de l'éolienne sélectionnée, ce qui implique la réalisation d'une étude locale des vents.

C'est en intégrant ces différentes données avec les caractéristiques de production de l'éolienne choisie que l'on obtiendra une estimation raisonnable de la production annuelle potentielle du site.



<sup>3</sup> Voir chapitre 8.1.1

### **3. Quelle doit être la capacité de production électrique de l'éolienne ?**

L'installation d'une petite éolienne s'inscrit généralement dans une logique de production d'énergie électrique non commerciale et correspondant à une autoconsommation de l'électricité produite. La capacité de production optimale de l'installation éolienne projetée va ainsi dépendre principalement des besoins locaux en électricité.

La première chose à faire est donc d'estimer les besoins en matière d'énergie électrique.



Source : Vents d'Houyet

#### **3.1. Notions de base**

La puissance électrique, en Watt (W), correspond à la quantité d'énergie, en Joules (J), qu'un système produit ou absorbe par seconde. Une puissance de 1 kiloWatt (kW) correspond à 1000 Watt.

Exemple :

Une éolienne de 2,5 kW débite au maximum une puissance de 2500 W.

Un four électrique de 1,2 kW absorbe une puissance de 1200 W.

Les professionnels assurant le transport de l'énergie électrique utilisent également pour mesurer la puissance la notion de « puissance apparente », en VoltAmpères (VA) ou kiloVoltAmpère (kVA). Cette notion particulière tient compte d'effets particuliers du courant alternatif.

Les technologies utilisées pour le raccordement de petites unités de production d'énergie électrique rendent ces deux notions de puissance très proches (la puissance apparente, en kVA, est toujours un peu supérieure de quelques pourcents à la puissance efficace, en kW).

Exemple :

Une puissance apparente de 10 kVA correspond à une puissance d'un peu moins de 10kW ou 10.000 W.

L'énergie électrique produite ou consommée pendant un certain temps, classiquement exprimée en kiloWattheure (kWh), se mesure en multipliant la puissance (en kW) par le temps (en heure) pendant lequel le système produit ou consomme de l'énergie.

Notons que 1kWh équivaut à une quantité d'énergie électrique de 3 600 000 Joules.

Exemple :

Une éolienne de 2,5 kW qui débite sa puissance maximale pendant 4 heures produit une énergie de  $2,5 \times 4 = 10$  kWh.

Un séchoir d'une puissance de 2,2 kW qui fonctionne pendant 1h 30 minutes absorbe une quantité d'énergie de  $2,2 \times 1,5 = 3,3$  kWh.

#### **3.2. Estimer la consommation d'énergie électrique...**

Sur base des relevés indiqués par le fournisseur d'électricité, il est bien sûr facile de connaître la consommation annuelle.

Lorsque cela n'est pas possible, il faut tâcher de l'estimer au mieux...

La consommation annuelle de chaque appareil électrique s'évalue en multipliant sa puissance par le nombre d'heures de fonctionnement sur une année. La consommation

globale annuelle est l'addition de la consommation de tous les appareils raccordés à l'installation électrique de l'habitation, de l'immeuble, de l'entreprise,...

Exemple :

L'ensemble des appareils électriques en mode « veille » dans une habitation peut absorber une cinquantaine de Watt en permanence, toute l'année...La consommation électrique de ces appareils en mode « veille » est donc de 0,050 kW x 24 heures x365 jours soit 438kWh !

Les Guichets de l'énergie<sup>4</sup> de la Région wallonne peuvent apporter une aide pour cette estimation.

A titre d'illustration, un ménage wallon moyen consomme environ 3600 kWh d'électricité par an (hors chauffage et eau chaude sanitaire).

### **3.3. Choisir l'installation éolienne...**

Le choix de la capacité de production envisagée pour l'installation éolienne s'effectue sur base :

- de la consommation électrique et de ses éventuelles perspectives d'évolution ;
- de la présence d'autres installations de production d'énergie électrique existantes ou projetées ;
- des contraintes urbanistiques ;
- des limites imposées par le budget disponible ;
- des caractéristiques de l'éolienne.

Il est raisonnable de limiter de toute manière la puissance de l'installation éolienne projetée à la puissance électrique maximale de prélèvement du point de raccordement existant ou prévu initialement. Dans le cas contraire, le coût du « renforcement » de la puissance maximale du raccordement rend l'investissement financièrement très hasardeux!

#### **3.3.1. Consommation domestique ordinaire**

Dans le cas d'une consommation domestique ordinaire (hors chauffage et eau chaude sanitaire) et si d'autres unités de production d'électricité verte ne sont pas déjà raccordées ou prévues, l'idéal est d'essayer de produire avec l'éolienne l'équivalent de la consommation annuelle.

Dans notre région, on peut estimer en première approximation<sup>5</sup> que pour les petites éoliennes placées sur un site raisonnablement venteux, chaque « tranche » de puissance installée de 1 kW assure une production de l'ordre de 1000 kWh par an.

En tenant compte de la répartition diurne/nocturne du vent dans nos régions<sup>6</sup> et des plages horaires dédiées aux périodes à tarif plein et à tarif réduit, on peut également estimer qu'environ 50% de l'énergie produite par l'éolienne l'est pendant les périodes à tarif plein et 50% pendant les périodes à tarif réduit.

En cas d'utilisation d'un compteur à tarif unique, le calcul est simple...

Exemple:

En considérant une capacité de production de 1000 kWh par kW installé, pour produire approximativement 3600 kWh par an, un ménage a besoin d'une installation d'une puissance de 3600 kWh / 1000, soit 3,6 kW.

Dans le cas de l'utilisation d'un compteur bihoraire, cette estimation doit prendre en compte le profil de consommation. Si la répartition de la consommation entre les deux tranches horaires est dissymétrique, le calcul doit s'effectuer sur base de la consommation la plus faible.

---

<sup>4</sup> <http://energie.wallonie.be>

<sup>5</sup> Cette estimation est simplement basée sur le retour d'information concernant des installations existantes actuellement en Région wallonne.

<sup>6</sup> European Wind Atlas Ib Troen & Erik Lundtang Petersen, Risoe National Laboratory, Risoe , Denmark, 1991



Exemple :

Si la répartition de la consommation d'un ménage moyen (3600 kWh) entre les deux tranches horaires montre que 60% de l'énergie est consommée pendant les périodes à tarif plein et que 40% de l'énergie est consommée pendant les périodes à tarif réduit, la consommation relative aux périodes à tarif plein est de 2160 kWh et la consommation correspondant aux périodes à tarif réduit est de 1440 kWh.

Avec la même capacité de production que dans l'exemple précédent, il faut donc une éolienne d'une puissance de 1440 kWh / 500 (50% de 1000), soit 2,88 kW pour ne pas produire de l'énergie électrique excédentaire pendant les périodes à tarif réduit.

Mais durant les périodes à tarif plein, l'éolienne produira également 1440 kWh au lieu des 2160 kWh idéalement souhaités...

Ce raisonnement et les différences de prix associés aux périodes tarifaires conduisent, dans certains cas, à envisager le remplacement du compteur bihoraire par un compteur à tarif unique.

### **3.3.2. Consommation importante.**

Dans le cas d'une consommation importante ou industrielle, on peut utiliser le même raisonnement pour peu qu'on ne dépasse pas, par compteur électrique (et donc par raccordement électrique), le seuil d'injection de puissance de 10 kVA (environ 10 kW).

A partir d'une puissance injectée de 10 kVA, il est obligatoire<sup>7</sup> de disposer de 2 compteurs distincts (ou d'un compteur « double flux ») pour l'injection et le prélèvement d'électricité du réseau. L'injection de l'énergie électrique qui n'est pas consommée instantanément sur place et qui doit être injectée sur le réseau est dans ce cas beaucoup moins intéressante financièrement.

C'est la raison pour laquelle il se peut que même pour des consommations importantes, le choix d'une puissance d'injection inférieure à 10 kVA reste le système le plus intéressant financièrement.

Exemple :

Une entreprise dispose de frigos et congélateurs qui consomment quasiment en permanence 25 kW, soit près de 220.000 kWh par an...

En installant une éolienne d'une puissance maximale de 25 kW, la totalité de l'énergie produite par l'éolienne lorsqu'il y a du vent sera consommée au sein de l'entreprise, sans être injectée sur le réseau. Cette manière de procéder valorise bien l'énergie électrique produite au prix d'achat de l'énergie puisque l'entreprise ne doit pas la prélever sur le réseau...

Autre exemple :

Un producteur de lait consomme 80.000 kWh/an, mais sa consommation est très irrégulière (2 refroidissements/jour). Dans son cas, investir dans une éolienne d'une puissance supérieure à 10 kW avec un compteur double flux sera difficile à rentabiliser puisque la grande partie de l'électricité produite ne sera pas consommée sur place et donc réinjectée sur le réseau. Or de telles quantités d'excédents sont difficiles à valoriser auprès des fournisseurs d'électricité.

Les technologies disponibles permettent également, quand l'éolienne produit une puissance supérieure à la limite de 10 kVA, de transférer une partie de l'énergie électrique produite vers un mécanisme de délestage qui absorbe et valorise l'énergie électrique excédentaire, sous forme de chaleur, par exemple.

Les calculs sont très complexes, les possibilités techniques très variées. Il est conseillé de bien étudier le schéma de consommation et de se faire aider par un spécialiste.

Mais l'avantage d'un tel système est de pouvoir toujours bénéficier du système de la compensation.

---

<sup>7</sup> AGW 24 mai 2007

### **3.3.3. Consommation autonome**

Pour les systèmes assurant une consommation autonome en îlotage, le dimensionnement de l'éolienne et équipements auxiliaires doit être l'objet d'une analyse très détaillée qui prendra en compte :

- la consommation quotidienne d'électricité ;
- l'autonomie souhaitée ;
- la présence ou la mise en œuvre d'un système de stockage de l'énergie électrique ;
- le rendement du système de stockage ;
- les caractéristiques de l'éolienne ;
- la possibilité de recourir à d'autres sources d'énergie.

Exemple simple :

La consommation annuelle d'une habitation complètement isolée du réseau public de distribution est, par exemple, de 1800 kWh.

En tenant compte du rendement du système de stockage (de l'ordre de 60%) et en considérant une capacité de production de 1000 kWh par kW installé, une éolienne d'une puissance maximale approximative de 3 kW devrait être capable de produire toute l'énergie électrique utile...

Chaque jour, en moyenne, l'habitation consomme environ 1800 kWh / 365 jours soit 5 kWh et chaque jour, en moyenne, l'éolienne produit une quantité d'énergie suffisante...

Mais le vent ne souffle pas régulièrement et un système de stockage de l'énergie est nécessaire...

Pour assurer, par exemple, une autonomie de 4 jours sans vent, il faut au moins une capacité de stockage équivalente à environ 5 kWh x 4 jours soit 20 kWh.

La capacité d'une batterie, en Ampèreheure (Ah) permet de déterminer l'énergie électrique qu'elle peut accumuler et restituer. Avec des batteries de 12 V, 1 kWh correspond à approximativement à une capacité de 83 Ah.

Une simple règle de trois permet de calculer que pour assurer 4 jours d'autonomie sans vent, une batterie d'accumulateurs d'une capacité de plus de 1660 Ah est à prévoir...

Les calculs sont ici aussi assez compliqués, l'idéal est de se faire aider par un professionnel.



## **4. Puis-je installer une éolienne ?**

L'implantation d'une éolienne doit être compatible avec les autres affectations de l'espace environnant et respecter les usagers des lieux ; elle doit pour cela satisfaire aux critères des réglementations en vigueur. Certaines démarches administratives sont obligatoires pour obtenir l'autorisation d'installer une éolienne de petite puissance.

Le service Urbanisme de la commune<sup>8</sup> peut apporter une aide efficace dans la réalisation de ces démarches.

Il n'est pas inutile de discuter avec les habitants proches et avec les responsables communaux du projet d'installation d'une petite éolienne, bien avant toute démarche administrative. Une information complète et la plus objective possible peut lever les éventuelles réticences des uns et des autres.

### **4.1. Les contraintes**

Différentes contraintes peuvent être mises en évidence lors de la demande d'implantation d'une éolienne de faible puissance.

Si l'impact environnemental est limité, ces contraintes sont directement prises en compte et évaluées dans la « Notice d'Evaluation des Incidences sur l'Environnement » qui accompagne la demande de permis d'urbanisme. En effet, ce document fournit à l'autorité qui statue (le Collège des Bourgmestre et Echevins) une information complète sur tous les impacts environnementaux induits par le projet.

Toutefois, il se peut que le Collège des Bourgmestre et Echevins consulté sollicite le Fonctionnaire délégué qui demandera éventuellement l'avis de l'organe ayant dans ses compétences l'un ou l'autre aspect environnemental dont l'impact poserait question.

En effet, dans le cadre de l'instruction de la demande, l'autorité qui délivre le permis peut, si elle l'estime nécessaire, dans certains cas, solliciter l'avis de certains services ou commissions en charge des différents aspects environnementaux : agriculture, ressources naturelles et environnement (DGO3), aménagement du territoire (DGO4), ...

Une fois l'avis reçu, il lui est imposé de tenir compte du résultat de cet avis. Il s'agit donc pour elle de prendre connaissance du contenu de l'avis, de le suivre ou de s'en écarter en expliquant pourquoi (exigence de motivation formelle).

#### **4.1.1. Les nuisances sonores**

Le bruit généré par une éolienne peut provenir de différentes sources :

- bruit d'origine mécanique (multiplicateur, génératrice, équipements divers,...). L'isolation acoustique de la nacelle des éoliennes modernes limite fortement cet aspect ;
- bruit d'origine aérodynamique. Les améliorations techniques apportées aux éoliennes récentes (forme et finition de la surface des pales et du bord de fuite, limitation de la vitesse de rotation) ont conduit à une forte réduction de ce bruit ;
- bruit lié aux vibrations associées aux sollicitations du mât et des pales.

Les normes de bruit sont régies par l'AGW du 04/07/2002.

L'annexe 1 de cet arrêté définit les « valeurs limites générales de niveaux de bruit applicables à un établissement classé ». C'est ainsi qu'en zone d'habitat et d'habitat à caractère rural, un niveau de bruit maximum à l'immission de 40 dB(A) sera toléré la nuit, et de 45 dB(A) le jour (entre 7H et 19H).

Cette réglementation s'applique aux installations classées, c'est-à-dire aux éoliennes dont la puissance varie entre 100 kW et plus de 3 MW.

---

<sup>8</sup> <http://www.uvcw.be/communes>

Les éoliennes domestiques jusqu'à une puissance de 99,9 kW, sont, quant à elles, des installations non-classées. Pour ce type d'installations, la législation wallonne est très lacunaire : mis à part pour quelques cas particuliers (machines de chantier, engins de jardinage, dancing, aboiement de chien, etc.) aucun texte légal ne définit de norme de bruit.

Pour les petites éoliennes, le permis d'urbanisme est délivré par le collège communal qui décide souverainement du niveau de tolérance en fonction du bruit à l'émission de l'éolienne.

On peut ainsi avoir des niveaux de tolérance variables d'une commune à l'autre.

La sensation auditive à 40 dB(A) est « calme » et à 70 dB(A) elle est « bruyante mais supportable »<sup>9</sup>.

D'autre part, considérant la propagation sphérique du son, l'atténuation du bruit est de 6db à chaque doublement de distance.

Exemple. :

Pour un bruit de 40 dB perçu à 12 m de distance de sa source, le bruit perçu sera de 34 dB à 24 m, et de 28 dB à 48 m de distance.

Une attention particulière doit être apportée à la présence éventuelle de bruits liés aux vibrations, surtout lorsque l'ancrage de l'éolienne s'appuie sur un bâtiment. L'utilisation de matériaux résilients absorbant les vibrations dans la structure de l'ancrage (silentbloks) est alors fortement recommandée.

#### **4.1.2. Les servitudes urbanistiques**

La situation juridique du bien est fixée par le plan de secteur, PCA, RCU, lotissement, etc, ... La région wallonne est couverte par 23 plans de secteur dont l'objet principal est de définir les affectations du sol (le zonage) afin d'assurer le développement harmonieux des activités humaines et d'éviter la consommation abusive d'espace. C'est le CWATUPE qui définit les activités, actes et travaux admis dans chacune des zones d'un plan de secteur.

Pour éviter tout cas de dérogation lors de la demande de permis d'urbanisme, il est nécessaire d'avoir une concordance entre l'activité que l'éolienne est destinée à alimenter et l'affectation du sol.

Les zones ci-dessous pourraient accueillir une éolienne de faible puissance, en fonction de leur destination finale :

- Les zones d'habitat et zones d'habitat à caractère rural, pour autant que l'éolienne soit destinée à alimenter les besoins en électricité d'un ménage ou d'une activité admissible dans ces zones.
- les zones agricoles, pour autant que l'éolienne soit destinée à couvrir les besoins en électricité d'une exploitation agricole ou des installations qui la constituent ;
- les zones industrielles, pour autant que l'éolienne soit destinée à couvrir les besoins en électricité de l'activité de la société qui y est implantée.

Certaines zones ou périmètres sont protégés et excluent en principe l'installation de toute éolienne :

- Zone naturelle ;
- Zone d'espaces verts ;

---

<sup>9</sup> Echelle des bruits de Jean Laroche, Code Permanent Environnement et Nuisances

- Zone de parc ;
- Zone forestière ;
- PIP (Périmètre d'intérêt paysager).

Par ailleurs d'autres sites non repris dans le plan de secteur peuvent bénéficier d'un statut de protection comme les zones suivantes :

- Sites Natura 2000 ;
- Réserves naturelles domaniales ;
- Réserves forestières ;
- Zone humide d'intérêt biologique ;
- Cavité souterraine d'intérêt scientifique ;

En cas de non conformité avec le plan de secteur, il y aura demande de dérogation.

Pour les projets sans dérogation, le Collège communal peut soit refuser la demande, octroyer le permis, ou le soumettre à certaines conditions. Pour les projets dérogatoires au plan de secteur, la demande doit être transmise au Fonctionnaire délégué, qui jugera au cas par cas et, le cas échéant, accordera ou non la dérogation au plan de secteur. En cas de décision défavorable du Fonctionnaire délégué sur la dérogation au plan de secteur, le Collège communal doit refuser le permis sollicité. Pour les projets dérogatoires à un document communal (PCA, RCU, permis de lotir), le collège communal accorde ou non la dérogation, après consultation du fonctionnaire délégué. L'article 114 du Code précise que l'octroi des dérogations doit présenter un caractère exceptionnel.

Plus d'informations : Région wallonne – Aménagement du Territoire<sup>10</sup>

#### **4.1.3. Les servitudes techniques**

Pour éviter les dommages causés lors de travaux, toute personne souhaitant réaliser des travaux d'excavation est légalement<sup>11</sup> tenue de se renseigner au préalable sur la présence d'infrastructures d'utilité publique à proximité auprès des opérateurs de lignes à haute tension et d'installations de transport à haute pression de produits gazeux et autres. La notification doit se faire 15 jours avant le début des travaux.

Les travaux doivent être réalisés à une distance minimale équivalente à la hauteur totale de l'éolienne (mât + pale) et de toute façon à 15 m minimum de part et d'autre de la conduite.

La notification peut se faire facilement en une seule opération : via le site du CICC (point de Contact fédéral Informations Câbles et Conduites), les travaux envisagés sont notifiés à plus de 30 entreprises de transport par canalisations et par câbles, telles que Fluxys, Elia, Air Liquide et BPO.

Plus d'informations : CICC<sup>12</sup>

#### **4.2. Dossier de demande de permis d'urbanisme**

Avant d'installer une éolienne de faible puissance, il est nécessaire de demander la permission aux autorités communales ou au fonctionnaire délégué.<sup>13</sup>

Il faudra dès lors déposer à la maison communale ou auprès du fonctionnaire délégué un dossier de demande de permis d'urbanisme, qui comprend les différents documents devant obligatoirement accompagner le formulaire de demande de permis.

<sup>10</sup> Tel. : 081/ 33.21.11 - <http://spw.wallonie.be/dgatpe/dgatpe/default.asp>

<sup>11</sup> Arrêté royal du 20 septembre 1988

<sup>12</sup> [www.klim-cicc.be](http://www.klim-cicc.be)

<sup>13</sup> CWATUPE, art 127

Le contenu du dossier de demande de permis d'urbanisme à introduire à la commune ou auprès du Fonctionnaire délégué est décrit à l'article 285 du CWATUPE si la demande est soumise à plan d'architecte ou à l'article 291 du CWATUPE si la demande est dispensée du plan d'architecte<sup>14</sup>.

Le dossier se compose globalement :

- d'une demande de Permis d'urbanisme en double exemplaire ;
- d'une Notice d'évaluation des incidences sur l'environnement (obligatoire avec toute demande de permis) ;
- d'un rapport explicatif signé par le demandeur ou l'architecte, d'un reportage photo d'au moins 3 photos numérotées en double exemplaire et de la description de l'occupation de la parcelle (cfr.CWATUPE art. 285 et 291).

#### **4.2.1. Demande de permis d'urbanisme**

En vertu de l'article 107, § 1<sup>er</sup> alinéa 3 d) du Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, du patrimoine et de l'énergie (CWATUPE), le permis relatif à l'installation d'une éolienne à usage privé est de la compétence du Collège communal sans avis préalable du fonctionnaire délégué, pour autant que l'éolienne se trouve sur le même terrain que le bâtiment, la construction ou l'installation qu'elle alimente.

L'installation ne nécessite pas l'intervention d'un architecte<sup>14</sup>, pour autant que l'éolienne se trouve sur le même terrain que le bâtiment, la construction ou l'installation qu'elle alimente et qu'elle soit située à une distance des limites moyennes au moins égale à sa hauteur totale.

L'article 107 ne sera d'application que pour autant que le projet soit conforme aux prescriptions réglementaires applicables sur le terrain (plan de secteur, Règlement Communal d'Urbanisme, Plan Communal d'Aménagement, permis de lotir, Règlement Général sur les Bâtisses en Site Rural).

Dans l'hypothèse de l'article 107, le délai d'obtention d'un permis est de 30 jours ou 70 jours selon qu'une enquête publique ou consultation de service ou commission est requise (art. 117).

Si ce délai est dépassé, le demandeur peut inviter le Fonctionnaire délégué à statuer sur sa demande<sup>15</sup> après 10 jours à dater de l'expiration du délai imparti au collège (art.118.). Dans les trente-cinq jours de la réception du dossier, le Fonctionnaire délégué notifie sa décision par envoi au demandeur. L'absence de décision envoyée dans ce délai équivaut au refus de permis.

Le demandeur peut, le cas échéant, introduire un recours au Gouvernement Wallon (art.119).

Les travaux doivent commencer de manière significative dans les deux ans de l'envoi du permis. Le cas échéant, une prorogation d'un an peut être accordée conformément à l'art du CWATUPE. Les travaux doivent être terminés dans les 5 ans de l'envoi du permis (art.86 du CWATUPE).

#### **4.2.2. Enquête publique et affichage**

Dans le cas de l'installation d'une petite éolienne non dérogatoire, une enquête publique n'est pas obligatoire.

Toutefois, si le Collège communal ou le fonctionnaire délégué la juge nécessaire, ils peuvent la requérir<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> CWATUPE, art.265

<sup>15</sup> CWATUPE Art 107, par.1 al.3d

<sup>16</sup> CWATUPE, art. 332 à 343

Dans ce cas, le demandeur du permis est tenu d'afficher un ou plusieurs avis (voir annexe 25 du CWATUPE) sur le terrain faisant l'objet de la demande et ce, dès le lendemain du jour où il est en possession de l'accusé de réception de la demande et jusqu'au jour de la clôture de l'enquête.

Les avis sont placés de façon visible et lisible le long de la voie publique (et maintenus en bon état de lisibilité) à raison d'un avis par 50 m de terrain situé à front de voirie.

Dans le même temps, l'Administration communale affiche un avis d'enquête aux endroits habituels d'affichage (généralement aux valves communales).

Dans les cinq jours de l'envoi de l'accusé de réception, la Commune annonce le projet par écrit aux occupants des immeubles situés dans un rayon de 50 m à partir des limites du terrain faisant l'objet de la demande.

L'enquête publique a une durée de 15 jours. Elle est suspendue entre le 16 juillet et le 15 août.

Pendant la durée de l'enquête, le dossier de demande peut être consulté à la Maison communale les jours ouvrables et un jour jusqu'à 20 h 00 ou le samedi matin ou sur rendez-vous.

### **4.2.3. Incidences sur l'environnement :**

L'implantation d'une éolienne, même de faible puissance, a des incidences sur l'environnement et sur le paysage. Une analyse et une évaluation objective de ces incidences par rapport aux réglementations en vigueur évitent les dérives et garantissent l'harmonie du paysage et l'équilibre de l'environnement.

### **Notice d'évaluation des incidences sur l'environnement**

La Notice, qui accompagne toute demande de permis d'urbanisme, est le document qui synthétise les principaux paramètres écologiques du projet d'installation d'une éolienne.

Elle doit, pour ce faire, être précise, exacte et complète. Elle ne peut être sommaire et ne donner pratiquement aucun renseignement concret au sujet du projet envisagé. Elle doit permettre à l'autorité compétente (et voisinage) d'évaluer en connaissance de cause les incidences du projet sur l'environnement et le paysage.

L'autorité chargée de vérifier le caractère recevable et complet de la demande de permis doit examiner si le projet concerné est susceptible d'avoir des « incidences notables » sur l'environnement et nécessite dès lors la réalisation d'une étude d'incidences. Il doit s'agir d'une décision expresse et motivée.

Pour prendre position à cet égard, l'autorité doit mettre en œuvre certains critères<sup>17</sup> et se baser sur le contenu de la notice (impacts paysagers, bruit, ...).

## **4.3. Recours**

Dans la législation actuelle, deux types de recours existent.

### **4.3.1. Le recours au Gouvernement**

Un recours peut être introduit auprès du Gouvernement Wallon par le demandeur, le Collège communal ou le Fonctionnaire délégué, mais pas par un tiers<sup>18</sup>.

Il s'agit d'un recours auprès du Ministre qui a la compétence « Aménagement du Territoire ». Sous peine d'irrecevabilité, le recours doit être introduit par courrier recommandé dans les 30 jours de la réception de la décision du collège ou du fonctionnaire délégué ou, en

<sup>17</sup> Fixés à l'article D.66, §2 du Livre 1er du Code wallon de l'environnement

<sup>18</sup> CWATUPE art. 119 à 123, 127§6, art.452/8 à 452/14 et l'art.108

l'absence de décision, dans les 30 jours de l'expiration du délai imparti au collège ou au fonctionnaire délégué pour statuer.

Le recours doit être motivé. Après examen des fondements du recours, le Ministre peut octroyer le permis d'urbanisme, l'assortir de conditions ou le refuser.

Le Ministre notifie sa décision dans les 75 jours à partir de la date de la réception du recours. A défaut de notification dans ce délai, un rappel peut être adressé au Gouvernement par envoi recommandé.

Si 30 jours après la date de réception du rappel, aucune décision n'est notifiée, l'octroi ou le refus de permis contesté est confirmé<sup>19</sup>.

#### **4.3.2. Le recours au Conseil d'Etat**

Le Conseil d'Etat est une juridiction administrative qui relève du pouvoir exécutif fédéral. Il est compétent pour suspendre l'exécution et/ou annuler un permis, ou rejeter le recours contre le permis en question. Le Conseil d'Etat ne s'exprime que sur la légalité du permis attaqué, c'est-à-dire le respect des règles et des normes. Il ne se prononce pas sur l'opportunité de la décision, hormis en cas d'appréciation manifestement déraisonnable par l'Administration.

Le recours au Conseil d'Etat peut être intenté par toute personne intéressée par le projet.

Le demandeur du permis ou le tiers intéressé (le riverain par exemple) dispose de 60 jours à partir de sa prise de connaissance effective du permis pour introduire son recours.

Le recours au Conseil d'Etat doit répondre à plusieurs exigences de fond et de forme : il faut notamment justifier d'un intérêt pour que la demande soit jugée recevable. Il est recommandé de se faire accompagner d'un avocat devant cette juridiction<sup>20</sup>.

Pour plus de détails : <http://www.raadvst-consetat.be>.

---

<sup>19</sup> art 119 à 123 et art 127 §6

<sup>20</sup> Les procédures sont déterminées par les lois coordonnées sur le Conseil d'Etat du 12 mars 1973 qui sont consultables à l'adresse Internet :

[http://www.raadvst-consetat.be/?page=about\\_law&lang=fr&q=lois+coordonn%C3%A9es](http://www.raadvst-consetat.be/?page=about_law&lang=fr&q=lois+coordonn%C3%A9es)

## **5. Aides disponibles pour l'installation d'une éolienne de petite puissance en Wallonie**

### **5.1. Réduction conditionnelle du taux de TVA**

Lorsque l'installation est réalisée par un entrepreneur enregistré, et que l'habitation est habitée depuis au moins cinq ans, le taux de TVA appliqué à l'ensemble de l'installation est de 6%<sup>21</sup>.

L'enregistrement de l'entrepreneur s'effectue via la Banque Carrefour des Entreprises (BCE)<sup>22</sup> ou auprès d'un Guichet de l'entreprise<sup>23</sup>.

Cette réduction du taux de TVA intervient même si l'éolienne est placée à une certaine distance du bâtiment. Raccordée à l'installation électrique du bâtiment, l'éolienne est considérée comme faisant partie de son équipement électrique.

Si, par contre, l'installation est réalisée par le propriétaire des lieux, la TVA appliquée à la vente du matériel sera, comme pour la majeure partie des marchandises, de 21%.

Lorsqu'il y a achat de l'éolienne par la personne (particulier ou personne morale) et placement réalisé par elle-même : la TVA appliquée est de 21% comme pour l'achat de tout bien de consommation courante.

### **5.2. Mécanisme de compensation**

Le mécanisme de compensation est un système destiné aux installations de moins de 10 kVA, qui présente l'avantage de pouvoir compenser sa consommation d'électricité avec l'électricité produite par son éolienne, et ce, non pas de manière instantanée, mais sur base annuelle.

Le système a été conçu pour couvrir les besoins de la grande majorité des ménages wallons. Il s'applique donc à tout système de production d'électricité verte : tant à l'hydro-électricité, aux panneaux photovoltaïques, à la cogénération qu'à l'éolien, pour autant que le total des installations (certifiées et enregistrées auprès de la CWaPE) n'excède pas 10 kW de puissance installée.

Grâce au « compteur qui tourne à l'envers », la quantité d'électricité non consommée directement et injectée sur le réseau compense, sur base d'une période tarifaire (durée entre 2 relevés d'index), une partie ou la totalité de la quantité d'électricité prélevée sur le réseau et ce, au même prix (mécanisme de compensation).

Si le comptage comporte plusieurs périodes tarifaires (heures pleines/heures creuses), la compensation est effectuée par période tarifaire. Cela signifie évidemment que l'énergie électrique excédentaire injectée lors d'une période tarifaire ne peut compenser l'énergie électrique consommée lors de l'autre !

La limite de puissance à 10 kVA concerne bien la puissance de sortie de l'onduleur. Une éolienne d'une puissance supérieure dont l'onduleur est bridé à une puissance de 10 kVA peut donc bien bénéficier du mécanisme de compensation.

Dans ce cas, lorsque la puissance délivrée par l'éolienne dépasse la capacité de l'onduleur, la puissance électrique excédentaire doit être délestée d'une manière ou d'une autre (dans une résistance chauffante, par exemple...).

---

<sup>21</sup> La vente avec placement d'une éolienne « domestique » est à considérer comme un travail immobilier (élément constitutif d'une installation électrique) pouvant bénéficier, toutes autres conditions prévues à l'article 20 de l'Arrêté Royal n°1 du code de la T.V.A. remplies, du taux réduit de 6 %

<sup>22</sup> BCE - <http://economie.fgov.be/fr/entreprises/BCE/index.jsp>

<sup>23</sup> <http://creation-pme.wallonie.be/Demarches/BCE/BCE02.htm>



Le comptage peut s'effectuer par:

- Un compteur simple sans cliquet (1 EAN) qui peut tourner à l'envers ou un compteur bidirectionnel plus précis (1 EAN). Cette option correspond au cas où le producteur ne veut pas valoriser l'excédent de production. Si la quantité d'électricité injectée sur base d'une période tarifaire (année ou mois) dépasse la quantité d'électricité prélevée, le surplus est alors injecté gratuitement. Le remplacement éventuel du compteur existant préalablement par un compteur bidirectionnel est payant s'il se fait à la demande du propriétaire de l'installation.
- Le placement, à charge du propriétaire de l'installation, d'un compteur bidirectionnel (2 EAN). Cette option permet en principe la valorisation de l'excédent de production. Si la quantité d'électricité injectée dépasse la quantité d'électricité prélevée, le surplus peut en théorie être vendu à son fournisseur d'électricité ou, éventuellement, au GRD.  
Dans la pratique, étant donné les faibles quantités non consommées, les fournisseurs d'électricité sont en général réticents au rachat de vos excédents.

### **5.3. Certificats verts**

Les certificats verts sont un mécanisme mis en place par la Région Wallonne pour soutenir le développement d'unités de production d'électricité verte, et, ce faisant, pour contribuer à la réduction de nos émissions de CO<sub>2</sub>.

Ce marché est régulé par la Commission Wallonne Pour l'Energie<sup>24</sup> (CWaPE). Celle-ci gère notamment l'entièreté du mécanisme des certificats verts.

Toute installation d'électricité verte, raccordée au réseau de distribution public ou autonome doit se voir octroyer un certificat de garantie d'origine pour bénéficier des certificats verts.

L'électricité produite à partir d'énergie éolienne donne droit à 1 CV/ MWh produit par an.

Le prix du CV est fixé par le marché, en fonction de l'offre et de la demande.

Au quatrième trimestre 2009, le certificat vert valait 86,07 € en moyenne (<http://www.cwape.be/xml/themes.xml?IDC=1559>).

Les certificats verts bénéficient d'une garantie de prix minimum de 65 € auprès d'ELIA.

Un certificat vert correspond à la production d'un MWh électrique par une centrale TGV sans émission de CO<sub>2</sub>, soit une économie estimée à 456 kg de CO<sub>2</sub>.

Les fournisseurs sont tenus d'acheter des certificats verts aux producteurs d'électricité verte dans des proportions fixées par les quotas annuels, et de les remettre à la CWaPE, sous peine de se voir infliger une amende (100 € par certificat manquant).

L'émission des CV est garantie pendant 15 ans à partir de la première délivrance.

Après la 10<sup>e</sup> année, la CWaPE se réserve le droit de revoir la proportion de CV accordés.

### **5.4. Octroi anticipé de certificat verts**

Le principe est de permettre aux citoyens qui investissent dans des installations productrices d'électricité verte (panneaux photovoltaïques, éolienne, biomasse, cogénération ou hydraulique) d'une puissance inférieure ou égale à 10 kW, de pouvoir bénéficier d'une avance de 40 certificats verts maximum<sup>25</sup> dès après leur investissement et accord du distributeur d'énergie électrique.

Concrètement, la CWaPE créditera l'avance dès la notification de la décision relative à la demande préalable d'octroi de certificats. Ces certificats pourront être aussitôt vendus par le producteur au prix du marché.

---

<sup>24</sup> [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>25</sup> Le nombre de certificats verts octroyés anticipativement se verra déterminé en fonction de la production théorique sur 5 ans. Les modalités précises applicables aux petites éoliennes ne sont pas encore définies à ce jour.



Le producteur réapprovisionnera ensuite progressivement son compte en introduisant ses relevés de production auprès de la CWaPE. Dès que sa production aura été suffisante, le producteur se verra à nouveau attribuer des certificats verts qu'il pourra vendre.

### **5.5. Audit énergétique relatif à l'évaluation de la pertinence d'un investissement et à l'élaboration d'un plan global d'action (AMURE)**

La Région wallonne accorde aux entreprises une subvention pour qu'elles puissent réaliser un audit énergétique de leurs installations. Sont exclus du bénéfice de cette subvention les personnes physiques (ménages, indépendants, professions libérales) et les statuts mixtes privé-public comme certaines intercommunales.

Cet audit sera obligatoirement réalisé selon un cahier des charges précis par un expert agréé par la Région wallonne.

Le but de cet audit est de permettre à l'entreprise d'évaluer la pertinence d'un investissement visant à utiliser les énergies renouvelables.

Si la Région wallonne donne son accord, le rapport d'audit doit être remis dans un délai d'un an à dater de cet accord.

Le montant de cette subvention équivaut à 50% des coûts hors TVA de l'audit (ou 75% si l'entreprise est engagée dans un accord de branche).

L'aide AMURE est soumise au règlement de minimis de la Commission européenne : le montant total des aides octroyées à une entreprise, quelque soit leur nature, ne peut dépasser 100.000 € sur une période de trois ans.

Plus d'informations : SPW – DGO426

### **5.6. Déduction fiscale pour investissements économiseurs d'énergie dans les entreprises (entreprises, indépendants, professions libérales)**

Cette déduction<sup>27 28</sup> se traduit par une diminution de la base imposable à concurrence de 13,5% de la valeur d'acquisition des investissements. La déduction est à opérer sur l'exercice fiscal d'acquisition, mais peut être reportée sur les exercices suivants et peut être étalée sur la durée de l'amortissement jusqu'à épuisement de la corbeille.

Les catégories d'investissements économiseurs d'énergie éligibles à la déduction fiscale sont reprises sur le portail Energie de la Région wallonne<sup>29</sup>.

Plus d'informations : SPW - Cellule Industrie<sup>30</sup>

### **5.7. Aides à l'investissement pour les investissements environnementaux et en utilisation durable de l'énergie (indépendants, entreprises)**

La prime à l'investissement consiste en un pourcentage du montant des investissements.

---

<sup>26</sup> Carl Maschietto - [carl.maschietto@spw.wallonie.be](mailto:carl.maschietto@spw.wallonie.be)

<http://mrw.wallonie.be/dgatp/dgatp/default.asp>

<sup>27</sup> AR du 27 août 1993, d'exécution du Code des Impôts sur les revenus, chap.I, section XVI

<sup>28</sup> Code des Impôts sur les revenus 1992 (art 69)

<sup>29</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/deduction-fiscale-pour-investissements-economiseurs-d-energie-dans-les-entreprises.html?IDC=6374&IDD=12273>

<sup>30</sup> Claude Eliki Nikoyo - [claud.e.likinikoyo@spw.wallonie.be](mailto:claud.e.likinikoyo@spw.wallonie.be)

<http://energie.wallonie.be/fr/entreprises-industries.html?IDC=6151>

Est concernée, toute entreprise ayant un siège d'exploitation situé en Région Wallonne et qui y réalise un programme d'investissements destiné à favoriser la protection de l'environnement ou l'utilisation durable de l'énergie.

La personne morale de droit public et l'association sans but lucratif sont exclues du bénéfice des incitants.

La circulaire d'interprétation du 29 septembre 2006, publiée au Moniteur belge du 9 janvier 2007, précise les investissements éligibles par filière. Lien Internet :

[http://economie.wallonie.be/02Formulaires\\_MIDAS/annexeCirculaire323-324.pdf](http://economie.wallonie.be/02Formulaires_MIDAS/annexeCirculaire323-324.pdf)

Le seuil minimum d'investissements éligibles est fixé à **25.000 €**

Le plafond de l'aide est fixé à 1.500.000 € sur 4 ans.

Les investissements faisant l'objet de l'aide doivent être maintenus minimum 5 ans dans l'entreprise.

#### **Montant de l'aide :**

Pour la petite entreprise qui n'est pas détenue par une moyenne ou une grande entreprise qui relève du secteur de l'énergie et qui produit de l'énergie à partir de sources renouvelables, le montant de l'aide s'élève à **30%** du montant total de l'investissement éligible hors TVA pour une éolienne ≤ 500 kW.

Plus d'informations : SPW <sup>31 32</sup>

### **5.8. Audit énergétique UREBA (CPAS, Provinces, Ecoles, ASBL UREBA)**

Les subventions UREBA sont destinées à soutenir les communes, les provinces, les CPAS et les organismes non commerciaux qui veulent réduire la consommation énergétique des bâtiments dont ils sont propriétaires. Plusieurs démarches peuvent être subsidiées. C'est le cas de l'audit énergétique.

Réaliser un audit énergétique permet de relever les consommations énergétiques d'un bâtiment et de voir comment il est possible d'améliorer de ce point de vue sa performance.

La demande de subvention est introduite à l'Administration **après** la réalisation de l'audit et au plus tard six mois après le paiement des factures au moyen du formulaire repris ci-dessous.

Le montant de la subvention équivaut à 50% des coûts TVAC de l'audit. Toutefois, le montant de la subvention sera diminué de moitié si l'audit bénéficie d'autres subsides.

Plus d'informations : SPW - Aides et primes UREBA <sup>33</sup>

## **6. Que faire avec l'électricité produite ?**

L'électricité produite par l'éolienne peut soit être instantanément consommée, soit stockée dans des accumulateurs ou injectée sur le réseau de distribution public.

---

<sup>31</sup> <http://spw.wallonie.be/?q=dgo6>

<sup>32</sup> Ingrid Thiry – [ingrid.thiry@spw.wallonie.be](mailto:ingrid.thiry@spw.wallonie.be) ou Sonya Chaoui – [sonya.chaoui@spw.wallonie.be](mailto:sonya.chaoui@spw.wallonie.be)

<sup>33</sup> Luat Le Ba – [luat.leba@spw.wallonie.be](mailto:luat.leba@spw.wallonie.be) ou M. Eddy Dubois – [eddy.dubois@umh.ac.be](mailto:eddy.dubois@umh.ac.be)  
<http://mrw.wallonie.be/dgatp/dgatp/default.asp>

L'électricité produite à usage interne ne peut être vendue et doit être écoulee selon des cheminements différents selon que :

- elle est produite par une unité de production non raccordée au réseau (en îlotage) et donc directement consommée sur place ; son excédent est soit stocké dans des batteries, soit perdu ;
- elle est produite par une installation raccordée au réseau. Dans ce dernier cas, l'énergie électrique non consommée directement peut être réinjectée sur le réseau de distribution publique, soit gratuitement, soit en la valorisant, au prix du marché. Si la puissance de l'unité de production décentralisée est inférieure à 10kVA, l'autoprodacteur peut bénéficier du mécanisme spécifique de compensation (compteur qui « tourne à l'envers »)<sup>34</sup>.

## **6.1. Usage de commerce**

Bénéficier du mécanisme de la compensation n'est pas une obligation. Le demandeur peut, s'il le souhaite, faire placer un compteur double flux et tenter de revendre sur le marché l'excédent d'électricité non consommée.

La livraison d'électricité est toutefois une opération imposable. Le taux de TVA appliqué actuellement pour ce type d'opération est de 21%.

Le « commerçant d'énergie » privé doit dès lors être assujéti à la TVA.

S'il s'agit d'un indépendant (déjà assujéti TVA), aucune démarche particulière n'est à faire. Il inclut dans sa comptabilité, outre les factures liées à l'installation de l'éolienne, la revente d'électricité et les montants TVA y relatifs. Seule chose à faire : préciser auprès de son secrétariat social que son activité indépendante comprend la revente électricité.

Dans le cas d'une personne n'exerçant aucune activité indépendante, cette démarche obligatoire rend dans la plupart des cas pour les petites éoliennes l'opération de revente très compliquée et financièrement peu intéressante.

Détails et informations : Ministère des Finances<sup>35</sup>

## **6.2. Valorisation directe de l'électricité produite par raccordement au réseau public de distribution**

Dans la majorité des situations, les éoliennes de faible puissance sont raccordées au réseau de distribution public par l'intermédiaire d'un raccordement à basse tension, existant ou à créer.

### **Avantages du raccordement au réseau de distribution**

Le raccordement au réseau public de distribution permet :

- d'injecter sur le réseau la quantité d'énergie électrique non consommée directement lorsque la production est supérieure à la consommation;
- de prélever la quantité d'énergie nécessaire lorsque la consommation est supérieure à la production.

La structure<sup>36 37 38</sup> des équipements électriques repose sur un schéma fonctionnel commun à toutes les installations.

---

<sup>34</sup> CWaPE – [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>35</sup> <http://minfin.fgov.be/portail2/fr/index.htm>

<sup>36</sup> Le Grand Livre de l'Eolien, Paul Gipe, Editions Observ'ER, Paris, 2004

<sup>37</sup> Scarabée. Bulletin de liaison du réseau des experts de l'énergie décentralisée N°15, Systèmes Solaires, Paris, juillet 2005

Le générateur de l'éolienne converti l'énergie du vent en électricité (courant alternatif de fréquence et tension variable ou courant continu).

Pour les unités de faible puissance ( $P \leq 10 \text{kVA}$ ), il est conseillé de placer un sectionneur verrouillable spécifique permettant d'isoler électriquement le générateur du reste de l'installation ; cette protection devient obligatoire au dessus de  $10 \text{kVA}$ <sup>39</sup>.

Le courant électrique est au besoin converti en courant continu par un redresseur également appelé onduleur.

L'équipement doit ensuite comporter une protection contre les surtensions qui peuvent être générées par l'éolienne.

Une surtension se produit lorsque l'éolienne dépasse sa vitesse nominale de rotation, parce que l'injection d'énergie électrique vers le reste de l'installation électrique s'interrompt (le rotor n'est dans ce cas plus freiné par le générateur) ou à la suite d'une brusque rafale de vent, par exemple.

Lorsque la tension générée par l'éolienne dépasse un seuil critique, l'équipement de protection contre les surtensions dirige tout ou une partie de l'énergie électrique vers un récepteur capable d'absorber l'excédent d'énergie.

Classiquement, ce récepteur est une résistance chauffante (« Dump Load ») qui dissipe l'énergie sous forme de chaleur dans l'air ambiant, mais si ce phénomène est régulier, cela peut aussi être une des résistances chauffantes d'un ballon d'eau chaude, par exemple...

L'énergie électrique qui peut être absorbée par l'installation électrique ou injectée sur le réseau de distribution est ensuite mise en forme compatible avec les caractéristiques du réseau<sup>40</sup> (tension, fréquence, phase et facteur de puissance) par un ou plusieurs onduleurs.

Afin d'obtenir un rendement satisfaisant, il faut veiller à ce que le ou les onduleurs fonctionnent dans une large gamme de tension d'entrée (à partir de 100V par exemple) et à ce que les possibilités de réglages de l'onduleur (programmation de la courbe de puissance) lui permettent de s'adapter le plus finement possible aux caractéristiques électriques de l'éolienne.

Dans sa plage de fonctionnement, quelle que soit la valeur de la tension délivrée par l'éolienne, l'onduleur doit être capable d'absorber un courant compatible avec la puissance électrique fournie par l'éolienne.

---

<sup>38</sup> [www.ef4.be](http://www.ef4.be)

<sup>39</sup> Règlement Général des Installations Electriques (AR 10/03/1981)

<sup>40</sup> Prescription Synergrid C10/11 (05/2009) « Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution ».

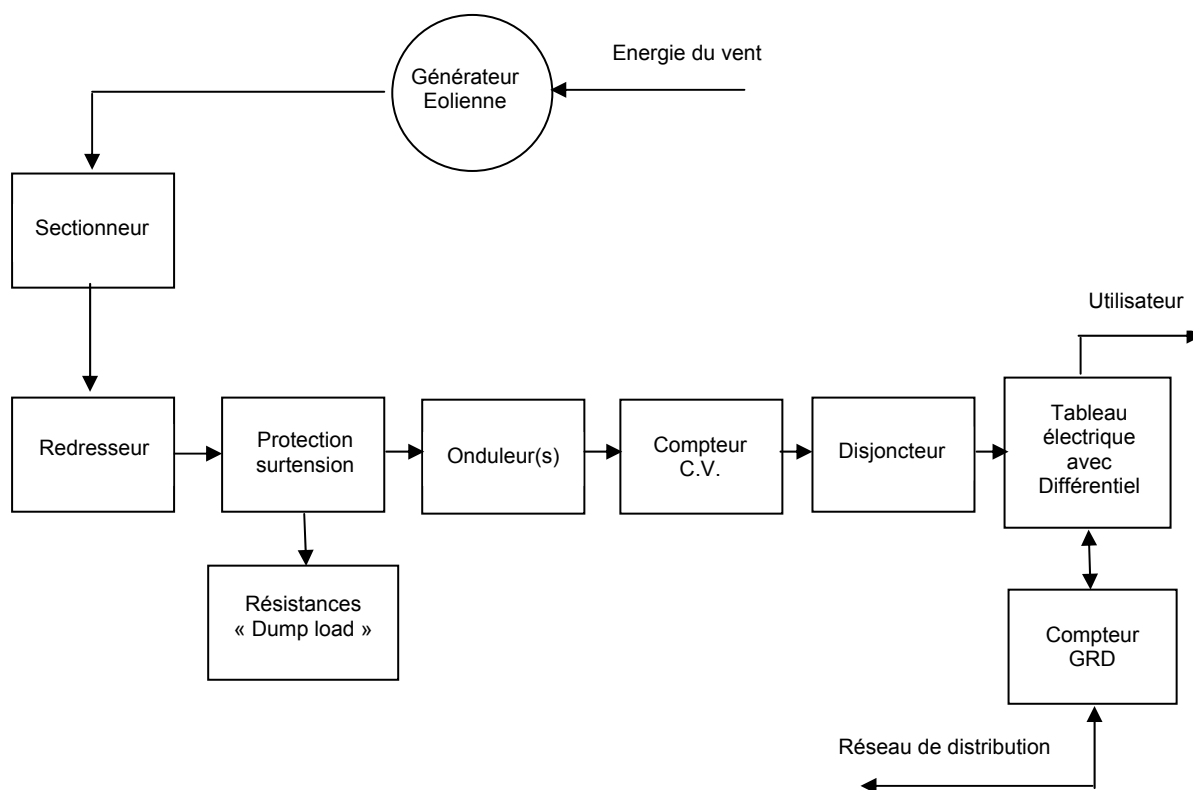


Schéma fonctionnel ( $P < 10\text{kVA}$ )

Un compteur spécifique est installé à la sortie de l'onduleur dans le but de comptabiliser toute la production d'électricité verte de l'installation éolienne. C'est sur base du relevé trimestriel de ce compteur que les certificats verts sont comptabilisés<sup>41</sup>.

Il est à noter que les équipements électriques inhérents à l'installation d'une éolienne de faible puissance consomment un petit peu d'énergie électrique (jusqu'à quelques dizaines de kWh par an) et que les performances annoncées par les constructeurs n'en tiennent en général pas compte<sup>42 43</sup>.

Le raccordement d'une éolienne au réseau de distribution électrique ne peut s'effectuer que si la capacité des lignes électrique et autres équipements le permet. Cette condition n'est pas anodine, surtout dans les campagnes où le réseau de distribution très ramifié présente parfois quelques faiblesses.

De même, l'énergie électrique éolienne injectée dans le réseau de distribution ne doit bien sûr pas engendrer de perturbations insupportables pour les installations électriques du gestionnaire de réseau et des autres utilisateurs.

En toute généralité, l'injection décentralisée d'énergie électrique éolienne sur le réseau de distribution peut engendrer :

- une modification de la tension électrique (perturbation du plan de tension<sup>44</sup> du réseau) ;

<sup>41</sup> CWaPE \_ [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>42</sup> Cette consommation est généralement très peu significative, relativement à la production, sauf lorsque les performances de l'éolienne sont très faibles...

<sup>43</sup> Consulter à cet égard « Zeeland small wind turbines testfield », étude de suivi sur un an de 11 modèles d'éolienne en Zélande.

<http://www.wind-works.org/SmallTurbines/CalculatedYieldofSmallWindTurbinesatZeelandTestSite.html>

<sup>44</sup> La tension électrique est maximale à la sortie de la cabine de distribution et décroît tout au long de la ligne qui achemine l'énergie électrique vers les installations des utilisateurs. Le GRD planifie et adapte la tension de sortie de la cabine en fonction de ce phénomène.

- des fluctuations rapides de la tension liées :
  - aux variations de la puissance mécanique transmise par le rotor de l'éolienne (flicker ou scintillement) ;
  - à la création d'harmoniques et d'inter-harmoniques par les équipements électriques de puissance ;
- une consommation de puissance réactive<sup>45</sup> (négligeable dans le cas de l'utilisation d'un onduleur) ;
- des perturbations liées à d'éventuelles déconnexions et reconnexions rapides et intempestives.

La procédure impose l'accord du gestionnaire de réseau avant tout raccordement. Celui-ci n'autorisera le raccordement que si le réseau est capable de supporter le raccordement sollicité et si les équipements de l'installation de production d'énergie décentralisée satisfont au cahier des charges qu'il impose (seuils de tolérances de ces perturbations)...

Vu le nombre relativement faible d'éoliennes domestiques en Wallonie, le développement de la filière du petit éolien est, jusqu'à présent, sans influence significative sur la fiabilité et les coûts d'exploitation du réseau.

### **6.3. Installation éolienne isolée autonome avec accumulateurs**

Les installations éoliennes autonomes ou en îlotage<sup>46 47 48</sup> ne sont pas raccordées sur le réseau de distribution d'électricité.

Ces systèmes autonomes conviennent particulièrement pour les aménagements dont le besoin en électricité est réduit ou pour les sites dont le raccordement au réseau est impossible, difficile à réaliser ou trop cher.

La production d'énergie éolienne est aléatoire dans le temps. Sa mise en œuvre dans une installation éolienne autonome nécessite un moyen de stockage de l'énergie électrique, le plus souvent constitué par une batterie d'accumulateurs aux plombs spécifiquement conçus pour ce type d'usage impliquant de nombreuses charges et décharges lentes.

Afin de charger les batteries d'accumulateurs, le courant électrique produit par l'éolienne est au besoin redressé. Une alimentation à découpage, placée à la suite des mécanismes de protection contre les surtensions, régule le courant et la tension pendant le chargement et le déchargement des accumulateurs.

Le courant restitué par les accumulateurs doit également être formaté aux exigences des appareils électriques communs : un onduleur convertit le courant continu des batteries en un courant 230 V/50 Hz semblable à celui distribué par le réseau public.

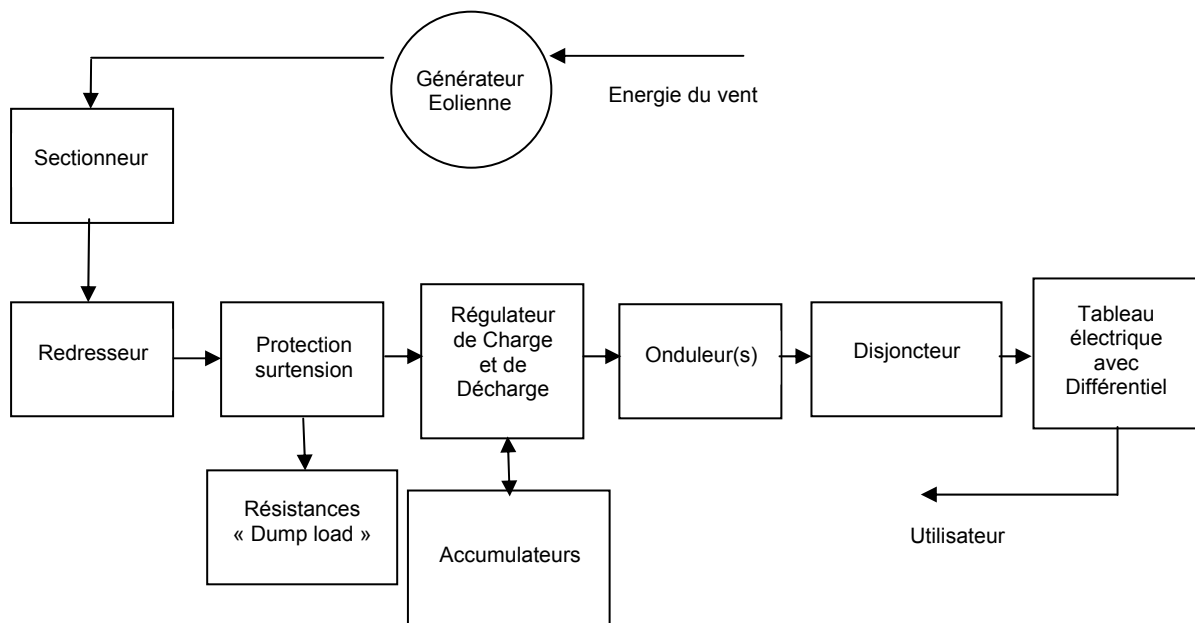
---

<sup>45</sup> Phénomène particulier lié à l'usage du courant alternatif dans le réseau de distribution et engendrant des pertes électriques indésirables lors du transport de l'énergie électrique.

<sup>46</sup> Scarabée. Bulletin de liaison du réseau des experts de l'énergie décentralisée N°15, Systèmes Solaires, Paris, juillet 2005

<sup>47</sup> Le Grand Livre de l'Eolien, Paul Gipe, Editions Observ'ER, Paris, 2004

<sup>48</sup> Danish Wind Industry Association - [www.windpower.org](http://www.windpower.org)



*Schéma fonctionnel installation autonome*

Le point faible de cette technologie est que pour assurer une disponibilité satisfaisante de l'électricité, il faut une grande capacité d'accumulation. Outre l'encombrement des batteries, le coût, la faible durée de vie (une dizaine d'année tout au plus) et le faible rendement des accumulateurs (environ un tiers de l'énergie produite par l'éolienne est perdue dans le cycle de stockage) rendent cette solution très onéreuse...

L'utilisation dans ces batteries de grandes quantités de plomb, un métal lourd connu comme dangereux pour la santé humaine, nécessite un recyclage soigné...

En combinant l'éolienne et son système de stockage à une autre source d'énergie intermittente (capteurs photovoltaïques ou groupe électrogène) il est possible de développer des systèmes hybrides capables d'assurer une disponibilité raisonnable de l'électricité en limitant la taille de la batterie d'accumulateurs.

Les capteurs photovoltaïques constituent une solution d'appoint intéressante. En effet, outre le complément qu'ils peuvent apporter quotidiennement, il faut savoir que le vent souffle moins fort à la période de l'année où l'ensoleillement est le plus important.

Le système idéal est celui qui, pour un taux de disponibilité choisi, minimisera le prix du kWh utilisé.

Une autre technique pour valoriser simplement l'énergie électrique produite consiste à utiliser l'électricité "brute" fournie par la génératrice pour alimenter une résistance qui chauffera de l'eau jusqu'à une température maximale. Ce peut être de l'eau sanitaire ou de l'eau de chauffage.



Source : Solener



## **7. Prévoir le raccordement au réseau de distribution d'électricité**

À partir du moment où une installation électrique (habitation, immeuble, entreprise, etc.) est raccordée au réseau public de distribution d'électricité, le raccordement d'une unité de production d'électricité à cette installation électrique implique que l'unité de production d'électricité sera considérée comme raccordée au réseau de distribution<sup>49</sup>.

Dans le but de garantir à tout moment la sécurité des utilisateurs, du réseau public de distribution d'électricité ainsi que celle des personnes qui sont amenées à intervenir sur ce réseau, le raccordement d'une unité de production décentralisée doit respecter des prescriptions techniques spécifiques.

Toute unité de production locale doit répondre :

- aux prescriptions de la Réglementation Générale sur les Installations Électriques (RGIE)<sup>50</sup>;
- aux prescriptions techniques Synergrid C10/19<sup>51</sup> et surtout C 10/11 « Prescriptions techniques spécifiques au raccordement d'installations de production décentralisées fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution »<sup>52</sup> disponibles sur le site Synergrid<sup>53</sup>.

De plus, pour l'obtention du certificat de garantie d'origine (CGO) et des certificats verts délivrés par la CWaPE<sup>54</sup>, les installations de production d'énergie, même de faible puissance sont soumises aux exigences prévues par le code de comptage (CC-PEV)<sup>55</sup>.

### **7.1. Sécurité des installations électriques**

Le RGIE énonce les règles de sécurité qui s'appliquent à toute installation électrique neuve, à toute modification ou extension notable d'une installation électrique existante, ainsi qu'à toutes les installations électriques existantes.

L'installation de l'unité de production doit suivre les prescriptions techniques du RGIE.

#### **7.1.1. Que faut-il faire ?**

L'idéal est de faire appel à un spécialiste électricien capable de placer et raccorder l'installation éolienne en suivant les « règles de l'art »...

Refusez tout bricolage ou solution de fortune, car il y va de la sécurité de tous.

Un contrôle devra être effectué avant la mise en service par un organisme de contrôle agréé.

Ce contrôle portera selon les cas sur l'entièreté des installations (nouvelle installation électrique) ou sur les modifications apportées (installation électrique existante).

Une installation déclarée « non conforme » ne peut être mise en service.

---

<sup>49</sup> AGW 24 mai 2007

<sup>50</sup> Règlement Général des Installations Electriques (AR 10/03/1981)

<sup>51</sup> Prescription Synergrid C10/19 (09/2006) «Raccordement des charges perturbatrices en basse tension».

<sup>52</sup> Prescription Synergrid C10/11 (05/2009) «Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution».

<sup>53</sup> Synergrid est la fédération des gestionnaires de réseaux électricité et gaz en Belgique. - [www.synergrid.be](http://www.synergrid.be)

<sup>54</sup> [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>55</sup> Procédures et code de comptage de l'électricité verte en Région wallonne. Annexe à l'arrêté ministériel du 12 mars 2007



## **7.1.2. Prescriptions techniques**

La liste complète des prescriptions techniques sort bien sûr du cadre de ce vade-mecum !

Certains points sont toutefois à souligner :

- le but de la prise de terre est d'écouler les courants de défaut vers la terre. En l'absence d'une prise de terre efficace, tout ou partie du courant de défaut s'écoulera au travers de la personne en contact avec l'appareil défectueux, ce qui peut être mortel. Lors de l'examen avant mise en service, l'organisme agréé mesure la résistance de dispersion de la prise ou de la boucle de terre de l'installation électrique. Cette résistance ne peut être supérieure à 30  $\Omega$  ;
- l'éolienne doit être raccordée à une liaison équipotentielle qui relie ses éléments conducteurs (métalliques) à la borne principale de mise à la terre de l'installation électrique.
  - cette disposition n'est pas contrôlée dans le cas où l'éolienne ne génère que du courant continu basse tension (l'onduleur n'est pas dans l'éolienne) ;
  - uniquement dans le cas où il n'y a pas de liaison équipotentielle avec l'installation électrique, une prise ou boucle de terre particulière peut éventuellement être installée pour l'éolienne, afin d'assurer une protection parafoudre si cela est jugé nécessaire<sup>56</sup> ;
- le dispositif de protection à courant différentiel résiduel détecte les courants de fuite s'écoulant vers la terre. Cet appareil offre donc une excellente protection contre les risques d'incendie et d'électrocution ;
  - pour les installations électriques domestiques, un différentiel général (sensibilité maximale  $\Delta I_n = 300$  mA) de type A (sensible au courant continu pulsé) doit être installé à l'origine de l'installation électrique sur laquelle l'unité de production se raccorde ;
  - pour les installations électriques industrielles, le différentiel général n'est pas requis. La partie de l'installation située entre le raccordement basse tension et les différentiels placés en aval de ce raccordement doit être dotée d'une protection de classe 2.
- un disjoncteur-sectionneur doit être placé après l'onduleur (coté courant alternatif) pour protéger l'installation électrique contre les surintensités et pour permettre de déconnecter manuellement l'installation de production éolienne du réseau électrique du bâtiment ;
- la section et l'isolement des câbles doivent être suffisants ;
- la section des éléments conducteurs assurant la distribution et la répartition de l'énergie électrique (barrettes du tableau divisionnaire,...) doit être dimensionnée en tenant compte de la puissance maximale du prélèvement sur le réseau de distribution augmentée de la puissance maximale de l'installation de production décentralisée.
- des panneaux indicateurs doivent être présents et porter différentes indications :
  - avertissements liés aux dangers de l'électricité (prévention générale) ;
  - mention « Ne pas déconnecter en charge » (risque d'arc électrique en cas de coupure) ;
  - mention « Installation toujours sous tension » (présence d'électricité en provenance de l'éolienne, même si l'installation est découplée du réseau).
- les câbles électriques (gainés, de type XVB par exemple) enterrés doivent être disposés dans une tranchée de minimum 60 cm de profondeur, entourés de sable jaune et recouverts d'une coiffe sur toute la longueur du câble.

---

<sup>56</sup> La pertinence d'installer une protection parafoudre est liée à un indice appelé « densité de foudroiement » (niveau  $N_g$ ) correspondant au nombre d'impact foudre par an et par  $\text{km}^2$  dans une région. Dans notre région, la densité de foudroiement est relativement faible ( $N_g < 0,8$ ).

Outre ces prescriptions spécifiques du RGIE, l'organisme chargé du contrôle vérifie également la présence et le bon fonctionnement des équipements prescrits par GRD et la CWaPE :

- l'onduleur doit se découpler instantanément du réseau en cas de défaillance de celui-ci ;
- si la puissance de l'installation de production d'énergie est supérieure à 10kVA, le raccordement de l'onduleur sur le réseau doit être réalisé à l'aide d'un relais « synchrocheck » équipé d'un synchronoscope. La liste des relais agréés par les GRD est publiée sur le site Internet de Synergrid<sup>57</sup> ;
- si la puissance de l'installation de production d'énergie est supérieure à 10kVA, un sectionneur verrouillable doit être accessible à tout moment par le GRD ;
- un compteur « certificat vert » de classe 1 ou de classe 2 doit être placé entre l'onduleur et le tableau assurant le raccordement électrique.

Le règlement technique s'adapte rapidement à l'évolution des nouvelles technologies de production décentralisée d'énergie. Il est donc prudent de considérer cette liste comme non-exhaustive et de s'informer complètement auprès d'un professionnel...

## **7.2. Exigences du Gestionnaire de Réseau (GRD)**

Une unité de production locale raccordée au réseau de distribution publique ne peut induire des perturbations dans le réseau et encore moins le mettre sous tension alors que le gestionnaire du réseau a coupé l'alimentation pour effectuer des travaux.

### **7.2.1. Que faut-il faire ?**

L'installation de production d'énergie et les équipements utilisés devront répondre aux prescriptions du GRD.

Un professionnel sérieux travaillera en ce sens...

Pour introduire une demande de raccordement d'une unité de production au réseau public d'électricité, il faut s'adresser à son Gestionnaire de Réseau de Distribution.

Les coordonnées des GRD sont disponibles sur le site de la CWaPE<sup>58</sup> ou celui de Synergrid<sup>59</sup>.

Pour les installations de production d'énergie de moins de 10 kVA, la procédure est entièrement simplifiée et gratuite ! Si un comptage bidirectionnel est souhaité par le propriétaire de l'installation électrique, d'éventuels frais de changement de compteur peuvent être facturés. Il convient de se renseigner auprès du GRD.

L'unité de production doit satisfaire à une série d'exigences techniques particulières.

La mise en service ne pourra donc s'effectuer qu'après vérification des installations et accord écrit du GRD.

Il y va de la sécurité du personnel travaillant sur le réseau et de la responsabilité civile du responsable de l'installation électrique !

### **7.2.2. Prescriptions techniques**

Les prescriptions techniques<sup>60</sup> du Gestionnaire de Réseau s'appliquent à chaque nouvelle installation de production décentralisée d'énergie électrique qui fonctionne en parallèle avec le réseau de distribution publique à basse tension ou à moyenne tension.

Ces prescriptions ont pour but de protéger le bon fonctionnement des réseaux et d'assurer la sécurité du personnel qui travaille sur ces réseaux.

---

<sup>57</sup> <http://www.synergrid.be/index.cfm?PageID=17536>

<sup>58</sup> CWaPE - [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>59</sup> <http://www.synergrid.be/index.cfm?PageID=16823>

<sup>60</sup> Prescription Synergrid C10/11 (05/2009) « Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution ».

- exigences techniques générales :
  - le réseau câblé doit être capable de supporter le transfert d'énergie ;
  - les transformateurs du réseau doivent également être capables de supporter le transfert d'énergie ;
  - l'unité de production décentralisée doit s'intégrer dans le réseau en respectant les exigences du GR par rapport :
    - au plan de tension ;
    - à la fréquence ;
    - à la phase ;
    - au facteur de puissance.
  
- prescriptions techniques (pour la gamme de puissance considérée) :
  - les unités décentralisées de production d'énergie électrique d'une puissance apparente supérieure à 5kVA doivent être raccordées en triphasé. Certains GRD acceptent de porter la limite d'une injection monophasée à 10 kVA et l'indiquent sur leur site internet. Dans le cas contraire et si le producteur veut pouvoir injecter plus de 5 kVA, le GRD peut exiger le passage du raccordement de monophasé en triphasé ;
  - le déséquilibre maximal entre phases ne peut excéder 20A ;
  - le sens du champ tournant doit être identique à celui du réseau ;
  - le neutre du générateur ne peut être raccordé à la terre (sauf protection galvanique) ;
  - un raccordement 3X230V doit pouvoir être modifiable en 3X400 ;
  - si la puissance de l'unité de production est supérieure à 10kVA (injection triphasée), il ne peut y avoir d'injection d'énergie électrique en cas de perte d'une phase par le réseau ;
  - la puissance de court circuit doit être compatible avec les équipements du réseau (en tenant compte de la puissance de court circuit initiale du réseau) ;
  - la tension doit être adaptée selon le plan de tension pour ne pas dépasser la valeur maximale. Si l'installation de production d'énergie conduit la tension du réseau à une valeur trop élevée qui dépasse la limite fixée (+10% de la tension nominale); le risque est grand de voir les unités de productions décentralisées se déconnecter les unes après les autres, ramenant ainsi la tension à un niveau acceptable. Une reconnexion et déconnexion instable des unités de production décentralisées présentes localement sur le réseau peuvent alors apparaître ;
  - l'unité de production doit avoir un comportement passif en fréquence ;
  - le facteur de puissance doit être supérieur à 0,95 ;
  - l'îlotage est interdit, sauf en cas de réseau privé (nécessite alors un relais « synchrocheck » pour la remise en parallèle sur le réseau) ;
  - le système doit fonctionner même si la tension du réseau varie de 10% par rapport à sa tension nominale ou subit de brefs creux de tension ;
  - le flicker (scintillement) doit être limité. Pendant le fonctionnement, d'éventuelles variations brusques de puissance ne doivent pas exercer une influence de plus de 3% sur le niveau de tension ;
  - le niveau des harmoniques et des inter-harmoniques qui sont générées par l'installation de production décentralisée ne doit pas provoquer de perturbations dans le réseau de distribution ;
  - les signaux de télécommande centralisée TCC ne doivent pas être perturbés.

Précautions particulières :

- les unités de production d'énergie électrique d'une puissance apparente supérieure à 10 kVA doivent pouvoir être découplées du réseau par un sectionneur verrouillable accessible à tout moment par le GRD ;
- le découplage en cas de défaillance du réseau doit être automatique et rapide (temps < 0,12 s) ;

- le couplage parallèle d'une installation de production décentralisée d'une puissance apparente supérieure à 10 kVA avec le réseau de distribution publique doit toujours être réalisé à l'aide d'un relais « synchrocheck » équipé d'un synchronoscope. Ce relais doit être d'un type reconnu par le GRD<sup>61</sup> ;
- comme pour tout raccordement au réseau de distribution, les installations de production d'énergie doivent être dotées, du côté du raccordement au réseau de distribution, d'un mécanisme pour l'interruption automatique des phases en cas de défaut interne provoquant un dépassement d'une certaine intensité de courant pendant une durée déterminée. Les valeurs du courant et du retard sont indiquées par le GRD ;
- il ne peut pas y avoir d'injection de courant continu possible.

---

<sup>61</sup> <http://www.synergrid.be/index.cfm?PageID=17536>

### **7.3. Exigences de la CWaPE**

Pour l'obtention du certificat de garantie d'origine (CGO) et des certificats verts délivrés par la CWaPE<sup>62</sup>, les installations de production décentralisées sont soumises aux exigences prévues par le code de comptage (CC-PEV)<sup>63</sup>.

#### **7.3.1. Que faut-il faire**

L'installateur doit prévoir d'insérer un compteur spécifique destiné au comptage de l'énergie électrique « verte » entre l'onduleur et le tableau électrique.

#### **7.3.2. Prescriptions techniques**

Le code de comptage énonce les principes et méthodes applicables en matière de mesures des quantités d'énergie qui entrent en ligne de compte dans le calcul du nombre de certificats verts octroyés aux installations de production d'électricité verte.

Les principales exigences sont les suivantes :

- l'électricité brute produite par l'installation de production d'énergie doit être mesurée (compteur «certificats verts»). L'électricité consommée par les auxiliaires de l'installation de production d'énergie peut être mesurée ou estimée ;
- la précision de mesure requise pour toute installation de production d'énergie de faible puissance (moins de 100 kVA) est de 2%. Il est toutefois possible d'adresser (par simple courrier) une demande de dérogation dûment motivée au Ministre wallon en charge de l'Énergie, après validation par l'organisme agréé. Dans ce cas, un avis de la CWaPE est sollicité par le Ministre. Si la dérogation est accordée, la CWaPE appliquera toutefois un facteur de pénalité égal à la différence entre la précision réelle et la précision requise ;
- dans la mesure du possible, un comptage horaire doit être disponible, par exemple via les données enregistrées par l'onduleur. Le code de comptage ne prévoit actuellement une dérogation à la présence d'un compteur horaire que pour les installations photovoltaïques et les roues de moulin. Dans l'attente d'une adaptation de ce code, une certaine tolérance est appliquée par la CWaPE ;
- toute modification aux installations (comptage, puissance, etc.) ainsi que toute panne de comptage doit faire l'objet d'une information systématique et immédiate auprès de la CWaPE. Un avenant au certificat de garantie d'origine sera établi par la CWaPE le cas échéant. L'omission de telles informations à la CWaPE peut entraîner une suspension de la certification et donc de l'octroi de certificats verts et de labels de garantie d'origine ;
- la CWaPE peut, à tout moment, procéder au contrôle ou requérir d'un organisme de contrôle qu'il procède à un contrôle sur le site de production afin de vérifier le respect du code de comptage.

Pour tout complément d'information, le code de comptage (CC-PEV) est disponible sur le site de la CWaPE<sup>64</sup>.

---

<sup>62</sup> Note sur les certificats verts et les labels de garantie d'origine. CWaPE, 2008

<http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=9271>

<sup>63</sup> Procédures et code de comptage de l'électricité verte en Région wallonne. Annexe à l'arrêté ministériel du 12 mars 2007

<http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=8151>

<sup>64</sup> CWaPE - [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=8151>

## 8. Réalisation de l'installation d'une éolienne

Le choix du matériel et de l'installateur est primordial pour obtenir pleinement satisfaction de l'installation d'une petite éolienne. Choix difficile, lié à de nombreux paramètres techniques, urbanistiques, commerciaux...

### 8.1. Un peu de technique...

Une éolienne capture une partie de l'énergie cinétique du vent. La connaissance de quelques principes et règles de base liés aux technologies mises en œuvre<sup>65 66 67 68</sup> est nécessaire pour s'assurer de la pertinence des choix à effectuer.

#### 8.1.1. Types d'éoliennes

L'orientation de l'axe de rotation de l'éolienne détermine la principale classification des éoliennes disponibles sur le marché : éoliennes à axe horizontal ou éoliennes à axe vertical.

Les éoliennes à axe horizontal sont similaires aux éoliennes que l'on rencontre actuellement sur les « fermes » éoliennes.

Beaucoup d'éoliennes à axe horizontal possèdent trois pales. Ce choix est lié à un compromis entre les contraintes mécaniques, la stabilité du rotor et la vitesse de rotation nécessaire pour capter l'énergie du vent. Une éolienne disposant d'un grand nombre de pales présente une plus grande fragilité en cas de tempête... Une éolienne bipale doit tourner plus vite qu'une éolienne tripale...



Source : Wineur Project



Source : Wineur Project

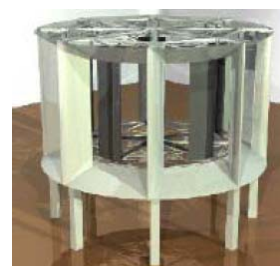
Les éoliennes à axe vertical ont été conçues pour s'adapter au mieux aux contraintes engendrées par les turbulences en milieu urbain par exemple.

Grâce à leur disposition particulière, elles peuvent fonctionner avec des vents provenant de toutes les directions et sont moins soumises aux perturbations que les éoliennes à axe horizontal. Elles sont relativement silencieuses, peuvent facilement s'intégrer à l'architecture des bâtiments, permettent de placer la génératrice au niveau du sol et ne nécessitent pas de mécanisme d'orientation.

Par contre, leur couple de démarrage souvent important (il faut une bourrasque ou un lancement en mode moteur pour que l'éolienne commence à tourner) limite considérablement leur productivité.

Les éoliennes à axe horizontal fonctionnent avec la portance alors que les éoliennes à axe vertical utilisent soit la traînée (Savonius) soit la portance (Darrieus).

L'éolienne de modèle Darrieus se caractérise souvent par la forme en C de ses pales qui rappelle vaguement



Source : Wineur Project

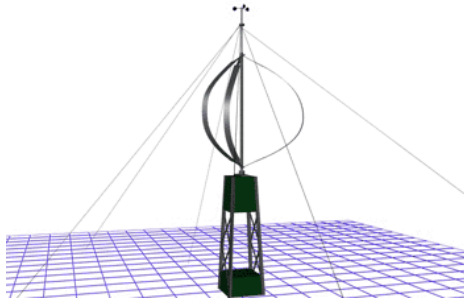
<sup>65</sup> Danish Wind Industry Association - <http://www.windpower.org/>

<sup>66</sup> Scarabée. Bulletin de liaison du réseau des experts de l'énergie décentralisée N°15, Systèmes Solaires, Paris, juillet 2005

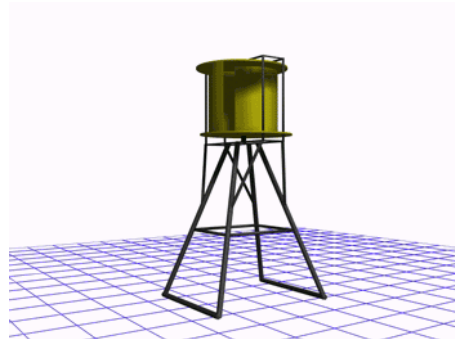
<sup>67</sup> Le Grand Livre de l'Eolien, Paul Gipe, Editions Observ'ER, Paris, 2004

<sup>68</sup> Urban Wind Turbines, Wineur project - [www.urbanwind.org](http://www.urbanwind.org)

un batteur. Elle est normalement constituée de deux ou trois pales.  
L'éolienne de modèle Savonius est constituée de parties cylindriques en opposition.



*Eolienne Darrieus*



*Eolienne Savonius*

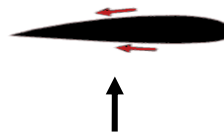
Source : Compagnons d'Eole

### **8.1.2. Le rotor**



L'hélice transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le rotor est constitué d'un moyeu et des pales de l'hélice.

Source : Proven



Source : Windpower.org

Dans le cas des éoliennes à axe horizontal, le profil aérodynamique des pales crée sur une face des pales une portance qui génère le couple moteur susceptible de mettre l'hélice en rotation. L'évolution du profil le long de la pale lui confère une forme vrillée et effilée calculée afin de maximaliser ses performances.



Source : Eoltec

Les pales sont généralement construites en matériau plastique ou composite moulé.

Le moyeu, abrité par un capot aérodynamique, porte les pales du rotor et entraîne le générateur électrique. Les pales sont fixées soit rigidement avec un angle de calage fixe, ou par un mécanisme permettant aux pales de pivoter autour d'un axe longitudinal.



### 8.1.3. Puissance du vent et limite de Betz

Le vent est dû au déplacement de l'air de l'atmosphère sous l'effet des différences de pression. La puissance cinétique du vent balayant une surface se quantifie<sup>69 70</sup> par la relation :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

Avec :

P, la puissance du vent [W]

$\rho$ , la masse volumique de l'air [kg/m<sup>3</sup>]

S, la surface perpendiculaire à la direction du vent [m<sup>2</sup>]

v, la vitesse de l'air [m/s]

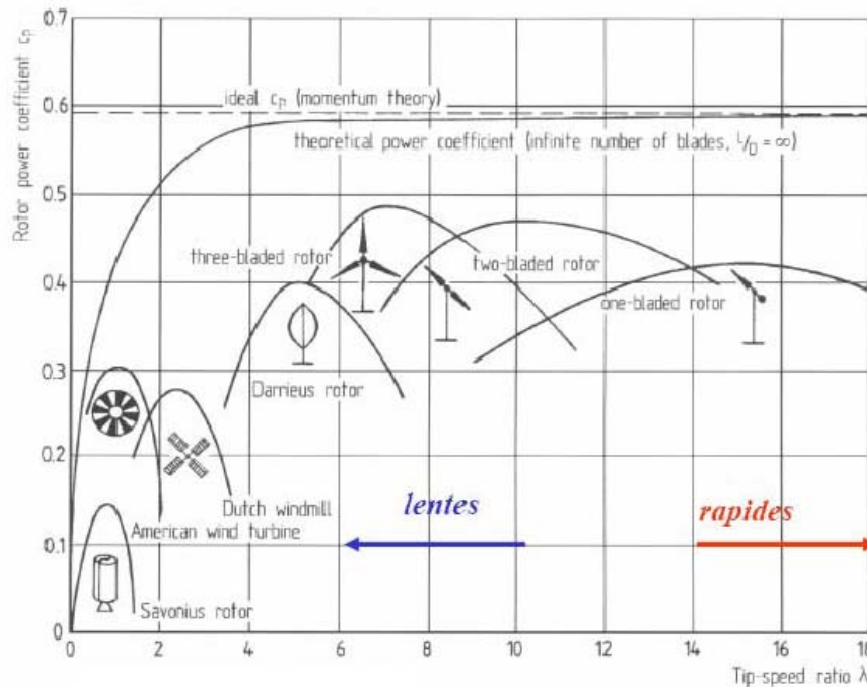
Dans les conditions atmosphériques de référence usuelles (température de 15°C et pression atmosphérique de 101,3 hPa), la masse volumique de l'air est de 1,225 kg/m<sup>3</sup> et un vent de 10 m/s développe une puissance d'environ 600 W/m<sup>2</sup>.

Aucune éolienne ne peut capter la totalité de cette énergie. Albert Betz (1885-1968) a démontré en 1926 que la puissance maximale récupérable par une éolienne est limitée à 16/27 (0,5926) de la puissance du vent.

Dans les conditions du paragraphe précédent, la puissance maximale récupérable est d'environ 360 W/m<sup>2</sup>.

En pratique, le coefficient de puissance (Cp) d'une éolienne, toujours inférieur à la valeur maximale de 0,5926 et fonction de la vitesse du vent, détermine l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie du vent en électricité.

La figure suivante<sup>71</sup> représente, pour les différents types d'éoliennes, le coefficient de puissance Cp en fonction du paramètre  $\lambda$  correspondant au « TSR » (Tip Speed Ratio<sup>72</sup>) pour différents types d'éoliennes.



<sup>69</sup> Systèmes énergétiques Gérard Sarlos, Pierre-André Haldi, Pierre Verstraete Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2003

<sup>70</sup> European Wind Atlas Ib Troen & Erik Lundtang Petersen, Risoe National Laboratory, Risoe, Denmark, 1991

<sup>71</sup> Wind-turbines, Hau Erich, Springer, Deutschland., 2000

<sup>72</sup> Le TSR est défini comme suit : Vitesse du vent / Vitesse en bout de pale



En première approximation et dans les conditions atmosphériques de référence précitées, la puissance maximale<sup>73</sup> récupérable par une éolienne peut se déterminer par la relation simplifiée :

$$P = 0,2851 \cdot D^2 \cdot v^3$$

Avec :

P, la puissance maximale de l'éolienne [W]

D, le diamètre du rotor [m]

v, la vitesse de l'air [m/s]

Cette relation détermine la « limite de Betz » d'une éolienne, fonction bien sûr de son diamètre mais surtout des différentes valeurs de la vitesse du vent.

Notons particulièrement que la puissance maximale récupérable est fonction du carré du diamètre du rotor et dépend du cube de la vitesse du vent ! Ainsi, augmenter la longueur des pales de 10% augmente la puissance de 21% et bénéficier d'un vent 10% plus rapide augmente la puissance de l'éolienne de 33%...

### **8.1.4. Caractéristiques du vent**

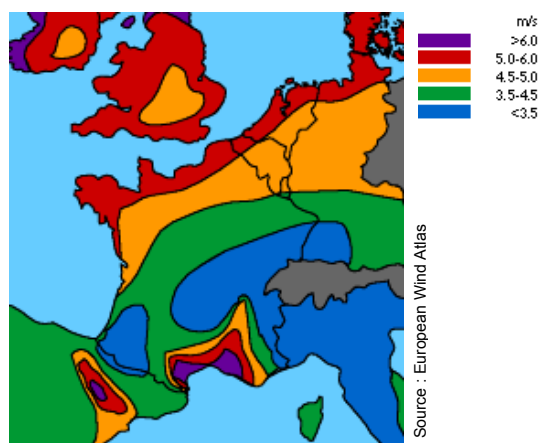
Le vent est un phénomène extrêmement variable. Sa vitesse et sa direction ne sont prévisibles que statistiquement à court terme et sa répartition dépend de multiples paramètres locaux : relief, couverture du sol, présence d'obstacle,....

#### **Vitesse moyenne du vent et modélisation**

Pour caractériser<sup>74 75</sup> la vitesse du vent sur un site, on définit ordinairement une vitesse moyenne annuelle (en m/s).

Classiquement, cette valeur correspond à une mesure effectuée à 10m de hauteur par rapport au sol.

Mais cette valeur peut cacher d'importantes variations et pour connaître les caractéristiques d'un site et évaluer la capacité d'une éolienne à y produire de l'énergie, il est nécessaire d'étudier la distribution temporelle des vitesses de vent.



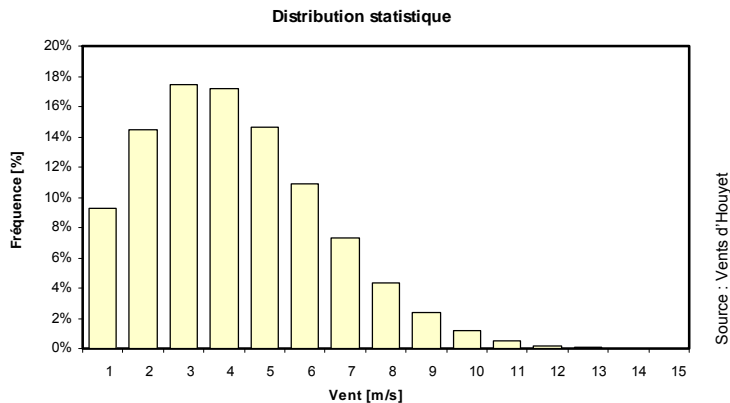
L'expérience montre que cette distribution est, pour la plupart des sites, assez bien représentée par une application de la loi statistique de Weibull. Cette répartition statistique mathématique est paramétrée par la vitesse moyenne des vents et par un facteur de forme caractérisant le régime des vents de la région considérée. Un vent très variable est caractérisé par un facteur de forme peu élevé (de l'ordre de 1) ; un vent régulier est caractérisé par un facteur de forme élevé (de l'ordre de 3). Chez nous, un facteur de forme de l'ordre de 1,5 à 2 rend dans beaucoup de situations bien compte des caractéristiques du vent.

En disposant de ces deux paramètres, il est ainsi possible d'estimer grossièrement la distribution temporelle des vitesses de vent sur le site, sans effectuer une longue campagne de mesure.

<sup>73</sup> Avec un Cp maximum (=0,5926)

<sup>74</sup> European Wind Atlas Ib Troen & Erik Lundtang Petersen, Risoe National Laboratory, Risoe, Denmark, 1991

<sup>75</sup> Systèmes énergétiques Gérard Sarlos, Pierre-André Haldi, Pierre Verstraete Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2003



Il faut toutefois manier ce modèle avec prudence. Les mesures réelles de la distribution des vents sur un site particulier montrent parfois de grandes différences avec la modélisation mathématique. D'importants écarts entre la production potentielle d'énergie éolienne déterminée à l'aide de ce modèle et la réalité peuvent alors apparaître.

Les figures suivantes illustrent<sup>76</sup> l'influence de la variabilité spatiale (fonction de la position géographique à petite échelle) et temporelle (fonction de la forme exacte de la distribution des vents locaux) du vent sur la productivité d'une éolienne, dans des environnements pourtant caractérisés par des vitesses moyennes et des facteurs de forme assez uniformes. L'intérêt d'une étude précise du régime de vent menée par des professionnels est évident pour déterminer avec le moins d'incertitudes possible les qualités potentielles d'un site.

### De la variabilité spatiale du vent ...

Estimer le **rendement d'une éolienne**  
(production annuelle moyenne / 20 ans)  
requière la **distribution des vitesses locales**

**VALIDATION EX.**  
Local Wind (corr. 99%)

**Local Prod (err. 5-10%)**

© ATM-PRO s.p.r.l.  
Rue Saint-André 7  
BE-1400 Nivelles  
Belgium  
www.atmpro.be

**Cartographie du productible (kWh/an)**

Production (kWh/an)

EOL01	7.248
EOL02	3.189
EOL03	9.291
EOL04	10.686
EOL05	307


**Distributions des vitesses des vents locaux (%)**

0.0      2 750.0      5 500.0      8 250.0      11 000.0

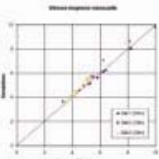
**Productible Annuel Long Terme (20 ans) en kWh/an : ALIZE (10 kW) / Z<sub>tot</sub> = 10 m**

Source : ATM-Pro

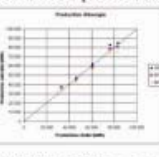
<sup>76</sup> Dr. Alexis DUTRIEUX, Managing Director, ATM-PRO sprl, Rue Saint-André 7, BE-1400 Nivelles  
[www.atmpro.be](http://www.atmpro.be)



**VALIDATION EX.**  
Local Wind (corr. 99%)




Local Prod (err. 5-10%)



© ATM-PRO s.p.r.l.  
Rue Saint-André 7  
BE-1400 Nivelles  
Belgium  
www.atmpro.be

## De la variabilité temporelle du vent ...

### La vitesse moyenne du vent : bon indicateur ?



Vit.	Prod.	A_WBL	k_WBL
2.48	1096	2.36	1.38
2.48	1152	2.40	1.39
2.48	1234	2.46	1.57
2.48	1235	2.45	1.37
2.48	1244	2.39	1.36
2.48	1272	2.54	1.48
2.48	1275	2.60	1.37
2.48	1282	2.37	1.39
2.48	1328	2.41	1.36
2.48	1347	2.41	1.35
2.48	1387	2.45	1.40
2.48	1417	2.28	1.37
2.48	1580	2.39	1.38
2.48	1581	2.49	1.31
2.48	1787	2.32	1.37

VIT.	Prod.	A_WBL	k_WBL
3.84	9692	4.20	1.85
3.84	9788	4.19	1.84
3.84	9881	4.20	1.84
3.84	9978	4.18	1.84
3.84	9980	4.18	1.89
3.84	9988	3.94	1.49
3.84	9985	4.11	1.82
3.84	7958	3.95	1.57
3.84	7993	3.89	1.48
3.84	7994	3.92	1.49
3.84	7929	3.91	1.44
3.84	7937	4.07	1.49
3.84	7958	3.90	1.43
3.84	7997	3.86	1.45
3.84	9919	3.92	1.45
3.84	9970	3.91	1.44

VIT MOY IDENTIQUE **2.48** m/s

Prod. (MWh/ha) Delta rel : (1000-MOY)/MOY

MIN **1096** -88.3%

MOY **1348**

MAX **1787** 33.3%

MAXIMH **162%**

NB POINTS 15 à vitesse moyenne identique

% terrain fluvial 0.028% km²

VIT MOY IDENTIQUE **3.84** m/s

Prod. (MWh/ha) Delta rel : (1000-MOY)/MOY

MIN **9690** -88.2%

MOY **7451**

MAX **9970** 8.3%

MAXIMH **121%**

NB POINTS 40 à vitesse moyenne identique

% terrain fluvial 1.133% km²

**NON! Il faut la distribution des VENTS LOCAUX**

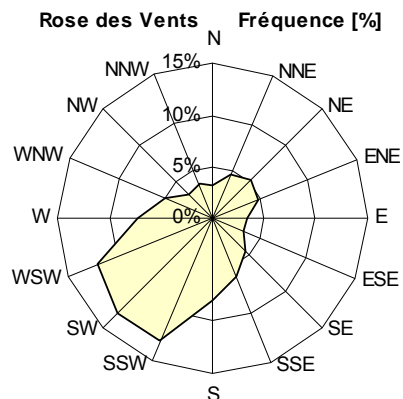
Source : ATM-Pro

### Rose des vents

Les vents les plus forts soufflent en général d'une direction particulière.

Afin de se faire une idée de la répartition géographique de la direction du vent, on peut construire une rose des vents composée d'un certain nombre de secteurs à partir des observations météorologiques faites dans une région donnée.

Les roses des vents pour deux régions avoisinantes sont souvent très similaires...



Source : Vents d'Houyet

Quoi qu'il en soit, il faut tenir compte des incertitudes liées aux données météorologiques disponibles. Ces données sont parfois entachées d'erreurs<sup>77</sup> structurelles ou accidentelles de mesures et la validation de ces données nécessite une analyse que seuls des professionnels avertis sont capables de mener à bien.

Les données disponibles sont donc à utiliser avec beaucoup de prudence et génèrent des incertitudes sur les résultats des modèles mathématiques simples d'évaluation de la production éolienne.

<sup>77</sup> Certaines données météorologiques « officielles » sont en fait fortement affectées par la topographie des lieux ou par des erreurs de manipulation des instruments de mesures.

## Rugosité et Cisaillement du vent

Le vent est un fluide qui s'écoule le long du sol. Cet écoulement peut être modifié, ralenti, par la rugosité de la surface du sol. Le cisaillement du vent désigne la variation de la vitesse du vent en fonction de la distance à la surface du sol.

Ainsi, les forêts et les grandes villes freinent évidemment beaucoup le vent, tandis qu'une vaste plaine agricole n'influe que peu sur la vitesse du vent. Cette rugosité est variable en fonction des saisons et des conditions climatiques...

Dans l'industrie éolienne, on se réfère en général à la notion de classe de rugosité. Les paysages à rugosité forte (avec beaucoup d'arbres ou d'immeubles) sont rattachés à la classe de rugosité 3 ou 4 tandis que la surface de la mer est classée 0.

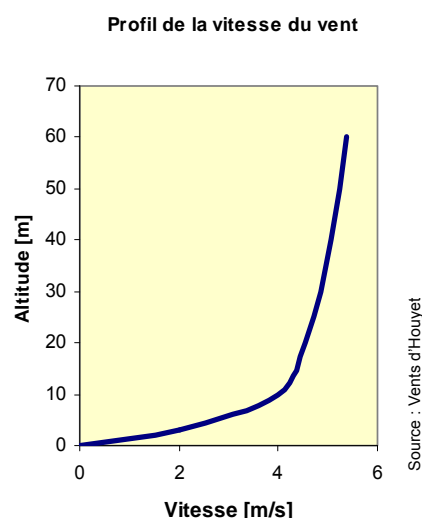
Classe de rugosité	Type de paysage (Source : European Wind Atlas)
0	Surface d'eau
0,5	Terrain complètement dégagé avec une surface lisse
1	Terrain agricole dégagé, sans clôtures ou haies vives, et avec très peu de constructions. Seulement des collines doucement arrondies.
1,5	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de haut situées à environ 1.250 m les unes des autres.
2	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de haut situées à environ 500 m les unes des autres.
2,5	Terrain agricole avec beaucoup de constructions, arbrisseaux et plantes, ou des haies vives de 8 m de haut situées à environ 250 m les unes des autres.
3	Villages, petites villes, terrain agricole avec de nombreuses ou de hautes haies vives, des forêts et un terrain très accidenté.
3,5	Grandes villes avec de hauts immeubles.
4	Très grandes villes avec de hauts immeubles et des grattes ciel.

Dans la plupart des situations, la répartition de la vitesse du vent au dessus du sol est bien représentée par un profil logarithmique fonction de la classe de rugosité.

Tout comme on se sert de la rose des vents pour déterminer la distribution des vents sur un site donné, on peut se servir d'une rose des rugosités pour décrire la rugosité du terrain dans les différentes directions du vent.

Une petite manipulation mathématique permet donc de reconstituer approximativement les caractéristiques du vent sur le site prévu et à la hauteur du rotor à partir de quelques données de base.

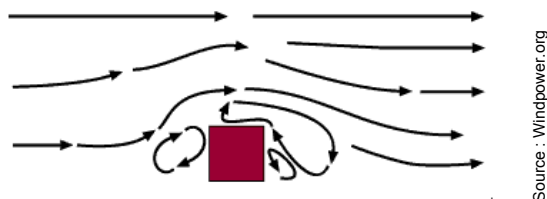
Ici aussi, le modèle mathématique doit être considéré avec prudence. Ce modèle représente assez valablement un environnement neutre, mais des conditions climatiques particulières (présence de turbulences ou d'une inversion de température, par exemple) peuvent fortement modifier ce profil et générer de grandes différences entre le modèle et la réalité.



## Obstacles et effet d'abri

Les obstacles à l'écoulement du vent ont un autre effet que de ralentir le vent : ils le rendent turbulent.

Les turbulences rendent plus difficile voire impossible la récupération de l'énergie cinétique du vent par une éolienne et augmentent la fatigue des composants mécaniques de l'éolienne.



L'effet d'abri créé par un obstacle donné est fonction de sa hauteur et de sa longueur. Il va de soi que l'effet d'abri est surtout important tout près de l'obstacle et du sol.

L'étendue de la zone turbulente s'étend principalement à l'arrière de l'éolienne par rapport à la direction du vent sur une distance qui peut aller jusqu'à environ trente ou quarante fois la hauteur de l'obstacle et sur une hauteur équivalente à trois fois la hauteur de cet obstacle.

Par conséquent, il faut de préférence chercher à éviter la présence d'obstacles près d'une éolienne, particulièrement dans la direction des vents dominants.

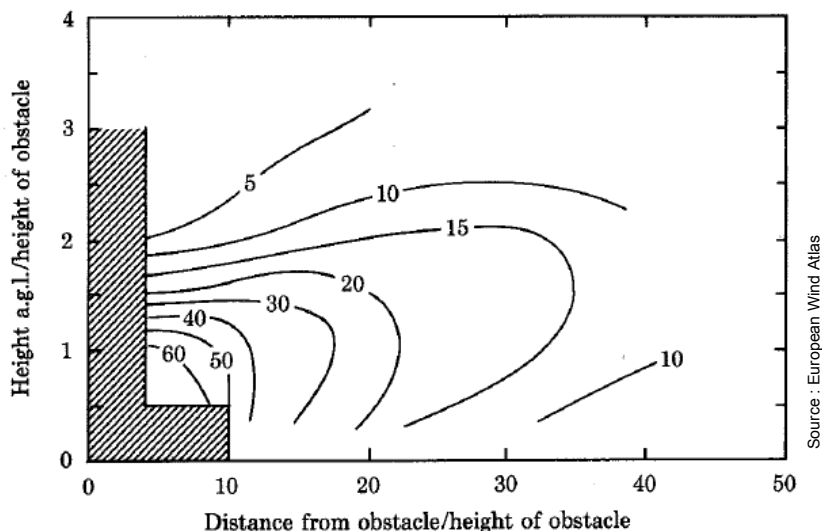
La réduction de vitesse moyenne dépend des dimensions relatives de l'obstacle, de l'éolienne et de la distance qui les séparent.

L'effet d'abri dépend également de la « porosité » de l'obstacle.

Un bâtiment est évidemment massif, sa porosité est nulle et l'effet d'abri est important.

Quelques arbres isolés laissent passer du vent. Leur porosité est plus élevée et l'effet d'abri est moindre.

La réduction relative (en %) de la vitesse moyenne du vent peut s'évaluer<sup>78</sup> à l'aide des valeurs fournies par un abaque (déterminé empiriquement pour un obstacle de porosité nulle), corrigées en fonction de la porosité de l'obstacle.



L'observation de l'environnement de la zone prévue pour l'implantation de l'éolienne permet ici aussi d'établir par des calculs relativement simples une image de l'effet d'abri sous forme d'une rose de l'effet des obstacles. Cette rose rend compte de la diminution de la vitesse moyenne du vent dans les différentes directions de la rose des vents.

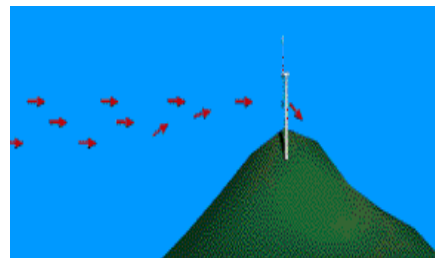
Ce modèle empirique ne fait bien sûr qu'évaluer grossièrement la réalité, bien plus complexe...

<sup>78</sup> European Wind Atlas Ib Troen & Erik Lundtang Petersen, Risoe National Laboratory, Risoe, Denmark, 1991

## Relief

L'effet du relief sur la qualité du vent est important mais difficilement quantifiable par des méthodes simples. Les logiciels sophistiqués capables de tenir compte du relief dans le calcul des vitesses du vent nécessitent l'accès à des données topographiques complexes.

En général, on cherche à installer les éoliennes sur le sommet d'une colline ou d'une crête, sur un coteau faisant face à la direction des vents dominants ou dans une vallée orientée dans le sens du vent dominant afin de bénéficier de l'effet d'accélération du vent créé par ce relief. A l'opposé, les situations contraires entraîneront une diminution de la vitesse des vents et une réduction de la production d'énergie électrique.



Source : Windpower.org

A nouveau, la réalité du terrain dépasse les capacités du modèle et il n'est pas rare de constater des phénomènes opposés.

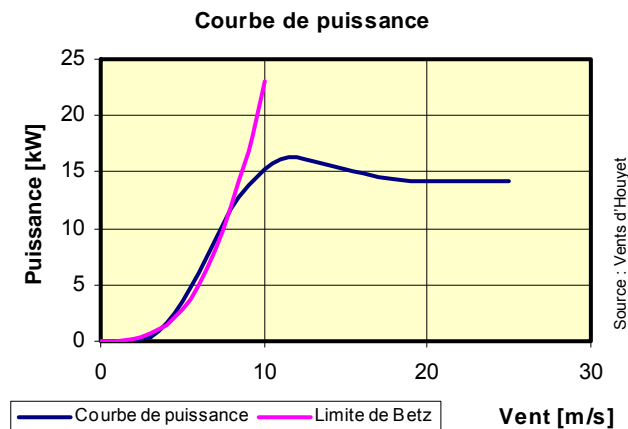
### 8.1.5. Puissance d'une éolienne

Une éolienne ne peut produire de l'énergie électrique qu'à partir d'une vitesse de vent minimale (vitesse de démarrage ou « cut-in wind speed »).

Pour des raisons de sécurité, elle cesse de fonctionner au-delà d'une vitesse de vent maximale (vitesse de coupure ou « cut-out wind speed »).

En fonction de ses caractéristiques, une éolienne va, pour chaque vitesse du vent comprise entre la vitesse de démarrage et la vitesse de coupure, être capable de récupérer une partie de la puissance du vent. La courbe de puissance caractérise, pour chaque éolienne, sa capacité à effectuer cette opération.

Les données de la courbe de puissance, généralement fournies par le constructeur dans les données techniques de l'éolienne, sont bien sûr des données primordiales pour le choix de la machine.



Une norme internationale (IEC 61400-12) définit les qualités de cette courbe de puissance. Les vitesses de vents sont classées par intervalles de 1m/s centrés sur les valeurs entières de la vitesse et les mesures de vitesses moyennes sont des vitesses moyennes mesurées sur 1 minute. La procédure technique à suivre pour générer cette courbe est également précisée dans cette norme.

Il faut noter que le mode de mesure de vitesse du vent (moyenne sur 1 minute) conduit parfois pour les vitesses de vent faibles à un léger dépassement apparent de la limite de Betz : dans l'intervalle de vitesses de vent considéré, les vents proches de la limite supérieure de l'intervalle ont un « poids » énergétique beaucoup plus élevé que les vents proches de la limite inférieure (la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse du vent).



Malheureusement, en dépit de la croissance du marché, force est de constater que de nos jours, pour les petites éoliennes, il n'y a généralement pas de certificat de normes pour la courbe de puissance machines proposées.

Les fabricants fournissent ces données dans leurs catalogues, mais bien souvent sans faire référence à la procédure adoptée pour générer la courbe de puissance.

La prudence est donc de mise ; les données de puissance fournies par certains constructeurs sont supérieures à la réalité...

En considérant la limite de Betz, il est possible d'évaluer approximativement la puissance maximale d'une éolienne donnée afin d'effectuer une vérification élémentaire de la validité des données fournies.

La limite de Betz permet de calculer, en fonction de la vitesse du vent et du diamètre du rotor, la puissance maximale théoriquement récupérable par l'éolienne :

$$P = 0,2851 \cdot D^2 \cdot v^3$$

Avec :

P, la puissance maximale de l'éolienne [W]

D, le diamètre du rotor [m]

v, la vitesse de l'air [m/s]

Classiquement, une éolienne produit sa puissance maximale à une vitesse de vent de l'ordre de 10 à 12 m/s.

Pour ces vitesses de vent, la plupart des petites éoliennes parviennent à récupérer au maximum une puissance de l'ordre d'environ 50% de cette valeur limite.

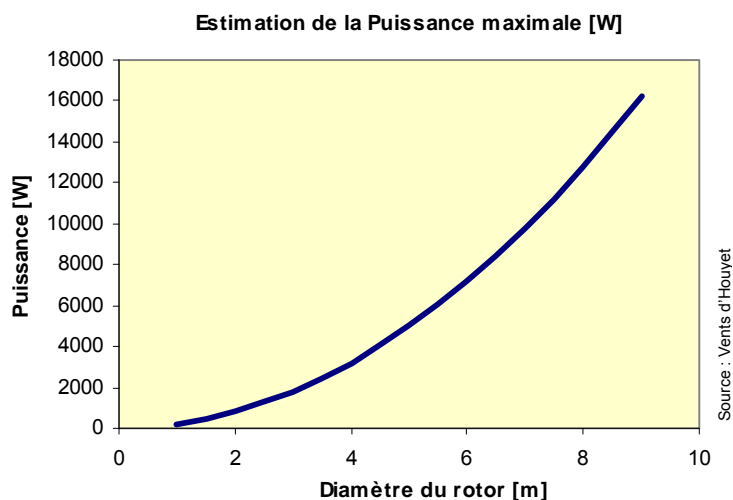
Un petit calcul permet ainsi de juger en première approximation si la puissance maximale est raisonnablement évaluée...

$$P_{\max} = 50\% \cdot 0,2851 \cdot D^2 \cdot 11^3 \cong 200 \cdot D^2$$

Avec :

P, la puissance maximale de l'éolienne [W]

D, le diamètre du rotor [m]



### **8.1.6. Energie produite par une éolienne**

L'énergie annuelle produite par une éolienne (en kWh, par exemple) est le résultat de l'intégration des puissances fournies par l'éolienne tout au long de l'année.

En tenant compte de toutes les faiblesses des modèles mathématiques et de l'incertitude liée bien souvent à la non-certification de la courbe de puissance, il est possible d'estimer approximativement, avant l'installation d'une éolienne, la productivité d'une éolienne en croisant la courbe de puissance de l'éolienne avec la distribution temporelle statistique des vitesses de vent sur le site d'implantation.



Le facteur de charge (ou facteur de capacité) est le rapport entre l'énergie électrique annuelle produite par une éolienne et l'énergie qu'elle aurait pu produire si elle avait fonctionné toute l'année à sa puissance maximale. C'est un indicateur courant pour mesurer la qualité d'une installation éolienne... Le facteur de charge se situe classiquement entre 10 et 20%.

On peut également quantifier la qualité d'une installation éolienne en exprimant sa productivité sous forme du nombre d'heure de fonctionnement à puissance maximale capable d'assurer la même production électrique annuelle.

Ainsi, une éolienne présentant un taux de charge de 12%, par exemple, assure l'équivalent de  $12\% \times 8670$  heures = 1051 heures de fonctionnement à puissance maximale.

### **8.1.7. Générateur**

Les petites éoliennes peuvent être équipées de différents types de générateurs. Le détail précis des technologies utilisées n'offre pas beaucoup d'intérêt pour l'utilisateur novice et dépasse le cadre de cette synthèse.

Ces générateurs, généralement carénés dans une nacelle située dans l'axe du moyeu, fournissent, dès que l'éolienne se met en mouvement, un courant électrique continu ou alternatif dont les caractéristiques dépendent de la vitesse de rotation du rotor.

L'utilisation d'alternateurs multipôles, directement entraînés par le moyeu et dont la vitesse de rotation est identique à celle de l'hélice se généralise de plus en plus. Le champ magnétique rotorique est dans ces alternateurs créé par un aimant permanent ou par excitation indépendante.

Lorsque cela n'est pas le cas, un multiplicateur de vitesse à engrenages assure l'entraînement de l'alternateur à une vitesse de rotation suffisante à son bon fonctionnement. Ce multiplicateur de vitesse est la source de bruits de fonctionnement supplémentaires et nécessite une maintenance régulière...

Les équipements électriques annexes adaptent les caractéristiques du courant fourni aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

### **8.1.8. Mécanisme d'orientation**

Les éoliennes à axe horizontal doivent se positionner dans la direction du vent.

Si elle est conçue pour être orientée sous le vent, l'éolienne se positionne sous l'effet de la traînée de l'hélice. Le rendement de ces machines est altéré par la présence du mât et des équipements en amont de l'hélice.

Les machines orientées face au vent se positionnent sous l'action d'un gouvernail, plaque verticale fixée à l'arrière de la nacelle ou, pour les plus grosses machines, par un servomécanisme d'orientation forcée. Cette disposition minimise les perturbations créées par le passage des pales à proximité du mât.



Source : Wisper

A la suite de la rotation aléatoire de la nacelle, le transfert de l'énergie électrique vers les câbles électriques et vers le sol doit être assuré pour les petites éoliennes par un collecteur à bagues lisses afin d'éviter la torsion des câbles.

### **8.1.9. Mât**

Le mât supporte la nacelle et le rotor.

La hauteur du mât influe considérablement la productivité de l'éolienne car une tour plus haute permet d'atteindre des vitesses de vent plus élevées.

Bien que cette configuration ne soit pas idéale, les plus petites éoliennes peuvent parfois être montées sur un petit mât tubulaire fixé au sommet d'un bâtiment (cheminée, pignon,...). Attention dans ce cas à bien prendre en compte la présence de vibrations et de contraintes supplémentaires.

Pour les éoliennes de plus grande taille, le mât haubané ancré dans le sol et basculant est la solution la plus simple et la plus facile à installer. Le montage s'effectue au sol. Un treuil, dont le câble s'appuie sur l'extrémité d'une flèche de manœuvre suffit alors pour mettre l'éolienne en place. Les haubans, disposés autour du mât et ancrés dans le sol (blocs de béton), assurent la stabilité de l'ensemble.



Source : Eoltec



Source : Eolice

Le mât autoportant, en treillis (plus léger) ou en tube d'acier (plus esthétique que le mât haubané mais plus coûteux) nécessite d'importantes fondations. La mise en place de l'éolienne doit s'effectuer à l'aide d'une grue. L'absence de hauban réduit l'emprise de l'installation de l'éolienne sur le sol.

### **8.1.10. Régulation et contrôle**

A la suite d'une forte augmentation de la vitesse du vent ou d'une diminution de la résistance mécanique opposée par le générateur électrique, la vitesse de rotation de l'hélice peut atteindre une valeur capable d'endommager le générateur ou les pales de l'éolienne. La régulation a pour but de maintenir la vitesse de rotation dans des limites acceptables.

Les machines les plus simples, sur lesquelles les pales sont fixées avec un angle de calage fixe, réalisent cette régulation par simple décrochage aérodynamique des pales (éoliennes à pas fixe).

Lorsque la vitesse de rotation des pales atteint une valeur critique, la portance assurée par le profil aérodynamique s'estompe. Le couple moteur décroît et l'hélice ralentit...

Les mécanismes de freinage électriques ou mécaniques, actionnés au besoin par l'utilisateur, complètent les dispositifs de contrôle.

Une autre technique utilisée pour assurer la régulation des éoliennes à pas fixe est la désorientation de l'hélice (« furling »).

L'axe de l'hélice est décalé par rapport à l'axe du mécanisme d'orientation (vertical ou horizontal). Lorsque la vitesse du vent augmente au-delà du raisonnable, l'action mécanique due à la traînée de l'hélice prend le dessus par rapport à l'action du gouvernail. L'ensemble s'efface latéralement ou bascule verticalement puis s'équilibre dans une position intermédiaire.

La désorientation de l'hélice par rapport au vent induit une diminution du couple moteur et une régulation de puissance et de vitesse.



Source : Wisper

Les contraintes mécaniques et les vibrations engendrées par la désorientation de l'hélice limitent l'usage de cette technique aux sites moyennement venteux et aux très petites éoliennes...

Pour réaliser cette régulation de puissance et de vitesse, les machines les plus performantes modifient progressivement l'angle de calage des pales (éoliennes à pas variable).

En fonction de la vitesse de rotation du rotor, les pales tournent simultanément autour de leur axe longitudinal.

La variation de l'orientation des pales conduit à une mise en drapeau ou mieux encore à un décrochage aérodynamique progressif qui contrôle le couple moteur et la puissance de la machine. L'éolienne débite alors avantageusement sa puissance nominale dans une large gamme de vitesses de vent.



Source : Eoltec

Certaines machines disposent également d'un automate capable d'ajuster la charge du générateur électrique d'une telle manière que la vitesse de rotation de l'hélice soit toujours optimale par rapport à la vitesse du vent (MPPT – Maximum Power Point Tracking). Le rendement de l'hélice est ainsi toujours maximal.

### **8.1.11. Frein de service et frein d'urgence**

En service, la rotation du rotor de l'éolienne est freinée par la régulation de la puissance et la charge associée à la puissance débitée.

En cas d'incident ou à la demande de l'utilisateur, l'éolienne doit s'arrêter rapidement et se mettre en sécurité à l'aide de son frein d'urgence.



Source : Windpoxer.org

Si la vitesse de rotation est élevée, la première étape du freinage d'urgence consiste à dévier la charge vers les résistances « Dump load » associées à l'équipement de protection contre les surtensions. L'arrêt complet de la rotation du rotor est ensuite assuré par un freinage électrique ou un frein mécanique.

Le freinage électrique s'effectue en court-circuitant le générateur électrique. Une éventuelle rotation induit dans ce cas dans le générateur un couple de freinage élevé qui freine fortement la rotation.

Les freins mécaniques sont des freins à friction qui immobilisent complètement le rotor.

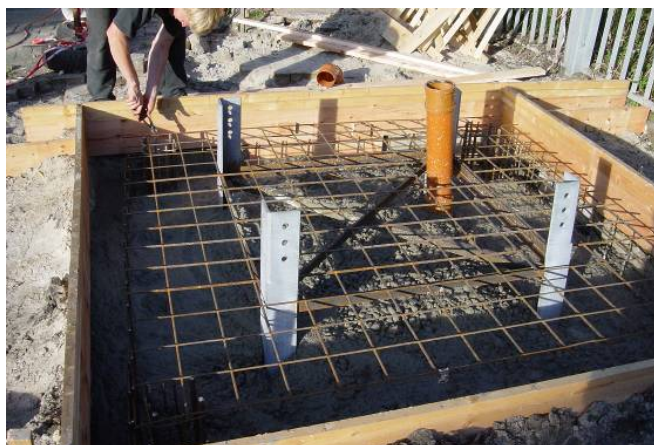
### **8.1.12. Sécurité, aménagements, équipements complémentaires et ancrage**

Les éoliennes doivent répondre aux exigences de sécurité de la norme IEC 61400-2 (concernant les éoliennes à axe horizontal) et doivent être accompagnées d'une attestation de certification (concernant les éoliennes à axe vertical, aucune norme européenne spécifique n'a été d'application à ce jour). Elles doivent également satisfaire aux normes générales de sécurité des constructions et doivent être conçues et montées selon de bonnes pratiques d'exécution...

Lorsque les conditions climatiques s'y prêtent, de petits blocs de glaces peuvent être projetés par la rotation des pales. Ce danger peut être atténué par une maintenance régulière du système, par l'arrêt de l'éolienne en cas de formation de gel ou par le placement d'un système de chauffage des pales.

Lorsqu'il doit être effectué dans le sol, l'ancrage de l'éolienne est réalisé à l'aide de fondations en béton armé. La structure de ces fondations doit faire l'objet d'études d'ingénierie afin d'assurer une stabilité suffisante. Les constructeurs fournissent généralement les plans et les caractéristiques techniques de l'ancrage à créer.

Quoi qu'il en soit, en cas de doute, même s'il n'est pas toujours requis, le recours à un architecte permet de s'assurer de la stabilité de l'ensemble.



Source : Aircon

Bien que cette configuration ne soit pas idéale, certaines petites éoliennes peuvent être fixées sur un bâtiment. Dans ce cas, un ancrage est généralement proposé par le constructeur avec tous les accessoires requis...

Dans ce cas, une attention particulière doit être portée sur les conséquences des éventuelles vibrations et contraintes, non seulement par rapport aux bruits qu'elles peuvent engendrer, mais aussi sur la stabilité et la résistance des éléments de la structure du bâtiment.

Le raccordement électrique nécessite un câblage particulier afin d'acheminer l'électricité produite vers l'utilisateur. Ces câbles et leurs accessoires de protection, à enfouir dans une tranchée, sont également bien souvent également proposés par le constructeur.

### **8.1.13. Maintenance**

Les dangers principaux liés aux opérations de montage ou de maintenance d'une éolienne sont la hauteur avec les risques de chutes et les dangers liés à l'électricité ! Ces travaux doivent être confiés à des personnes habilitées à la prévention de ces risques et l'éolienne doit bien sûr pouvoir être bloquée pendant les opérations de maintenance.

Certains constructeurs recommandent un entretien tous les trois ans, certains même affirment que leur modèle ne nécessite aucun entretien...

Quoi qu'il en soit, un entretien annuel est généralement nécessaire pour assurer une longue vie à l'installation éolienne : graissage des roulements, resserrage des connexions électriques, vérification de l'état des pales, vérification et resserrage des éventuels haubans, vérification des taches de rouille éventuelles...

La durée de vie prévisible d'un onduleur est inférieure à la durée de vie ordinaire d'une éolienne. Les pales sont également fragiles et peuvent s'abîmer avec le frottement dans l'air. Il n'est donc pas rare de devoir remplacer l'onduleur et/ou les pales au bout de quelques années de fonctionnement...

## **8.2. Comparaison technique des modèles disponibles et choix**

Pour choisir une éolienne, l'analyse de ses caractéristiques et données techniques est primordiale.

Le choix doit principalement se baser sur :

- la puissance électrique nominale ;
- la courbe de puissance ;
- le service après-vente ;
- le prix et la rentabilité financière du projet...

Les autres caractéristiques techniques complètent l'information inhérente à un choix pertinent.

### **8.2.1. Quelques exemples**

Des exemples ont été choisis de manière à illustrer les caractéristiques de quelques éoliennes. Le choix est arbitraire et n'est absolument pas lié aux performances ou à une qualité quelconque de ces machines.

Les données indiquées ont été rassemblées lors de la rédaction de ce vade-mecum à l'aide des catalogues et feuilles de données fournies par les constructeurs. Elles sont donc susceptibles d'avoir été modifiées et seule une démarche d'information précise envers un constructeur peut permettre de s'assurer de leur validité.

Les prix peuvent subir des modifications trop importantes pour qu'une quelconque indication ait du sens...

Empiriquement, on peut estimer qu'au-delà de 4 ou 5 KW et jusqu'à une puissance de 20 à 25 KW, le prix moyen d'achat et de placement d'une éolienne de faible puissance et de ses équipements est de l'ordre de 5.000€ HTVA par kW installé.

### **8.2.2. Pour aller plus loin...**

Un inventaire non exhaustif des éoliennes de faible puissance peut être consulté auprès des Guichets de l'énergie<sup>79</sup>.

Les mêmes réserves générales par rapport aux données présentées sont évidemment d'application...

---

<sup>79</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/les-guichets-de-l-energie.html?IDC=6060>



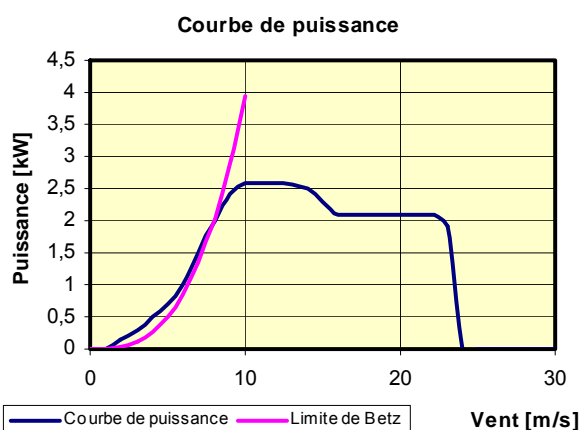
**Southwest**

**Skystream 2,4/3,72**

**2,4kW**

Pays	U.S.A
Adresse	Route 66, 1801 – AZ86001 Flagstaff
Site Web	<a href="http://www.windenergy.com">www.windenergy.com</a>

**Courbe de puissance**



**Caractéristiques techniques**

Diamètre du rotor	3,72	m
Hauteur du mât	10-33	m
Type de mât	Tubulaire	
Vitesse de démarrage	2	m/s
Vitesse de coupure	23	m/s
Nombre de pales	3	
Matériaux des pales		
Vitesse de rotation max.		tr./min.
Orientation	Sous le vent	
Mécanisme d'orientation	Traînée	
Transmission		
Régulation de la puissance		
Générateur électrique		
Frein(s)		
Niveau acoustique		
Durée de vie annoncée		ans
Maintenance conseillée		
Garantie		ans
Remarque		

**Courbe de puissance**

Vitesse [m/s]	Puissance [kW]
1	0
2	0,2
3	0,3
4	0,5
5	0,7
6	1
7	1,5
8	2
9	2,4
10	2,6
11	2,6
12	2,6
13	2,55
14	2,5
15	2,3
16	2,1
17	2,1
18	2,1
19	2,1
20	2,1
21	2,1
22	2,1
23	1,9
24	0
25	0

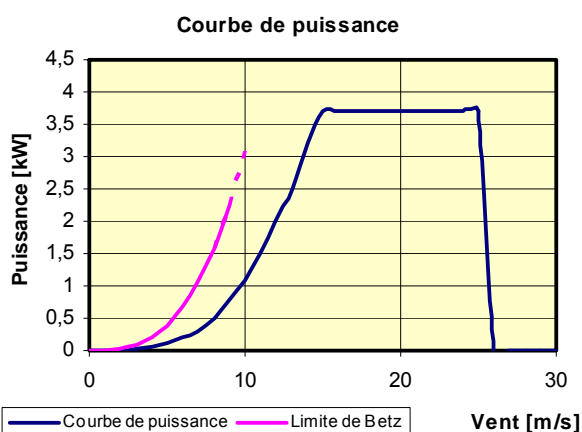
**Ropatec**

**Easy vertical**

**3kW**

Pays	Italie
Adresse	Via Copernico, 13A – 39100 Bolzano
Site Web	<a href="http://www.ropatec.com">www.ropatec.com</a>

**Courbe de puissance**



**Caractéristiques techniques**

Diamètre du rotor	3,3	m
Hauteur du mât	7	m
Type de mât		
Vitesse de démarrage	3	m/s
Vitesse de coupure		m/s
Nombre de pales	3	
Matériaux des pales		
Vitesse de rotation max.		tr./min.
Orientation		-
Mécanisme d'orientation		-
Transmission		
Régulation de la puissance		
Générateur électrique		
Frein(s)		
Niveau acoustique		
Durée de vie annoncée		ans
Maintenance conseillée		
Garantie		ans
Remarque		

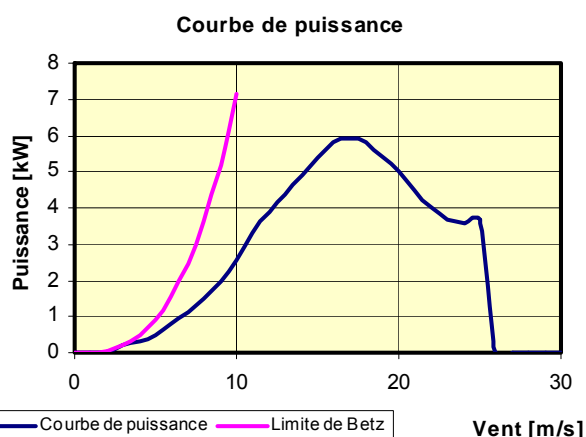
**Courbe de puissance**

Vitesse [m/s]	Puissance [kW]
1	0
2	0
3	0,02
4	0,07
5	0,13
6	0,2
7	0,3
8	0,5
9	0,8
10	1,1
11	1,5
12	2
13	2,5
14	3,2
15	3,7
16	3,7
17	3,7
18	3,7
19	3,7
20	3,7
21	3,7
22	3,7
23	3,7
24	3,7
25	3,7



**Fortis****Montana****5kW**

Pays	Pays-Bas
Adresse	Botanicuslaan, 14 – 9751 Haren
Site Web	<a href="http://www.fortiswindenergy.com/">http://www.fortiswindenergy.com/</a>

**Courbe de puissance****Caractéristiques techniques**

Diamètre du rotor	5	m
Hauteur du mât	16	m
Type de mât	Treillis	
Vitesse de démarrage	3	m/s
Vitesse de coupure	25	m/s
Nombre de pales	3	
Matériaux des pales		
Vitesse de rotation max.		tr./min.
Orientation	Face au vent	
Mécanisme d'orientation	Gouvernail	
Transmission		
Régulation de la puissance		
Générateur électrique		
Frein(s)		
Niveau acoustique		
Durée de vie annoncée		ans
Maintenance conseillée		
Garantie		ans
Remarque		

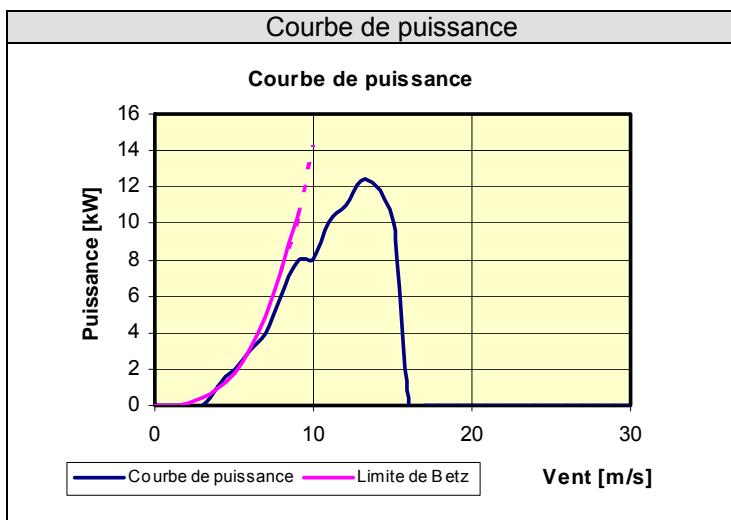
**Courbe de puissance**

Vitesse [m/s]	Puissance [kW]
1	0
2	0
3	0,2
4	0,3
5	0,5
6	0,8
7	1,1
8	1,5
9	2
10	2,55
11	3,3
12	3,9
13	4,4
14	4,9
15	5,4
16	5,8
17	5,9
18	5,8
19	5,4
20	5
21	4,5
22	4
23	3,7
24	3,6
25	3,7

<b>Aircon</b>
<b>10 S</b>

<b>10kW</b>
-------------

Pays	Allemagne
Adresse	Nessestrabe, 27 – 26789 Leer
Site Web	<a href="http://www.aircon-international.de">www.aircon-international.de</a>



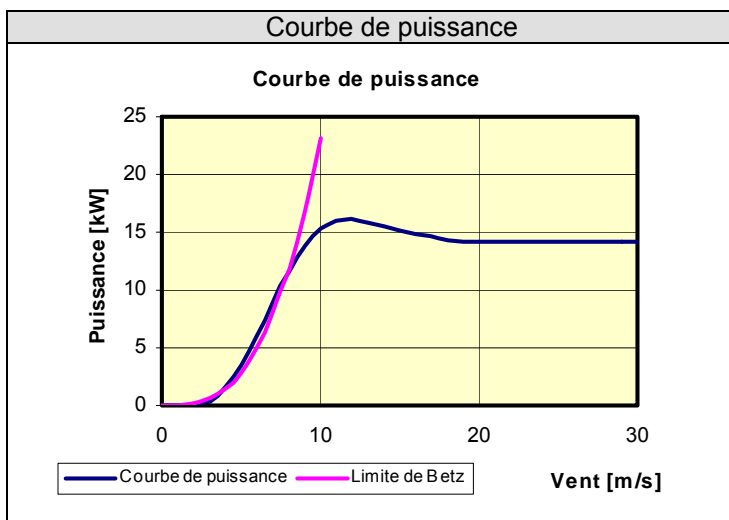
<b>Caractéristiques techniques</b>		
Diamètre du rotor	7,1	m
Hauteur du mât	12-30	m
Type de mât	Treillis	
Vitesse de démarrage	4	m/s
Vitesse de coupure	15	m/s
Nombre de pales	3	
Matériaux des pales		
Vitesse de rotation max.		tr./min.
Orientation		
Mécanisme d'orientation		
Transmission		
Régulation de la puissance		
Générateur électrique		
Frein(s)		
Niveau acoustique		
Durée de vie annoncée		ans
Maintenance conseillée		
Garantie		ans
Remarque		

<b>Courbe de puissance</b>	
Vitesse [m/s]	Puissance [kW]
1	0
2	0
3	0
4	1
5	2
6	3
7	4
8	6
9	7,9
10	8,1
11	10
12	11
13	12,3
14	12
15	10
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
25	0

<b>Proven</b>
<b>15-25</b>

<b>15kW</b>
-------------

Pays	Ecosse
Adresse	Wardhead Park Stewarton ka3 – 5LH Ayrshire
Site Web	www.provenenergy.com



Caractéristiques techniques		
Diamètre du rotor	9	m
Hauteur du mât	25	m
Type de mât	Tubulaire	
Vitesse de démarrage	3	m/s
Vitesse de coupure	30	m/s
Nombre de pales	3	
Matériaux des pales		
Vitesse de rotation max.		tr./min.
Orientation	Sous le vent	
Mécanisme d'orientation	Traînée	
Transmission		
Régulation de la puissance		
Générateur électrique		
Frein(s)		
Niveau acoustique		
Durée de vie annoncée		ans
Maintenance conseillée		
Garantie		ans
Remarque		

Courbe de puissance	
Vitesse [m/s]	Puissance [kW]
1	0,01
2	0,05
3	0,38
4	1,65
5	3,51
6	6,04
7	8,83
8	11,63
9	13,8
10	15,28
11	16,07
12	16,25
13	15,9
14	15,52
15	15,28
16	14,86
17	14,59
18	14,39
19	14,2 »
20	14,12
21	14,11
22	14,11
23	14,11
24	14,11
25	14,11

### **8.3. Choisir son installateur**

Faire confiance à un installateur sérieux, expérimenté, proposant les services liés au placement et un service après vente de qualité est une garantie évidente de satisfaction. La plupart des entreprises sérieuses disposent une série d'installation de référence. Il est donc possible de se rendre compte préalablement à tout accord de la qualité du travail, des équipements et du service après-vente proposés.

Une entreprise enregistrée respecte ses obligations fiscales et sociales.

La vérification peut s'effectuer par téléphone, auprès du SPF Finances<sup>80</sup>.

Une entreprise enregistrée dispose également de l'accès réglementé pour les activités électrotechniques<sup>81</sup>.

Cette vérification s'effectue via la Banque Carrefour des Entreprises (BCE)<sup>82</sup> ou auprès d'un Guichet de l'entreprise<sup>83</sup>.

Le recours à une entreprise enregistrée permet de bénéficier des éventuelles primes et avantages fiscaux ainsi que du taux réduit de TVA accordé pour l'exécution de travaux de rénovation à des logements de plus de cinq ans.

---

<sup>80</sup> SPF Finances - Tel. :02/572.57 57 - <http://minfin.fgov.be/portail2/fr/index.htm>

<sup>81</sup> Arrêté royal du 29 janvier 2007 relatif à la capacité professionnelle pour l'exercice des activités indépendantes dans les métiers de la construction et de l'électrotechnique, ainsi que de l'entreprise générale, v. art. 28 et suivants).

<sup>82</sup> BCE - <http://economie.fgov.be/fr/entreprises/BCE/index.jsp>

<sup>83</sup> <http://creation-pme.wallonie.be/Demarches/BCE/BCE02.htm>

## **9. Après l'installation de l'éolienne...**

L'éolienne étant installée, il reste plusieurs démarches à effectuer pour assurer la mise en service complète.

### **9.1. Raccordement au réseau Basse Tension**

Le raccordement au réseau ne peut s'effectuer que si l'installation de production d'énergie satisfait aux critères de sécurité électrique et de sécurité du réseau de distribution public.

Des relevés et démarches doivent être effectués régulièrement pour bénéficier des certificats verts. Dans les cas qui s'y prêtent, l'électricité excédentaire doit être éventuellement vendue...

#### **9.1.1. Conformité des installations électriques au RGIE**

Une installation éolienne raccordée au reste de l'installation électrique est considérée comme faisant partie de l'installation électrique.

Or, toute installation électrique à basse tension, même si elle est alimentée par le biais d'une installation de production d'énergie privée, doit être soumise à un contrôle de conformité au RGIE<sup>84</sup> avant sa mise en service.

Par ailleurs, après modification, renforcement ou modification significative, l'installation électrique doit être à nouveau contrôlée.

Le contrôle de l'installation électrique doit être effectué par un organisme de contrôle agréé. La liste des organismes agréés est disponible sur le site SPF économie<sup>85</sup>.

Les documents à fournir lors du contrôle sont :

- le schéma unifilaire de l'installation électrique (modifications);
- le schéma de position des éléments de l'installation électrique (modification);
- l'identifiant du raccordement de l'installation électrique.

En cas de conformité aux prescriptions du RGIE, l'organisme de contrôle fournit un certificat de conformité à transmettre au GRD avant la mise en service.

#### **9.1.2. Demande de mise en service du raccordement auprès du GRD**

Pour raisons de sécurité, la mise en service de l'unité de production ne peut se faire qu'après avoir reçu par écrit l'accord formel du GRD pour cette mise en service<sup>86</sup>.

Cette démarche est également à effectuer en cas de modification des installations. Toute demande de mise en service doit se faire par écrit !

#### **Installation de production d'énergie de puissance inférieure ou égale à 10 kVA**

Pour les installations de production d'énergie d'une puissance inférieure ou égale à 10 kVA, une demande de mise en service doit être introduite par écrit auprès du gestionnaire de réseau.

La demande de mise en service sera acceptée par le GRD moyennant<sup>87</sup> :

---

<sup>84</sup> Règlement Général des Installations Electriques (AR 10/03/1981)

<sup>85</sup> SPF Economie - [http://economie.fgov.be/fr/binaries/LijstErkendeControleorganismen\\_tcm326-30534.pdf](http://economie.fgov.be/fr/binaries/LijstErkendeControleorganismen_tcm326-30534.pdf)

<sup>86</sup> Prescription Synergrid C10/11 (05/2009) « Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution ».

- la preuve de la conformité au RGIE de l'unité de production et de son raccordement au réseau (rapport de contrôle de conformité RGIE par un organisme agréé) accompagné du schéma unifilaire du raccordement de l'installation de production décentralisée ;
- la preuve de la conformité à la prescription Synergrid C10/11 (certificat de conformité du matériel de couplage au réseau établi par un organisme agréé belge ou équivalent).

Si ces conditions sont remplies, le GRD ne peut actuellement refuser la demande de mise en service et il répond dans un délai de 30 jours ouvrables.

L'étude du dossier de mise en service par le GRD est gratuite.

### **Très petite installation de production d'énergie**

Pour les très petites installations de production d'énergie, il n'est pas nécessaire d'introduire une demande de mise en service.

Une notification est toutefois obligatoire avant de pouvoir mettre en service l'installation de production décentralisée.

Cette exception n'est accordée que pour les très petites installations de production d'énergie, lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- la puissance individuelle de chaque installation de production raccordée est < 5 kVA ;
- pour un raccordement monophasé au réseau de distribution publique, la puissance totale des installations de production raccordées au point de raccordement reste < 5 kVA ;
- pour un raccordement multi-phases au réseau de distribution publique, la puissance totale des installations de production raccordées au point de raccordement reste <10 kVA. En outre, le déséquilibre de production entre phases doit rester à tout moment < 20 A ;
- l'installation de production est équipée d'un système de sectionnement automatique.

Ces limites (en particulier la limite de 5 kVA) pourraient être revues après le 31 décembre 2009 après acceptation par les autorités de régulation.

Le formulaire de notification doit être accompagné des documents suivants :

- procès-verbal de l'examen de conformité ;
- schéma unifilaire du raccordement de l'installation de production décentralisée ;
- les documents nécessaires du fabricant qui prouvent la conformité du système de sectionnement automatique utilisé ;
- attestation du fabricant prouvant que les paramètres de réglage du système de sectionnement automatique sont bien conformes aux exigences du GRD.

### **9.1.3. Demande d'octroi de certificats verts et de labels de garantie d'origine auprès de la CWaPE**

Afin d'être reconnu comme producteur « vert » et de bénéficier des certificats verts, il faut en toute généralité effectuer plusieurs démarches<sup>88</sup>.

#### **Obtenir la certification de l'installation de production d'énergie**

Prendre contact avec un organisme de contrôle agréé<sup>89</sup> afin qu'il délivre le certificat de garantie d'origine relatif à une de production d'électricité verte ("Modèle-type de certificat de garantie d'origine<sup>90</sup>").

<sup>87</sup> [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>88</sup> [www.cwape.be](http://www.cwape.be)

<sup>89</sup> Les organismes agréés pour ce contrôle sont : AIB Vincotte, BTV et SGS Statutory Services Belgium.

Coordonnées via [http://economie.fgov.be/fr/binaries/LijstErkendeControleorganismen\\_tcm326-30534.pdf](http://economie.fgov.be/fr/binaries/LijstErkendeControleorganismen_tcm326-30534.pdf)

<sup>90</sup> Disponible via : <http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=581>

Pour cela, le producteur vert transmet à l'organisme de contrôle choisi les documents décrits dans le document de référence « Documents à préparer par le producteur vert qui sollicite la délivrance d'un certificat de garantie d'origine »<sup>91</sup>.

Après le contrôle, l'organisme agréé adresse le certificat de garantie d'origine à la fois au producteur « vert » et à la CWaPE.

Toute modification de l'installation de production d'énergie par rapport au certificat de garantie d'origine doit être signalée à l'organisme de contrôle afin qu'il vérifie les conditions d'octroi des certificats verts.

Un contrôle quinquennal ou annuel (si la puissance est supérieure à 20kVA) doit également être effectué.

### **Introduire la demande d'octroi de certificats verts**

Adresser à la CWaPE un formulaire de demande préalable d'octroi de certificats verts à l'aide du formulaire défini par celle-ci « Demande préalable d'octroi de certificats verts »<sup>92</sup>, accompagnés, entre autres choses, des documents assurant la conformité de l'installation électrique au RGIE et aux prescriptions du GRD.

Lorsque la demande préalable d'octroi est complète, la CWaPE dispose de 30 jours ouvrables pour vérifier que le demandeur répond aux conditions d'octroi de certificats verts. Elle lui notifie alors sa décision.

### **Solliciter l'octroi des certificats verts**

Après réception de la notification de la CWaPE, le producteur « vert » lui notifie la quantité d'électricité verte produite depuis le premier relevé effectué par l'organisme de contrôle.

Les relevés de compteurs ne pourront être introduits dans le but d'obtenir des certificats verts, qu'une fois par trimestre calendrier.

Ensuite, chaque trimestre, le producteur « vert » communique à la CWaPE un relevé reprenant les index de tous les compteurs.

Il faut noter que l'organisme agréé doit être prévenu et passer lors de chaque modification de l'installation de production d'énergie par rapport au certificat de garantie d'origine.

### **Remarque importante :**

Pour les installations de production d'énergie dont la puissance nette est inférieure ou égale à 10 kVA, la procédure est simplifiée:

- la demande de certificat de garantie d'origine est adressée à la CWaPE. Le producteur vert introduit pour cela simplement auprès de la CWaPE une déclaration sur l'honneur, déclaration qui mentionne les caractéristiques de l'installation de production d'énergie ;
- il n'y a pas d'obligation d'un contrôle périodique ;
- en cas de modification des instruments de mesure ou de tout élément repris dans le certificat de garantie d'origine, le titulaire du certificat doit en informer la CWaPE.

### **9.1.4. Contrat de vente de l'électricité à un Fournisseur ou au GRD**

Comme détaillé précédemment, dans le cas où de l'énergie électrique peut être vendue (hors valorisation liée au mécanisme de compensation) un contrat de vente doit être conclu avec un fournisseur ou avec le GRD.

La vente d'électricité est une opération soumise à la TVA.

---

<sup>91</sup> Disponible via : <http://www.cwape.be/servlet/Repository?IDR=580>

<sup>92</sup> Ce formulaire est disponible via :

<http://www.cwape.be/xml/doc.xml?IDC=&IDD=4794> (P<10kVA)

<http://www.cwape.be/xml/doc.xml?IDC=&IDD=4984> (P>10kVA)



Cela implique l'obligation pour le producteur de s'inscrire comme indépendant à la Banque Carrefour des Entreprises<sup>93</sup> (BCE).

Les Guichets de l'entreprise<sup>94</sup> vérifient les conditions d'accès à la profession.

Les petits producteurs qui ne sont pas inscrits comme indépendants peuvent s'adresser à un secrétariat social afin d'obtenir plus d'informations sur les droits et devoirs des indépendants. Il est évident que la complexité des démarches et obligations rend l'opération bien compliquée et diminue fortement son intérêt financier.

En décembre 2009, date de rédaction de ce vade-mecum, et dans le cadre du développement de l'énergie photovoltaïque, l'expérience montre que seules quelques grandes entreprises ayant développé des liens commerciaux important avec un fournisseur d'électricité ont pu mener à bien la conclusion d'un contrat de vente pour l'électricité excédentaire qu'elles produisent.

Les fournisseurs d'électricité sont peu enclins à acheter de l'électricité provenant d'une unité de production de faible puissance, même en tenant compte d'un prix d'achat peu élevé. Les quantités d'énergie en jeu sont très faibles et les frais administratifs (comptage, gestion de dossier) sont souvent trop importants par rapport à l'intérêt que cette opération présente.

Pour pallier à ce désintérêt, il existe une obligation d'achat<sup>95 96</sup> de la production excédentaire par le GRD. Le gestionnaire du réseau est tenu d'acheter, au prix du marché, la production excédentaire des producteurs d'électricité verte connectés à son réseau, dans le cas où aucun fournisseur n'accepte d'acheter cette production.

Dans la pratique, ce type de cas ne s'est encore jamais produit jusqu'à ce jour.

Pratiquement, un petit producteur éolien (inscrit comme indépendant et assujetti à la TVA) qui souhaite vendre un excédent d'électricité doit avant tout solliciter les différents fournisseurs desservant le point de raccordement au réseau de distribution.

Si toutes les réponses sont négatives, le producteur doit faire valoir l'obligation d'achat (obligation de service public) à charge du GRD.

## **9.2. Autres démarches**

En bref, il ne faut pas oublier de :

- prévenir les sociétés d'assurance pouvant être concernées par l'installation de l'éolienne (assurance « incendie », assurance « responsabilité civile »,... ;
- finaliser les dossiers relatifs aux éventuelles primes et aides à recevoir ;
- transmettre si possible ses coordonnées à l'APERe / Compagnons d'Eole / Vents d'Houyet pour la constitution d'un annuaire des installations de petites éoliennes en Wallonie (déjà en cours d'élaboration<sup>97</sup>).

---

<sup>93</sup> <http://economie.fgov.be/fr/entreprises/BCE/index.jsp>

<sup>94</sup> <http://creation-pme.wallonie.be/Demarches/BCE/BCE02.htm>

<sup>95</sup> Article 6bis de l'AGW du 30/11/2006 relatif à la promotion de l'énergie produite au moyen de sources d'énergie renouvelables ou de cogénération

<sup>96</sup> Article 24 de l'AGW du 30/03/2006 relatif aux obligations de service public dans le marché de l'électricité

<sup>97</sup> François Lhioreau [flhioreau@apere.org](mailto:flhioreau@apere.org)

## **10. Sécurité et prévention des accidents**

### **10.1. Les normes de sécurité**

Pour les éoliennes de petite puissance, il existe plusieurs normes internationales, dont deux normes IEC qui régissent spécifiquement les aspects sécurité .

IEC (International Electrotechnical Commission) est un organisme européen qui est le principal organisme mondial à éditer des normes internationales en matière de technologie électrique et électronique.

Ces deux normes sont les suivantes :

la norme IEC 61400-2, qui définit les critères de sécurité et de fiabilité auxquels doivent se conformer les petits aérogénérateurs, notamment :

la fiabilité mécanique de la turbine

les procédures à respecter pour la mise en route de la turbine

les mesures à respecter pour éviter les risques en cas de grand vent

les mécanismes de ralentissement ou d'arrêt d'urgence d'une turbine, ou pour procéder à son entretien

les mesures à respecter pour l'entretien de la machine et pour le remplacement de pièces de rechange

les critères à observer en matière de tests de sécurité et de mise en fonction

la norme IEC 60204-1, qui définit les exigences en matière de sécurité des machines et d'équipement électrique des machines.

D'autres normes peuvent s'appliquer à d'autres équipements, ou régissent certains aspects spécifiques :

IEC 61024-1 : « Protection des structures contre la foudre »

IEC 61400-12 : « Power performance measurements of electricity producing wind turbines »

14121-1 ISO (International Standard Organisation) : « Sécurité des machines – appréciation du risque »

EN 50-308 : norme européenne "Aérogénérateurs, mesures de protection, exigences pour la conception, le fonctionnement et la maintenance".

L'existence d'une norme est une chose, sa mise en application est une autre.

En effet, dans le secteur des petites éoliennes, le problème majeur provient du fait que, contrairement aux éoliennes de puissance, la certification de leur conformité aux normes internationales n'est pas exigée.

Bien qu'il existe plusieurs organismes de certifications agréés (Germanischer Lloyd, Bureau Veritas Certification, etc.), dont certains ont défini des labels (tels le label britannique MCS – Microgeneration Certification Scheme), l'agrément par ces organismes du matériel commercialisé n'est pas obligatoire.

Le secteur du petit éolien aura gagné ses lettres de noblesse le jour où la certification du matériel et leur conformité aux normes internationales par un organisme agréé sera rendu incontournable.

Ce n'est que moyennant cette condition que le risque d'accident sera davantage réduit, et que le productible annuel, appuyé par une bonne étude de vent, pourra être évalué avec précision.

## **10.2. Identification des risques**

### **10.2.1. Bris de pale**

Il s'agit du risque d'accident auquel les petites éoliennes sont le plus exposées.

Le bris de pale est dû à une survitesse de rotation.

Afin de limiter le risque de décrochage, l'éolienne doit toujours :

- être en charge et être connectée à un dumpload en cas de déconnexion avec le réseau
- être équipée d'un système de régulation simple (par effacement)
- être équipée d'un système de frein de qualité (hydraulique ou à disque)
- faire l'objet d'un entretien régulier et complet.

### **10.2.2. Incendies**

Les cas sont rares et s'expliquent généralement par un manque de maintenance.

En Europe, le secteur éolien signale quelques incendies par an au sein d'un parc qui compte plus de 70.000 éoliennes. Il s'agit généralement de modèles anciens, qui n'ont pas fait leur preuve au niveau industriel ou dont la maintenance n'a plus été correctement assurée. Exemple récent : deux appareils de moyenne puissance (750 kW, diamètre de 48 m, hauteur de 45 m), ont pris feu en Drôme le 19 septembre dernier. Lors de violentes rafales, les machines se sont emballées malgré le frein hydraulique qui arrête automatiquement toute éolienne au-delà d'un seuil de vitesse . Le démultiplicateur n'étant pas conçu pour ce régime de survitesse, l'huile qui le contient s'est échauffé jusqu'à prendre feu. La défaillance du frein de secours résulterait d'une négligence d'entretien.

Selon la confédération européenne des associations de prévention des incendies (CFPA-E), la foudre représente la première cause d'incendie. Les mâts éoliens sont d'autant plus exposés s'ils sont implantés sur des hauteurs. La deuxième cause la plus fréquente relève d'une défaillance électrique. Dans les deux cas, une maintenance complète et régulière est une garantie de prévention des risques.

L'étude pointe également les risques inhérents à la présence de produits inflammables, aux côtés du matériel électronique et de fluides hydrauliques, dans un même espace clos (la nacelle). En cas de surchauffe, les lubrifiants déclenchent l'ignition.

Toutefois, les petites éoliennes étant pour la plupart équipées de génératrices synchrones à aimants permanents, les risques d'incendie sont considérablement plus réduits qu'avec une éolienne asynchrone, dont les nombreux engrenages qui composent le multiplicateur nécessitent une lubrification régulière et importante.

### **10.2.3. Chute du mât**

Ce type d'accident est extrêmement rare et n'est dû en principe qu'à un mauvais arrimage du mât dans le sol.

Il est indispensable de se conformer aux instructions du constructeur tant quant au volume qu'à la qualité du béton qui constitue les fondations de l'éolienne, ainsi qu'à la bonne fixation des haubans dans le sol.

### **10.2.4. Projection de glace**

Il s'agit également d'un type d'accident quasi-inexistant avec les petites éoliennes.

Bien que la longueur de certaines pales puisse atteindre 4 mètres (rotors de 10 kW), le diamètre moyen des rotors des petites turbines empêche en général la glace de se former sur les pales et de menacer la sécurité des riverains.

Pour le grand éolien, les professionnels du secteur estiment que les conditions météorologiques entraînant la formation de glace sur les pales se produisent en moyenne une seule fois par an en Wallonie.

Aucun incident provoqué par la projection de glace par une petite éolienne n'a été enregistré dans nos contrées à ce jour.

### **10.3. Précautions à prendre**

- Dans la mesure du possible, exiger la certification de la conformité de l'éolienne à une ou plusieurs normes internationales
- Assurer un entretien régulier et complet de l'éolienne par un professionnel de la maintenance d'éoliennes
- Appliquer strictement les instructions du constructeur lors de l'installation de la machine
- Ne travailler qu'avec du matériel de qualité, bien dimensionné
- Etre attentif aux bruits anormaux émis par la turbine, aux vibrations ou aux comportements anormaux
- Souscrire une assurance Responsabilité Civile, ce qui accélérera l'obligation de se conformer aux normes de qualité

## **11. Aspects financiers et rentabilité du projet**

Le calcul de la rentabilité d'une installation éolienne est complexe et fait intervenir de nombreux paramètres. Quelle sera la production électrique de l'éolienne ? Quelle sera l'évolution du prix du kWh ? Quels seront les frais d'entretien, la durée de vie de l'onduleur, des pales et de l'éolienne ?

Autant de paramètres difficiles à estimer correctement !

Surtout, ce calcul est subjectif : un retour sur investissement après 10 ans est-il acceptable ou trop long ? Où doit se situer la limite ? Le désir de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et de « faire du bien » à la planète va-t-il faire accepter un retour sur investissement après 15 ans ? Comment évaluer, pour une société commerciale, la rentabilité d'une installation éolienne qui s'amortit financièrement en 20 ans, mais qui a permis d'augmenter la clientèle grâce à l'image respectueuse de l'environnement que la société donne d'elle-même ?

Un logiciel de sensibilisation (fichier Excel dans lequel chacun pourra introduire les paramètres liés à sa situation personnelle) permettant d'estimer et comparer la production annuelle d'énergie électrique des éoliennes de faible puissance et les aspects financiers liés à leur exploitation est accessible auprès des Guichets de l'énergie<sup>98</sup>.

Attention, pour des raisons de simplification, ce logiciel de sensibilisation ne tient absolument pas compte du relief de l'environnement. Par hypothèse, l'environnement modélisé est plat et dégagé de tout relief particulier.

Cette hypothèse engendre une grande incertitude sur les résultats. La mise en œuvre d'un modèle plus évolué ne peut se concevoir que dans le cadre d'un logiciel spécialisé.

Attention également, même en tenant compte de l'avertissement précédent, ce logiciel de sensibilisation ne prétend pas déterminer précisément la productivité et la rentabilité des éoliennes considérées. Les limites du modèle mathématique simplifié utilisé et les incertitudes qu'elles engendrent interdisent toute interprétation en ce sens...

Ce logiciel de sensibilisation ne peut servir qu'à une première approche globale et à une sensibilisation de l'impact des différents paramètres environnementaux et techniques sur la productivité.

Certaines entreprises spécialisées proposent leurs services afin d'établir scientifiquement et beaucoup plus précisément les estimations de production.

Une campagne de mesures du régime de vent réel sur le site projeté est bien sûr également recommandée.

### **11.1. Estimation de la production annuelle potentielle sur le site envisagé**

Afin d'effectuer une première approche rapide du potentiel de production électrique d'une éolienne sans investir dans une campagne de mesure de vent réelle sur le site, le logiciel de sensibilisation se base par défaut sur des données météorologiques régionales, sur les données fournies par le constructeur de l'éolienne et sur un modèle mathématique simplifié. Le résultat du calcul est évidemment imprécis...

Le but recherché n'est donc pas de certifier une production d'énergie électrique précise, mais de comparer la production de différentes éoliennes, soumises à une modélisation d'un régime de vent aussi proche possible que celui auquel on peut s'attendre sur le site d'implantation prévu.

<sup>98</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/les-guichets-de-l-energie.html?IDC=6060>

Le logiciel de sensibilisation a également pour but d'illustrer l'influence de divers paramètres (présence d'obstacles, hauteur du mât,...) sur la productivité des petites éoliennes.

Si des mesures précises du régime des vents ont été réalisées sur le site, elles peuvent évidemment être introduites dans le logiciel de sensibilisation à la place des données prédéfinies.

Pour estimer la production annuelle d'une éolienne et afficher des résultats les plus complets et lisibles possibles, le module du logiciel de sensibilisation consacré à cette évaluation tient compte :

- des données relatives à l'éolienne :
  - référence de l'éolienne ;
  - courbe de puissance ;
  - puissance nominale ;
  - diamètre du rotor ;
  - hauteur du mât ;
  - type d'éolienne ;
  - photo (si disponible).
- du rendement des équipements électriques ;
- des données relatives au vent :
  - vitesse moyenne de référence ;
  - rose des vents de référence (fréquence par secteur) ;
  - paramètre de forme de la répartition de Weibull ;
  - hauteur du mât de mesure des vents de référence ;
  - température moyenne sur le site prévu ;
  - altitude du site d'implantation prévu.
- des informations concernant l'environnement :
  - rugosité du terrain (par secteur de la rose des vents) ;
  - présence d'obstacles (par secteur de la rose des vents).

Dans chaque secteur de la rose des vents, le logiciel de sensibilisation corrige la vitesse moyenne des vents de référence en fonction de la hauteur du mât, de la rugosité du sol et de la présence d'obstacles éventuels.

La distribution statistique de la répartition des vents est alors modélisée pour chaque secteur de la rose des vents (calcul du facteur d'échelle de la distribution de Weibull, calcul des probabilités de vitesse par pas de 1m/s à l'aide de la fonction de répartition de la distribution de Weibull).

La production annuelle d'un secteur est déterminée en croisant la courbe de puissance de l'éolienne et la probabilité d'avoir du vent dans ce secteur.

Le résultat est corrigé en fonction de l'altitude du site, de la température moyenne et du rendement des équipements électriques.

La combinaison de ces résultats avec les valeurs des fréquences de tous les secteurs de la rose des vents détermine le résultat attendu...

Le résultat est affiché sous formes de production annuelle (en kWh), de facteur de charge (%) et de son équivalent en heures annuelles de fonctionnement à pleine puissance.

## **11.2. Approche des aspects financiers du projet**

Le module du logiciel de sensibilisation affecté à l'approche des aspects financiers permet d'avoir une idée, dans la limite des incertitudes liées à la simplicité des modèles mathématiques mis en œuvre, de la durée de retour sur investissement.

Il n'y a évidemment aucune garantie sur le résultat affiché !

Pour rappel, ce module de calcul ne peut servir qu'à une première approche globale et à une sensibilisation de l'impact des différents paramètres environnementaux et techniques sur la rentabilité.

Pour un même matériel, les résultats peuvent fortement varier selon que le demandeur est assujéti TVA ou non, et, dans la négative, selon que la TVA appliquée sera de 6% (montage par un installateur enregistré et si la maison est habitée depuis au moins 5 ans) ou de 21% (simple achat du matériel, sans montage).

Le module peut également aider à démontrer qu'il est parfois plus intéressant d'être équipé d'un compteur simple au lieu d'un compteur bi horaire.

En effet, si la consommation est importante en heures creuses, le retour sur investissement sera beaucoup plus long puisque la compensation de l'énergie produite pendant cette période s'effectue à un prix nettement inférieur.

Pour estimer l'intérêt financier du projet, le module du logiciel de sensibilisation consacré à cette évaluation tient compte :

- du montant de l'Investissement (coûts HTVA) ;
  - honoraires (frais d'étude éventuels) ;
  - éolienne ;
  - mât ;
  - équipements électriques ;
  - ancrage ;
  - transport ;
  - placement.
- du mode de financement :
  - quotité empruntée ;
  - durée du prêt ;
  - taux du prêt.
- des possibilités d'amortissement ;
  - quotité à amortir ;
  - durée de l'amortissement ;
  - taux d'imposition marginal.
- des aides éligibles ;
  - aide AMURE (subvention) ;
  - aide Etude de vents (subvention) ;
  - déduction fiscale ;
    - Montant immunisé ;
    - Taux d'imposition marginal.
  - aide à l'investissement (subvention) ;
  - aide UREBA (subvention).
- de l'évolution des prix :
  - index recettes ;
  - index dépenses.
- des Taxes sur l'investissement et les frais (TVA) ;
  - TVA à payer (taux) ;
  - TVA à récupérer (taux et quotité déductible).
- des frais d'exploitation ;
  - entretiens réguliers (coût et périodicité) ;
  - primes d'assurance annuelle
  - remplacements prévisibles (coût et périodicité).
- de la durée de vie prévue ;
- de la valorisation de la production annuelle ;
  - production annuelle ;
  - répartition tarifaire ;
  - prix de l'électricité ;
    - production à tarif "Heures pleine" ;
    - production à tarif "Heures creuses" ;
    - production hors compensation.
  - certificats verts (nombre et prix).



Le détail de chacun de ces éléments est réparti chronologiquement pour chacune des années de la durée de vie potentielle de l'éolienne et participe à l'élaboration des résultats financiers annuels et globaux.

Les résultats sont affichés sous formes de temps de retour sur investissement (Time ROI) et du taux de retour interne (IRR).

## 12. Où se renseigner ?

Annuaire des acteurs de l'éolien de petite puissance en Wallonie :

<http://energie.wallonie.be/fr/pour-les-menages.html?IDC=6359>

Administration de l'Energie :

Service Public de Wallonie (SPW)

Direction Générale opérationnelle de l'Aménagement du territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie (DGO4)

Département de l'énergie et du Bâtiment durable

Chaussée de Liège, 140-142 - B-5100 Jambes

<http://energie.wallonie.be>

Tél.: 081 48 63 11

Fax: 081 48 63 03

Portail énergie de la Wallonie :

<http://energie.wallonie.be>

Pour un projet éolien particulier :

Les Guichets de l'Energie :

<http://energie.wallonie.be/fr/les-guichets-de-l-energie.html?IDC=6060>

Pour un projet éolien professionnel (PME, agriculteur, indépendant) :

Le Facilitateur URE indépendants :

<http://energie.wallonie.be/fr/des-conseillers-les-facilitateurs-ure.html?IDC=6533>

APERe asbl (Association pour la Promotion des Energies Renouvelables)

Rue Royale, 35 – 1000 Bruxelles

Tél. : 02 / 218.78.99

Fax : 02 / 217.58.44

[www.apere.org](http://www.apere.org)

Les Compagnons d'Eole asbl

Z.I. Plantis des Aisements, 1

6590 MOMIGNIES

Tél. : 060/ 51.18.45

[www.compagnons-eole.be](http://www.compagnons-eole.be)

[administration@compagnons-eole.be](mailto:administration@compagnons-eole.be)

Vents d'Houyet asbl

Rue du Monument, 1

5560 Mesnil-Eglise

Tél. : 082 / 68.96.76

[www.vents-houyet.be](http://www.vents-houyet.be)

L'administration de votre commune : voir fiches des 262 communes de Wallonie

<http://www.uvcw.be/communes/>

CWaPE (Commission Wallonne pour l'Energie)

Route de Louvain-la-Neuve 4bte, 12 – 5001 NAMUR

Tél. : 081 / 33.08.10

Fax : 081 / 33.08.11

[www.cwape.be](http://www.cwape.be)

ORES (Opérateur des Réseaux gaz et électricité)

Avenue Jean Monnet, 2 – 1348 Louvain-la-Neuve

[www.ores.net](http://www.ores.net)

ELIA

Boulevard de l'Empereur, 20 – 1000 Bruxelles

Tél. : 02 / 546.70.11

Fax : 02 / 546.70.10

[www.elia.be](http://www.elia.be)

Espace Environnement

Rue de Montigny, 29 – 6000 Charleroi

Tél. : 071 / 300.300

Fax : 071 / 509.678

[www.espace-environnement.be](http://www.espace-environnement.be)

BCE (Banque Carrefour des Entreprises)

<http://economie.fgov.be/fr/entreprises/BCE/index.jsp>

Guichets de l'Entreprise

<http://creation-pme.wallonie.be/Demarches/BCE/BCE02.htm>

### **13. Conclusions**

Les projets de petites éoliennes s'inscrivent dans une démarche à la fois écologique et économique qui vise à contribuer à préserver l'environnement, sécuriser sa fourniture d'énergie, et réduire sa facture d'électricité.

Les petites éoliennes, déjà bien développées dans certains pays comme les Etats-Unis ou la Grande-Bretagne, sont probablement amenées à se développer en Wallonie, mais dans un cadre bien défini.

Les technologies matures du petit éolien peuvent en effet offrir une solution énergétique pertinente pour les PME et les exploitations agricoles qui se situent sur des sites dégagés, et, dans une moindre mesure, pour les particuliers.

Pour donner à ces projets éoliens toutes les chances de réussir, il s'avère nécessaire de remplir plusieurs conditions exigeantes : disposer de surfaces relativement étendues et bien exposées aux vents, s'assurer de la qualité du vent local par une étude professionnelle, répondre aux contraintes d'urbanisme et de nuisance sonore. Ces vérifications préalables permettent d'éviter un investissement malheureux et difficile à rentabiliser.

Le panorama dressé dans ce vade-mecum permet à tout un chacun d'appréhender correctement les différentes questions liées à un projet d'installation d'éolienne de faible puissance. Les aspects environnementaux, techniques, réglementaires et législatifs ont été détaillés au mieux afin que chacun puisse y trouver matière à réflexion et prendre une décision finale pertinente.

Il est essentiel de garder à l'esprit l'objectif de la démarche car, dans certains cas, le choix d'une autre technologie de production d'électricité verte s'avèrera plus judicieux.

Car, quoi qu'il en soit, notre avenir énergétique ne pourra s'appuyer que sur un mix approprié de sources d'énergie renouvelables, multiples, décentralisées et proches des lieux de consommation, dans un projet de société moins émetteur de CO<sub>2</sub> et plus respectueux de l'environnement.

*«Chaque éolienne est une victoire psychologique et nous donne l'impression heureuse que nous avançons. Mais nous ne ferons de réels progrès qu'en réduisant également notre consommation »*

*Paul Gipe*

## **14. Références bibliographiques**

### **14.1. Livres, revues et publications**

- European Wind Atlas  
Ib Troen et Erik Lundtang Petersen  
Riso National Laboratory, Roskilde (Danemark), 1989.
- Scarabée  
Bulletin de liaison du réseau des experts de l'énergie décentralisée N°15 juillet 2005,  
Systèmes Solaires, Paris
- Systèmes énergétiques  
Gérard Sarlos, Pierre-André Haldi, Pierre Verstraete Presses Polytechniques et  
Universitaires Romandes, Lausanne, 2003
- Le Grand Livre de l'Eolien, Paul Gipe, Editions Observ'ER , Paris, 2004
- Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne  
Région wallonne, 2002
- Solving Large scale integration of wind energy in the European power supply: analysis,  
issues and recommendations  
EWEA, December 2005
- Bilan énergétique et environnemental des filières de production d'électricité  
Tchouate Heteu & Léon Bolle, U.C.L., 2002
- Eoliennes, Energie et CO2 en Belgique  
André Berger, UCL, Louvain-la-Neuve, 2005
- Impact of Wind Energy in a future power grid  
Joris Soens, KUL, Leuven, 2005
- Les éoliennes réduisent les émissions de CO2. Réponses à ceux qui en doutent  
Xavier Desgain, Etopia, 2006
- Eolien et CO2: arrêtons les absurdités !  
Edora, 2005
- Eolien: un avantage écologique évident, sauf en Belgique?  
Renouvelle, 1/2006
- Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme  
Claude-Henri Chouard, Académie Nationale de Médecine, Paris, 2006
- Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes  
Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFFSET)  
France, Mars 2008
- Mieux encadrer l'implantation de parcs éoliens en Wallonie, pour poursuivre un  
développement harmonieux dans le respect des paysages et de la biodiversité  
Inter Environnement Wallonie, 2008
- L'implantation d'éoliennes en Région wallonne  
Natagora, Namur, 2008

Impact sur avifaune  
APERe, Bruxelles, 2008

Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens  
PNUE/EUROBATS, 2008

Espèces ailées et énergie éolienne  
Association Canadienne de l'Énergie Éolienne, Canada, 2006

Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons  
to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States  
National Wind Coordinating Committee, U.S.A, 2001

Prescriptions techniques de branchement d'installations de production décentralisée  
fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution - C10/11  
Fédération des gestionnaires de réseaux électricité et gaz en Belgique (Synergrid),  
2009.

Prescriptions techniques générales relatives au raccordement d'un utilisateur au réseau  
de distribution BT - C1/107  
Fédération des gestionnaires de réseaux électricité et gaz en Belgique (Synergrid),  
2006.

Prescriptions techniques de raccordement au réseau de distribution HT - C2/116  
Fédération des gestionnaires de réseaux électricité et gaz en Belgique (Synergrid),  
2004.

Raccordement des charges perturbatrices en basse tension - C10/19  
Fédération des gestionnaires de réseaux électricité et gaz en Belgique (Synergrid),  
2006.

Règlement Général des Installations Electriques (AR 10/03/1981)

Note sur les CV et les LGO à l'attention des producteurs d'électricité possédant une  
installation de faible puissance ( $P \leq 10\text{kW}$ )  
CWaPE, 2007

Procédures et code de comptage de l'électricité verte en Région wallonne. Annexe à  
l'arrêté ministériel du 12 mars 2007

## **14.2. Livres, revues et publications pour aller plus loin**

Les systèmes éoliens autonomes – Guide de l'acheteur  
Marbek Resource Consultants, SGA Consulting  
Ministère canadien des Ressources naturelles, 2000 ISBN 0-662-84086-0  
Téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
[www.canren.gc.ca/prod\\_serv/index\\_f.asp](http://www.canren.gc.ca/prod_serv/index_f.asp)

Eoliennes en milieu urbain  
T. Grignoux et alii – ARENE, 2006  
Téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
[www.arenidf.org/energies/publications.html](http://www.arenidf.org/energies/publications.html)

Catalogue of european urban wind turbine manufacturers  
Programme WINEUR, 2005  
Téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
[www.urban-wind.org/index.php?rub=6&srub=20](http://www.urban-wind.org/index.php?rub=6&srub=20)

Comment construire une éolienne

H. Piggott, 2004  
Disponible auprès de KRUG sarl (T : +33/ 5 34 66 79 06)  
[info@krugwind.com](mailto:info@krugwind.com) - [www.krugwind.com](http://www.krugwind.com)

Formes d'utilisation de l'énergie éolienne dans les régions isolées des pays en développement

G. Cloes, E. Mascart - COTA/Commission européenne, 1988  
Sur commande auprès de l'APERe (T: 02 209 04 02;  
[info@apere.org](mailto:info@apere.org)

Eolien : Rumeurs & réalités  
APERe asbl, édité par la Région wallonne, 2008.

### **14.3. Etudes**

Warwick Wind Trials Final Report  
Encraft, 2009  
Téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
[www.warwickwindtrials.org.uk/2.html](http://www.warwickwindtrials.org.uk/2.html)

Zeeland small wind turbines testfield  
Une étude de suivi sur un an de 11 modèles d'éolienne en Zélande (en néerlandais).  
Téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
[http://provincie.zeeland.nl/milieu\\_natuur/windenergie/kleine\\_windturbines/](http://provincie.zeeland.nl/milieu_natuur/windenergie/kleine_windturbines/)  
Résultats du test également téléchargeable gratuitement à l'adresse :  
<http://www.wind-works.org/SmallTurbines/CalculatedYieldofSmallWindTurbinesatZeelandTestSite.html>

Etude WINEUR  
[www.urban-wind.org/index.php?rub=6&srub=20](http://www.urban-wind.org/index.php?rub=6&srub=20)  
Les résultats du programme WINEUR, destiné à évaluer les possibilités d'intégration de petites éoliennes en milieu urbain.

### **14.4. Sites Internet**

[www.windpower.org/fr/tour/](http://www.windpower.org/fr/tour/)  
Le site de l'Association danoise de l'industrie éolienne propose un cours très complet sur l'énergie éolienne, traduit notamment en français.

<http://www.wind-data.ch/tools/costs.php>  
Association pour la promotion de l'énergie éolienne en Suisse

Domsweb  
<http://domsweb.org/ecolo/eolien.php>

Planète éolienne  
<http://www.planete-eolienne.fr/>

Les éoliennes comment ça marche  
<http://www.demain-la-terre.net/Eoliennes-comment-ca-marche>





Wallonie



Service public  
de Wallonie

**Direction générale opérationnelle de l'Aménagement du territoire,  
du Logement, du Patrimoine et de l'Énergie**

Département de l'Énergie et du Bâtiment durable

Chaussée de Liège, 140-142

5100 Jambes

Numéro vert : 0800 11 901

<http://energie.wallonie.be>