



# Le développement éolien en Wallonie



# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	4
<b>1. L'efficacité des éoliennes</b> .....	6
1.1. Réduction nette des émissions de CO <sub>2</sub>	6
1.2. Le gisement venteux wallon dans la moyenne européenne	7
<b>2. La production éolienne dans le réseau électrique</b> .....	8
2.1. Le vent : de la variabilité prévisible	8
2.2. Équilibre sur le réseau	10
2.3. Un foisonnement à valoriser	11
<b>3. L'éolien participatif</b> .....	12
3.1. Réappropriation du vent	12
3.2. Participation à un projet local	12
3.3. Devenir coopérateur	12
<b>4. Les bénéfices pour le citoyen</b> .....	14
4.1. Une électricité verte et locale	14
4.2. Des bénéfices à partager	14
4.3. Un vecteur d'emploi local et durable	15
4.4. Soutien de la filière par les certificats verts	16
4.5. Un coût compétitif	16
4.6. Impact des épisodes venteux sur le prix de l'électricité	17
<b>5. Les éoliennes et la santé</b> .....	18
5.1. Du bruit limité pour les riverains	18
5.2. Une faible émission d'infrasons	22
5.3. Des ombres portées minimales	23
5.4. Des champs électriques et magnétiques négligeables	24
<b>6. L'éolien dans l'environnement et le cadre de vie</b> .....	26
6.1. Préservation du cadre de vie	26
6.2. Intégration dans le paysage	28
6.3. Maintien de la biodiversité	30
6.4. Protection des oiseaux et des chauves-souris	33
6.5. Dettes énergétique et CO <sub>2</sub> très limitées	34
6.6. Recyclage des composants lors du démantèlement	36
<b>7. Les éoliennes et la sécurité</b> .....	38
7.1. Des normes internationales	38





# Introduction

La déclaration de politique régionale a fixé pour objectif à la Wallonie de couvrir, à l'horizon 2020, 20 % de la consommation finale régionale d'énergie par des énergies renouvelables.

En matière d'électricité d'origine renouvelable, c'est un objectif de 8000 GWh annuels qui a été retenu. Vu le potentiel énergétique de la région et ses caractéristiques topographiques, le Gouvernement wallon s'est accordé pour attribuer une grande part (3800 GWh) de cet objectif à l'électricité d'origine éolienne.

Pour permettre un déploiement harmonieux et respectueux du territoire et de ses habitants, le Gouvernement wallon a adopté un nouveau cadre de référence pour l'implantation des éoliennes le 21 février 2013.

Le document définit de manière très stricte les règles d'implantation des éoliennes. Il souligne également la priorisation de la pose des mâts éoliens le long des grandes infrastructures (autoroutes, voies de chemin de fer). Le nouveau cadre donne aussi une orientation forte pour la participation des citoyens et des communes dans les parcs éoliens.

C'est dans ce cadre que la Wallonie vous propose cette brochure. Elle a pour objectif de fournir à tout citoyen et auteur de projet l'ensemble des informations utiles et pratiques relatives au développement de l'éolien en Wallonie.





# 1. L'efficacité des éoliennes

## 1.1. Réduction nette des émissions de CO<sub>2</sub>

Le mix électrique belge actuel est constitué de deux volets :

- une part stable d'électricité qui provient du nucléaire (technologie très peu flexible aux variations de la demande). En fonction du fonctionnement ou non des réacteurs (arrêt pour des raisons d'entretien ou de sécurité), cette part est plus ou moins importante ;
- une part variable, qui permet l'adaptation de la production électrique aux variations de la demande, principalement assurée par les centrales au gaz (Turbines Gaz Vapeur - TGV) et la centrale de turbinage de Coo. L'adaptabilité et la réactivité de ces centrales sont très grandes.

Les éoliennes produisent de l'électricité et permettent de réduire en temps réel la production électrique des centrales au gaz. Chaque kWh produit par une éolienne évite la production d'un kWh à partir d'une source d'énergie fossile et réduit ainsi les émissions de CO<sub>2</sub> de nos centrales conventionnelles. La Commission wallonne pour l'Énergie (CWaPE) a chiffré cette économie à 456 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh produit par des énergies renouvelables<sup>1</sup>.

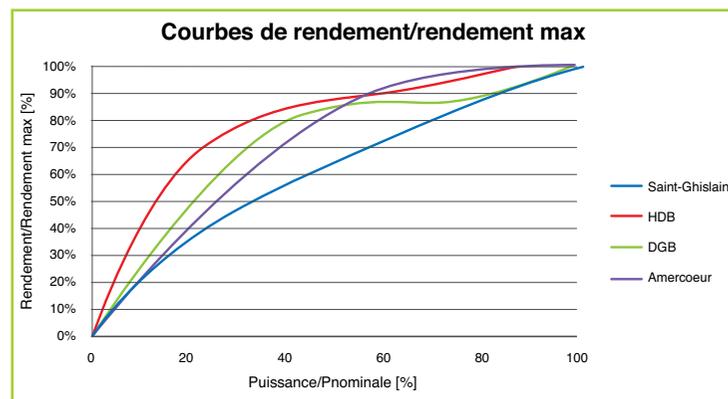
Toutefois, la variabilité du vent entraîne une sollicitation plus fréquente des centrales TGV. Ces hausses et baisses successives (appelées phénomène de « cycling ») peuvent provoquer une légère surconsommation de gaz. Selon les études scientifiques, les pertes de rendement liées au cycling sont néanmoins négligeables et se situent dans une fourchette qui va de 1 à 8 %. Dès lors, le facteur d'économie de CO<sub>2</sub> par kWh éolien produit est de l'ordre de minimum 92 %<sup>2</sup>, en fonction du taux de pénétration de l'éolien dans le mix énergétique. En d'autres termes, sur 100 % de CO<sub>2</sub> évités grâce à la production des éoliennes, à peine 1 à 8 % sont perdus par les émissions de CO<sub>2</sub> associées au cycling<sup>3</sup>.

Ce ne sont donc pas les centrales qui compensent l'arrêt de l'éolien, c'est l'éolien qui vient soulager la production traditionnelle.

## Quelques chiffres pour le parc de production électrique belge

L'analyse de données réelles de centrales TGV belges a permis à Frédéric Bettens<sup>4</sup> (Université Libre de Bruxelles) d'évaluer l'économie de CO<sub>2</sub> entre 380 et 450 grammes par kWh éolien, en fonction de la courbe de rendement de la centrale TGV.

La figure ci-dessous montre que le fait de moduler le régime d'une centrale TGV (voir sur l'axe Puissance/Pnominale [%]) dans une plage de 53 % à 58 % (plage de régime habituelle des centrales TGV) modifie son rendement de 1 à 5 % en fonction de la centrale considérée. Remarquons que certaines centrales (St-Ghislain) sont des centrales de base qui, vu leur courbe de rendement, sont toujours utilisées à des régimes supérieurs à 75 %.



## Evolution du rendement en fonction du régime de fonctionnement de 4 centrales TGV en Belgique.

Données GDF Suez année 2010 – Bettens F., p. 46.

<sup>1</sup>/ Commission wallonne pour l'Énergie : Rapport annuel spécifique 2006, CD-7i04-CWAPE sur "l'évolution du marché des certificats verts", 2007.

<sup>2</sup>/ Le rapport spécifique du GIEC sur l'énergie éolienne cite une fourchette de 3 à 8 % de perte d'efficacité en termes d'émissions de CO<sub>2</sub> pour un taux de pénétration de l'éolien de 12 % : Wiser R., Yang Z., Hand M., Hohmeyer O., Infield D., Jensen P.H., Nikolaev V., O'Malley M., Sinden G., Zervos A., 2011, Wind energy. In IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation.

<sup>3</sup>/ Gross, R. et al : "The costs and Impacts of Intermittency: an assessment of the evidence on the costs and impacts of intermittent generation on the British electricity network", UK Energy Research Centre, Imperial College London (UK), 2006.

<sup>4</sup>/ Bettens, F. : "Impact de la production électrique des éoliennes en Belgique sur les émissions de CO<sub>2</sub>", MFE Faculté des Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, 2011.





Photo: Fabrice DOR (SPW - DGO4)

## 1.2. Le gisement venteux wallon dans la moyenne européenne

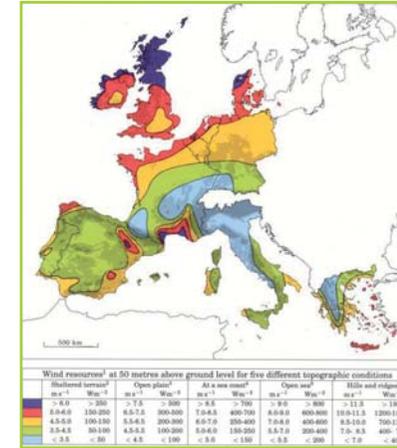
Un ensemble de paramètres techniques caractérisent une éolienne, dont sa puissance maximale, aussi appelée **puissance nominale**. Lorsqu'on parle d'une éolienne de 3 MW, il s'agit d'une éolienne dont la puissance maximale théorique est de 3 MW.

Les machines sont dimensionnées pour une certaine vitesse de vent, à savoir chez nous une bonne brise, voire un vent moyen, soufflant à une quarantaine de km/h. La production électrique d'une éolienne dépend bien entendu du vent : bien qu'elle tourne environ 80 % du temps, une éolienne ne fonctionne pas tout le temps au maximum de sa puissance.

Si on prend l'énergie produite sur une année et qu'on la rapporte à l'énergie fournie par des éoliennes qui tourneraient en continu à leur puissance maximale, on obtient le **taux de charge**. La Commission Wallonne pour l'Energie (CWaPE) a calculé un taux de charge de 25 % pour les éoliennes implantées en Wallonie sur la base des données de production électrique dont elle dispose<sup>5</sup>. Ces 25 % sont une moyenne : le taux de charge varie selon les parcs éoliens et oscille entre 23 et 28 %. Un parc de 10 éoliennes de 2,5 MW produira dès lors chaque année environ 55.000 MWh, de quoi alimenter près de 16.000 ménages, soit plus que l'équivalent du nombre de ménages d'une petite ville (Wavre, par exemple).

Le taux de charge varie bien sûr suivant le gisement venteux. En Wallonie, nous bénéficions d'un gisement de qualité : un atout d'importance dans la composition de notre mix énergétique renouvelable. Le taux de charge se situe en effet dans la moyenne européenne, qui a comme extrêmes l'Autriche à 20 % et le Royaume-Uni à 30 %.

Le taux de charge peut également varier selon les années : sur les années 2009, 2010 et 2011, le parc éolien wallon a tourné avec un taux de charge moyen respectivement de 23,2 %, alors que sur 2012, le taux était de 26,4 %, suivant les données en provenance du gestionnaire du réseau de transport Elia.



La Wallonie se situe dans le même couloir de potentiel éolien que l'Allemagne, qui développe largement cette production d'électricité renouvelable. Source : European Wind Atlas – [www.risoe.dtu.dk](http://www.risoe.dtu.dk)

Traduction de la légende : Les ressources en vent, à 50 m au-dessus du niveau du sol, pour cinq zones topographiques différentes : Terrain abrité / Plaine ouverte / Zone côtière / Pleine mer / Montagne et crêtes. Les vitesses sont exprimées en mètres par seconde (m/s) et les puissances en Watt par mètre carré (W/m<sup>2</sup>). source : <http://www.windatlas.dk/europe/landmap.html>.

### Des records de production : en a vent !

En 2012, le parc éolien belge a couvert en moyenne un peu plus de 3 % de la consommation finale d'électricité (qui comprend les secteurs industriel, tertiaire et résidentiel).

Par jour de grand vent, lorsque l'ensemble du parc tourne à plein régime, cette couverture peut être bien supérieure. Ainsi, le 29 janvier 2013, les éoliennes belges ont fourni 12 % de la consommation électrique du pays. Avec un vent record et les turbines fraîchement raccordées au réseau, l'éolien a couvert l'équivalent de la consommation de plus de 3 millions de logements, soit... 65 % des ménages belges.

En décembre 2012, un mois globalement très venteux, les éoliennes belges ont produit assez d'électricité pour alimenter l'équivalent d'un quart des ménages du pays<sup>6</sup>.

<sup>5</sup>/ Ce chiffre est repris dans la note CD-8f06-CWaPE-184 bis "Les facteurs de réduction k à appliquer dix ans après l'obtention du premier certificat vert pour chaque filière de production d'électricité verte", 2008.

<sup>6</sup>/ Retrouvez la météo des énergies renouvelables au jour le jour sur [www.meteo-renouvelable.be/](http://www.meteo-renouvelable.be/)



## 2. La production éolienne dans le réseau électrique

### 2.1. Le vent : de la variabilité prévisible

Elia, gestionnaire du réseau de transport électrique, a pour tâche d'assurer l'équilibre instantané entre la demande et l'offre d'électricité, toutes deux sans cesse fluctuantes.

Les causes de ces fluctuations sont diverses :

- du côté de l'offre : arrêt temporaire d'une centrale à charbon, entretien d'un réacteur nucléaire, tempête imprévue ou augmentation soudaine de la production éolienne ;
- du côté de la demande : hausse soudaine de la demande suite à une vague de froid ou suite à une finale de coupe du monde de football, fermeture d'une usine grande consommatrice d'électricité, consommation locale d'électricité photovoltaïque, etc.

Grâce à de nombreux progrès dans le domaine de la prédictibilité de la production, cette variabilité est de nos jours de mieux en mieux contrôlée.

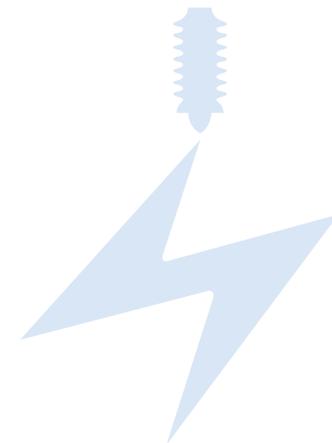




Photo: Fabrice DOR (SPW - DG04)

### Intégration de l'éolien dans le réseau

*Lise Mulpas – Porte-parole d'Elia, gestionnaire du réseau belge à haute tension*

*Du fait de son caractère variable, l'intégration de l'énergie éolienne pose-t-elle problème aux experts en gestion de l'équilibre sur le réseau électrique ?*

« Je ne pense pas qu'on doive parler en termes de problèmes - le développement de l'énergie renouvelable est un choix politique lié aux enjeux du développement durable - mais bien en termes de défi pour la gestion des réseaux. L'énergie éolienne onshore est principalement raccordée aux réseaux de distribution, de même que le photovoltaïque. Pour le réseau de transport elle vient donc en diminution/augmentation de l'énergie qui transite par notre réseau. L'éolien, comme les autres filières renouvelables de production d'électricité, bénéficie d'une priorité d'injection sur le réseau.

La variation de l'offre due à la production éolienne est prise en compte dans le cadre de la gestion de l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité sur le réseau mais elle a un impact de plus en plus important et nécessite une plus grande flexibilité du parc de production en général. C'est dans ce cadre que nous travaillons avec les acteurs du marché pour améliorer les mécanismes de gestion de l'équilibre. »

*Considérant les objectifs wallons et flamands en matière d'éolien, cette situation pourrait être amenée à évoluer. La Wallonie vise 15 % de production électrique de source éolienne d'ici 2020. Quel en sera l'impact sur la gestion du réseau ?*

« Les collègues allemands de notre filiale 50Hertz ont un réseau dans lequel sont injectés plus de 40 % de toute l'électricité renouvelable en Allemagne. Nous pouvons donc faire appel à leur expertise en la matière !

Dans une perspective de gestion prudente, Elia a été impliquée en amont de la procédure de planification éolienne à long terme afin d'identifier, en concertation avec les spécialistes, les meilleures localisations du point de vue du réseau pour l'implantation de parcs éoliens. Nous discutons également de ces matières avec tous les acteurs concernés par la gestion du réseau électrique.

Actuellement, Elia travaille également avec ses pairs européens sur une planification à long terme de l'intégration de l'éolien et des autres énergies renouvelables variables dans la production électrique. Il est important de se placer à une échelle européenne pour dimensionner et organiser l'approvisionnement en considérant l'impact que peut avoir la production variable d'un parc imposant comme celui de l'Allemagne sur d'autres marchés européens. »

## 2.2. Equilibre sur le réseau

Le réseau électrique belge, actuellement fortement centralisé, est amené à évoluer afin d'intégrer les nouvelles unités de production décentralisées telles que les éoliennes.

La zone située à l'est de la province de Liège, appelée la « boucle de l'Est », caractérise bien cet enjeu. Les unités décentralisées y produisent plus que ne le demandent les besoins de consommation locale. L'électricité non consommée doit donc être acheminée vers d'autres lieux de consommation. De plus, vu l'important potentiel venteux de cette région, de nombreux projets éoliens y sont en cours de développement, pour un total qui dépasse les 200 MW. Le réseau local a dès lors atteint la saturation.

D'importants travaux d'adaptation des lignes existantes et de renforcement du réseau tels que l'installation de nouveaux pylônes à haute tension et de nouveaux transformateurs sont d'ores et déjà prévus. Mais le gestionnaire du réseau de transport Elia développe également les solutions qui permettent d'optimiser le réseau actuel. En effet, afin d'éviter d'investir dans de nouvelles unités de production d'appoint qui tourneraient relativement peu de temps, ou d'engager de lourds travaux de renforcement du réseau, il est souvent plus intéressant d'agir au niveau de l'offre et de la demande.

Les smart grids, ou réseaux de distribution « intelligents », sont appelés à devenir un outil de gestion efficace du réseau. L'intérêt des réseaux intelligents consiste en une meilleure mise en phase de la consommation d'électricité avec les cycles naturels de production d'énergie. Il s'agira, par exemple, de donner un signal vert au fonctionnement des lave-linge lorsque la production photovoltaïque est suffisante, ou d'interrompre la production d'électricité lorsqu'il y a risque de congestion sur les réseaux électriques.

Ils permettront ainsi d'optimiser l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité. Pour ce faire, ils gèreront à distance et de manière automatique tant les producteurs que les consommateurs d'électricité, pour autant que ceux-ci aient marqué leur accord. Les smart grids auront donc pour effet de permettre d'économiser de l'énergie, d'optimiser le réseau et d'en réduire les coûts.

### Production flexible

En souscrivant un contrat flexible, certains producteurs d'électricité acceptent de mettre leur production à l'arrêt pendant quelques heures, afin d'éviter la congestion du réseau.

Cette solution est avantageuse pour chaque partie : elle permet d'installer des unités de production décentralisées là où le réseau nécessiterait des travaux d'adaptation, et offre au producteur une compensation financière en échange de sa flexibilité.

### Gestion de la demande

- Afin de garantir l'équilibre sur le réseau, et dans le but de diminuer temporairement ou de déplacer la demande, les industriels, gros consommateurs d'électricité, ont la possibilité de souscrire auprès d'Elia un contrat d'interruptibilité. Lorsqu'il n'y a pas d'impact sur son processus industriel, les consommations d'un « client interruptible » peuvent être réduites ou interrompues pendant une période qui ne pourra excéder 8 heures pour une capacité de minimum 5 MW, en échange de quoi il perçoit une compensation financière.
- En cas d'incident soudain ou de pénurie d'électricité (pic de la demande suite à une période de grand froid par exemple), et au cas où l'interruption de gros consommateurs se serait avérée insuffisante, Elia a la possibilité de réduire l'éclairage des bâtiments publics ou d'interrompre l'éclairage des autoroutes ou, en dernier recours, de couper l'accès au réseau par blocs de 500 MW, c'est-à-dire de « délester » temporairement certaines zones rurales.



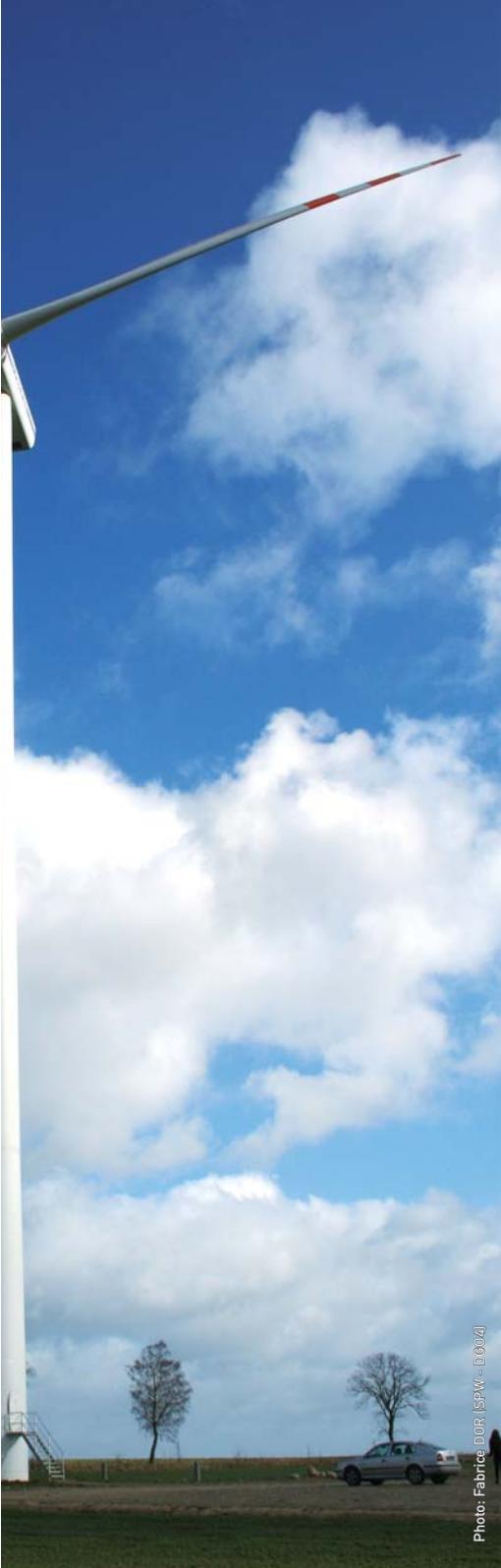


Photo: Fabrice DOR | SPW - 0004

### 2.3. Un foisonnement à valoriser

Lorsque l'on parle de foisonnement éolien, on évoque l'idée que des parcs éoliens nombreux, interconnectés et bien répartis géographiquement permettent d'atténuer la variabilité de leur production. Ce phénomène de lissage de la production éolienne globale se vérifie-t-il dans les faits ?

Des variations de production peuvent survenir entre des turbines au sein d'un seul parc. Des variations peuvent également s'observer entre un grand nombre de parcs éoliens. Toutefois, une chute soudaine de la production éolienne d'un pays dans sa totalité est une hypothèse improbable. A l'échelle du continent européen, elle est virtuellement impossible.

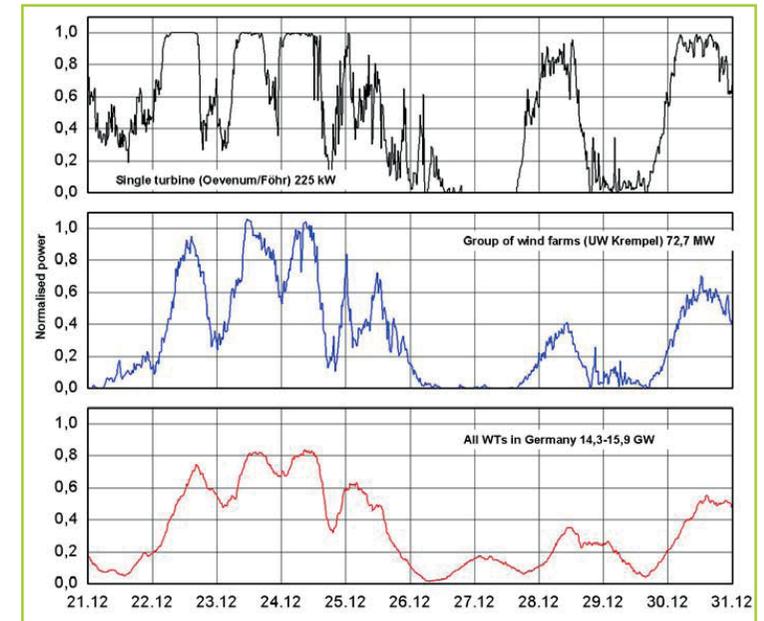
Une étude belge<sup>7</sup> démontre que le foisonnement des parcs éoliens en Wallonie permet d'atténuer la variabilité de la production et donc de réduire l'impact de l'intermittence sur la production. Alors que, individuellement, certains parcs ont besoin d'une compensation équivalente à 60, 70 voire 80 % de leur puissance installée au moins une fois par an, la mise en commun de la production des 6 parcs étudiés a connu, au cours de l'année 2010, une seule fois une chute de 40 % de sa puissance installée et deux fois une augmentation de 35 %. Les variations extrêmes s'atténuent donc fortement par rapport à celles constatées sur un parc isolé.

Le rapport IEA Wind Task 25<sup>8</sup> arrive à des conclusions similaires. Les trois graphiques ci-contre permettent de comparer la production d'une seule turbine, d'un parc de 72,7 MW et de l'ensemble du parc allemand (lorsque celui-ci totalisait 15.900 MW). Les résultats mettent eux aussi en évidence une atténuation de la variabilité puisque la production cumulée des parcs éoliens s'avère lissée, sans presque aucune chute à zéro.

L'effet de foisonnement est donc d'autant plus important que le nombre de parcs est connecté et que les réseaux nationaux sont interconnectés entre eux.

Exemple de production d'une turbine unique, d'un parc éolien et de l'ensemble des parcs allemands (21-31.12.2004).

Source : rapport IEA Wind Task 25, p. 21



Lorsque la densité d'un parc éolien offre un foisonnement important, il est donc rare qu'un back-up pour l'ensemble de sa puissance soit nécessaire. Dans le cas peu probable où le parc éolien complet est à l'arrêt, il est souvent plus intéressant, économiquement et énergétiquement, d'importer la quantité d'énergie nécessaire ou d'interrompre certaines consommations. Cela permet d'éviter des coûts d'investissement dans des centrales d'appoint.

<sup>7</sup>/ Bettens, F. : "Impact de la production électrique des éoliennes en Belgique sur les émissions de CO<sub>2</sub>", MFE Faculté des Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, 2011.

<sup>8</sup>/ Holttinen H. et al.: "Design and operation of power systems with large amounts of wind power", Final report, IEA WIND Task 25, Phase one 2006-2008, VTT Technical Research Centre of Finland, Research notes 2493493, 2009.

# 3. L'éolien participatif

## 3.1. Réappropriation du vent

Les projets participatifs ont le vent en poupe. Les citoyens et les communes qui s'impliquent dans un projet éolien sont de plus en plus nombreux. Certains d'entre eux se lancent dans l'aventure de la création d'une coopérative. Cette solution répond à des objectifs multiples.

- 1°) La coopérative permet une appropriation collective des ressources naturelles. Le vent étant un bien public, la coopérative aspire à ce que tout citoyen puisse avoir accès aux bénéfices de son exploitation.
  - 2°) La coopérative poursuit un but social autour d'une structure démocratique.
  - 3°) La coopérative vise à terme la mise en place de circuits courts : en acquérant ses propres moyens de production d'énergie, elle permet de fournir l'électricité directement du producteur au consommateur.
- La coopérative peut inclure une participation des autorités communales et/ou d'une intercommunale.

## 3.2. Participation à un projet local

S'impliquer activement dans un projet éolien sur sa commune suppose la création d'une coopérative citoyenne. Pour ce faire, il faut rassembler un noyau de riverains et/ou d'élus communaux entreprenants et déterminés à mettre leur énergie et leurs compétences en commun afin de mettre sur pied un projet local, collectif et durable.

Les formules permettant à un groupe de citoyens de prendre une participation dans un parc éolien sont nombreuses. Elles varient selon que le projet participatif s'élargit ou non aux autorités communales, à un fonds d'investissement, à une coopérative régionale, à une intercommunale, et selon les moyens financiers dont disposera la coopérative. De nombreuses portes sont donc ouvertes mais, dès le départ

de l'aventure, il importe que les objectifs de la coopérative soient bien définis.

Les citoyens et/ou la commune doivent également déterminer ensemble la part de risque qu'ils souhaitent assumer : participation au processus de développement, achat de permis de construire, achat d'une éolienne (en tout ou en partie) clé sur porte ?

Dans la majorité des cas, lorsque les parties souhaitent que la coopérative fonctionne dans le respect des valeurs et principes coopératifs, ils optent pour le statut de coopérative agréée (agrément obtenu auprès du Service public fédéral Economie pour devenir membre du Conseil National de la Coopération). Ce statut permet, entre autres, de simplifier les démarches pour l'appel à l'épargne publique, et donc pour la collecte de fonds.<sup>9</sup>

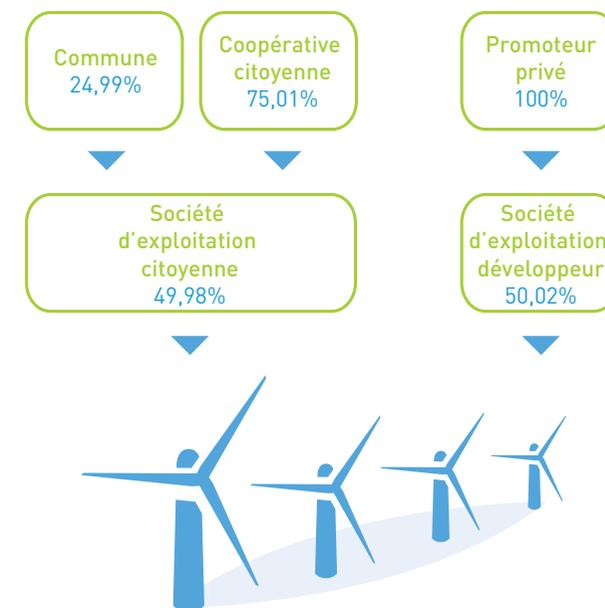
Certaines coopératives peuvent en outre adopter le statut de coopérative à finalité sociale. Cela renforce le réinvestissement des bénéfices éoliens dans la poursuite du but social de la coopérative. Le but social combine généralement les aspects énergétiques, éducatifs et environnementaux avec la création d'emplois locaux.

## 3.3. Devenir coopérateur

Pour s'impliquer dans un projet éolien, une seconde option consiste à acheter une ou plusieurs parts dans une coopérative existante. Toute personne physique ou morale a le droit de devenir coopérateur. En acquérant des parts d'un montant accessible (compris généralement entre 50 et 250 €), tout citoyen peut devenir copropriétaire d'une éolienne. En achetant au minimum une part du capital de la coopérative, le souscripteur acquiert le droit de participer et voter aux assemblées générales. Dans la plupart des cas, le nombre de parts qui peuvent être souscrites auprès des coopératives n'est pas limité.

Des balises permettent néanmoins d'assurer le respect du principe d'équité et d'éviter qu'un actionnaire n'exerce un poids prépondérant dans la prise de décision de la coopérative.

Si le principe « un homme = une voix » est fréquemment inclus dans les statuts de la coopérative pour le vote en assemblée générale, la répartition des dividendes, lorsqu'elle a lieu, est quant à elle proportionnelle au nombre de parts détenues dans le capital.







## 4. Les bénéfices pour le citoyen

### 4.1. Une électricité verte et locale

L'exploitation de notre gisement venteux est une des réponses à la dépendance énergétique de notre pays. En 2011, la Belgique importait 97 % de ses combustibles énergétiques (pétrole, gaz, uranium, charbon). La même année, l'éolien couvrait 4 % de la consommation électrique finale wallonne. La production éolienne est répartie sur l'ensemble du territoire et, pour l'essentiel, injectée directement dans le réseau de distribution. Elle fait partie intégrante du mix énergétique dont la part renouvelable locale est sans cesse croissante.

Plusieurs fournisseurs d'électricité offrent aujourd'hui des formules «vertes» qui proposent aux consommateurs une production plus durable de l'électricité.

### 4.2. Des bénéfices à partager

Les retombées financières d'un projet éolien peuvent être directes ou indirectes pour le citoyen :

- directes, dans le cas de la perception d'un dividende si le citoyen a souscrit une ou plusieurs parts dans une coopérative citoyenne. Rappelons que le paiement de dividendes n'est pas automatique et qu'il est plafonné à 6 % des bénéfices de la coopérative si celle-ci est agréée par le Conseil National de la Coopération ;
- indirectes, lorsque la commune réinvestit les revenus des redevances qu'elle perçoit du développeur de projet ou les dividendes perçus si elle a acquis une participation dans un projet éolien dans d'autres projets durables tels que l'installation d'une chaudière biomasse dans un bâtiment public, la rénovation d'une école, l'isolation des bâtiments communaux ou la pose de panneaux photovoltaïques.



Photo: Fabrice DOR JSPW - 0004



### 4.3. Un vecteur d'emploi local et durable

En mai 2011, le Cluster TWEED publiait une cartographie des PME wallonnes actives dans le secteur de l'éolien. Cette cartographie, consultable sur le site [www.windturbinewallonia.be](http://www.windturbinewallonia.be), identifie pas moins de 80 entreprises ayant développé une expertise tout au long des chaînes de valeur verticale (liée aux composantes de l'éolienne) et horizontale (liée au projet éolien).

Le développement de chaque projet éolien implique près d'une quinzaine d'entreprises locales, indispensables pour réaliser les études, mener les travaux d'installation et d'aménagement de voiries, raccorder le parc au réseau, financer le projet et assurer la maintenance des éoliennes sur vingt ans. Ces activités économiques permettent l'emploi de nombreuses personnes : ingénieurs, architectes, logisticiens, ouvriers, techniciens... Ces emplois sont pour la plupart durables et non délocalisables.

De nombreuses industries fournissent aussi des services, des composants ou des produits intermédiaires.

Au niveau belge, la fédération Agoria estimait en mai 2012 le nombre d'emplois dans la chaîne de valeur éolienne à 3476 équivalents temps plein (ETP), et à 6040 ETP si l'on inclut les emplois indirects. Selon cette étude, l'éolien onshore représenterait 60 % des professionnels du secteur avec 2100 emplois directs, contre 1376 emplois directs pour l'éolien offshore.

Le bureau Deloitte établissait, quant à lui, à 6225 le nombre d'ETP actifs dans l'éolien en Belgique, dont 2722 ETP directs, d'après une étude menée en novembre 2012.

#### 4.4. Soutien de la filière par les certificats verts

L'exploitation des différentes sources d'énergie renouvelables présente, pour l'ensemble de la société, de nombreux avantages sur les plans environnemental, économique et social.

Les pays européens ont tous fait le choix de développer largement l'exploitation des énergies renouvelables au premier rang desquelles figure l'éolien. Les investissements nécessaires pour y arriver sont importants au stade de la construction. Par contre, aucun achat de combustible n'est nécessaire à la production, contrairement aux filières énergétiques classiques. La structure de coûts des projets exploitant les sources d'énergie renouvelables est donc fort différente.

Pour assurer un développement continu des différentes filières, il s'agit de garantir aux investisseurs un retour sur investissement suffisant au vu des engagements financiers pris. Un soutien aux nouvelles filières doit donc être prévu en phase de démarrage.

A travers leurs politiques de soutien à la production énergétique renouvelable, les pays européens visent à réduire leurs importations d'énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon), soumises à de fortes fluctuations de prix sur les marchés internationaux. Les productions renouvelables se basent au contraire sur des ressources locales disponibles et sans prix d'achat (soleil, vent, eau) et permettent donc de maîtriser à long terme le prix de l'électricité.

La Wallonie a opté pour un mécanisme de certificats verts, octroyant aux producteurs des certificats pour leur production et obligeant les fournisseurs d'électricité à incorporer dans l'électricité qu'ils distribuent une certaine part croissante d'énergie verte. Le coût du mécanisme des certificats verts est directement répercuté sur la facture d'électricité du consommateur. Fin 2012, le coût relatif aux certificats verts provenant de l'éolien était estimé à un peu moins de 14 € annuels (source : CWaPE) pour un ménage avec une consommation d'électricité moyenne de 3500 kWh/an.

Gardons à l'esprit que les coûts du développement des énergies renouvelables ne représentent pas des dépenses perdues mais des investissements en infrastructure permettant d'assurer un service énergétique accessible pour les générations actuelles et à venir.

#### 4.5. Un coût compétitif

Une éolienne est d'installation aisée, rapide, et ne nécessite aucun combustible pour son fonctionnement. En ramenant le montant de l'investissement à l'énergie produite sur 20 ans, le coût de production du kWh éolien se rapproche progressivement de celui du kWh au gaz. Il est sensiblement inférieur au kWh produit par une centrale nucléaire de 3ème génération (type EPR), et ce sans générer de problème de déchets à long terme. L'éolien garantit un approvisionnement énergétique dont les coûts sont bien maîtrisés, alors que ceux liés à l'énergie nucléaire font l'objet de nombreuses incertitudes. En effet, du fait de la complexification de la technologie, du renforcement des mesures de sécurité et de l'augmentation des primes d'assurances, les nouvelles centrales nucléaires (type Réacteur Pressurisé Européen - EPR) ont un coût de construction et d'exploitation plus élevé que les modèles précédents.

On peut dès lors conclure qu'avec la raréfaction des combustibles fossiles et nucléaire, et l'augmentation des prix qui en découlera, la probabilité que l'énergie éolienne devienne un jour le moyen de production électrique le meilleur marché est de plus en plus forte.

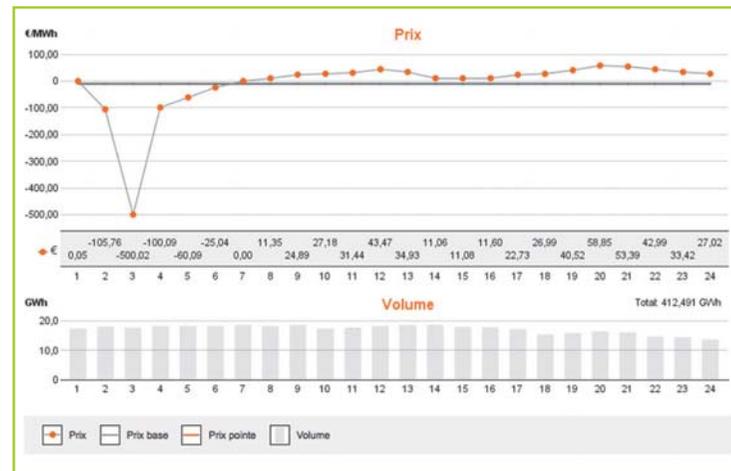




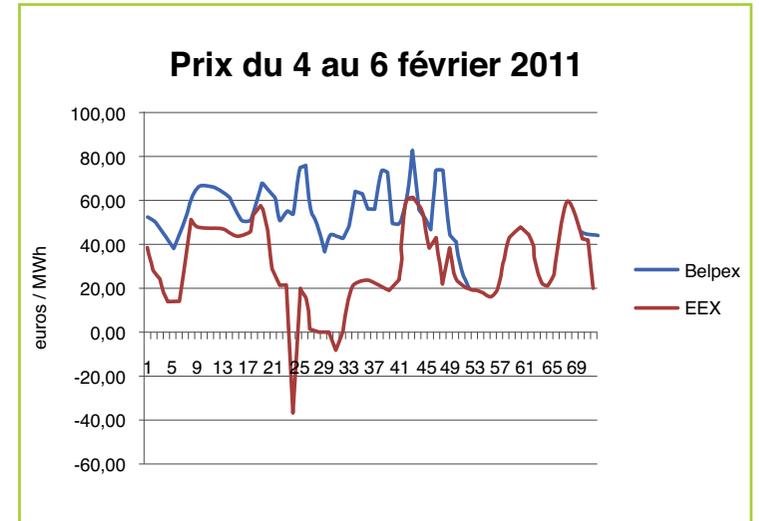
## 4.6. Impact des épisodes venteux sur le prix de l'électricité

L'impact de l'énergie éolienne par vents forts sur les prix de gros de l'électricité est à présent indéniable.

En Allemagne, plusieurs tempêtes ont engendré des excédents d'électricité les 4/10/2009, 5/02/2011, et 25/12/2012. Comme l'indiquent les graphiques ci-contre, les prix spot (fixés au jour le jour) ont atteint des niveaux négatifs (parfois jusqu'à -500 €/MWh) :



Source : Elia



Source : Belpex

L'impact de ces phénomènes naturels est bien entendu limité dans le temps et rarement répercuté sur la facture des consommateurs (la période la plus longue présentant des prix négatifs de façon continue s'élève à 10 heures). Mais pour la première fois, en décembre 2012, l'excédent d'énergie éolienne a impacté non seulement les prix infra-journaliers, mais aussi ceux fixés la veille pour livraison le lendemain. L'AAE (Asociacion Empresarial Eolica - Espagne) déclarait le 23 avril 2010 : « Les prix de l'énergie en Espagne ont connu une chute de 26% en base annuelle au cours du premier trimestre 2010 grâce à la forte augmentation de la production d'électricité éolienne et hydro-électrique pendant cette période »<sup>10</sup>.

En Belgique, le développement éolien n'a pas encore atteint un niveau de nature à entraîner des prix négatifs sur la bourse de l'électricité. Ces fluctuations de prix à la baisse sont par ailleurs difficilement exploitables. En effet, elles se produisent toujours lorsque la demande est faible, c'est-à-dire soit la nuit, soit le week-end ou les jours fériés. La solution réside dès lors dans une meilleure interconnexion des réseaux européens ou, idéalement, dans le stockage de l'électricité excédentaire.

# 5. Les éoliennes et la santé

## 5.1. Du bruit limité pour les riverains

Le bruit émis par les éoliennes en fonctionnement est à la fois de nature mécanique et aérodynamique. Il provient des pièces en rotation au niveau de la nacelle et du brassage du vent par les pales mises en mouvement.

De nombreux progrès techniques ont permis de considérablement limiter les bruits mécaniques : suppression des boîtes de vitesse dans les éoliennes synchrones ou engrenages plus silencieux, arbres de transmission sur coussinets amortisseurs ou encore nacelles capitonnées dans les éoliennes asynchrones. Ces bruits ne sont actuellement plus significatifs.

D'autre part, les bruits liés aux turbulences dans l'air sont aussi limités par une forme plus aérodynamique des pales.

Quel que soit le niveau de bruit que les éoliennes émettent, celui-ci décroît très vite avec la distance. Selon la saison, les conditions météorologiques et la localisation, le bruit est plus ou moins perceptible et est parfois couvert par le bruit du vent ou d'une route, suivant les circonstances.

En Wallonie, la réglementation impose pour chaque projet éolien la réalisation d'une étude acoustique par un bureau d'étude ou un organisme agréé par la Région wallonne, qualifié pour les mesures de bruit. La norme de référence utilisée par les acousticiens est la norme européenne IEC 61400-11. L'étude de bruit prend notamment en compte la topographie locale et les conditions météorologiques les plus défavorables (vents dominants soufflant vers toutes les habitations proches, type d'éolienne le plus bruyant).

Le parc éolien ne sera autorisé que si l'étude met en évidence qu'il respectera les normes acoustiques en vigueur.





Les connaissances scientifiques internationales les plus récentes<sup>11-12-13</sup> montrent que les intensités sonores enregistrées au niveau des habitations installées à proximité des parcs éoliens ne génèrent pas de conséquences sanitaires sur le système acoustique de l'homme. Autrement dit, un niveau de bruit de 45 dB(A) n'entraîne pas de conséquences physiologiques : l'exposition à laquelle est soumise la population riveraine de parcs est nettement en-dessous du seuil toléré qui est de 70 à 80 dB(A) pour des expositions répétées et de longue durée.

De plus, si on considère 45 dB(A) à l'extérieur, ainsi qu'une isolation de 21 dB (norme OMS confirmée par l'expérience des aéroports wallons) pour l'habitation, on obtient un niveau de bruit de 24 dBA dans les chambres à coucher, ce qui est bien inférieur aux 30 dBA recommandés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Le développement des éoliennes a entraîné une nouvelle source de bruit dans l'environnement proche. Si le bruit est en grande partie objectif par une série de mesures (intensité, fréquence, constance), son ressenti et sa perception par les riverains reste une question fortement subjective : certains y verront des désagréments alors que d'autres pas. Lorsque le bruit émis par les éoliennes est provoqué par un problème technique ou un mauvais réglage, il est facilement identifiable, et peut généralement être atténué rapidement. Lorsque l'impact acoustique est perçu comme une gêne, il est difficile d'objectiver la nuisance.

Le Conseil Supérieur de la Santé (CSS) a publié le 23 mai 2013 un avis concernant les aspects sanitaires liés à l'implantation et au fonctionnement de parcs à éoliennes dans les zones habitées.

L'avis conclut qu'« il est peu probable que [les éoliennes modernes] aient d'autres effets directs sur la santé et le bien-être » à condition de respecter certaines conditions. Le CSS a formulé à cet effet 8 recommandations visant à développer l'énergie éolienne onshore d'une manière socialement acceptable et à préserver la qualité de vie, c'est-à-dire la santé et le bien-être.

Il est intéressant de noter que la majeure partie de ces recommandations sont déjà d'application en Wallonie, notamment le respect des normes acoustiques de l'OMS, ainsi que des normes en matière d'ombres portées.

11°/ Ellenbogen J.M. et al. : "Wind Turbine Health Impact Study : Report of Independent Expert Panel", Massachusetts Department of Environmental Protection and Massachusetts Department of Public Health, 2012.

12°/ National Health and Medical Research Council (NHMRC) – Australian Government: "Wind Turbines and Health: A Rapid Review of the Evidence", 2010.

13°/ Herbrandson C., Messing R.B.: "Public Health Impacts of Wind Turbines", Minnesota Department of Health – Environmental Health Division, 2009. Knopper L.D. et Ollson C. "Health Effects and Wind Turbines: A review of the literature", Environmental Health 10:78, 2011.





Photo: Fabrice DOR (SPW - DG04)

### Estinnes à l'écoute des citoyens

Depuis 2010, le site « Levant de Mons » sur la commune d'Estinnes accueille 11 éoliennes d'une puissance nominale de 6 MW et d'une hauteur de 198 mètres. Il s'agit des éoliennes parmi les plus puissantes et les plus hautes du monde. Les éoliennes sont implantées à 700 mètres des premières habitations. Le parc de 11 unités est branché directement sur le réseau haute tension à 30 000 volts et peut alimenter l'équivalent de 50 000 foyers.

Dès la mise en service du parc, des plaintes ont été rapportées auprès du développeur et exploitant Windvision : environ 40 riverains se plaignaient d'un bruit sourd, essentiellement nocturne. Un bridage (limitation de vitesse) des machines a été mis en place par l'exploitant durant la nuit pour limiter les impacts sonores durant cette période. En collaboration avec les riverains qui ont été invités à fournir des informations sur la fréquence d'apparition et les caractéristiques du bruit, des analyses poussées des machines ont permis d'identifier la cause des désagréments. Pour certaines plages de fréquence, un bruit sourd était émis par la génératrice, suite à l'apparition d'un phénomène de résonance à l'intérieur de la nacelle. De nombreuses campagnes de mesures acoustiques ont depuis lors été réalisées à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Le problème de résonance a été techniquement réglé et le parc éolien respecte maintenant les normes acoustiques en vigueur. Un système permanent de mesures acoustiques dans le parc et sur trois zones du site permettra d'obtenir des données sur plusieurs années.

Cet épisode met en évidence l'importance d'un dialogue permanent entre riverains et exploitants du parc éolien.

## 5.2. Une faible émission d'infrasons

Les infrasons, audibles ou non par l'homme, sont émis à une fréquence comprise entre 1 et 20 Hz. Ils sont omniprésents dans notre environnement et peuvent être naturels (vagues, vent...) ou artificiels (circulation routière, explosion...).

Bien que le débat sur la perception même des infrasons par l'oreille humaine ne soit pas encore tranché par les spécialistes, la majeure partie des rapports scientifiques (notamment l'analyse réalisée par l'Institut de Physique Appliquée de Stuttgart sur les émissions d'infrasons) arrive à la conclusion que les infrasons émis par les éoliennes à une distance de 350 m minimum n'ont pas d'impact direct sur la santé humaine : à un tel niveau, l'oreille n'y serait pas sensible et aucun effet sanitaire lié aux basses fréquences et aux infrasons générés par ces machines n'a pu être observé<sup>14</sup>.

Les infrasons émis par les éoliennes ne peuvent pas être à l'origine de maladies vibroacoustiques : ces maladies surviennent après une exposition continue pendant 13 semaines à environ 100 dB à basse fréquence<sup>15</sup>. Or, l'amplitude des infrasons est déjà inférieure à ce niveau à moins de 100 m d'une éolienne<sup>16</sup>. En Wallonie comme ailleurs en Europe, aucun projet éolien n'est autorisé à moins de 100 m des habitations.

Les infrasons n'ont pas non plus d'effets sur le système vestibulaire (système sensoriel à la base du sens de l'équilibre) : il faudrait que leurs niveaux d'intensité soient « plus de mille fois plus élevés [...] pour être seulement audibles, et encore plus de mille fois plus élevés pour qu'apparaissent les discrètes et transitoires réactions vestibulaires »<sup>17</sup>.

A titre de précaution, les nouvelles éoliennes sont conçues aujourd'hui pour produire beaucoup moins d'infrasons que les modèles de première génération<sup>18</sup>.



<sup>14</sup>/ Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, avec la participation de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie: "Impacts Sanitaires du Bruit généré par les Éoliennes", Paris, 2008.

<sup>15</sup>/ Colby W.D. et al: "Wind Turbine Sound and Health Effects – An Expert Panel Review", American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association, 2009.

<sup>16</sup>/ Ellenbogen J.M. et al.: "Wind Turbine Health Impact Study : Report of Independent Expert Panel", Massachusetts Department of Environmental Protection and Massachusetts Department of Public Health, 2012.

<sup>17</sup>/ Chouard C.-H. : "Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme", Académie nationale de médecine, Paris, 2006.

<sup>18</sup>/ Chatham-Kent Public Health Unit: "The Health Impact of Wind Turbines: A Review of the Current White, Grey, and Published Literature", Ontario, 2008.



### 5.3. Des ombres portées minimales

Le phénomène d'ombre portée se produit lorsque le soleil se situe derrière une éolienne en rotation. Ce phénomène est erronément appelé 'effet stroboscopique' puisque la fréquence de défilement de l'ombre des pales est suffisamment basse pour permettre à la rétine de s'adapter. A certains moments de la journée, l'ombre des pales est projetée sur le sol ou dans les habitations, ce qui peut créer une gêne visuelle pour les riverains. Le phénomène dépend de nombreux éléments qui sont rarement tous réunis en même temps. Il se produira seulement si la lumière est directe et non pas diffuse, si les pales sont en rotation et si le soleil est à la fois dans l'axe de rotation des pales et orienté vers les fenêtres des habitations. La fréquence d'apparition de ces effets est donc faible.

D'autre part, la perception dynamique du phénomène d'ombre portée sur les axes de transport routier peut, quant à lui, être considéré comme totalement négligeable vu la faible vitesse de rotation des pales et la vitesse propre du véhicule concerné.

Une norme définit en Wallonie le seuil maximum d'exposition aux ombres portées des éoliennes à 30 heures par an et 30 minutes par jour par temps clair.

Pour limiter la gêne des riverains, des améliorations ont été apportées à la conception des éoliennes et au choix des matériaux. La plupart des éoliennes de nouvelle génération sont maintenant munies d'un revêtement limitant les reflets des rayons du soleil sur les pales. Les installations sont également munies d'un système appelé « shadow-modules » qui permet d'arrêter automatiquement l'éolienne en cas de dépassement de la norme.

Enfin, précisons que les ombres portées ne sont en aucun cas dangereuses pour la santé<sup>19</sup>: les éoliennes tournent à une fréquence trop faible pour avoir un impact sur la santé humaine (entre 0,45 et 1,75 Hz alors que la fréquence connue pour avoir des effets négatifs sur la santé humaine est comprise entre 2,5 et 3 Hz<sup>20</sup>).

<sup>19</sup>/ Seuls 5% des individus épileptiques [qui représentent 0,5% de la population] pourraient présenter une sensibilité aux effets stroboscopiques. Source : Environment Protection and Heritage Council: "National Wind Farms Development Guidelines", Australia, 2010.

<sup>20</sup>/ Knopper L.D. et Ollson C. "Health Effects and Wind Turbines: A review of the literature", Environmental Health 10:78, 2011.  
Chatham-Kent Public Health Unit: "The Health Impact of Wind Turbines: A Review of the Current White, Grey, and Published Literature", Ontario, 2008.

## 5.4. Des champs électriques et magnétiques négligeables

Les champs électriques résultent de la présence d'une tension électrique entre conducteurs : plus le voltage est élevé, plus le champ électrique est important. Les champs magnétiques quant à eux sont produits par un courant électrique. L'intensité du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant transporté (ampérage).

Le couplage d'une onde électrique et d'une onde magnétique constitue un champ électromagnétique.

A côté des sources naturelles qui composent le spectre électromagnétique (comme le champ magnétique terrestre) la plupart des champs résultent de l'activité humaine. Ainsi, à la maison, un champ électrique est présent autour des conducteurs qui alimentent les prises de courant. Un champ magnétique sera également généré autour de ces conducteurs lorsqu'ils alimenteront un appareil (lampe, appareil électroménager, ...).

Les champs électriques et magnétiques sont d'autant plus intenses que l'on est proche de la source et ils diminuent rapidement lorsque la distance augmente.

Au pied des éoliennes, les champs électriques et magnétiques émis par les composants électriques de la nacelle peuvent être considérés comme négligeables car celle-ci se trouve à environ 100 m de hauteur. Les câbles électriques qui relient les éoliennes au réseau électrique sont quant à eux enterrés à minimum 75 cm de profondeur. Ces câbles ne produisent pas de champ électrique car ils sont recouverts d'une gaine isolante comprenant un maillage métallique de mise à la terre. Si ces câbles génèrent bien un champ magnétique, ce dernier décroît rapidement avec la distance. De plus, les câbles sont installés selon une méthode de pose spécifique (en trèfle) qui réduit également le champ magnétique produit.

Une étude a démontré qu'en s'éloignant de 30 m des connections au réseau électrique de distribution, le champ magnétique émis par les éoliennes est équivalent à celui mesuré à l'intérieur d'une maison<sup>21</sup>.

<sup>21</sup>/ Australian Wind Energy Association: "The Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Field Implications for Wind Farming in Australia", Rapport remis au Australian Government, Australian Greenhouse Office, 2004.





# 6. L'éolien dans l'environnement et le cadre de vie

## 6.1. Préservation du cadre de vie

### → 6.1.1. Territoires exclus

L'adoption par la Wallonie d'objectifs ambitieux en termes de développement éolien va de pair avec une réflexion sur la préservation et la protection de la qualité de vie des citoyens.

Afin de limiter les impacts acoustiques et visuels, les éoliennes ne peuvent être implantées dans certains périmètres directement liés au confort de vie, notamment dans les zones d'habitat, les zones de loisirs, ou les zones naturelles.

Les zones forestières sont également exclues, à l'exception des forêts de résineux pauvres en biodiversité, et à la condition que les éoliennes soient implantées en continuité d'un parc existant ou d'un projet de parc situé en dehors de la zone forestière.





Photo: Fabrice DOR (SPW - DGG4)

### → 6.1.2. Confort acoustique

Afin de limiter au maximum leur impact acoustique, les éoliennes doivent être implantées moyennant une certaine distance par rapport à l'habitat et aux activités humaines.

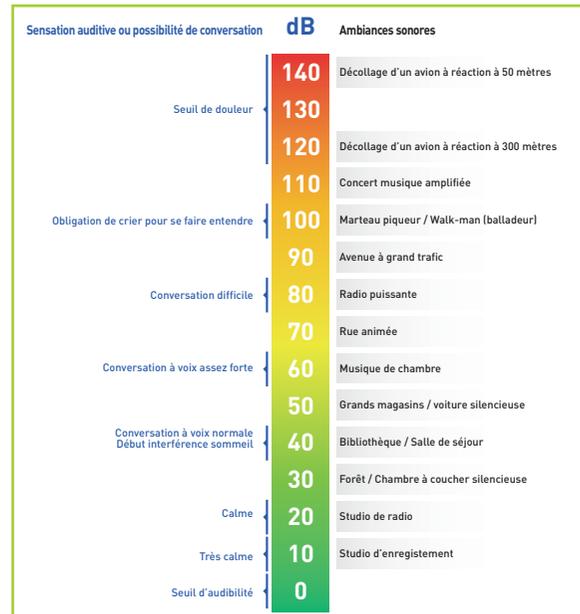
Cette distance est actuellement fixée à quatre fois la hauteur totale de l'éolienne (pale à son apogée comprise). Elle tient compte des progrès technologiques, qui ont fait évoluer les éoliennes vers des rotors plus grands (généralement entre 100 m et 117 m de diamètre) et de génératrices plus puissantes (entre 2,3 et 3,4 MW pour la plupart).

Toutefois, malgré cette évolution, les progrès accomplis en matière d'aérodynamique des pales et d'insonorisation des nacelles permettent d'ériger des éoliennes sensiblement plus performantes mais dont les niveaux de bruit émis sont comparables, voire même inférieurs à ceux des modèles précédents.

Au pied du mât, une éolienne émet un niveau sonore de l'ordre de 50 à 55 dB(A).

A une distance de 450 à 500 mètres du mât, par vent fort, l'éolienne émet un bruit dont le niveau se situe entre 40 et 45 dB(A).

Le graphique ci-dessous permet de comparer le niveau acoustique des éoliennes à d'autres sources de bruit de notre vie quotidienne :



◀ Niveau de bruit moyen d'une éolienne à une distance de 450-500 m

### → 6.1.3. Confort visuel

L'impact visuel d'un objet, quel qu'il soit, est directement lié à sa taille et à la distance qui nous sépare de lui. Cette importance visuelle, appelée également prégnance, n'est pas proportionnelle à la distance : elle décroît très vite avec l'éloignement. C'est pourquoi les premières centaines de mètres de recul sont les plus importantes à prendre en compte dans l'évaluation de l'impact visuel des éoliennes.

Ainsi, une éolienne de 150 m de hauteur totale n'occupe qu'un angle de vision de 16° à 500 m de distance, alors qu'elle occupe un angle de 23° à 250 m de distance.



## 6.2. Intégration dans le paysage

Dès 2001, la Wallonie a adopté la Convention européenne du paysage (aussi appelée Convention de Florence<sup>22</sup>). L'objectif de cette convention ne vise pas à sanctuariser nos paysages exceptionnels, mais constitue un instrument de protection, de gestion, et d'aménagement de tous les paysages. En y adhérant, la Wallonie vise une intégration paysagère harmonieuse des éoliennes (et d'autres développements ayant un impact sur le paysage).

Selon le nouveau Cadre de Référence adopté le 21 février 2013, les parcs se composant d'un minimum de 5 éoliennes<sup>23</sup> seront prioritaires. Si des parcs éoliens de plus petite taille doivent être envisagés, ils seront autorisés dans le souci de limiter le mitage de l'espace (occupation de l'espace rural par un certain nombre d'éoliennes isolées, donnant une impression peu harmonieuse de l'implantation des éoliennes) et pour autant qu'ils ne réduisent pas le potentiel global de la zone.

Afin qu'ils participent à la (re)composition d'un paysage, la disposition et l'agencement des parcs éoliens doivent mettre en valeur les caractéristiques du paysage et souligner ses lignes de force.

Dans les deux exemples illustrés ci-dessous, on aperçoit dans l'image de gauche un alignement rectiligne perpendiculaire, plus pauvre et moins souple qu'une courbure le long de l'autoroute, et, dans l'image de droite, une composition qui suit ou amplifie le côté extérieur de l'autoroute. Cette dernière disposition permet d'orienter la vue du conducteur vers le point de mire et de souligner la courbure du paysage.



<sup>22</sup>/ Le texte intégral de la Convention est accessible sur <http://environnement.wallonie.be/legis/international.htm>.

<sup>23</sup>/ Sans préjudice de l'exploitation optimale du gisement éolien présent sur le site envisagé.



Photo: Fabrice DOR (SPW - DG04)



### Le phénomène de covisibilité

Le phénomène de covisibilité implique la présence de deux ou plusieurs parcs éoliens dans un même champ de vision. Ce phénomène est lié à l'inter-distance entre parcs éoliens, et est tributaire de différents paramètres tels que la topographie des lieux, la hauteur des éoliennes ou la végétation existante.

Lorsque cette inter-distance est trop limitée, elle peut entraîner une impression d'encercllement ou de saturation visuelle.

Selon le nouveau Cadre de Référence, la structure du parc en projet doit tenir compte de celle du parc voisin, et les incidences visuelles ainsi que les situations de covisibilité doivent être clairement analysées.

Sauf lorsque les éoliennes sont implantées le long des autoroutes, une référence indicative à une inter-distance minimale de 4 km à 6 km, en fonction des résultats de l'étude d'incidence, sera prise en considération.

Un azimut (ou un angle horizontal) minimal sans éoliennes doit être préservé pour chaque village ; celui-ci sera d'au moins 130°, sur une distance de 4 km. Un examen de l'encercllement sera réalisé sur une distance de 9 km dans le cadre du programme européen Energie Intelligente pour l'Europe afin de veiller à la meilleure intégration paysagère possible vis-à-vis des villages concernés et à limiter, le cas échéant, les effets de l'encercllement sur cette distance.

### 6.3. Maintien de la biodiversité

L'éolien constitue une alternative propre à la production d'électricité conventionnelle fortement émettrice de CO<sub>2</sub>. La plupart des associations environnementales reconnaissent dès lors l'effet bénéfique de l'énergie éolienne sur le ralentissement du changement climatique et, partant, sur la protection de la biodiversité<sup>24</sup>.

La dégradation continue des habitats naturels par les activités humaines et les menaces pesant sur certaines espèces constituent une préoccupation importante de la politique environnementale wallonne. Une mauvaise configuration des parcs ou une localisation inappropriée des sites éoliens pourraient entraîner des perturbations parmi certaines espèces vulnérables ou avoir un impact sur les habitats fragiles.

Dès lors, dans la lignée de la Directive européenne Habitats (92/43/CEE) qui vise à maintenir la biodiversité par la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages sur le territoire des Etats membres, la Wallonie accorde une attention particulière aux études d'impact potentiel des éoliennes sur l'environnement local. Cette approche permet de développer un éolien de qualité et de bénéficier pleinement de ses nombreux avantages.

Les études d'incidences sur l'environnement réalisées par les bureaux d'études doivent ainsi répondre à un cahier de charges destiné à mettre en évidence tous les risques d'impacts sur la faune et la flore liés aux éoliennes. Les bureaux chargés de ces études doivent être agréés par la Wallonie<sup>25</sup>. Leur agrément est valable 5 ans.

La qualité des études d'incidences fait par ailleurs l'objet d'un double contrôle par deux organismes indépendants : le CWEDD (Conseil Wallon de l'Environnement pour le Développement Durable) et la CRAT (Commission Régionale d'Aménagement du Territoire).

Le CWEDD est un organe consultatif qui regroupe différents acteurs de la société présentant des compétences dans le domaine de l'environnement. Par ses avis, il conseille les autorités publiques en matière d'environnement dans le cadre du développement durable.

La CRAT remet des avis sur toutes questions relatives à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme. Elle intervient également dans les procédures d'évaluation des incidences sur l'environnement de projets en remettant des avis sur :

- les demandes d'agrément des bureaux d'études habilités à réaliser des études d'incidences sur l'environnement ;
- la qualité de toutes les études d'incidences de projets privés ou publics réalisées en Wallonie et l'opportunité des projets correspondants.

En fonction des conclusions de l'étude d'incidences sur l'environnement, les autorités wallonnes peuvent imposer, si nécessaire, au développeur éolien des mesures pour éviter, atténuer ou compenser un possible impact environnemental. Parmi ces mesures, les mesures agro-environnementales consistent, par exemple, en la location de parcelles agricoles à titre d'aire de repos ou de nourrissage pour les oiseaux.

<sup>24</sup>/ Citons par exemple : Greenpeace, le WWF, les Amis de la Terre, la Fédération Inter-Environnement Wallonie, Natuurpunt, le Bond Beter Leefmilieu.

<sup>25</sup>/ Conformément à l'Arrêté du Gouvernement wallon du 17 mars 2005 relatif au livre 1er du Code de l'Environnement.





## 6.4. Protection des oiseaux et des chauves-souris

Les populations locales d'oiseaux et de chauves-souris font l'objet d'études particulièrement attentives. D'une part, certaines de ces espèces sont plus sensibles que d'autres aux effets ponctuels des éoliennes : la vitesse de rotation de leurs pales ou la possible modification des zones de chasse et des corridors de déplacement. Il est possible qu'un délai de plusieurs années soit nécessaire pour estimer les impacts cumulés d'un nombre croissant d'éoliennes sur l'avifaune et les chiroptères au niveau d'un territoire plus large.

Afin de limiter ces impacts, des mesures sont prises tant en amont qu'en aval des projets éoliens :

- l'association de protection de la nature Natagora affine continuellement les outils cartographiques qui permettent d'estimer les impacts de projets éoliens sur les différentes espèces d'oiseaux présentes. Ces cartes se basent sur des observations de terrain des sites de nidification mais aussi sur des modélisations, ce qui permet de déterminer de façon plus précise qu'auparavant les sensibilités de l'avifaune (nidification, reproduction, migration, hivernage) au niveau du territoire wallon ;
- Un protocole de comptage, élaboré par le DNF (Département de la Nature et des Forêts du Service public de Wallonie), est destiné à guider les bureaux d'études dans la réalisation de leurs études environnementales.

Ce protocole prévoit, pour chaque espèce ou groupe d'espèces d'oiseaux ou de chauve-souris, un calendrier de comptage précis, des recommandations sur le nombre et la localisation des relevés à réaliser, ainsi que sur les modalités de comptage à respecter.

Ces comptages permettent d'identifier les espèces présentes sur le site, d'évaluer leur nombre et d'observer leur comportement. La présence d'espèces sensibles ou menacées entraînera la mise en place de mesures hiérarchisées en fonction de l'importance de l'impact estimé des éoliennes sur ces espèces :

- Les projets sans impact pour la biodiversité seront privilégiés.
- Des mesures d'atténuation ponctuelles (telles que l'arrêt temporaire ou le bridage des éoliennes à certaines périodes) peuvent être

prises en œuvre.

- En cas d'impact probable d'un projet sur les espèces et habitats protégés auquel les mesures d'atténuation ne permettent pas de répondre, les alternatives d'implantation d'un projet similaire seront étudiées (suppression d'une ou plusieurs éoliennes, augmentation de la distance vis-à-vis des gîtes d'hivernation ou des sites de nidification...) ; à défaut d'alternative, des mesures de compensation seront mises en œuvre (prairies fauchées tardivement, plantation de haies, restauration de plans d'eau ou de prairies humides, bandes fleuries...).

- Certaines innovations technologiques permettent de brider les éoliennes lorsque les conditions météorologiques rendent la sortie des chauves-souris très probable. Le bridage imposé aux exploitants entraîne une perte de productivité de l'ordre de 2 % par an, alors qu'il permet de réduire la mortalité des chiroptères due aux éoliennes de plus de 90 %.
- Basées sur la technologie du radar ou des ultrasons, d'autres innovations apportent une aide efficace dans la détection, le suivi et la caractérisation des oiseaux et des chauves-souris. Certains détecteurs permettent par exemple de prévoir à distance l'arrivée de flux migratoires et de mettre les éoliennes à l'arrêt le temps que les oiseaux en migration traversent le site. D'autres permettent d'identifier le nombre exact d'oiseaux sur place, de retracer leur vol et de mieux comprendre leur comportement.

L'ensemble de ces mesures permet de limiter au maximum la mortalité des oiseaux et des chauves-souris due aux éoliennes en Wallonie. Les causes de la mortalité résiduelle ne sont pas encore toutes connues mais font l'objet d'une recherche intense et continue qui permet aux méthodes de protection de gagner sans cesse en efficacité. Enfin, rappelons que les causes principales de mortalité et de déclin de la biodiversité ne sont pas liées aux éoliennes, qui tuent 19.000 fois moins d'oiseaux que les bâtiments, et 850 fois moins que les voitures.



## 6.5. Dettes énergétique et CO<sub>2</sub> très limitées

### → 6.5.1. Dette énergétique

Le cycle de vie et le bilan énergétique des éoliennes ont fait l'objet d'analyses rigoureuses. La dépense énergétique de chaque étape a été calculée : depuis la fabrication de l'acier, jusqu'à la maintenance et le démantèlement, en passant par la construction, l'assemblage et le transport vers le site éolien. Cette dépense énergétique a ensuite été mise en comparaison avec la production d'énergie estimée de l'éolienne pendant toute sa durée de vie (jusqu'à 20 ans), en tenant compte du gisement venteux local.

Les études montrent ainsi que les éoliennes remboursent leur dette énergétique en moins d'un an. Elles produisent ensuite une énergie 100 % propre pendant le restant de leur cycle de vie.

Une étude danoise<sup>26</sup> montre par exemple que les éoliennes de 3 MW de type Vestas accumulent une dette énergétique de 4304 MWh sur l'ensemble de leur durée de vie. Avec un gisement venteux comme en Wallonie, une telle éolienne produira ces 4304 MWh en un peu moins de 8 mois. Elle remboursera donc sa dette en moins d'un an. Une étude scientifique espagnole récente confirme l'ordre de grandeur de ces résultats<sup>27</sup>.

Une revue de la littérature<sup>28</sup> portant sur 119 turbines analysées dans quelque 50 études a mis en évidence un EROI (Energy Return On Investment, rapport entre l'énergie cumulée totale produite par l'éolienne et l'énergie primaire cumulée nécessaire pour son installation et son entretien) de 25,2 en moyenne. En d'autres mots, l'éolienne produit en 20 ans 25,2 fois plus d'énergie qu'il n'en a fallu pour la construire, l'entretenir, etc. La dette énergétique est donc remboursée en 240/25,2 mois, soit un peu moins de 10 mois.



<sup>26</sup>/ Vestas Wind Systems A/S: "Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines", 2006.

<sup>27</sup>/ Martínez E. et al: "Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method", International Journal of Life Cycle Assessment, 14:52-63, 2009.

<sup>28</sup>/ Kubiszewski, I., Cleveland, C., Endres, P.K.: "Energy return on investment (EROI) for wind energy" In: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland [Washington, D.C. (US): Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment], 2011.

## → 6.5.2. Dette CO<sub>2</sub>

Une autre approche de l'impact environnemental d'une éolienne consiste à étudier l'intensité carbonique (CO<sub>2</sub>) de son cycle de vie. De façon indirecte, les éoliennes émettent un peu de CO<sub>2</sub>. La construction des machines, leur transport, leur mise en place, leur entretien et leur démantèlement provoquent des émissions de gaz à effet de serre. Selon le mix énergétique du pays où les composants sont produits, le transport par mer ou par route, l'impact CO<sub>2</sub> des machines est différent.

Par contre, dans la mesure où l'éolienne ne consomme pas de combustible fossile, la production d'électricité à proprement parler n'émet pas de gaz à effet de serre !

Le Swiss Centre for Life Cycle Inventories, référence mondiale en matière d'évaluation du cycle de vie, cite dans sa base de données Ecolnvent plusieurs chiffres relatifs aux éoliennes. Durant son cycle de vie complet, une éolienne émet entre 10 grammes et 20 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh produit.

Une étude anglaise<sup>29</sup> a quant à elle chiffré les émissions de la filière du vent à 5 grammes de CO<sub>2</sub> émis par kWh produit.

Par comparaison, une centrale thermique au pétrole, au charbon ou au gaz émettra entre 400 et 800 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh produit. Pourquoi ? Parce que l'électricité est produite en brûlant un combustible fossile, ce qui dégage beaucoup de gaz à effet de serre. Outre la construction des centrales, leur gestion et leur démantèlement, il faut prendre en compte le fonctionnement même d'une centrale conventionnelle, extrêmement vorace en ressources énergétiques et polluant en CO<sub>2</sub>.

L'empreinte CO<sub>2</sub> du cycle de vie de l'éolienne est totalement compensée après moins d'un an, ce qui se rapproche du résultat en termes de durée nécessaire au remboursement de la dette énergétique. Durant tout le reste de sa production, l'éolienne permettra d'éviter totalement les émissions de gaz à effet de serre d'une production énergétique conventionnelle équivalente.

Une éolienne compense sa dette CO<sub>2</sub> en quelques mois.

Prenons une éolienne de 3 MW de puissance qui produit 6.600.000 kWh/an. Si nous considérons une moyenne de 15 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh (choix conservateur), cela donne :

$6.600.000 * 20 * 0,015 \text{ kg} = 1.980.000 \text{ kg de CO}_2 \text{ émis, soit } 1.980 \text{ tonnes émisés pendant tout le cycle de vie de l'éolienne.}$

Une éolienne produit de l'électricité verte et permet donc d'éviter 456 g<sup>30</sup> de CO<sub>2</sub> par kWh injecté sur le réseau, qui - sans éolienne - serait émis par une centrale conventionnelle. L'éolienne économise donc :  $6.600.000 * 0,456 = 3.009.600 \text{ kg de CO}_2 \text{/an, ou } 3.010 \text{ tonnes /an. L'empreinte CO}_2 \text{ du cycle de vie de l'éolienne est donc totalement compensée après : } 1.980/3.010 = 0,66 \text{ an.}$



<sup>29</sup>/ Parliamentary Office of Science and Technology: "Carbon Footprint of Electricity Generation", Postnote 268, London (UK), 2006.

<sup>30</sup>/ Commission wallonne pour l'Energie : Rapport annuel spécifique 2006, CD-7104-CWAPE sur "l'évolution du marché des certificats verts", 2007.

## 6.6. Recyclage des composants lors du démantèlement

Le Cadre de Référence<sup>31</sup> rend l'exploitant responsable du démantèlement de l'éolienne et de la remise en état du site à la fin de l'exploitation. Il incombe au propriétaire des éoliennes d'effectuer le démontage de toutes les parties situées à l'air libre, et de retirer les fondations, à tout le moins jusqu'à une profondeur permettant le bon exercice des pratiques agricoles.

De plus, les permis pour l'implantation de parcs éoliens contiennent une obligation de constituer une caution ou garantie bancaire, généralement de 80.000 € par éolienne, envers l'Administration régionale wallonne en vue d'assurer la remise en état du site même en cas de faillite de l'exploitant du parc éolien.

Une éolienne est principalement composée des matériaux suivants : cuivre, fer, acier, aluminium, plastique, zinc, fibre de verre, béton (pour les fondations et certains types de mâts).

Une fois la machine démantelée, 98 % du poids de ses matériaux sont recyclables<sup>32</sup>. La fibre de verre, qui représente moins de 2 % du poids de l'éolienne, ne peut actuellement pas être recyclée mais entre dans un processus d'incinération avec récupération de chaleur. Les résidus sont ensuite déposés dans un centre d'enfouissement technique où elle est traitée en « classe 2 » : déchets industriels non dangereux et déchets ménagers. Des recherches sur le recyclage de la fibre de verre sont actuellement en cours.

En amont, la fabrication de la fibre de verre s'inscrit dans un processus industriel de recyclage. Les fabricants de fibre de verre réutilisent environ 40 % de verre usagé dans la production de ce matériau. La fabrication et le traitement de la fibre de verre semblent donc peu significatifs lorsque l'on considère le bénéfice environnemental global lié à la production d'énergie éolienne.

<sup>31</sup>/ "Cadre de Référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne", approuvé par le Gouvernement wallon le 21/02/2013 – chapitre 3.3 « Chantier, fin d'exploitation et remise en état des lieux ».

<sup>32</sup>/ Elsam Engineering: "Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind farms", Fredericia (Danemark), 2004.





# 7. Les éoliennes et la sécurité

## 7.1. Des normes internationales

La question de la sécurité est un souci qui est présent tout le long des trois phases de développement de l'éolien : de la conception et la fabrication de la machine, à l'installation du parc jusqu'à son exploitation. Chacune de ces étapes doit obligatoirement faire l'objet d'une conformité aux normes de sécurité les plus strictes, dont la principale est la norme européenne IEC 61400-1.

Toutes les éoliennes sont soumises aux exigences d'une directive européenne<sup>33</sup> qui impose aux fabricants d'attester la conformité de leurs machines et de produire, à la demande des services de contrôle, une documentation technique prouvant cette conformité.

La certification de la conformité des éoliennes aux normes internationales de sécurité couvre de nombreux aspects. Il s'agit de garantir à la fois la fiabilité du matériel, sa résistance à l'usure, de définir les exigences en matière de maintenance et d'attester des performances de l'éolienne.

Les principales mesures de sécurité imposées sont les suivantes :

### 1°/ L'arrêt automatique des pales

En cas de tempête (vents supérieurs à 25 m/s, soit 90 km/h), un mécanisme de frein entraîne l'arrêt automatique d'urgence des pales et les met en drapeau.

Dans les faits, deux systèmes de freinage indépendants doivent équiper l'éolienne de façon à ce que les systèmes de frein continuent à fonctionner même en cas de coupure de courant : freinage mécanique et freinage aérodynamique (aérofreins).

### 2°/ L'équipement de paratonnerres

Les normes de sécurité prévoient que les différents composants de l'éolienne, depuis les fondations jusqu'aux pales, soient équipés d'un système permettant d'évacuer les décharges électriques vers un câble de paratonnerre en cuivre relié à la terre, pour ainsi neutraliser dans le sol l'énergie provenant de l'éclair.

<sup>33</sup>/ Directive 98/37/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines.





Photo: Michel Fautsch

De ce fait, l'éolienne, de même que tout bâtiment à proximité (à 20-30 m minimum de l'éolienne), ne subit aucun dommage matériel en cas de foudroiement. Seules certaines fissures dans la résine peuvent apparaître lorsqu'une pale est traversée par la foudre, pouvant nécessiter une petite réparation.

### 3°/ Le chauffage des pales en cas de gel

Afin d'éviter l'accumulation et la projection de glace en cas de gel, les éoliennes peuvent être équipées de capteurs qui réagissent aux surcharges liées à des dépôts de glace sur les pales. Ces capteurs sont couplés au système d'arrêt automatique et/ou équipés de résistances chauffantes dans les pales.

Ces systèmes antigel n'équipent pas automatiquement toutes les éoliennes mais peuvent être imposés par les autorités qui délivrent le permis d'exploiter dans les zones particulièrement exposées.

### 4°/ La solidité des fondations

Dans le but d'éliminer tout risque de pivotement de l'éolienne ou de chute du mât, les fondations d'une éolienne doivent répondre à des normes extrêmement strictes. Celles-ci concernent tant la stabilité du sol que la qualité du béton et sa quantité.

Ainsi, une éolienne de 2,3 MW requiert des fondations directes d'environ 400 m<sup>3</sup> de béton qui s'étendent sur une surface de 250 à 350 m<sup>2</sup> et atteignent une profondeur de 2 à 3 m.

La qualité du béton est déterminée par les normes. Celle-ci est liée aux tensions que le béton va subir, et donc peut varier d'un site à l'autre.

Le calcul des fondations se fait en fonction de la stabilité et de la portance du sol, en application d'un coefficient de sécurité élevé conseillé par le constructeur et validé par un bureau d'étude indépendant agréé en matière de certification.

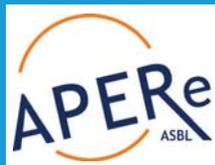
La stabilité du sol doit également être étudiée et attestée par le bureau d'étude dans le cadre de l'étude d'incidences sur l'environnement.

Lorsque le sol est de médiocre qualité, des fondations en profondeur sont requises (pieux, puits, colonnes ballastées). Le type de fondation est alors étudié sur la base d'essais de sol, d'imagerie et de forages. Lorsque des fondations profondes sont réalisées, les dimensions du socle peuvent éventuellement être réduites.

Les fondations doivent permettre à l'éolienne de résister à des vents extrêmes (250 km/h pendant 5 secondes ou 180 km/h durant 10 minutes). Ces vitesses de vents n'ont jamais été observées en Belgique : le vent a soufflé en pointe maximale à 168 km/h à une seule occasion au cours du siècle passé.



Pour suivre le développement de l'éolien en Wallonie, n'hésitez pas à consulter le site [www.eolien.be](http://www.eolien.be).



[energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)  
Numéro vert du Service public de Wallonie : 0800 1 1901  
N° de dépôt légal : D/2013/11802/74

Brochure réalisée par l'APERe, le Facilitateur éolien de la Wallonie  
[info@apere.org](mailto:info@apere.org)  
[www.apere.org](http://www.apere.org)



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  
[www.wallonie.be](http://www.wallonie.be) - [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)



Photo: APERE - ENERGIE