

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Analyse du potentiel et des impacts environnementaux de l'implantation d'éoliennes en forêt.

Le cas de la Wallonie (Belgique)

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par
AVERBECK, Paul
en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
Finalité Gestion de l'Environnement Ma120ECTS (ENVI5G-T)

Année Académique : 2014-2015

Directeur : Ir. Michel HUART

Résumé

La lutte contre le changement climatique est aujourd'hui un sujet de grande préoccupation tant scientifique que politique. Dans la stratégie de la Wallonie pour réduire ses émissions de GES, l'énergie éolienne occupe une place importante, qui est concrétisée dans le cadre de référence. Ce cadre exclut toutefois presque intégralement l'implantation en forêt, ce qui diminue le nombre d'emplacements potentiels. Le présent travail étudie les impacts environnementaux liés à l'implantation des éoliennes en forêts afin d'analyser la pertinence de cette exclusion. Il apparaît que l'impact sur le milieu abiotique, sur la faune et sur l'Homme ainsi que sur une grande partie des espèces animales est limité et n'est pas toujours plus important que sur d'autres emplacements. L'impact sur l'avifaune et surtout sur les chiroptères peut en revanche s'avérer problématique. Notamment, une mortalité accrue provoquée par une collision avec les pales peut menacer les populations de quelques espèces de chauve-souris et d'oiseaux, même lorsque les méthodes existantes pour réduire les impacts sont appliquées. Néanmoins, les impacts sur ces espèces sont surtout élevés si des éoliennes sont implantées dans des forêts de feuillus de bonne qualité écologique. Dans les forêts de résineux, il semble que le risque de provoquer des impacts négatifs ne soit pas particulièrement élevé. On ne peut toutefois pas exclure des risques importants. Ceci justifie donc une approche au cas par cas plutôt qu'une exclusion générale en ce qui concerne les forêts de résineux.

Mots-clés: Éolienne - Energies renouvelables - Forêt - Impacts - Environnement - Wallonie - Belgique

Table des matières

Résumé	I
Table des matières	II
Liste des graphiques	IV
Liste des tableaux	IV
Liste des acronymes et des abréviations.....	V
Introduction	1
1 Implantation des éoliennes en forêt: une comparaison de législations	3
1.1 La Wallonie	3
1.1.1 Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne.....	3
1.1.2 Critique de la situation en Wallonie	5
1.2 La Rhénanie-Palatinat et la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie.....	5
1.2.1 Le cadre législatif en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie et en Rhénanie-Palatinat	7
1.2.2 Critique de la situation en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie et en Rhénanie-Palatinat	9
1.3 Conclusion	10
2 Une exclusion d'ampleur importante ? Le potentiel éolien en forêt wallonne	10
2.1 La qualité des vents au-dessus de la forêt.....	10
2.2 Autres contraintes techniques pour l'installation en forêt.....	13
2.3 Surface, distribution et composition des forêts wallonnes	14
2.4 La valeur écologique de la forêt	18
2.5 La forêt au fil du temps.....	21
2.6 Conclusions	23
3 Impacts environnementaux des éoliennes en forêt.....	24
3.1 Impacts sur la flore : la déforestation	25
3.1.1 Chantier et chemins d'accès.....	25
3.1.2 La forêt: puits ou source de CO ₂ ?.....	27
3.1.3 Fragmentation, effet lisière et microclimat	28
3.1.4 Impacts indirects.....	30
3.1.5 Moyens de diminuer les impacts	31
3.1.6 Conclusions	33
3.2 L'avifaune	34
3.2.1 Risque de collision, un cas emblématique: le milan royal (<i>Milvus milvus</i>)	35
3.2.2 L'effarouchement, un cas emblématique: la cigogne noire (<i>Ciconia nigra</i>)	38
3.2.3 Les rapaces	39
3.2.4 Oiseaux chanteurs.....	41
3.2.5 Autres oiseaux forestiers	41

3.2.6	Enjeux des migrations	42
3.2.7	Moyens de diminuer les impacts négatifs	43
3.2.8	Conclusions	45
3.3	Les chiroptères.....	46
3.3.1	Mode de vie	46
3.3.2	Situation des chiroptères en Wallonie	47
3.3.3	Perte d'habitat	49
3.3.4	Risque de collision et barotraumatisme.....	50
3.3.5	Risque spécifique par groupes d'espèces	53
3.3.6	Moyens de diminuer les impacts négatifs	58
3.3.7	Conclusions	63
3.4	Autres animaux.....	64
3.4.1	Insectes	64
3.4.2	Mammifères terrestres (sauf chiroptères).....	65
3.4.3	Conclusions	68
3.5	Milieu abiotique.....	68
3.5.1	Les sols	68
3.5.2	L'eau	69
3.5.3	L'air et le climat	69
3.5.4	Conclusions	69
3.6	L'Homme	70
3.6.1	Les riverains	70
3.6.2	Le paysage et la fonction récréationnelle des forêts.....	71
3.6.3	L'économie	74
3.6.4	Conclusions	75
4	Conclusion générale	76
5	Glossaire.....	79
6	Bibliographie.....	81
6.1	Littérature	81
6.2	Visites de terrain, conférences et entretiens	92
6.2.1	Visite de terrain	92
6.2.2	Conférences	92
6.2.3	Entretiens.....	92
7	Annexes.....	94
7.1	Liste des Annexes	94
7.2	Annexes	95

Liste des graphiques

Graphique 1 : Schéma de la couche limite de l'atmosphère	11
Graphique 2 : Vitesse du vent en fonction de la longueur de rugosité.....	12
Graphique 3 : Taux de boisement des régions naturelles	17
Graphique 4 : Valeur écologique de différents types de forêt.....	19
Graphique 5 : Diversité forestière en Wallonie.....	20
Graphique 6 : Critères pour évaluer la valeur biologique d'une forêt (exemple).....	27
Graphique 7 : Abondance spécifique en fonction du morcellement de l'habitat.....	29
Graphique 8 : Distance de pénétration de l'effet de bordure	30
Graphique 9 : L'hierarchie de la mitigation.....	32
Graphique 10 : Nombre d'espèces d'oiseaux en Wallonie avec développement négatif, ... stable ou positif selon leurs habitats	34
Graphique 11 : Effet barrière selon la configuration spatial des éoliennes.....	44
Graphique 12 : Développement de la richesse spécifique de chiroptères en Wallonie...48	
Graphique 13 : Activité des chiroptères dans les différents strates des forêts	52
Graphique 14 : Disposition géographique des éoliennes et des chemins d'accès	60
Graphique 15 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent	61
Graphique 16 : Activité des chiroptères en fonction de la saison	61
Graphique 17 : Audibilité de différentes fréquences pour l'Homme et des animaux.....	65
Graphique 18 : Zones d'habitats et zones forestières	71
Graphique 19 : Visibilité d'une éolienne en fonction de la distance	72
Graphique 20 : Position d'un parc éolien et les lignes de force d'un paysage	73

Liste des tableaux

Tableau 1 : Surfaces des forêts en dehors des zones forestières du PdS.....	16
Tableau 2 : Surface des zones forestières du PdS non occupées par des forêts	16
Tableau 3 : Surface des différents types de forêts et leurs potentiel venteux	18
Tableau 4: Impacts sur les chiroptères pendant la construction.....	50
Tableau 5: Impacts sur les chiroptères pendant la phase d'utilisation.....	50

Liste des acronymes et des abréviations

CLC	CORINE Land Cover
CoDT	Code du développement territorial
CRAT	Commission Régionale d'Aménagement du Territoire
CWATUP	Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine
CWATUPE	Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Énergie
CWEDD	Conseil wallon de l'environnement pour le développement durable
DNF	Département de la Nature et des Forêts, (Service public de Wallonie)
EDORA	Fédération des énergies renouvelables
EIE	Étude d'incidence sur l'environnement
FFH	Directive Faune-Flore-Habitat
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat
h _{éq}	heures équivalente (cf. Glossaire)
Natagora	Association sans but lucratif consacrée à la protection de la nature à Bruxelles et en Wallonie
NTF	Nature, Terres et Forêts. Propriétaires ruraux de Wallonie
PdS	Plan de secteur
SIG	Système d'information géographique
SRFB	Société Royale Forestière de Belgique
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature

Introduction

Le changement climatique est devenu un des sujets clés de notre société. Les rapports du GIEC montrent avec de plus en plus de certitude que l'Homme est à la base de ce changement (cf. GIEC 2013). Ainsi, la lutte contre le changement climatique est aujourd'hui une grande préoccupation tant scientifique que médiatique et politique. La Wallonie ne fait pas exception et a fixé l'objectif de long terme de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 80 à 95% d'ici 2050 (Gouvernement wallon 2009, p.99). Les énergies renouvelables représentent une clé centrale pour atteindre cet objectif. En effet, dans le cadre du paquet énergie climat de l'Union Européenne, la Belgique doit produire 13 % de sa consommation énergétique sur base d'énergies renouvelables d'ici 2020 et, 27% en 2030 (Commission européenne 2014). Pour atteindre ces buts, le gouvernement wallon mise en bonne partie sur l'énergie éolienne. Ainsi la Wallonie a adopté en février 2013 un nouveau cadre éolien qui fixe l'objectif d'atteindre une production d'énergie éolienne de 3.800 GWh_e en 2020 (Gouvernement wallon 2013, p.4). Ceci nécessite une installation d'environ 500 nouvelles éoliennes sur le territoire de la Wallonie (DGO4 2009, p.248). Le nouveau cadre exclut les forêts pour l'implantation des éoliennes, sauf en continuité d'un parc éolien déjà implanté hors zone forestière. Or, l'essai de la mise en place d'une carte positive pour l'implantation d'éoliennes montre combien il est difficile de trouver assez d'emplacements pour des éoliennes. Cela est d'autant plus compliqué si on exclut de grandes parties du territoire dès le début. On peut en outre s'interroger sur la pertinence d'une telle exclusion quand on observe que des voisins de la Wallonie et notamment plusieurs États fédérés allemands autorisent quant à eux l'implantation d'éoliennes en forêt. La question est donc de savoir quels sont les impacts environnementaux dus à l'implantation d'éoliennes en forêt et si ceux-ci justifient une exclusion des territoires forestiers.

Afin de répondre à cette question, ce travail se base sur une revue de la littérature scientifique complétée par des visites de terrain et par des entretiens avec divers acteurs qui travaillent sur la question. Des cas concrets en Allemagne où plusieurs parcs d'éoliens sont implantés en forêt vont être analysés pour compléter les études scientifiques et profiter des expériences déjà faites. Nous exploiterons également à travers la littérature les expériences d'autres pays, notamment de l'Allemagne où l'implantation en milieu forestier est plus courante et mieux étudiée. Enfin, pour analyser en détail la qualité des territoires wallons exclus en raison de l'écartement des forêts comme emplacement potentiel, nous allons utiliser des systèmes d'information géographique (SIG). En combinant notamment la carte du po-

tentiel de vent, l'occupation du sol selon CORINE Land Cover et le plan de secteur il est en effet possible de tirer des conclusions intéressantes sur la qualité des territoires exclus.

Le présent travail n'abordera pas les petites éoliennes avec une puissance inférieure à 100 kW car pour elles le cadre de référence ne s'applique pas (Gouvernement wallon 2013, p.5). Les éoliennes de taille moyenne de 100 kW - 1 MW tombent sous le cadre de référence mais elles ne conviennent pas pour une implantation en forêt. Les impacts analysés dans ce travail concernent donc les grandes éoliennes avec une puissance supérieure à 1 MW.

Afin d'inscrire notre problématique dans son contexte, nous étudierons dans un premier temps le cadre législatif en Wallonie en le comparant avec la situation de deux États fédérés en Allemagne qui prévoient quant à eux la possibilité d'implanter des éoliennes en forêt (Chapitre 1). Nous aborderons ensuite l'ampleur de la question en Wallonie en analysant les forêts wallonnes. Il s'agira ainsi d'étudier la taille du territoire exclu et d'analyser si celui-ci est propice pour l'implantation d'éoliennes d'un point de vue technique (Chapitre 2). Enfin, nous procéderons à une analyse environnementale détaillée des éoliennes en forêt. Nous examinerons les impacts des éoliennes sur les différentes composantes de l'écosystème forestier, à savoir: la flore, l'avifaune, les chiroptères, les autres animaux, le milieu abiotique et l'Homme (Chapitre 3). Les impacts vont être analysés durant la phase de construction et durant la phase d'utilisation. L'analyse des impacts et des mesures pour les réduire nous permettra d'examiner la pertinence d'une législation excluant presque totalement l'implantation d'éoliennes en forêt.

1 Implantation des éoliennes en forêt: une comparaison de législations

Dans ce chapitre nous allons brièvement développer le cadre législatif en Wallonie et ceux de deux États fédérés allemands pour voir quelle est la situation respective qui en découle et quels sont les points critiqués de chaque système. Le but n'est pas d'expliquer les détails juridiques mais plutôt de poser le cadre pour les considérations futures et de regarder quels sont les points forts du cadre allemand qu'on pourrait théoriquement utiliser pour améliorer le cadre wallon.

1.1 La Wallonie

La Wallonie a une superficie de 16 844 km² (IWEPS 2012, p.11) dont 29% sont occupés par des forêts (IWEPS 2012, p.12). Avec 208 habitants/km² la Wallonie est densément peuplée en comparaison avec la moyenne européenne. Actuellement (Situation fin 2014) 282 éoliennes avec une puissance totale de 643 MW sont installées en Wallonie, cela a permis une production de 1350 GWh ce qui a couvert 25% de la consommation électrique résidentielle (APERe, 2015). D'ici 2020, la Wallonie a comme but d'atteindre une production annuelle de 3800 GWh (Gouvernement wallon 2013, p.4).

1.1.1 Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne

Les premières grandes lignes directrices pour l'implantation d'éoliennes ont été données par le Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne de 2002 (Gouvernement wallon 2002). Le cadre ne prévoit pas de cartographie des zones favorables mais uniquement une liste de critères d'exclusion. En vertu de l'article 36 du CWATUP¹ qui interdit toute construction en forêt non indispensable à l'exploitation des bois, le cadre de 2002 ne permet principalement pas l'implantation d'éolien en milieu forestier, des exceptions rares sont néanmoins envisagées (MRW 2007, p.13). Afin d'adapter le cadre de référence aux développements de la filière et notamment pour contrecarrer le principe du "Premier arrivé. Premier servi", le ministre d'antan de l'environnement, Philippe Henry et le ministre du développement durable Jean-Marc Nollet lancent en 2010 un projet de révision du cadre. En février 2013, le gouvernement wallon approuve le nouveau cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne (appelé par la suite cadre de référence). Ce cadre, tout comme la version modifiée le 11 juillet après nombreuses consultations, exclut les zones forestières du plan de secteur comme emplacements potentiels pour des éo-

¹ Avec le décret du 19 avril 2007 le CWATUP est aujourd'hui devenu le CWATUPE

liennes afin de limiter l'impact sur l'environnement. Seule exception sont « des zones pauvres en biodiversité et constituées de plantations de résineux à faible valeur biologique [...] dès lors que les éoliennes qui y sont situées sont établies en continuité d'un parc existant ou d'un projet de parc situé en dehors de la zone forestière » (Gouvernement wallon 2013, p.6). Le nouveau cadre de référence s'inscrit dans le projet de faire un décret relatif à l'implantation d'éoliennes. Ainsi, il a été initialement accompagné d'une cartographie positive qui indiquait des zones *a priori* favorables pour l'implantation d'éoliennes. La cartographie a néanmoins été abandonnée suite aux nombreuses contestations et le décret adopté en mars 2014 par l'ancien gouvernement wallon n'a pas été adopté par le parlement. À l'heure actuelle on attend donc toujours l'entrée en vigueur d'un nouveau décret. Un décret serait pourtant nécessaire afin de rendre contraignants les critères qui sont fixés dans le cadre de référence qui est sans force légale en absence d'un décret. L'avenir montrera comment la situation va se développer notamment le changement de la législation de base en matière de l'aménagement du territoire, la refonte du CWATUPE qui donnera naissance au CoDT (l'entrée en vigueur est prévue pour le 1^{er} octobre) va probablement basculer la donne. Cela comportera éventuellement aussi des chances pour réorganiser l'installation des éoliennes avec éventuellement un gain d'importance des forêts comme emplacement potentiel (Guillette 2015).

Indépendamment du cadre de référence, pour toutes les éoliennes ou parcs éoliennes d'une puissance supérieure à 3 MW, une étude d'incidence sur l'environnement (EIE)² est obligatoirement requise (Gouvernement wallon 2013, p.6). Comme un regroupement des éoliennes dans des parcs est privilégié, nous pouvons assumer que toutes installations de grandes éoliennes en Wallonie dépassent les 3 MW. Ainsi, l'installation sera toujours précédée d'une EIE. La Wallonie possède ainsi un outil précieux pour analyser les impacts environnementaux d'un projet éolien afin de permettre seulement l'installation des projets avec peu d'impacts négatifs.

² L'EIE est une étude scientifique qui prend en compte tous les impacts sur l'environnement c'est-à-dire les impacts sur le milieu abiotique, le milieu biotique et sur l'Homme. L'EIE est réalisée par un bureau d'études agréé par la Région wallonne et contient au moins (1) une description du projet, (2) une évaluation des effets sur l'environnement, (3) une description des mesures pour minimiser les impacts et (4) un résumé non technique à l'usage du public (Godart 2014). La qualité des études est contrôlée par le CWEDD (Conseil Wallon de l'Environnement pour le Développement Durable) et la CRAT (Commission Régionale d'Aménagement du Territoire).

1.1.2 Critique de la situation en Wallonie

De manière générale, les critiques portent surtout sur le fait que l'installation des nouvelles éoliennes en Wallonie soit actuellement fortement au ralenti. En effet, depuis 2010, l'installation des nouvelles éoliennes diminue sans cesse. Ainsi en 2014 seulement 9 éoliennes avec une puissance totale de 25 MW ont été installées alors qu'en 2010 des éoliennes pour une puissance totale 160 MW ont été installées (APERe 2015; EDORA 2015). La principale raison pour cela est l'incertitude juridique. Notamment à cause de la pression sur les permis de construction d'éoliennes exercée par des riverains qui n'aiment pas voir des éoliennes implantées près de chez eux. Les permis de construction des éoliennes sont en effet systématiquement attaqués devant le Conseil d'État ce qui retarde ou empêche leur mise en place (EDORA 2015). L'installation en forêt peut aider à cet égard car on peut s'attendre à ce que des éoliennes en forêt, loin des habitations, suscitent moins de résistances. Les expériences en Allemagne montrent néanmoins qu'une installation en forêt ne garantit pas une absence de contestations. Des préoccupations environnementales sont souvent mises en avant dans ce cas pour empêcher l'installation. Il semble donc autant plus important qu'on puisse garantir qu'une implantation en forêt n'entraîne pas des impacts surdimensionnés sur l'environnement. Les avis des associations sur l'installation en forêt sont quant à eux partagés entre ceux qui voient plutôt les possibilités (tels que EDORA 2012, p.2) et ceux qui craignent des impacts négatifs (tels que Natagora 2010, p.2). Notant toutefois qu'au sein d'une même association environnementale telle que Natagora, il n'y a pas d'unanimité sur la position officielle qui s'oppose à l'installation des éoliennes en forêt. Mr. Guillitte, membre fondateur de Natagora, regrette par exemple cette position très précautionneuse parce qu'elle écarte un potentiel important (Guillitte 2015). Les propriétaires et gestionnaires de la forêt quant à eux sont souvent attachés de façon un peu sentimentale à leur forêt ce qui fait qu'ils ont parfois du mal à accepter des éoliennes dans leur forêt, même s'ils savent que les impacts sont limités (Kervyn & Bizoux 2015). À l'opposé le NTF regrette que l'impact positif des éoliennes sur le climat ne soit pas assez pris en compte et que les mesures de compensation requises soient donc exagérées (Eyben, 2015).

1.2 La Rhénanie-Palatinat et la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie

En comparaison avec la Wallonie, plusieurs États fédérés en Allemagne permettent beaucoup plus facilement l'implantation des éoliennes en forêt. Ici nous allons regarder de plus près la situation dans les deux États fédérés voisins de la Belgique, à savoir la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie et la Rhénanie-Palatinat.

La Rhénanie-Du-Nord-Westphalie a une superficie de 34.000 km² et une densité de population de 530 habitants/km² ce qui fait de la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie un État avec une très haute densité de population (Staatskanzlei NRW 2014). 26% du territoire est couvert de forêt ce qui est moins que la moyenne allemande (MKULNV 2012, p.5). La Rhénanie-Palatinat quant à elle a une superficie de presque 20.000 km² et une densité de population de seulement 201 habitants/km². 42% de la superficie est couvert de forêt ce qui fait de la Rhénanie-Palatinat l'État fédéré le plus boisé de l'Allemagne (Staatskanzlei RLP 2014). Il est important de garder ces ordres de grandeur en tête quand on compare la situation respective de ces deux États avec celle de la Wallonie. La Wallonie se trouve en effet entre ces deux situations. La densité de population ressemble avec 208 habitants/km² plutôt à celle de la Rhénanie-Palatinat, tandis que les 29% du territoire qui sont occupés par des forêts (IWEPS 2012, p.12) sont plus près de la situation en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie. La superficie de la Wallonie avec ses 16 844 km² (IWEPS 2012, p.11) est nettement inférieure à celle de la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie mais comparable avec celle de la Rhénanie-Palatinat.

En ce qui concerne l'utilisation actuelle des éoliennes, les États allemands dépassent largement la Wallonie en faisant honneur à la position de leader européen que l'Allemagne voudrait occuper en la matière. La Rhénanie-Du-Nord-Westphalie a plus de 3000 mâts installés (Situation 12.2014) avec une puissance totale d'environ 3700 MW (WindGuard 2015, p.4). Ceci a permis de produire 3,8% de la demande d'électricité. Les objectifs sont d'augmenter la part des éoliennes à 15% en 2020 (LANUV NRW 2015). Ceci nécessiterait une augmentation des capacités de la puissance installée d'environ 6.000 MW (Rehfeldt, K. & Wallasch 2011). La vitesse d'installation actuelle est en revanche insuffisante pour atteindre ce but (LANUV NRW 2015). La Rhénanie-Palatinat a presque 1500 mâts installés (Situation 12.2014) avec une puissance totale de 2070 MW (WindGuard 2015, p.4) qui couvrent plus que 15% de la demande d'électricité (LAK 2014). En 2030 l'État veut produire 100% de sa demande d'électricité à partir des ressources renouvelables et pour cela quintupler la production éolienne jusqu'à 2020 par rapport au niveau de 2010, ce qui nécessite un doublement des éoliennes. Pour trouver assez d'emplacements, il est notamment prévu d'utiliser 2% des zones boisées (Richarz et al. 2012, p.4; MWKEL 2014).

1.2.1 Le cadre législatif en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie et en Rhénanie-Palatinat

Les cadres légaux pour l'implantation des éoliennes dans les États fédéraux en Allemagne sont largement influencés par des lois fédérales. En conséquence, la situation légale en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie est comparable avec celle en Rhénanie-Palatinat. Il y a néanmoins des différences et notamment des disparités historiques relatives à l'implantation en milieu forestier qui entraînent des divergences dans la situation jusqu'à maintenant. Ainsi l'implantation des éoliennes en forêt a une histoire assez longue en Rhénanie-Palatinat tandis qu'en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie l'interdiction presque générale d'installer des éoliennes en forêt a été seulement annulée en 2011 avec le décret "Energie éolienne" (Windenergieerlass). Ce document règle depuis l'implantation éolienne en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie. Il regroupe les différents textes légaux à respecter et fait notamment référence à une ligne directrice "Éoliennes en forêt" (Windenergieanlagen im Wald) (MKULNV et al. 2011). Cette ligne directrice est obligatoire pour l'autorité forestière et a un caractère de recommandation pour les communes (MKULNV 2012, p. 6). Avec la "circulaire éolien" (Rundschreiben Windenergie) de 2011, la Rhénanie-Palatinat a également un document qui rassemble tous les aspects législatifs relatifs à l'implantation des éoliennes et qui renforce encore la place des forêts comme emplacement potentiel. Les deux lignes directrices excluent des forêts de feuillus particulièrement précieuses pour l'implantation des éoliennes (MKULNV 2012, p.33; MWKEL et al. 2013, p.6).

Le devoir de conserver la forêt est un principe de base qui est ancré dans le § 1 de la loi fédérale relative à la forêt (BWaldG). Toutefois, l'obligation de veiller à un équilibre entre les intérêts des propriétaires de la forêt et des intérêts publics y est aussi inscrite. Les promoteurs des projets qui ont des impacts potentiels sur la forêt sont donc obligés de tenir compte des différentes fonctions de la forêt (§ 8 BWaldG en rapport avec § 9 LFoG). Cela passe concrètement par la planification territoriale. Il est notamment possible d'établir des zones prioritaires ou des zones d'exclusions au niveau régional et communal. S'il n'y a que peu de zones prioritaires au niveau régional, au niveau communal la mise en place des zones prioritaires dans les plans d'affectation du sol est un instrument qui a beaucoup d'importance (MKULNV 2012, p.21). Pour la mise en place des zones prioritaires les communes doivent réaliser un concept cohérent pour tout le territoire de la commune. L'établissement des zones prioritaires passe par trois étapes : (1) exclusion de tous les zones où une installation n'est objectivement pas possible, (2) mise en balance de tous les autres critères, (3) choix final selon un concept cohérent (Donnerstag 2013, p.12). Dans les communes

avec beaucoup de forêt, il est probable que les forêts fassent partie de ces zones, les communes sont donc obligées d'impliquer les services forestiers dans la planification (MKULNV 2012, p.20). Les services forestiers évaluent au cas par cas pour chaque zone s'ils délivrent la "permission de conversation du forêt" (Waldumwandlungsgenehmigung). Pour ce faire, ils doivent respecter un catalogue de critères qui est précisé dans la ligne directrice "Éoliennes en forêt" en ce qui concerne la Rhénanie-Du-Nord-Westphalie (MKULNV 2012, p.31-45). L'avantage des zones prioritaires est que l'établissement de ces zones rend généralement l'installation des éoliennes en dehors des zones prioritaires impossible (Schifferdecker 2014, p.692; EnergieAgenturNRW, 2014, p.6). Ainsi, la commune peut facilement guider l'implantation des éoliennes et exclure par exemple des zones de forêt écologiquement importantes sans pour autant abandonner le potentiel dans d'autres zones boisées. Pour établir une zone prioritaire il est obligatoire de faire une "étude pour la protection des espèces" (Artenschutzprüfung) pour tenir compte des impacts sur les espèces potentiellement touchées (MKULNV & LANUV 2013, p.11). Les deux États ont respectivement établi des codes de bonnes pratiques afin de donner un outil qui permet la prise en compte systémique des espèces vulnérables (cf. MKULNV & LANUV 2013; Richarz et al. 2012). Néanmoins, l'établissement d'une zone prioritaire ne vaut pas permission de construction. En effet, l'installation d'une éolienne nécessite une permission selon le "loi fédérale sur la protection contre les émissions" (Bundesimmissionsschutzgesetz). La procédure d'approbation implique notamment des expertises relatives aux impacts sur le paysage et à la protection des espèces pour le cas concret (EnergieAgenturNRW 2014, p.6). La procédure implique également l'administration forestière et des organisations environnementales. La permission est généralement liée à des obligations supplémentaires pour diminuer les impacts négatifs et pour compenser l'impact résiduel (cf. § 15 Abs. 2 BNatSchG).

La législation respective des deux États permet donc l'implantation des éoliennes en forêt mais en concordance avec l'ampleur de leurs ressources forestières. Ainsi en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie les forêts sont vues comme zones potentielles dans les communes avec plus de 15% de forêt mais comme potentiellement peu propices pour l'implantation des éoliennes dans toutes les communes avec moins de 15% de forêt afin de protéger les espaces forestiers. La Rhénanie-Palatinat a au contraire explicitement le but d'utiliser ses vastes territoires boisés en construisant des éoliennes dans 2% des zones forestières, ce qui se reflète aussi dans les critères pour les zones prioritaires. Ainsi, l'établissement des zones prioritaires dans des zones forestières est généralement possible sauf s'il s'agit d'une forêt de feuillus particulièrement précieuse ou sous protection (réserve naturelle, zone centrale du

parc naturel Pfälzerwald). Des forêts avec des essences non indigènes ou endommagées dues à des tempêtes ou nuisibles comptent même comme particulièrement propices pour devenir des zones prioritaires (MWKEL et al. 2013, p.6). En conséquence environ trois quart des nouvelles éoliennes sont installées en milieu forestier en Rhénanie-Palatinat (Griese 2013, p.7).

1.2.2 Critique de la situation en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie et en Rhénanie-Palatinat

Une critique générale revenant fréquemment est que l'installation des éoliennes irait trop vite et négligerait des questions relatives à la protection de la nature et de l'Homme. Mais la majorité des associations de protection de la nature approuve le système de la gestion de l'implantation éolienne via la planification territoriale comme elle se fait actuellement (cf. BfN 2011; Greenpeace Deutschland 2012). La divergence entre la planification au niveau régional et au niveau communal où on ne travaille pas toujours avec les mêmes critères est toutefois souvent critiquée. Aussi le fait que la distribution des éoliennes est uniquement pilotée par le niveau communal si les plans régionaux ne définissent pas de zones prioritaires est critiqué. Ainsi le DNR (2012, p.2) revendique l'établissement des zones prioritaires conséquentes au niveau régional avec un meilleur alignement des critères au niveau régional et communal. Le DNF critique que la législation plus laxiste des pays voisins de la Wallonie a également des impacts sur des populations animales en Wallonie et que ces impacts transfrontaliers ne sont pas assez pris en compte dans les projets frontaliers (Kervyn & Bizoux, 2015).

En ce qui concerne l'installation des éoliennes en forêt les positions officielles des différentes associations de protection de la nature sont relativement d'accord sur le fait que l'installation en forêt est principalement possible mais seulement si des forêts protégées ou particulièrement riche sont systématiquement exclues (cf. Greenpeace Deutschland 2012; BfN 2011; BUND 2011; NABU 2013, Landesjagdverband Rheinland-Pfalz 2012). En plus le BUND (2011, p.8) insiste sur le fait que les forêts devraient seulement être utilisées si d'autres emplacements ne sont pas disponibles. L'association des propriétaires de forêt de la Rhénanie-Palatinat est même assez enthousiaste vis-à-vis de l'installation des éoliennes en forêt et plaide pour un assouplissement en ce qui concerne les périmètres protégés (Fischer 2011, p.4). Si on regarde à l'intérieur des associations on se trouve par contre souvent face à des désaccords assez profonds. Ainsi les positions manifestées durant la conférence "transition énergétique et protection de l'environnement - éoliennes en milieu forestier" (Energie-

wende und Naturschutz - Windenergie im Lebensraum Wald) vont d'un refus général des éoliennes en forêt jusqu'à la revendication d'une accélération de l'implantation en milieu forestier. L'administration forestière quant à elle approuve le système en place et juge la prise en compte des problématiques sylvicoles suffisantes (Schriever 2015).

1.3 Conclusion

De manière générale, en Wallonie l'installation de nouvelles éoliennes n'avance plus tandis qu'en Rhénanie-Palatinat et en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie l'installation des éoliennes avance assez rapidement. Notons toutefois que de nombreuses voix s'élèvent en Allemagne affirmant que la prise en compte de l'environnement pendant l'installation des éoliennes, et notamment en forêt, serait insuffisante. Le concept de zones prioritaires quant à lui est soutenu par la grande majorité des acteurs allemands. Il semble donc que cet outil comporte des avantages considérables et que la Wallonie serait bien avisée de ne pas complètement abandonner cette piste au lieu de se concentrer uniquement sur une simple exclusion de certains types de territoire. En ce qui concerne les éoliennes en forêt, il apparaît que la Wallonie est beaucoup plus restrictive que les Etats fédérés allemands. Si la situation en Allemagne est peut-être un peu trop laxiste, le fait que la plupart des ONG environnementales allemandes ne soient pas complètement contre une installation en forêt laisse présager que la Wallonie pourrait peut-être revoir sa position très précautionneuse.

2 Une exclusion d'ampleur importante ? Le potentiel éolien en forêt wallonne

Dans ce chapitre nous allons regarder comment la forêt influence le vent et quelles autres difficultés techniques entraîne l'emplacement des éoliennes en forêt de manière générale. Ensuite, nous nous focaliserons sur la Wallonie pour analyser en détail la taille de l'espace perdu pour l'installation d'éoliennes en Wallonie dû à l'exclusion des forêts ainsi que la qualité écologique des différents types de forêts. Enfin, à la fin du chapitre nous étudierons la gestion forestière et les pressions qu'elle exerce sur les forêts wallonnes afin de pointer le développement probable des forêts wallonnes.

2.1 La qualité des vents au-dessus de la forêt

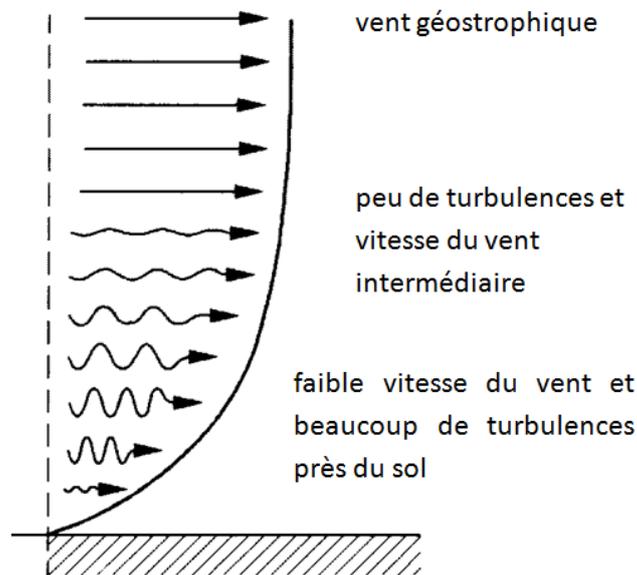
La puissance qui se trouve dans le vent peut être décrite avec la formule :

$$P_{Vent} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (2.1)$$

Où ρ est la densité de l'air, A la surface que les pales balaisent et v la vitesse du vent. Pour qu'une éolienne ait une grande productivité il faut donc soit avoir une grande surface ba-

layée par les pales soit placer l'éolienne dans un vent de grande vitesse. La deuxième possibilité est de loin la meilleure car la vitesse du vent influence la puissance avec une puissance de 3. Si on double donc la vitesse du vent on obtient une puissance 8 fois plus élevée. La vitesse du vent joue ainsi un rôle primordial pour l'installation d'éoliennes.

La vitesse du vent près du sol est inférieure à la vitesse en hauteur parce que le sol freine le vent en lui retirant l'énergie de friction. La friction diminue avec la hauteur jusqu'au moment où on peut considérer que la friction du sol est nulle, ce vent qui n'est plus influencé par la friction du sol est appelé vent géostrophique (Gasch et al. 2010, p.126). Entre la surface du sol et le vent géostrophique on se trouve donc face à une couche de vent qui se caractérise par un gradient de vitesse qui va généralement de pair avec des turbulences plus ou moins accentuées (voir graphique 1). L'étendue de cette couche qui s'appelle "couche limite de l'atmosphère" dépend du gradient de température, de la vitesse du vent géostrophique et de la rugosité du sol. Elle peut s'étendre sur seulement 100 mètres pendant des nuits froides ou aller jusqu'à une hauteur de 2 km (Gasch et al. 2010, p.126) et se trouve donc à la hauteur qui nous intéresse pour l'exploitation d'éolienne.



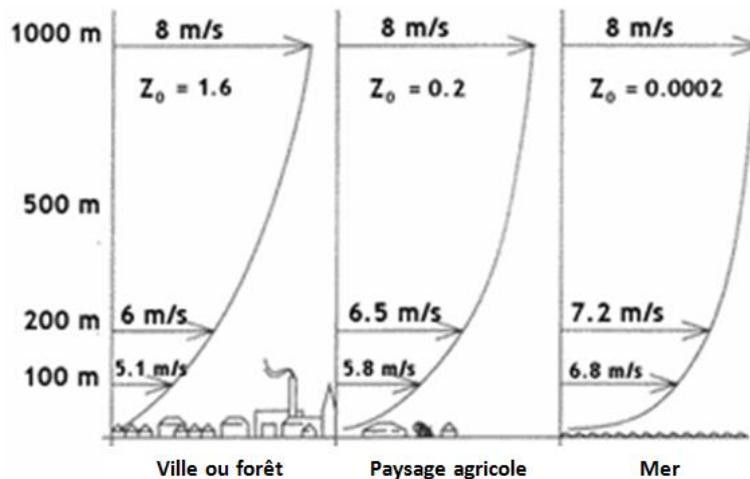
Graphique 1 : Schéma de la couche limite de l'atmosphère
Source : Changé après Gasch et al. 2010

Dans ce travail nous nous intéressons à la rugosité du sol et comment celle-ci influence le profil vertical du vent. La rugosité du sol se mesure par la longueur de rugosité qui dépend fortement du type de terrain. Ainsi, des forêts se caractérisent par une longueur de rugosité d'environ 0,3-1,6 mètres, des champs par une longueur de 0,03 mètres et des surfaces d'eau par une longueur de 0,0001-0,001 mètres (Gasch et al. 2010, p.129). Si on connaît la vitesse

du vent v_1 à une hauteur donnée z_1 (par exemple via une mesure avec un mât) on peut calculer la vitesse du vent v_2 à une autre hauteur z_2 (par exemple à la hauteur du moyeu) avec l'aide de la longueur de rugosité z_0 en appliquant la formule:

$$v_2 = \frac{v_1 * \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)} \quad (2.2)$$

Le graphique 2 montre cette relation entre la hauteur et la vitesse du vent pour trois différentes situations avec différentes longueurs de rugosité. On voit qu'à la hauteur de 100 m (ce qui est un peu en-dessous de la hauteur du moyeu des éoliennes modernes) le vent est en moyenne 0,7 m/s moins vite au-dessus de la forêt qu'en milieu ouvert. En appliquant la formule 2.1, on peut calculer à titre d'exemple comment la puissance du vent diminue si on se trouve au-dessus d'une forêt avec un vent qui est 0,7 m/s moins vite qu'il ne le serait en terrain agricole. Le résultat est que la puissance du vent diminue de 32% pour ce cas. Les courbes de puissance des éoliennes sont typiquement non linéaires (Gasch et al. 2010, p.153), une diminution de la puissance du vent de 32% ne se traduit donc pas forcément par une diminution de 32% de la puissance instantanée de l'éolienne, mais le résultat va forcément être une perte de production sensible.



Graphique 2 : Vitesse du vent en fonction de la longueur de rugosité

Source : Traduit après Renewable Energy Concepts, 2014

Pour éviter cela et pour avoir la même vitesse du vent et donc la même puissance, il faut construire des éoliennes plus hautes si on se trouve face à une rugosité élevée (comme c'est le cas dans une forêt) que si on se trouve avec une rugosité moindre (comme c'est le cas en milieu agricole). Ceci va évidemment de pair avec une augmentation des coûts de l'éolienne. Afin d'empêcher que les pales ne se trouvent dans une région avec trop de turbulences, il faut éloigner les pales le plus possible de la conopée. Ceci nécessite également

une éolienne de grande hauteur si on ne veut pas trop diminuer la longueur des pales et donc la surface A (cf. formule 2.1). Une règle de base est le respect d'une distance équivalente à 2 fois la taille des arbres entre la canopée et les pales pour éviter des turbulences trop importantes (Sanz Rodrigo et al.2007; Tindal & Landenberg 2008, p.7). Toutefois, la réalité est souvent plus complexe, ainsi on constate par exemple de très grandes turbulences derrière des massifs forestiers (LUGV 2014, p.6).

2.2 Autres contraintes techniques pour l'installation en forêt

À part la vitesse du vent, ce sont surtout l'accessibilité du site, la pente du terrain et la distance jusqu'au réseau électrique qui ont une importance d'un point de vue technique. En ce qui concerne l'accessibilité, les emplacements en forêt ont souvent le problème d'être relativement loin des infrastructures existantes. Il y a bien sûr les chemins forestiers qui constituent en général un réseau assez dense surtout dans les forêts d'exploitation sylvicole intensive, mais leur qualité est généralement insuffisante. Les chemins doivent en effet être dimensionnés pour supporter le passage de poids lourds avec un poids total qui va jusqu'à 164 tonnes (MKULNV 2012, p.10). Une largeur de 4 mètres est également requise ce qui n'est pas le cas pour tous les chemins existants. Il faut donc agrandir les chemins ce qui entraîne des coûts et des impacts environnementaux supplémentaires (cf. chapitre 3.1). Il est donc préférable de choisir des emplacements près des infrastructures disponibles. La même chose est valable pour le câblage. Pour réduire les impacts sur les oiseaux, il est préférable d'utiliser des câbles souterrains (cf. chapitre 3.2). En outre, afin d'éviter un déboisement supplémentaire le câblage devrait être posé directement à côté des chemins. Ainsi installé, le câblage ne pose pas de problèmes environnementaux. Il reste néanmoins des coûts non négligeables pour la mise en place. En effet, les coûts pour le raccordement au réseau et la construction des chemins représentent ensemble environ 5 à 10% des coûts d'investissement selon l'emplacement (WindGuard 2014, p.19ss).

Une autre contrainte technique est la pente du terrain. Il ne s'agit pas d'une contrainte absolue. En effet, il est techniquement possible d'installer des éoliennes sur des pentes assez raides. Dans le parc éolien d'Hilchenbach qui a été visité dans la phase préparatoire de ce travail (cf. annexe II), il y a par exemple une éolienne qui se trouve sur le versant d'une colline avec une pente de presque 20% (Pulte 2015). L'emplacement de l'éolienne tout comme l'aire de grutage et les surfaces de montage doivent évidemment être horizontales (maximal 1% pour l'aire de grutage) ce qui nécessite des travaux de nivellement qui sont naturellement bien plus importants si on se trouve sur un terrain avec une pente importante.

Ainsi 97% des éoliennes installées en Wallonie sont installées sur des emplacements avec une pente inférieure à 7,5% (Lejeune et al. 2013, p.64). Le problème en ce qui concerne les éoliennes en forêts est que les forêts de la Wallonie se trouvent majoritairement dans les Ardennes qui ont plus de reliefs et en conséquence plus de terrains en pente que le reste de la Wallonie (cf. chapitre 2.3). À nouveau une grande partie des emplacements en forêt va donc demander un investissement plus élevé.

Dans l'ensemble il apparaît donc que les terrains boisés sont souvent des emplacements de deuxième choix car la couverture végétale freine le vent ce qui nécessite des éoliennes plus grandes. De plus, les forêts se trouvent souvent loin des infrastructures existantes et sur des terrains en pente ce qui augmente également les coûts d'investissement.

2.3 Surface, distribution et composition des forêts wallonnes

Le plan de secteur indique environ 493 mille ha comme zone forestière ce qui correspond à environ 29 % du territoire wallon (Lejeune et al. 2013, p.9). Selon le cadre de référence pour l'implantation éolienne dans sa version actuelle (version juillet 2013) ce territoire est conséquemment exclu pour l'implantation,

« [...] à l'exception des zones pauvres en biodiversité et constituées de plantations de résineux à faible valeur biologique [...], à condition de réaliser des mises à blancs de manière à conserver un milieu ouvert autour de l'éolienne dont la surface sera déterminée par l'étude d'incidence, dès lors que les éoliennes qui y sont situées sont établies en continuité d'un parc existant ou d'un projet de parc situé en dehors de la zone forestière » (Gouvernement wallon 2013, p.6).

Environ 41 mille ha de ce territoire sont uniquement exclus en raison de l'exclusion des forêts et n'ont pas d'autres contraintes (Lejeune et al. 2013, p.9). Des 493 mille ha de zone forestière environ 224 mille ha, soit 45%, ont une vitesse de vent moyenne jugée suffisante pour permettre une exploitation rentable d'éoliennes (propres calculs, cf. tableau 3). Si on suppose qu'également 45% des 41 mille ha sans autres contraintes ont un potentiel venteux suffisant, on se retrouve avec 18,5 mille ha qui ont une vitesse de vent suffisant et pas d'autres contraintes à part le fait qu'ils se trouvent dans une zone forestière du plan de secteur. 18,5 mille ha représentent environ 1,1% du territoire wallon. 1,1% c'est un chiffre qui pourrait suggérer qu'il s'agit ici d'une perte de territoire pour l'implantation éolienne qui est d'ampleur plutôt anecdotique. Si on considère par contre que selon une étude commandée par la région wallonne dans le but d'établir une carte des zones favorables pour l'implantation d'éoliennes seulement 0,76% du territoire wallon est sans contraintes et 1,42% avec des contraintes partielles, soit 2,18% du territoire dans l'ensemble (Lejeune et al. 2013,

p.45) on s'aperçoit de l'ampleur de la question. En acceptant également des forêts comme emplacements potentiels on pourrait donc augmenter la surface des zones potentielles de 50%.

En moyenne la densité d'un parc d'éolien permet l'installation d'une puissance de 6 à 10 MW/km² pour des éoliennes de 2 MW et 10 à 15 MW/km² pour des éoliennes de 3 MW (Huart 2013, p.10). Si on admet une moyenne de 10 MW/km² les 2,18% du territoire qui correspondent à 367 km² permettent une installation de 3670 MW. Avec une production annuelle de 2000 h_{eq} on obtient une production de 7300 GWh. Si on fait un calcul analogue pour les 1,1% du territoire qui sont exclus uniquement due aux forêts on voit qu'on pourrait y installer environ 1850 MW et produire 3700 GWh. Théoriquement on peut donc largement atteindre le but de produire 3800 GWh sans avoir recours aux surfaces forestières. Il faut néanmoins prendre en compte que des considérations supplémentaires, qui ne sont pas traduites dans des critères d'exclusion et qui sont prises en compte dans les analyses au cas par cas, vont réduire considérablement ce potentiel théorique. Ainsi les auteurs de la cartographie positive estiment que les 2,18% du territoire sans contraintes intégrales permettent une installation de 3800 GWh³. Dans une optique de long terme, qui pourrait aller au-delà d'une production de 3800 GWh il va être difficile de maintenir une exclusion générale des forêts. La même chose est suggéré par les expériences faites en Allemagne. En effet, si au début les forêts sont exclues partout il devient ensuite nécessaire de penser à un assouplissement de cette exclusion si on veut augmenter la production d'énergie éolienne au-delà d'un certain seuil.

C'est le plan de secteur avec ses 493 mille hectares de forêt qui compte pour délimiter les zones d'exclusion (Gouvernement Wallonne 2013, cf. aussi chapitre 1.1). Mais si on regarde sur le terrain on voit que les forêts couvrent 553 mille hectares en réalité (Laurent & Lecomte 2007a, p.184). Ce décalage s'explique principalement avec le fait que le plan de secteur détermine l'affectation du sol et non son occupation réelle et, que les surfaces boisées ont augmentées durant les dernières décennies depuis l'établissement des plans de secteurs. En conséquence il y a des surfaces de forêt qui ne sont pas comprises dans l'exclusion des zones forestières. Le tableau 1 montre que des forêts de feuillus ou des forêts mixed qui

³ Il faut cependant dire qu'au lieu de regarder l'ampleur d'implantation qui est possible avec des critères d'exclusion scientifiquement fixés, l'étude en question semble se baser sur l'objectif politique de produire 3800 GWh pour ensuite regarder en conséquence où on pourrait implanter les éoliennes nécessaires pour une telle production.

ont potentiellement une grande valeur écologique (nous allons le voir dans le chapitre suivant) sont surreprésentées parmi les forêts qui ne sont pas exclues parce qu'elles ne figurent pas sur le plan de secteur. La protection des forêts via l'instrument d'une exclusion générale des zones forestières du PdS échoue donc souvent précisément là où l'exclusion a potentiellement du sens pour protéger des forêts de feuillues d'une grande valeur écologique.

Type de forêt selon CO-RINE Land Cover	Surface de forêt en dehors du PdS [en mille ha]	Par rapport à la surface forestière du PdS [%]
Résineux	10	2%
Feuillue	25	5%
Mixed	36	7%
Toutes les types	70	14%

Tableau 1 : Surfaces des forêts en dehors des zones forestières du PdS

Source : propres calculs sur base de EEA 2006 et ATM-PRO 2008

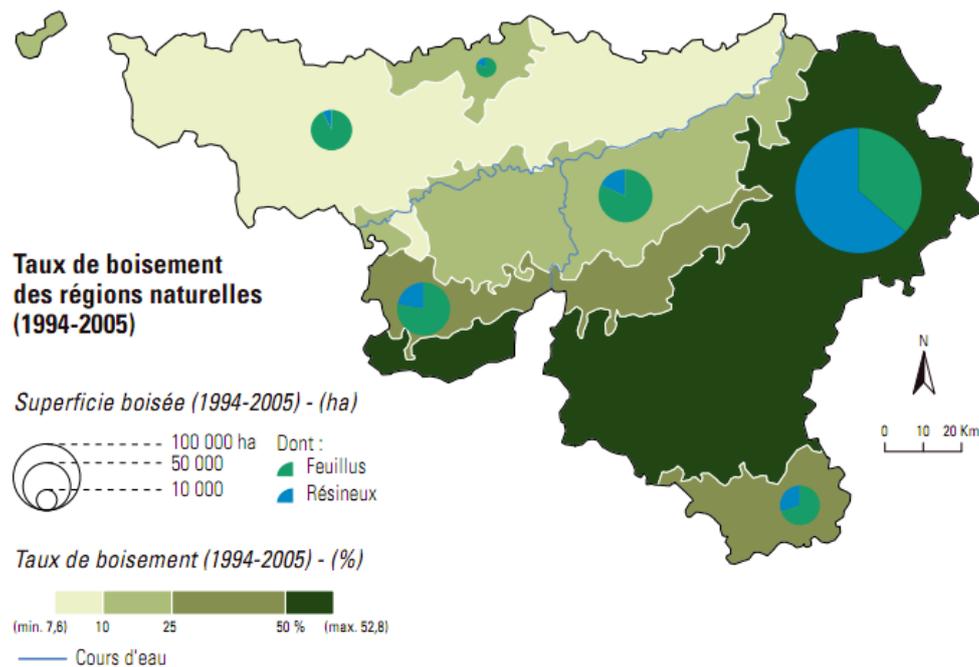
De l'autre côté, il y a 52 mille ha, soit 11% de la surface forestière du plan de secteur, qui ne sont pas couverts de forêt (cf. tableau 2). Une portion non négligeable du territoire est donc exclue sans raison apparente. En effet, si on interprète les termes du cadre de référence littéralement ces zones n'entrent même pas en ligne de compte pour l'exception d'y installer des éoliennes en continuité d'un parc en dehors de la zone forestière. En effet, puisque ces zones ne sont pas couvertes de forêt, elles ne sont pas « constituées de plantations de résineux à faible valeur biologique » (Gouvernement wallon 2013, p.6). Il s'avère donc, indépendamment de la pertinence d'exclure les forêts, qu'il est problématique d'utiliser le plan de secteur pour déterminer les territoires d'exclusion.

	Surface [en mille ha]	Par rapport à la surface forestière du PdS [%]
Zones forestières du PdS qui ne sont pas couvert de forêt	52	11%

Tableau 2 : Surface des zones forestières du PdS non occupées par des forêts

Source : propres calculs sur base de EEA 2006

Les forêts ne sont par contre pas réparties équitablement sur la Wallonie. Comme on peut constater sur le graphique 3, il y a une forte concentration dans les Ardennes qui ont un taux de boisement supérieur à 50% et qui comptent à elles seules 63% de la forêt wallonne tandis que le nord-ouest de la Wallonie est très peu boisé et les forêts y sont très morcelées (Lecomte et al.2002, p.27).



Graphique 3 : Taux de boisement des régions naturelles

Source : Laurent & Lecomte 2007a

87,8 % des zones forestières sont occupées par des forêts productives, le reste comprend les chemins forestiers mais aussi des espaces ouverts (Lecomte et al. 2002, p.9) qui sont souvent particulièrement importants pour la flore et faune sauvage (Laurent & Lecomte 2007a, p.186). Les forêts productives de la Wallonie sont des forêts de résineux dans 47% des cas (Laurent & Lecomte 2007a, p.185; cf aussi graphique 3). L'épicéa occupe 74% des forêt de résineux et 35% de la surface productive totale de la Wallonie ce qui fait de l'épicéa l'arbre prédominant (propres calculs d'après Laurent & Lecomte 2007a, p.185). Les forêts sont principalement des futailles tandis que des taillis et des taillis-sous-futaille abritant souvent des espèces menacées (Branquart et al. 2010, p.16) font seulement 23% des forêts productives et sont encore en train de diminuer (Laurent & Lecomte 2007a, p.186). Une grande partie des forêts wallonnes, surtout dans les Ardennes sont plutôt d'une faible valeur écologique ce qui les rend potentiellement plus propices pour l'installation d'éolienne.

Il est frappant que les forêts se trouvent majoritairement en altitude. Ainsi, les 39% du territoire wallon d'une altitude supérieur à 300 m abritent 61% des forêts. Ceci fait que le taux de boisement est inférieur à 15% en dessous de 200 m alors qu'il tourne autour de 50% au-dessus de 300 m (Lecomte et al. 2002, p.9-11). Non seulement la distribution de la forêt varie en soi avec l'altitude mais aussi la distribution des espèces. Ainsi, les forêts de feuillus et les taillis sont plus présentes dans les basses altitudes, tandis que les altitudes supérieures à 400 m sont largement dominées par des résineux en futaille (Lecomte et al. 2002, p.31).

Tout ceci est important car la vitesse du vent et en conséquence la qualité de l'emplacement sont susceptibles de varier avec l'altitude. La question se pose donc de savoir si les zones forestières sont particulièrement venteuses ou si c'est le contraire. Il est également d'intérêt s'il y a un lien entre le type de forêt et donc sa valeur écologique et le potentiel venteux.

Nous pouvons répondre à ces questions avec l'aide du tableau 3, qui montre les surfaces respectives de résineux, feuillue et forêts mixtes selon les données de Corin Land Cover (EEA 2006) et leurs potentiels venteux. Il apparaît que les forêts se trouvent sur des terrains moins venteux que la moyenne. Seulement 45% des surfaces forestières ont un potentiel suffisant alors que la moyenne pour la Wallonie est de 77%.

Type de forêt	Surface [en mille ha]	Dont potentiel venteux suffisant [en mille ha]	Rapport entre surface total et surface venteux [%]
Résineux CLC	101	43	43%
Feuillue CLC	171	80	47%
Mixed CLC	227	97	43%
Total CLC	499	220	44%
Total PdS	493	224	45%
Moyenne Wallonie	1.684	1298	77%

Tableau 3 : Surface des différents types de forêts et leurs potentiel venteux

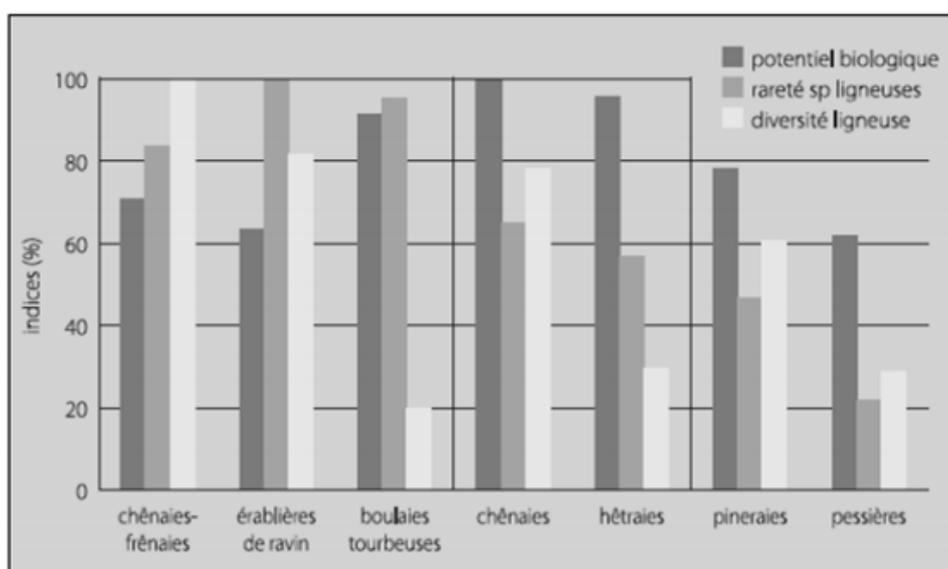
Source : propres calculs sur base de EEA 2006 et ATM-PRO 2008

Etant donné que la méthode qu'ATM-Pro utilise pour estimer la vitesse du vent est basée sur des observations à une altitude de 10 m (Canters et al. 2013, p.7) il est néanmoins probable que la vitesse du vent inférieure à la moyenne qu'on a constatée pour les surfaces boisées s'explique au moins partiellement par le fait que les surfaces soient boisées et donc moins venteuses. Les forêts ne seraient donc pas placées sur des endroits peu venteux mais provoqueraient la diminution du vent par les processus expliqués auparavant. Il ne faut donc pas compter l'effet doublement en se fiant à la carte d'ATM-Pro et en anticipant une vitesse moindre au-dessus des forêts.

2.4 La valeur écologique de la forêt

Dans le contexte d'une utilisation de plus en plus intensive de l'espace rural en Wallonie, les forêts apparaissent souvent comme les derniers refuges pour la vie sauvage. Il est vrai qu'avec la quasi-absence de produits phytosanitaires et des cycles de production beaucoup plus longs, les forêts sont gérées moins intensément que les terres agricoles. Néanmoins, la

gestion forestière a également connu des changements durant les derniers siècles et souvent ces changements vont au profit de monocultures d'essences exotiques qui sont en fait pas du tout naturelles (Branquart et al. 2007, p.538s). Ces changements mettent à mal toute une série d'espèces forestières. En effet, les forêts naturelles ont une grande capacité d'accueil de la biodiversité et en conséquence une valeur écologique bien plus élevée que des plantations d'épicéas ou autres monocultures (Branquart et al. 2007, p.541s). Ces énormes différences de la valeur écologique des différents types de forêts sont cruciales pour l'implantation des éoliennes en forêt car (comme nous allons le voir dans chapitre 0) l'ampleur de l'impact dépend fortement de la qualité écologique des forêts. Un indicateur de base pour mesurer la capacité d'accueil d'une forêt est l'essence principale. Le graphique 4 montre la valeur écologique de quelques types de forêt. On voit que les forêts feuillues ont des index élevés pour la plupart des critères tandis que les pineraies et surtout les pessières ont plutôt une valeur faible. Les espèces exotiques, même si feuillues sont également moins intéressantes que des espèces indigènes.



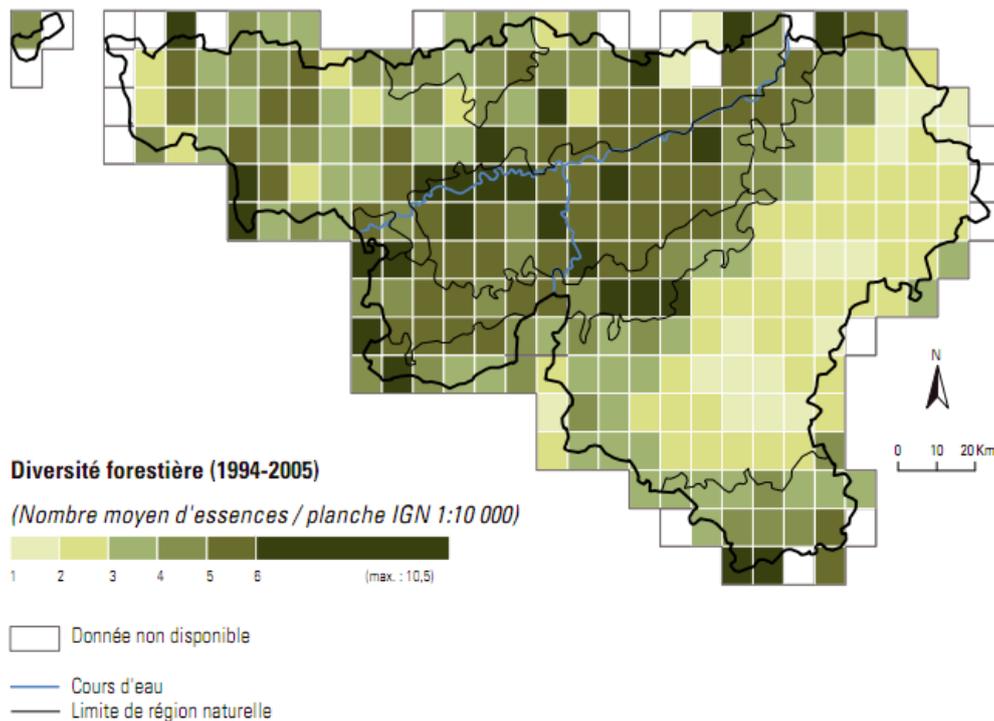
Graphique 4 : Valeur écologique de différents types de forêt

Source : Branquart & Dufrene 2005

En plus de l'espèce principale, la diversité ligneuse a également un impact important sur la capacité d'accueil. Ainsi des forêts avec une grande diversité ligneuse ont généralement⁴ un potentiel écologique plus important que des forêts avec peu d'essences différentes (SRFB

⁴ Il est faux de généraliser une règle selon laquelle une forêt qui a plus d'espèces ligneuses est automatiquement plus riche qu'une forêt avec moins d'essences (Branquart & De Keersmaeker 2010). Mais dans la plupart des cas la relation entre nombre d'espèces ligneuses et capacité d'accueil semble claire.

2007, p.8). Les chênaies, les formations feuillues rares⁵ mais aussi certaines pineraies sont particulièrement diversifiées tandis que les pessières et les plantations de douglas sont les plus pauvres (SRFB 2007, p.8; Branquart et al. 2007, p.540). Comme on voit sur le graphique 5, les forêts très diversifiées sont devenues rares en Wallonie (cf. Verheyen & Branquart 2010, p.11). Les grands ensembles forestiers en Ardennes sont particulièrement peu diversifiés tandis que les forêts dans les régions avec peu de forêt sont souvent relativement riches.



Graphique 5 : Diversité forestière en Wallonie

Source : Branquart et al. 2007

En plus de la composition, c'est surtout la stratification du peuplement qui détermine la capacité d'accueil de la forêt. Généralement on peut dire que la diversité croît avec le nombre de strates de végétation (Branquart et al. 2007, p.540). Ainsi des taillis-sous-futaie sont par exemple généralement plus riches que des futaies. Enfin, la structure d'âge et notamment la présence de très vieux arbres de plus que 200 ans et la présence de gros arbres morts sont également très importantes pour une forêt de grande qualité écologique (Branquart et al. 2007, p.541s).

⁵ Les formations feuillues rares sont des formations qui couvrent moins que 1% de la surface productive. Elles se trouvent souvent là où les sols sont peu propices pour une exploitation intensive (Branquart et al. 2007, p.545). Des exemples sont des érablières de ravin ou des aulnaies-frênaies alluviales.

La cause importante qui empêche une augmentation de la richesse écologique de nos forêts est le prix sur les marchés qui privilégie la plantation des espèces exotiques et un cycle court de production. Des raisons fiscales comme les montants élevés qui doivent être payés en droits de succession⁶ incitent également à l'utilisation des essences à croissance rapide et des coupes prématurées dans certaines forêts privées (Branquart et al. 2007, p.541; Laurent & Lecomte 2007a, p.190). Dans le prochain chapitre nous analysons plus en détail comment ces causes influencent nos forêts, comment d'autres choix sociétaux interviennent et comment toutes ces pressions pourront influencer les forêts de demain.

2.5 La forêt au fil du temps

Les forêts sont des systèmes dynamiques qui changent au cours du temps. Si on plante des éoliennes dans des forêts de faible valeur écologique pour diminuer leurs impacts on ne tient pas forcément compte des changements potentiels de la forêt. Il est ainsi possible d'imaginer qu'une pessière dans laquelle on plante des éoliennes se transforme en une forêt plus riche durant le temps de vie de l'éolienne. Les forêts en Wallonie sont en grande partie le résultat de la gestion de l'Homme. Ce sont donc principalement la filière du bois avec ses raisonnements économiques et d'autres choix sociétaux comme notamment la volonté de sauvegarder un environnement sain qui vont déterminer les forêts du futur.

La filière du bois voit les plantations d'épicéas et d'autres résineux plutôt d'un œil positif car ils ont un rendement bien supérieur aux essences indigènes. Ainsi, on récolte en moyenne 3.200.000 m³ de bois résineux et 870.000 m³ de bois de feuillus par an alors que les feuillus occupent légèrement plus d'espace que les résineux (Defays 2014a, p.2). La différence dans le rendement n'est néanmoins pas aussi grande qu'on pourrait le croire. En effet une partie du décalage s'explique par le fait qu'on récolte actuellement plus de bois résineux qu'il n'en repousse alors que la situation est inversée en ce qui concerne les feuillus (OEWB 2013). Les stocks de bois sur pied diminuent donc en ce qui concerne les résineux et augmentent pour les feuillus ce qui va de pair avec une augmentation ou bien une diminution de l'âge moyen des peuplements. Ce développement divergeant est entre autre dû à la volonté de mettre des forêts de feuillus plus naturelles à la place de plantations d'épicéas ou de reconstituer des terrains ouverts par exemple au long des cours d'eau où on a planté des

⁶ L'article 116 du nouveau Code forestier de septembre 2008 surprime les droits de succession pour les forêts, cela compte cependant seulement pour les propriétaires qui sont domiciliés en Wallonie. Or, beaucoup de propriétaires de forêt wallonne sont domiciliés à Bruxelles ou en Flandre : le problème persiste, quoique atténué.

épicéas sur des sols peu adaptés à cette espèce. Mais il semble peu probable que ce développement persiste. En effet une raison importante pour le choix des essences est la rentabilité et d'un point de vue purement économique, les résineux ont un avantage sur les feuillus. Or, l'économie et la filière du bois occupent une place très importante dans la gestion forestière et leur vue sur la forêt se laisse résumer par les mots que le Directeur de l'Office économique wallon du bois a choisi pour conclure une présentation sur l'importance des résineux : « L'arbre est une planche à mi-chemin » (Defays 2014a). Une telle optique couplée avec la rentabilité des essences résineux exotiques laisse présager que des espèces telles que l'épicéa ou la douglas ne sont pas prêtes de céder beaucoup de place à des forêts plus naturelles, même si pour des raisons écologiques la superficie de pessières a diminué quelque peu pendant les dernières décennies.

Indépendamment de l'essence on peut constater que le prix du bois de petite circonférence augmente plus vite que le prix pour les grandes circonférences. Ce développement est lié à l'augmentation de l'utilisation du bois comme bois de chauffage ou sa transformation en granulés (OEWB 2013, p.27). L'utilisation du bois comme source d'énergie renouvelable pourrait en effet être vu comme moyen d'utiliser les forêts pour produire de l'énergie en plus des éoliennes ou comme alternative aux éoliennes en forêts. Nombreux sont en effet les plans d'augmenter considérablement l'utilisation de biomasse forestière pour convenir aux besoins énergétiques de la Wallonie (cf. p.ex. De Moreau 2009; Pieret 2010). De le Court (2010, p.25) se demande même si une transformation d'au moins une partie des forêts wallonnes en plantations de douglas n'est pas préférable à une vue sur des éoliennes. Sans vouloir trancher sur la question de la pertinence de tels plans, il est clair qu'ils nécessitent une grande productivité ce qui va fortement influencer la gestion et l'apparence des forêts. Pour augmenter la productivité il y a deux possibilités, soit on diminue les périodes de révolution (ce qui fait des forêts plus jeunes), soit on utilise des arbres avec une croissance plus rapide. Les deux solutions auraient comme conséquences que l'utilisation accrue de la biomasse forestière à des fins énergétiques engendrerait des forêts productives plutôt pauvres en biodiversité et donc potentiellement plus propices pour l'implantation d'éoliennes qu'elles ne le sont à l'heure actuelle.

Si on parle beaucoup du rôle des forêts dans la lutte contre le changement climatique (cf. chapitre 3.1.2), ce dernier va probablement influencer à son tour l'aspect de nos forêts⁷. Pour une meilleure résistance face à un changement climatique il est pertinent de planter des forêts diversifiées (Verheyen & Branquart 2010, p.12). Les considérations écologiques suggèrent également une gestion favorisant la diversité et des forêts en bon équilibre au lieu de forêts ultra productives.

Il est donc plausible que les considérations économiques qui poussent principalement vers une plantation de résineux soient contrebalancées par d'autres choix sociétaux qui privilégient des forêts feuillus et diversifiées. Ceci se reflète aussi dans le Code forestier qui insiste d'un côté sur la nécessité de maintenir une bonne productivité des forêts (Article 1 n°3) et de l'autre côté sur l'importance de sauvegarder et développer la biodiversité dans les forêts (Article 1 n° 4). À la fin de l'article 1, le Code forestier concrétise ces deux exigences quelque part contradictoires en fixant l'objectif d'un bon équilibre entre forêts de résineux et forêts de feuillus. Il semble donc probable que la situation future ressemblera à la situation actuelle avec des forêts très productives mais pauvres en biodiversité d'un côté et avec de l'autre côté des forêts moins productives mais riches en biodiversité assurant maintes autres fonctions que la production du bois.

2.6 Conclusions

Nous avons vu que les emplacements en forêts sont généralement moins bons car la vitesse du vent est diminuée et parce que l'isolement des emplacements demande des coûts de viabilisation plus élevés. Néanmoins vu le nombre de contraintes pour l'implantation d'éoliennes et en conséquence de la difficulté de trouver des terrains propices, les forêts représentent un grand potentiel pour l'implantation d'éoliennes. En ce qui concerne la qualité écologique des forêts, il apparaît que ce sont surtout les forêts de feuillus diversifiées avec de vieux arbres et du bois mort qui ont une grande capacité d'accueil tandis que les monocultures de résineux exotiques sont plutôt pauvres. En Wallonie on rencontre les deux, des forêts diversifiées qui sont souvent de petite taille et morcelées comme des monocultures d'épicéas qui se trouvent surtout dans les grands massifs forestiers dans les Ardennes. Les structures économiques et la volonté politique suggèrent que cet équilibre entre feuillus et résineux va être préservé. Il y aura donc la possibilité d'utiliser les monocultures pauvres en

⁷ Le changement climatique pourrait par exemple avoir des influences néfastes pour la santé de nos forêts car des événements climatiques extrêmes comme des tempêtes ou des périodes de température extrême qui deviendront probablement plus fréquentes fragilisent les peuplements (Laurent & Lecomte 2007c).

biodiversité pour l'implantation éolienne tout en préservant les forêts plus riches. Toutefois, le constat que les forêts de résineuses sont communément pauvres en biodiversité ne lève pas automatiquement tout doute sur le point de savoir si l'implantation des éoliennes en forêt n'entraîne pas des impacts importants sur l'environnement. Une analyse des impacts potentiels sur les différentes parties de l'environnement s'impose donc pour savoir si l'implantation en forêt est justifiable.

3 Impacts environnementaux des éoliennes en forêt

Il est impossible de produire de l'électricité ou de générer une autre forme d'énergie utile pour l'Homme sans créer d'impacts négatifs pour l'environnement, les éoliennes n'échappent pas non plus à cette règle. En effet, les éoliennes produisent un large spectre d'impacts qui commencent avec l'extraction des matériaux pour construire les éoliennes, continuent avec le transport des pièces et la construction, perdurent pendant l'utilisation des éoliennes pour se terminer avec le démontage après l'usage et le recyclage des matériaux. Une grande partie de ces impacts est indépendante de l'emplacement et non spécifique au cas des éoliennes en forêt. L'évaluation de ces impacts, la comparaison avec les impacts engendrés par d'autres techniques et le jugement sur la pertinence de l'utilisation des éoliennes sont donc d'autres sujets qui ne sont pas traités dans le présent travail. Ici nous allons uniquement analyser les impacts spécifiquement liés à l'implantation des éoliennes en forêt. Il semble néanmoins important de rappeler que les éoliennes ont aussi un impact positif sur l'environnement notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre qui sont émises par la production de l'électricité. À titre d'exemple on peut citer Benjamin K. Sovacool qui montre que les énergies fossiles tuent en moyen 5,18 oiseaux par GWh comparé à 0,27 oiseaux tués par GWh d'énergie éolienne (Sovacool 2012, p.22).

De manière générale on peut différencier les impacts selon le domaine de l'environnement qui est impacté (la flore, l'avifaune, les chiroptères, l'Homme, ...), selon la nature des impacts et selon la durée. Ainsi il y a des impacts directs (p.ex. déboisement pour placer l'éolienne) et des impacts indirects ou induits (p.ex. plus de fréquentation humaine due à l'amélioration des chemins). En ce qui concerne la durée il faut différencier les impacts permanents (p.ex. risque de collisions pour l'avifaune) et les impacts temporels (p.ex. bruit pendant la construction) principalement liés à la phase de construction (Simar et al. 2012) et du

démantèlement⁸. Lors de l'analyse des impacts, il est important de tenir compte de toutes ces catégories sans toutefois les mettre sur un pied d'égalité. Dans ce chapitre nous allons regarder l'une après l'autre les différentes composantes de l'environnement et analyser comment elles sont impactées de manière directe et indirecte pendant la phase de construction et pendant l'utilisation. Nous allons également examiner les méthodes proposées pour réduire les impacts négatifs.

3.1 Impacts sur la flore : la déforestation

L'impact le plus immédiat et le plus visible est certainement le déboisement qui est nécessaire pour l'implantation des éoliennes en forêt. Ainsi, ce chapitre examine-t-il la surface qui doit être déboisée et les conséquences que cela entraîne sur l'écosystème de la forêt.

3.1.1 Chantier et chemins d'accès

Différentes parties du chantier nécessitent un déboisement. Ainsi un déboisement est requis pour les chemins d'accès, pour l'emplacement même de l'éolienne ainsi que pour l'aire de grutage et pour les aires de pré montage et de stockage.

La place dont l'éolienne elle-même a besoin est assez petite. Des fondations superficielles d'un diamètre de 20 jusqu'à maximum 30 mètres sont courantes pour les très grandes éoliennes (Bögelein 2011). Cela fait donc une surface d'environ 300 à 700 m² qui doit être déboisée et qui est durablement perdue pour toute utilisation sylvicole. L'aire de grutage prend déjà un peu plus de place. Des grues normales ont besoin d'une surface de 1000 à 1500 m² qui sera stabilisée avec du concassé sur des géotextiles (Bögelein 2011). L'aire de grutage reste conservée après les travaux pour des réparations éventuelles, il s'agit donc également d'un terrain perdu pour la sylviculture⁹. Pour la flèche de grue, il faut en plus prévoir une aire dégagée de 5 sur 120 mètres pour une éolienne d'une hauteur de 100 mètres au niveau du moyeu (MKULNV 2012, p.13). Normalement on utilise le chemin d'accès pour installer la flèche de grue, si la route est droite il faut donc seulement prévoir un chemin un peu plus large. Ainsi le déboisement supplémentaire reste minimal (environ 250 m²). Les aires de montage et de stockage demandent ensemble généralement 500 à

⁸ Dans la littérature on parle généralement seulement de l'impact de la construction et pas de l'impact du démantèlement après usage. Ceci est sans doute dû au fait que les éoliennes qui ont atteint la fin de leur vie sont encore rares, il faut néanmoins tenir compte de ces impacts. Il semble néanmoins que le dérangement pendant la phase de démantèlement et comparable à la phase de construction. Dans la suite de ce travail nous n'allons donc pas différencier entre construction et démontage et il convient de sous-entendre les deux quand on parle des dérangements suite à la construction.

⁹ Si on parle de terrains perdus pour la sylviculture on entend perdus pour la plantation des arbres, il reste bien sûr la possibilité d'utiliser cette espèce pour des activités auxiliaires, par exemple pour entreposer des troncs.

1000 m² et sont stabilisées temporairement (avec des tapis de caoutchouc par exemple). Elles peuvent donc être reboisées après les travaux (Bögelein 2011). Dans l'ensemble il faut donc déboiser environ 2000-3500 m² sur lesquels un tiers environ peut être reboisé.¹⁰ L'annexe VII illustre un exemple de cette configuration du chantier avec aire de grutage, fondation et zone d'entrepôts. Même si on installait la moitié de 500 éoliennes supplémentaires nécessaires pour atteindre le but fixé dans le cadre de référence en milieu forestier, cela représenterait seulement 50-90 ha de forêt à déboiser ce qui équivaldrait à environ 0,005% des forêts wallonnes. Ainsi, la perte de la surface forestière en soi ne représente pas le problème.

En ce qui concerne les chemins d'accès il faut généralement prévoir un déboisement sur une largeur de 5 à 6 mètres, dans les courbes et les croisements seulement une surface dégagée plus large est nécessaire (cf. annexes VIII et IX). Les dimensions requises pour les virages et les déboisements dans les virages dépendent bien entendu des spécificités techniques de l'éolienne et des engins de transport, les composants critiques étant les pales (Twele 2015; cf. annexe IX). La route elle-même doit généralement avoir une largeur de 4 mètres au minimum, elle est habituellement faite de concassé sur un géotextile (MKULNV 2012, p.10; CSD 2013, p.32). La route même est donc permanente et ne peut pas être reboisée après les travaux. Les bordures de routes et les surfaces dénudées dans les virages peuvent en revanche être reboisées après les travaux ou être utilisées pour aménager des lisières naturelles. La surface totale qui doit être déboisée pour les chemins d'accès dépend bien entendu de la longueur des chemins à créer ou à élargir. Celle-ci doit donc être minimisée autant que possible.

L'impact du déboisement dépend fortement des propriétés de la forêt. Ainsi des impacts écologiques sont très probablement beaucoup plus importants si on se trouve dans une forêt plus naturelle. Dans le chapitre 2.4 nous avons vu que c'est surtout le type et la diversité des espèces ligneuses, la stratification des ligneux et la présence de vieux arbres et d'arbres morts qui définissent la valeur écologique d'une forêt. Le graphique 6 montre un exemple d'une évaluation de la valeur écologique d'une forêt dans le cadre de l'installation d'un parc éolien.

¹⁰ Les chiffres trouvés dans la littérature confirment ce calcul mais il y a des différences assez importantes qui peuvent par exemple résulter des différences dans le type de l'éolienne et de la technique d'installation qui est utilisée. Ainsi Meier (2011 p.29) estime 1350-2400 m², Bögelein (2011, p.16) estime 2000-3000 m² et Rehwald (2011 p.14) estime 3000-5000 m².

Indicateurs	Situation des peuplements concernés par le projet	
	Description	Valeur
Composition des peuplements	Plantation de Douglas pure	faible
Étage de la végétation ligneuse	Un seul étage, futaie pure. La canopée est très dense et ne laisse filtrer que peu de lumière vers le sol, empêchant le développement du sous-bois.	faible
Végétation herbacée	Très peu développée	faible
Régénération naturelle	Absence	faible
Présence de gros bois / individus 'matures' (> 100 ans)	Absence / Absence	faible
Bois mort	Peu de bois mort, uniquement au sol et de petite taille.	faible
Lisières	La parcelle est bordée d'autres parcelles forestières à l'exception de la partie nord-ouest, occupée par une prairie. A ce niveau, la transition entre le bois et la prairie est abrupte.	faible
Eau	Pas de mare temporaire ou autre zone humide au pied des éoliennes projetées. Une prairie semi-humide sans valeur particulière est située en bordure de la zone forestière.	faible

Graphique 6 : Critères pour évaluer la valeur biologique d'une forêt (exemple)

Source : CSD 2013, p. 159

3.1.2 La forêt: puits ou source de CO₂ ?

Un argument souvent avancé par les opposants à l'installation des éoliennes en forêt est que le déboisement nécessaire pour l'implantation des éoliennes libère du CO₂ et qu'il est donc absurde de vouloir lutter contre le changement climatique avec des éoliennes en forêt. Ainsi il semble pertinent de se pencher brièvement sur la question sans vouloir ouvrir tout un chapitre sur l'efficacité des éoliennes pour la réduction des émissions de CO₂.

D'abord il semble important de rappeler que les forêts font partie de l'équilibre dynamique du cycle de carbone. Durant leur croissance les arbres captent du CO₂ dans l'atmosphère pour l'insérer dans leur tissu végétal. Quand les arbres meurent et se décomposent ils relâchent une grande partie du CO₂ dans l'atmosphère, une autre partie est séquestrée plus durablement dans la matière organique du sol (Laurent & Lecomte 2007b, p.198). Si on coupe les arbres le carbone peut rester séquestré, par exemple si on utilise le bois pour construire une maison, ou être tout de suite relâché si on le brûle (ce qui ferme le cycle). Les forêts fonctionnent donc seulement comme puits de carbone aussi longtemps qu'elles accumulent de la biomasse, le potentiel de séquestration est donc limité. Une éolienne quant à elle réduit les émissions de CO₂ dans la mesure où l'énergie qu'elle produit ne doit pas être produite en utilisant des énergies fossiles, on épargne donc le CO₂ qui aurait été émis sans l'éolienne (on considère classiquement les émissions par MWh du mixte énergétique du pays). La situation la moins favorable pour l'installation d'une éolienne est donc une forêt qui est

au maximum de sa croissance¹¹ (et qui stocke donc un maximum de carbone) ou qui atteindrait ce maximum durant l'exploitation de l'éolienne et qui est complètement brûlé après le déboisement.

Une étude en France a trouvé en moyenne un stock de 59 tC/ha de forêt et un maximum de 180 tC/ha pour les peuplements très âgés (Dupouey et al. 1999, p.142s). Si on considère une surface de 2000 m² qui reste durablement déboisée (cf. chapitre 3.1.1), on a donc une émission maximale de 180 tC/ha * 0,2 ha = 36 tC. Avec le quotient des poids moléculaires entre le CO₂ et C de 44/12 on obtient une émission maximale de 132 tCO₂ due au déboisement pour une éolienne. Une éolienne d'une puissance nominale de 3 MW qui produit de l'électricité pendant 2000 h_{éq} fournit 6000 MWh par an. Si on considère des émissions moyennes du mixte énergétique belge de 300 kgCO₂/MWh¹² (Electrable 2014) cette éolienne évite donc l'émission de 1800 tCO₂ par an. 1800 tCO₂ cela représente les émissions émises par 790 voitures¹³. Il est donc clair que les émissions uniques de 132 t de CO₂ suite au déboisement ne font pas le poids à côté de 1800 t de CO₂ que l'éolienne évite chaque année¹⁴.

3.1.3 Fragmentation, effet lisière et microclimat

Outre la perte directe d'habitats forestiers il y a des effets qui peuvent réduire la surface d'habitat réellement utilisée ou la qualité d'un habitat. Un effet assez connu qui peut avoir de tels effets est la fragmentation. On parle de fragmentation quand l'habitat d'une espèce est morcelée dans plusieurs parties par des barrières qui ne sont pas ou seulement très difficilement franchissables par l'espèce en question (Mahy, 2014). Ces barrières peuvent par exemple être des routes ou encore des changements de l'occupation du sol. La fragmentation des habitats pose entre autres problème parce qu'un grand habitat continu d'une taille donnée est généralement peuplé par plus d'espèces que plusieurs petits habitats qui ont ensemble la même taille (Mahy, 2014). Le graphique 7 illustre cela pour l'exemple de l'abondance spécifique d'oiseaux dans des îlots de forêt. On voit que trois îlots de 3 ha hébergent

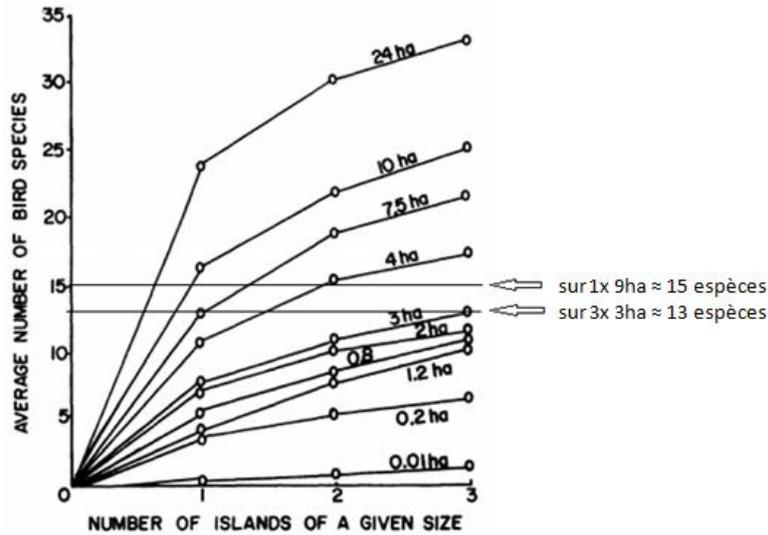
¹¹ Une situation qui est peu probable car des forêts matures ont généralement une grande valeur écologique et ne sont donc pas propices pour l'installation éolienne.

¹² Ce chiffre est très bas car une grande partie de l'électricité belge est produite par les centres nucléaires qui produisent des déchets nucléaires au lieu d'émettre du CO₂

¹³ Sur base d'un kilométrage moyen (15.000 km/an) et du taux d'émission moyen du parc automobile belge en 2005, soit 152,5 g CO₂/km

¹⁴ Une nouvelle technique qui est déjà utilisée dans un projet pilote en Allemagne utilise des tours en bois pour les éoliennes (Lubbadeh, 2012). Si le bois vient des sources locales durablement gérées (ce qui est le cas pour le projet pilote) on peut donc même stocker plus de carbone dans les éoliennes même qu'il y avait stocké dans la forêt qui a dû être déboisée pour accueillir les éoliennes.

ensemble moins d'espèces qu'un îlot de 9 ha. En conséquence il est plus pertinent de conserver de grands îlots plutôt que de nombreux petits îlots, afin de maintenir un maximum de diversité spécifique (Mahy, 2014).



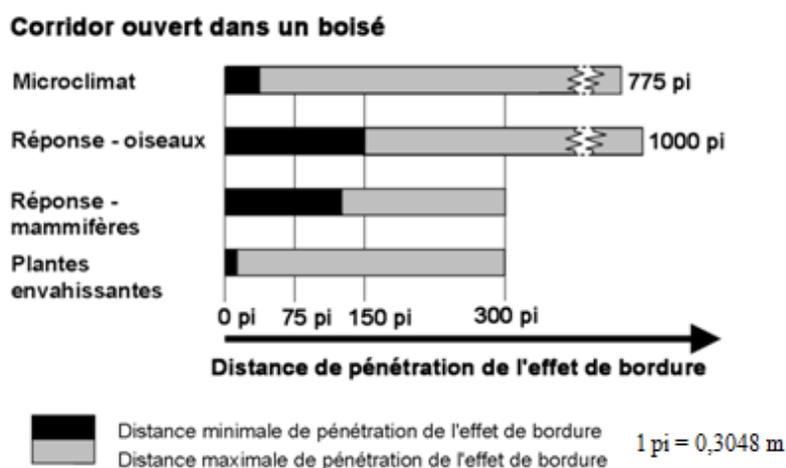
Graphique 7 : Abondance spécifique en fonction du morcellement de l'habitat

Source : Adapté après Forman et al. 1967, p.5

Les éoliennes en forêt amènent un changement de l'occupation du sol autour du mât, mais le changement est assez localisé et non linéaire. En conséquence il est probable que l'implantation des éoliennes en forêt n'entraîne pas une fragmentation d'habitat pour la grande majorité des espèces qui vivent sur le sol. Néanmoins la construction des chemins d'accès peut induire une fragmentation d'habitat pour quelques espèces terrestres. De plus la problématique de la fragmentation doit être considérée pour les espèces volantes, notamment pour les espèces qui ont un fort comportement d'évitement des éoliennes, car pour elles, leurs habitats peuvent être découpés (Richarz 2014).

On peut constater que lorsqu'une trouée provoquée par l'installation d'une éolienne dépasse un diamètre de deux fois la hauteur des arbres ce n'est plus l'ambiance de la forêt qui domine. Il y a dans ce cas un autre microclimat avec un autre peuplement qui s'installe (Fichet et al., 2011). Cela s'explique principalement par une augmentation de l'ensoleillement et en conséquence une augmentation de la température et une diminution de l'humidité (Bunyan et al. 2012, p.869). Une conséquence possible du changement de microclimat est par exemple un accroissement du stress hydrique des plantes. Mais le microclimat n'est pas seulement dérangé sur la trouée elle-même. Le changement du microclimat sur la trouée se répercute sur la forêt autour, en changeant le microclimat et l'abondance des espèces végéta-

les et animales. On appelle cela l'effet lisière ou effet de bordure. Le graphique 8 montre les distances sur lesquelles l'effet de bordure peut altérer les conditions dans une forêt suite à l'ouverture d'un corridor¹⁵.



Graphique 8 : Distance de pénétration de l'effet de bordure

Source : Bentrup 2008, p.60

En conséquence, la perte d'habitat avec des caractéristiques typiquement forestières va au-delà de la surface déboisée. En fonction de la sensibilité des espèces, le déboisement peut découler en une perte d'habitat plus ou moins conséquente (NRC 2007, p.73). Même si les lisières sont des habitats importants pour une série d'espèces, la plupart des auteurs semblent d'accord sur le fait qu'il faut éviter la création de nouvelles lisières pour ne pas diminuer la surface de l'habitat l'initial (Bunyan et al. 2012; Alignier & Deconchat 2013, p.602; Mahy 2014). Pour réduire l'effet lisière il faut maintenir les trouées aussi petites que possible et aménager les lisières pour créer un dégradé de végétation au lieu d'une jonction abrupte. Néanmoins il est difficile de complètement éviter cet effet.

3.1.4 Impacts indirects

En plus des effets directs plus ou moins visibles qu'on a analysés jusqu'à maintenant il y a une série d'impacts indirects qui découlent de la déforestation suite à l'installation des éoliennes. Premièrement, il est possible que les arbres se trouvant en bordure de la trouée soudainement créée ne soient pas assez adaptés au changement de force du vent. Ceci entraîne des chablis et augment ainsi l'impact initial. Si la possibilité de chablis est considérée, il est assez facile de prévoir les risques de chablis en analysant la topographie et les peuplements (notamment la relation sol-plante) afin d'éviter de provoquer des bordures de forêt

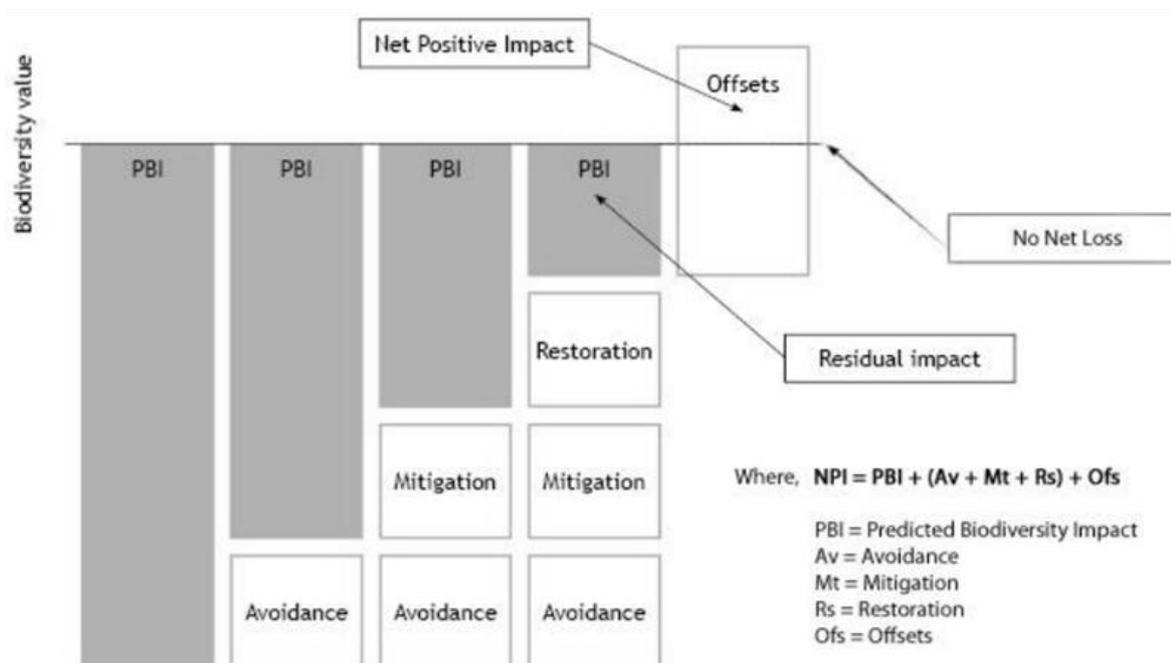
¹⁵ Un corridor n'est bien entendu pas tout à fait comparable avec une trouée suite à l'implantation d'une éolienne. Ensemble avec les chemins d'accès on peut néanmoins déduire un fonctionnement comparable.

trop faibles et *in fine* des chablis (CSD 2013, p.162). Un deuxième effet plus important peut être observé suite à la mise en place ou l'amélioration des chemins d'accès. Il s'agit du fait que l'emplacement est souvent plus fréquenté par les riverains et d'autres gens qu'il ne l'était auparavant, soit parce que les éoliennes attirent des gens curieux, soit parce que les gens profitent de l'infrastructure améliorée pour se promener dans la forêt autour (Richarz 2014, p.56). Contrairement aux chemins forestiers les chemins d'accès rendent en effet possible d'accéder en voiture à des endroits en plein milieu de la forêt ce qui augmente le nombre de voitures et le nombre de promeneurs dans des zones auparavant reculées. La maintenance et des réparations éventuelles des éoliennes nécessite également une fréquentation des lieux. Ce trafic comprend un potentiel de dérangement de la faune. L'ampleur des impacts dépend évidemment de l'importance des fréquentations mais également de la sensibilité des espèces considérées. S'il est probable que l'effet soit négligeable pour une bonne partie des emplacements, il est important de le prendre en compte notamment, si des espèces sensibles aux dérangements (comme la cigogne noire) sont présentes ou si une fréquentation importante se laisse présager (par exemple à proximité d'une grande ville). L'effet peut être réduit en interdisant l'accès et en rendant les chemins moins attractifs (pas d'installation de bancs etc.) (Boldt & Hummel 2013, p.23).

En plus de ces effets qui peuvent amplifier l'impact de la déforestation et de l'installation des chemins, il y a bien entendu toute une série d'impacts sur la faune (comme notamment la perte d'habitat et le dérangement) qui sont entraînés par le déboisement. Ces impacts vont être traités plus en détail dans les chapitres suivants quand nous analyserons l'impact sur les différentes espèces.

3.1.5 Moyens de diminuer les impacts

De manière générale, la diminution des impacts devrait suivre la hiérarchie de la mitigation (mitigation hierarchy) qui est surtout connue et appliquée dans le cadre de la préservation de la biodiversité (cf. Flora & Fauna International, s.d.).



Graphique 9 : L'hierarchie de la mitigation
 Source : Flora & Fauna International

Comme illustré par le graphique 9, la hiérarchie de la mitigation conseil en premier lieu d'éviter de créer des impacts négatifs (Avoidance). Ceci est souvent lié au choix du site (Flora & Fauna International, s.d.). Ici, dans le cas de l'impact sur la flore et pour éviter de déboiser des espaces forestiers la méthode la plus simple est de ne pas installer d'éoliennes en forêt. Là où il est impossible d'éviter de créer des impacts, par exemple parce qu'il n'y a pas d'autres emplacements pour les éoliennes, il faut tenter de minimiser les impacts (Mitigation) qui ne peuvent pas être évités (Flora & Fauna International, s.d.). Il y a plusieurs techniques qui ont été développées pour minimiser le déboisement nécessaire à l'installation en forêt. Il y a notamment la grue à tour qui est livrée pièce par pièce pour être montée simultanément avec l'éolienne au lieu d'arriver avec des convois exceptionnels, ce qui réduit les exigences par rapport aux chemins d'accès et diminue la surface de l'aire de grutage de la moitié (Frech, 2012). L'installation "pale par pale" au lieu de l'installation du rotor entier est également pratiquée depuis 10 ans pour des projets en forêts ce qui permet de supprimer le prémontage par terre qui lui nécessite une surface déboisée supplémentaire (Uphoff et al. 2008, p.12). Enfin, on a développé de nouveaux transporteurs de pales capables de lever dans les virages la pale au-dessus des arbres ce qui réduit le déboisement nécessaire dans les courbes (Rehwald 2011, p.17).

Le troisième niveau de la hiérarchie de la mitigation est la restauration (Restauration). Ainsi seulement là où il est impossible d'éviter ou de minimiser les impacts, il convient de restau-

rer les sites après une dégradation temporaire (Flora & Fauna International, s.d.). Dans notre cas on peut par exemple reboiser des zones qui ont été initialement déboisées pour permettre la construction de l'éolienne mais qui ne sont plus utilisées par la suite. Il faut garder en tête qu'une restauration implique toujours un laps de temps entre le dommage et le moment où la restauration atteint l'état initial. Un reboisement par exemple ne va pas tout de suite compenser l'abattage d'arbres à cavités mais seulement quelques décennies plus tard.

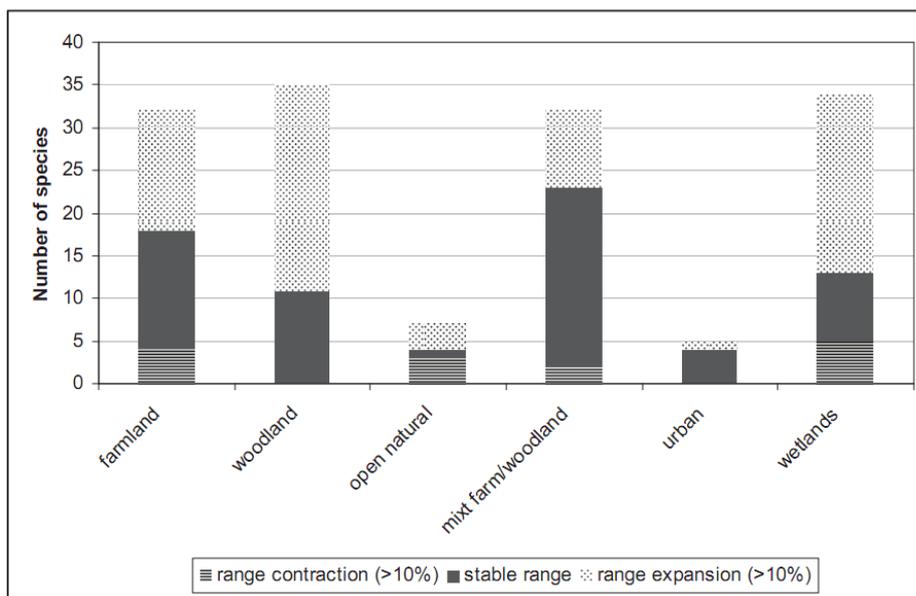
Le dernier moyen est la compensation (Offset). Pour compenser l'impact résiduel (Residual impact) on peut améliorer la situation à un autre endroit. Pour compenser le déboisement qui ne peut pas être restauré sur le site on peut par exemple reboiser une autre surface. Si possible la compensation devrait être géographiquement proche du site impacté et réellement permettre de compenser les dommages. Ceci n'est pas toujours évident. Comme pour la restauration, il y a un laps temporel avant que la compensation soit efficace. De plus, il n'est pas facile d'assurer que la mesure de compensation bénéficie aux mêmes populations. Aussi, pour éviter de tels effets, il est souhaitable de compenser plus que l'impact résiduel afin de ne pas seulement atteindre une situation sans perte (No Net Loss) mais de créer un impact positif (Net Positive Impact). Ainsi, une partie des recettes tirées de l'exploitation d'une éolienne installée en forêt pourraient servir notamment à améliorer la situation d'animaux initialement impactés par l'éolienne en améliorant la qualité écologique de l'habitat. Concernant la Wallonie, les terres agricoles sont assez rares et précieusement gardées, ainsi il est souvent suggéré d'améliorer la qualité écologique d'une forêt existante au lieu de planter une nouvelle sur des terres agricoles (cf. CSD 2013, p.163). La hiérarchie de mitigation sera également appliquée dans les chapitres suivants pour envisager les moyens de lutte contre les impacts.

3.1.6 Conclusions

Notamment grâce aux mesures de minimisation, la surface devant être déboisée pour l'implantation d'éoliennes reste assez réduite. Des inquiétudes concernant la perte de puits de carbone s'avèrent également nullement justifiées. Si on ne se trouve pas dans une forêt particulièrement riche ce n'est donc pas la perte de forêt en soi mais plutôt la modification des caractéristiques du milieu forestier qui pourrait représenter des problèmes pour l'habitat forestier et les espèces qui y vivent. Ceci est notamment le cas parce que des effets de fragmentation et de lisière peuvent accentuer l'impact direct du déboisement.

3.2 L'avifaune

Les forêts sont généralement vues comme zone particulièrement importante pour la faune sauvage, y compris les oiseaux. Il est vrai que beaucoup d'espèces dépendent des forêts comme habitat principal ou pour leur nidification, mais c'est également vrai pour les espaces agricoles. Comme le montre le graphique 10, la situation des espèces de forêt est globalement mieux que la situation des espèces agricoles. Sans vouloir diminuer l'importance de la sauvegarde des forêts ceci montre que l'installation des éoliennes en espace agricole n'est pas automatiquement moins problématique pour l'avifaune que l'installation en forêt. Pour les espèces complètement ou partiellement forestières il faut néanmoins évaluer les impacts potentiels et le danger qui en découle pour les populations.



Graphique 10 : Nombre d'espèces d'oiseaux en Wallonie avec développement négatif, stable ou positif selon leurs habitats

Source : Paquet & Jacob 2011

Il faut analyser deux problèmes pour estimer l'impact sur les espèces d'oiseaux. Premièrement il faut analyser le risque de mortalité par collision avec les pales et deuxièmement il faut analyser à quel point l'installation des éoliennes peut dégrader l'habitat des espèces, notamment due à l'effet d'effarouchement. Pour remettre le problème de collision dans un contexte, on cite souvent une étude d'Erickson et al. (2005) qui estime qu'aux États-Unis seulement 0.01 pour cent des décès ayant une cause anthropogène sont le fait des éoliennes, ce qui correspond à environ 2 oiseaux par an et éolienne. Par comparaison, les chats sont pour leur part responsables de 3.500 fois plus et les bâtiments de 20.000 fois plus d'oiseaux tués que les éoliennes (Erickson et al. 2005). Des études en Europe ont des résultats comparables, ainsi Rydell et al. (2012, p.4) estiment que la mortalité en Europe est de 2,3 oiseaux

par an et éolienne. L'ampleur des dégâts causés par les éoliennes sur les oiseaux serait ainsi à relativiser. On constate néanmoins une grande variation de mortalité en fonction des sites. En effet, celle-ci peut varier de très peu jusqu'à une trentaine de cas de décès par an et éolienne (Roux et al.2004 p.15, Hötcker et al. 2005 p.35) et on parle, dans des cas extrêmes, de jusqu'à 500 collisions par éolienne et an (Bergen et al. 2002). Il ne suffit donc pas de montrer des moyennes de mortalité faible pour démontrer que les éoliennes en général ne représentent qu'un danger limité. De plus de tels chiffres sur la mortalité par éolienne ou qui comparent les différentes causes de mortalité n'ont pas beaucoup de valeur pour décrire l'impact sur l'avifaune. Il est en effet peu pertinent de parler en nombre total de décès et ainsi mélanger les différentes espèces. Il convient en effet de regarder les différentes espèces et analyser leurs sensibilités par rapport aux éoliennes, c'est-à-dire combien de décès causés par les éoliennes peut-on observer et surtout, à quel point cela menace-t-il telle ou telle population. En plus il faut également tenir compte d'autres effets qui pourraient nuire aux oiseaux sans nécessairement les tuer directement, tels que la perte d'habitat due à un évitement des zones éoliennes et l'effet de barrière pour les oiseaux migrateurs avec des comportements d'évitement (Roux et al.2004 p.14). Il est ainsi nécessaire d'exclure une mise à mal de la population d'une espèce dans son ensemble.

Dans la suite de ce chapitre nous allons regarder de plus près quels risques les éoliennes en forêt peuvent représenter pour les différentes espèces en ce qui concerne le risque de mortalité par collision et en ce qui concerne l'effarouchement et la perte d'habitat. Afin de mieux comprendre ces deux enjeux nous allons commencer par deux espèces emblématiques, le milan royal pour le risque de collision et la cigogne noire pour l'effarouchement, pour faire ensuite un tour d'horizon plus superficiel des autres espèces.

3.2.1 Risque de collision, un cas emblématique: le milan royal (*Milvus milvus*)

Le Milan royal (*Milvus milvus*) est probablement l'oiseau qui symbolise le plus le conflit entre éoliennes et l'avifaune en Europe. Ainsi le cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en région wallonne, toute comme la plupart des travaux européens dans le domaine soulève le milan royal comme espèce particulièrement vulnérable (Gouvernement wallon 2013, p.27). Ceci a deux raisons majeures. La première, est que le statut de conservation de l'espèce est globalement défavorable (Lucéole 2012, p.15) et que l'aire de répartition de l'espèce est assez petite et se réduit sur l'Europe de l'ouest. Ainsi la responsabilité pour cette espèce repose sur peu de pays. La Belgique n'est pas un des pays clé. On estime la population mondiale à 18.000-25.000 couples (LPO 2009, p.13) dont seulement 150-180 couples

habitent en Wallonie (Paquet & Jacob 2011, p.27; Lucéole 2012, p.16), tous dans le sud-est des Ardennes, en Lorraine et du sud des Hautes-Fagnes jusqu'en vallée de la Semois (Lucéole, 2012, p.16). La densité de la population dans cette région est en revanche parmi les plus élevées qui existe (Lucéole 2012, p.16) ce qui fait que la Wallonie a également une responsabilité accrue envers cette espèce. La deuxième raison pour laquelle le milan royal est devenu quasiment un symbole pour les problèmes des éoliennes vis-à-vis de l'avifaune, est le fait qu'il compte parmi les victimes les plus courantes de collisions directes avec les pales d'éoliennes (Richarz 2014, p.43). Ainsi des études montrent que dans quelques régions comme notamment en Brandebourg en Allemagne les éoliennes figurent parmi les causes principales de mortalité (Langgemach et al. 2010, p.87). Une mortalité élevée causée par des activités humaines est autant plus dangereuse pour le milan et pour d'autres rapaces car le taux de reproduction de ces espèces est en général plutôt faible. Ils ont donc plus de mal que beaucoup d'autres espèces à compenser les pertes et à maintenir une population stable. On estime qu'une mortalité due à des causes anthropogènes de 4% de la population par an est critique pour la pérennité de la population (Bellebaum et al. 2013). Ce ne sont néanmoins pas les éoliennes seules qui sont un danger pour les populations des milans, l'empoisonnement volontaire étant la première cause de mortalité en Europe (Lucéole 2012, p.15). Si ceci montre que les éoliennes ne sont généralement pas la cause de la situation défavorable dans laquelle se trouvent les populations, il faut néanmoins être vigilant pour que les éoliennes ne le deviennent pas et que l'accumulation des impacts ne menace pas la survie des populations.

Notons que la problématique qui lie les éoliennes et les milans n'est pas spécifique pour les éoliennes en forêt. Le milan royal n'est en effet pas principalement un oiseau de forêt. Il niche dans des grands arbres plutôt en bordure de forêt ou dans des bosquets mais il se nourrit quasi exclusivement dans des milieux ouverts, surtout agricoles et très rarement en forêt (LPO 2009, p.87). Il y chasse des petits rongeurs, des oiseaux et des invertébrés mais sa nourriture principale sont des charognes (Lucéole 2012, p.15). Ainsi, la plupart des collisions ont lieu en terrain ouvert durant la chasse (Richarz 2014, p.49). Le milan royal est un oiseau migrateur, la plupart des individus passent l'hiver au sud de l'Espagne ou au Portugal. Il est frappant qu'on constate beaucoup de collisions en été durant la nidification alors que l'on en recense pas durant l'hiver en Espagne (Hötker et al. 2005, p. 38). Ceci pourrait être lié aux parades nuptiales et aux vols thermiques que le milan entreprend surtout au printemps et en été et qui se font souvent à hauteur des pales. Le milan ne montre en effet pas de comportement d'évitement par rapport aux éoliennes pendant ces temps (Richarz

2014, p. 43). Les pertes accrues durant la période de nidification sont autant plus graves parce qu'elles entraînent en général la perte des oisillons, en effet les deux parents sont nécessaires pour s'occuper des jeunes, surtout directement après l'éclosion (Bright et al. 2009, p.69). Il y a même des études qui suggèrent que le succès de reproduction est plus faible pour des jeunes couples que pour des couples plus anciens. Ainsi des couples reconstitués après la perte d'un des partenaires sont éventuellement moins performants ce qui réduirait l'accroissement d'une population locale sur quelques années (Richarz 2014, p. 43). Ceci appuie l'importance des territoires autour des lieux de nidification qui sont généralement au moins partiellement occupés par des zones forestières. Notons toutefois que les populations de Milan Royal belges montrent une certaine préférence pour des zones bâties (LPO 2009, p.84) ce qui relativiserait l'importance des zones forestières pour le cas spécifique de la Wallonie.

Comme les terrains de chasse se trouvent autour du nid les milans passent la majorité de leur temps en proximité du lieu de nidification. Richarz (2014, p. 43) estime que 2/3 des activités des milans ont lieu à moins de 1500 mètres du nid (voit aussi Bright et al. 2009, p.70). Il propose en conséquence d'exclure une zone de 1500 m autour des nids pour l'installation d'éoliennes (Richarz 2014, p. 43), Peeters & Robert (2012, p.36) proposent pour leur part 1000 mètres. Comme le milan niche principalement en bordure de forêt une telle zone exclurait toujours aussi des zones forestières pour l'implantation d'éoliennes. Vu sous cet angle il semble en revanche peu pertinent d'interdire des éoliennes en pleine forêt mais de les permettre en bordure de forêt comme le fait la législation wallonne.

Un autre problème concerne le milan ainsi que la plupart des autres rapaces. Les zones autour des éoliennes peuvent être particulièrement attractives pour les rapaces en ce qui concerne l'offre de nourriture et ainsi attirer les oiseaux dans la zone à danger. Ceci est particulièrement le cas dans des zones forestières à faible biodiversité. La nécessité de déboiser une zone autour des éoliennes provoque souvent une amélioration de la biodiversité dans cette zone. Des petits rongeurs profitent souvent de l'ouverture du milieu ce qui attire leurs prédateurs, surtout parce que les rapaces des milieux ouverts comme le milan trouvent tout à coup des milieux ouverts en forêt (DG Énergie et Climat 2010, p.1). Les corps d'autres oiseaux tués par les éoliennes pourraient également attirer des charognards. Si le problème de l'attraction est important dans les forêts il ne se limite pas aux zones forestières. Des études montrent que l'installation des éoliennes en milieu agricole peut également améliorer la diversité des habitats au profit des oiseaux chanteurs cette fois-ci (Hötter 2006, p.8). Ce

qui est une bonne chose en soi peut à nouveau devenir un piège pour les rapaces tels que le milan qui chassent ces oiseaux. On se trouve donc face à un problème qui est accru pour les emplacements en forêt sans se limiter à ceux-ci.

On peut résumer que le milan royal est certainement un des oiseaux potentiellement le plus touchés par les éoliennes. Il semble par contre que des éoliennes en forêt ne soient pas plus problématiques que d'autres éoliennes si on évitait la proximité immédiate des nids.

3.2.2 L'effarouchement, un cas emblématique: la cigogne noire (*Ciconia nigra*)

En Wallonie la cigogne noire niche dans les Fagnes, en Famenne et dans les Ardennes (Simar et al.2012, p.110). Comme pour le milan royal l'ensemble cigogne noire et éolienne comporte de grands enjeux. L'oiseau est en effet représenté par peu d'individus en Wallonie et classé comme vulnérable selon la liste rouge du IUCN (Paquet & Jacob 2011, p.26). La cigogne noire est néanmoins un tout autre cas que le milan royal, c'est un oiseau de forêt par excellence et contrairement au milan il n'y a que très peu de cas connus de collisions directes avec des éoliennes. En effet pour l'ensemble de l'Europe seulement 5 collisions sont enregistrées (Dürr, 2014a). On estime par contre que les cigognes noires ont un comportement d'évitement très développé car elles sont très sensibles à toutes perturbations humaines (Simar et al.2012, p.27), ainsi la phase de construction des éoliennes paraît particulièrement troublante. En conséquence de l'évitement des zones proches des éoliennes, l'installation des éoliennes en forêt entraîne potentiellement des pertes d'habitats. Ceci peut concerner l'abandon du lieu de nidification ou la perte de terrains de chasse. Autour du lieu de nidification la cigogne noire est particulièrement sensible aux dérangements. La cigogne noire niche typiquement dans des vieux arbres souvent des chênes, elle réutilise de préférence la même place de nidification pendant plusieurs années. On peut donc s'attendre à ce que les mesures qui tranquillisent la zone autour du nid, comme par exemple l'établissement d'un îlot de réserve intégrale comme le suggère de manière générale le Département de la Nature et des Forêts (Branquart et al. 2010, p.64), aient comme conséquences de diminuer les changements du lieu de nidification ce qui augmente les chances de succès de reproduction. Ainsi, des mesures de protection permettent en même temps d'augmenter la sécurité de planification pour des éoliennes car le risque qu'une éolienne prévue se trouve tout à coup à proximité d'un nouveau nid diminue (Richarz et al.2012, p.25). En ce qui concerne les terrains de chasse les cigognes noires ont besoin des vastes territoires forestiers de bonne qualité écologique avec des terrains humides, des petits cours d'eau et des prairies extensives (Hume et al.2011, p.54). La cigogne noire a donc besoin de grands territoires et elle vole en

conséquence de longs trajets entre lieu de nidification et les différents terrains de chasse (Richarz et al.2012, p.87), ce qui l'expose potentiellement aux éoliennes. Cependant, dans la plupart du temps les cigognes volent directement au-dessus des arbres ce qui limite les situations potentiellement dangereuses (Handke 2006, p.15). Aussi le risque de collision pendant la migration semble négligeable par rapport à l'effet d'effarouchement durant la nidification. En outre, il apparaît que les cigognes prennent en général le chemin le plus direct entre les différents habitats de chasse et leur nid, il y a ainsi un nombre limité de corridors dans lesquelles les oiseaux se déplacent avec préférence (Handke 2006, p.14). Il est donc possible d'identifier ces corridors pour des cas concrets afin d'éviter des conflits avec des éoliennes à venir. Dans la plupart des cas, ces corridors se trouvent dans un rayon de 3000 mètres autour du nid (Handke 2006, p.6). En conséquence plusieurs auteurs proposent un rayon de 3000 mètres autour du nid comme zone d'exclusion pour l'implantation d'éoliennes afin de minimiser l'effet d'effarouchement dans des sites importants pour la cigogne (Richarz et al.2012, p.88; LAG-VSW 2007), Peeters & Robert proposent 1000 mètres pour la Wallonie (Peeters & Robert 2012, p.36).

S'il est certain que la cigogne noire est très sensible à des perturbations ce qui pourrait mener à une réduction de ses habitats suite à l'installation d'éolien, il semble qu'elle s'habitue avec le temps à la présence des éoliennes (Brielmann et al. 2005) ce qui déminerait l'importance de l'effet d'effarouchement. En outre, si on restreint l'installation des éoliennes en milieu forestier à des forêts résineux à faible valeur écologique comme le fait la législation actuelle en Wallonie, la cigogne noire ne risque pas de présenter un enjeu majeur car elle utilise presque uniquement des forêts feuillus (Kervyn & Bizoux 2015). Dans l'ensemble, il apparaît donc que les cigognes noires méritent une attention particulière, mais qu'une coexistence avec des éoliennes en forêt est potentiellement possible. Pour cela il semble nécessaire d'éviter tout dérangement à proximité du nid et de garder libres les chemins les plus empruntés entre nid et habitats de chasse.

3.2.3 Les rapaces

Le cas de la plupart des rapaces ressemble à celle du milan royal. À cause de leurs comportements pendant la chasse ils sont surtout impactés suite à une mortalité plus ou moins élevée causée par les éoliennes. Ce risque de collision et leur reproduction lente font que beaucoup d'espèces de rapaces doivent être classées comme sensibles vis-à-vis des éoliennes. Une exception sont des rapaces qui volent toujours bas comme l'épervier d'Europe (*Accipiter nisus*) ou l'autour des palombes (*Accipiter gentilis*) (Hötker et al. 2013, p.282).

On remarque que ces deux espèces sont justement typiques pour la forêt c'est-à-dire qu'elles y nichent, chassent et y passent la plupart de leur temps. Il semble donc que les éoliennes en plein champ soient plus dangereuses pour les rapaces qui y chassent que les éoliennes en forêt pour les rapaces qui chassent en forêt.

LE MILAN NOIR (*MILVUS MIGRANS*)

Le milan noir (*Milvus migrans*) ressemble à son cousin sauf qu'il est plus attaché à l'eau ce qui réduit quelque part sa sensibilité aux éoliennes car il est rare qu'elles soient installées à proximité de fleuves ou de lacs naturels. En plus, contrairement au milan royal, le milan noir est peu abondant en Wallonie (Paquet & Jacob 2011, p.27) mais globalement rependu et assez courant ce qui réduit l'enjeu.

LA BUSE VARIABLE (*BUTEO BUTEO*), LE FAUCON CRECERELLE (*FALCO TINNUNCULUS*) & LA BONDREE APIVORE (*PERNIS APIVORUS*)

En ce qui concerne la Wallonie, il faut également mentionner la buse variable (*Buteo buteo*) et le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*). On sait de par les expériences faites en Allemagne et en Espagne qu'ils sont parmi les victimes les plus courantes (Dürr 2014a). La bondrée apivore (*Pernis apivorus*) est également susceptible de rentrer en collision avec des éoliennes (Peeters & Robert 2012, p.54) même s'il n'y a de loin pas autant de cas connu que pour les deux autres espèces (cf. Dürr 2014a). La bondrée apivore niche en général en forêt, des éoliennes qui s'y trouvent pourraient donc être plus dommageables. En ce qui concerne la buse variable et le faucon crécerelle, les éoliennes en forêt ne semblent par contre pas particulièrement problématiques. Les populations des trois espèces en Wallonie sont néanmoins stables (Paquet & Jacob 2010) et ne risquent donc pas d'être menacées par les éoliennes. Vu le risque accru de collision qui se présente pour ces espèces il convient néanmoins d'éviter l'installation dans des habitats particulièrement importants.

LE HIBOU GRAND-DUC (*BUBO BUBO*) ET LE FAUCON PELERIN (*FALCO PEREGRINUS*)

Enfin, le hibou grand-duc (*Bubo bubo*) et le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) sont tous les deux susceptibles de rentrer en collision avec des éoliennes (Peeters & Robert 2012, p.54) et ils sont très rares ce qui fait que chaque perte représente un coup pour les populations. Ainsi il y a deux cas connus en Wallonie où des faucons pèlerins sont mort après une collision avec des éoliennes ce qui représente une perte non négligeable par rapport à une population estimée de 7-25 pairs (Paquet & Jacob 2011, p.27). Les deux espèces ne sont pas particulièrement liées aux forêts, les grands territoires du hibou comportent néanmoins souvent aussi des forêts (DEMNA et al., 2001). Les enjeux liés à l'implantation des éoliennes

en forêt sont donc à étudier au cas par cas, une exclusion des forêts ne semble pas apporter un avantage pour ces espèces.

3.2.4 Oiseaux chanteurs

Pour la grande majorité des oiseaux chanteurs des éoliennes ne représentent pas de danger au niveau des populations. Même s'il y a des espèces pour lesquelles on a trouvé un nombre relativement élevé de victimes de collision (cf. Dürr 2014a), les pertes sont généralement minimales par rapport aux populations et peuvent sans problème être compensées. De plus, les espèces avec le plus de victimes par rapport à la taille de la population sont des espèces de milieu ouvert et non des oiseaux de forêt (Richarz 2014, p.49). Quelques oiseaux chanteurs comme le bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus*), la phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobaenus*) et le tarier pâtre (*Saxicola rubicola*) montrent même une augmentation significative de leur population suite à l'installation des éoliennes (Hötker 2006, p.8). Ceci est probablement lié à une diversification du milieu suite à l'installation des éoliennes (Hötker 2006, p.8). Si des éoliennes sont placées dans des milieux peu divers comme des monocultures d'épicéas on peut donc s'attendre à des effets neutres voire positifs pour la plupart des oiseaux. Guillitte (2015) aboutit à la même conclusion après avoir analysé l'avifaune avant et après l'installation du parc éolien de bièvre où il a pu constater une augmentation de l'abondance spécifique suite à l'installation du parc qui se trouve en partie dans une forêt d'épicéas.

3.2.5 Autres oiseaux forestiers

Une étude allemande montre que la bécasse des bois (*Scolopax rusticola*) pourrait être dérangé par des éoliennes pendant la parade durant laquelle elle émet des signaux acoustiques pour attirer des partenaires. Les signaux émis ont en effet des composantes à basse fréquence qui pourraient se superposer avec le bruit provoqué par les éoliennes (Richarz 2014, p.45). L'importance d'un dérangement éventuel de la bécasse est néanmoins à relativiser puisque la bécasse est une espèce non menacée en Wallonie (Paquet et Jacob 2010, p.89) et figure même parmi les oiseaux mentionnées dans l'annexe 2 de la directive CEE/79/409 comme pouvant être chassée.

Les pics comme par exemple le pic noir (*Dryocopus martius*), le pic épeiche (*Dendrocopos major*) ou le Pic épeichette (*Dendrocopos minor*) habitent principalement en forêt où ils jouent un rôle particulièrement important comme constructeurs de niches. Des premiers suivis montrent qu'ils ne se laissent pas déranger par des éoliennes en forêt et comme ils

quittent très rarement la canopée on peut escompter qu'il y ait très peu de collisions (Richarz 2014, p.14; cf. Dürr 2014a).

L'héron cendré (*Ardea cinerea*) est relativement souvent victime de collision avec des éoliennes (7 cas documentés en Belgique selon Dürr 2014a) et niche souvent en forêt. Il n'est par contre pas menacé, ni en Wallonie ni globalement (Paquet et Jacob 2010, p.89). Des individus isolés ne devraient donc pas représenter une raison suffisante pour rejeter un projet d'installation d'éolienne en forêt. On rencontre en revanche parfois des héronnières avec des dizaines de couples. De tels lieux de nidification doivent alors être pris en compte et peuvent justifier le déplacement ou la non-réalisation d'un projet d'éoliennes. On ne peut en revanche pas en déduire un problème général pour l'implantation d'éoliennes en forêt.

La gélinotte des bois (*Tetrastes bonasia*) est une espèce en danger critique en Wallonie (Paquet et Jacob 2010, p.88) qui semble être sensible aux éoliennes. Ainsi des populations en Autriche auraient diminué après l'installation des éoliennes à proximité (Richarz 2014, p.45). Dû au fait que leur habitat en Wallonie est assez limité étant composé de taillis sous futaie, surtout de noisetiers sous une futaie claire de chêne (DEMNA et al., 2001) il semble néanmoins facile d'éviter des conflits en Wallonie. Surtout parce que de tels habitats rares devraient de toute façon être exclus pour des éoliennes pour maintes raisons écologiques.

D'autres espèces forestières rares comme la chouette de tengmalm (*Aegolius funereus*), l'engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus*) ou le Torcol fourmilier (*Jynx torquilla*) ne sont pas susceptibles d'être très sensibles aux éoliennes. Due à leur rareté ils représentent quand même un enjeu local important qui doit être pris en compte (Simar et al.2012, p.27).

3.2.6 Enjeux des migrations

Beaucoup d'oiseaux comme par exemple les faucons pèlerins nichent en Wallonie mais migrent vers le sud en hiver (DEMNA et al., 2001). Les forêts servent essentiellement comme repères pour les oiseaux en migration (Natagora 2010, p.2). Durant ces voyages périodiques au printemps et en automne, les oiseaux risquent d'entrer en collision avec des éoliennes si celles-ci se trouvent dans les corridors de migration. Le taux de mortalité des différentes espèces dépend fortement des réactions des oiseaux face aux éoliennes. Des études comme celle d'Albouy et al. (2002) suggèrent que les oiseaux migrateurs prennent compte des éoliennes comme obstacle. Ainsi la majorité des oiseaux observés évite les éoliennes (Albouy et al. 2002 p.32). Tous les individus ne détournent néanmoins pas le dan-

ger. On observe ainsi des oiseaux qui ne montrent pas de réaction face aux éoliennes ou qui montrent une réaction mais traversent quand même à hauteur des pales en se mettant dans une situation à risque. En général on peut dire que les grands planeurs (Anserinae, grands rapaces, cigognes...) montrent plus souvent des réactions d'évitement face aux éoliennes que les passereaux qui passent souvent entre les éoliennes (Albouy et al. 2002 p.33). Malgré cela, les planeurs semblent très sensibles aux éoliennes car leur taille augmente le risque d'être touché par les pales. Par les réactions d'évitement les oiseaux évitent le danger de collision, mais ils se voient contraints de faire des détours et ainsi dépenser plus d'énergie (Albouy et al. 2002 p.7). Le degré de conséquences négatives de cet effet de barrière sur le déroulement de la migration n'est pas connu (Hötker et al. 2005 p.5). Quoi qu'il en soit il semble en tout cas judicieux d'éviter les couloirs de migration pour l'installation des éoliennes. Il est néanmoins difficile de délimiter clairement l'emplacement de ces couloirs qui traversent souvent la Wallonie de manière diffuse d'autant plus qu'ils varient d'espèce à espèce (Peeters & Robert 2012, p.36). Natagora propose toutefois une cartographie des zones sensibles qui inclut des couloirs de migration importants (cf. annexe X). Il n'y a sur cette carte aucune dominance des espaces forestiers qui pourrait justifier une exclusion générale des forêts. Au contraire, les aires de repos qui accueillent souvent des milliers d'oiseaux en migration se trouvent toujours en milieu ouvert, jamais en forêt (Ratzbor et al. 2012, p.129). Il semble donc judicieux de travailler avec des cartes comme celle proposée par Natagora pour protéger les couloirs de migration. Une exclusion des forêts pour l'implantation d'éoliennes ne semble apporter aucun avantage pour les oiseaux en migration.

3.2.7 Moyens de diminuer les impacts négatifs

Il y a plusieurs possibilités de réduire les impacts des éoliennes sur l'avifaune. Le plus important est sans doute le choix de l'emplacement. Ainsi il paraît logique d'éviter les Zones de Protection Spéciales (ZPS) si les espèces visées sont sensibles aux éoliennes. Les routes de migration principales sont également à éviter, le problème dû aux délimitations floues des routes en Wallonie demeure néanmoins inchangé. En ce qui concerne les oiseaux qui nichent en forêt et les oiseaux particulièrement sensibles comme la cigogne noire, il est important de respecter une zone d'exclusion autour des nids pour diminuer le dérangement et le risque de collision. Une exclusion générale des forêts ne semble par contre pas justifiable. Il apparaît que la plupart des espèces sensibles aux éoliennes dépendent des forêts de feuillus en bon état écologique. Par précaution et pour garder la possibilité d'une progression des espèces il semble par conséquent judicieux de ne pas utiliser des telles forêts précieuses pour l'installation d'éoliennes (cf. Simar et al.2012, p.111). En outre, un regroupe-

ment des éoliennes diminue le risque de collision par rapport à une dispersion des éoliennes (Schaub 2012). Afin de diminuer l'effet barrière ce regroupement doit se faire en parallèle d'éventuels routes de migration (Albouy et al. 2002 p.53; MKULNV & LANUV 2013, p.25), ceci est illustré sur le graphique 11.



Graphique 11 : Effet barrière selon la configuration spatiale des éoliennes.

Source : André et al. 2006

Afin de diminuer le nombre de collisions pour les rapaces il faut tenter d'aménager les zones directement autour des éoliennes d'une manière qui n'attire pas de proies potentielles. Pour les forêts ça veut dire de garder l'espace déboisé aussi petit que possible pour ne pas créer des lisiers. L'espace où un déboisement est strictement nécessaire doit être rendu hostile pour les petits rongeurs et comparable. En peu plus loin du parc éolien on peut aménager des espaces de chasse afin d'attirer les rapaces loin des éoliennes (Simar et al.2012, p.98; MKULNV & LANUV 2013, p.26).

Si la majorité des collisions ont lieu au niveau des pales, on peut également observer des collisions avec les mâts. Ce type de collision a aussi été constaté en forêt. En effet, si la couleur du mât est claire (blanc, gris clair) les oiseaux pourraient le prendre pour un trou dans la végétation qui suggère une possibilité de vol dans la forêt (Richarz et al. 2012, p.24). Des suivis montrent qu'il n'y a pas de collision avec le mât si celui-ci est peint en dégradé de vert comme pour les éoliennes du fabricant Enercon (Dürr 2011, p.501; cf annexe II pour des photos des éoliennes peint en dégradé de vert). Aussi des pylônes à treillis sont à éviter car ils fournissent un affût pour les rapaces qui peut s'avérer comme piège mortel par la suite (Horch et al. 2012, p.17; cf. Hötter et al. 2013 pour un avis contraire). En ce qui concerne le raccordement au réseau électrique, une réalisation souterraine est absolument à privilégier, car des câbles en hauteur représentent un grand risque de collision, surtout pour des grands rapaces (MKULNV & LANUV 2013, p.26).

La phase de construction représente un fort potentiel de dérangement. Surtout s'il y a des espèces sensibles comme la cigogne noire ou les milans qui nichent dans les alentours (l'installation à proximité devrait de toute façon être évitée) du chantier ou des chemins d'accès on devrait éviter la construction pendant la période de nidification qui dure en général d'avril à fin juillet. Les travaux préalables de déboisement devraient également être faits en dehors de cette période (Peeters & Robert, 2012, p.10).

Outre les mesures préventives on peut arrêter des éoliennes dans des périodes à risque accru. Comme cela entraîne une perte de productivité cette solution devrait être utilisée en dernier recours et les périodes d'arrêt devraient se limiter aux périodes strictement nécessaires. Le problème majeur est de prédire les moments où un arrêt est nécessaire. En ce qui concerne les grands vols d'oiseaux migrateurs comme par exemple les grues cendrées (*Grus grus*) on peut suivre leurs déplacements depuis le début de la migration et estimer le moment de passage en Wallonie (cf. Richarz 2012, p.24). Pour les oiseaux nicheurs ou les oiseaux qui migrent moins groupés et sur des routes plus diffuses cela n'est pas possible. Pour ces cas il y a des systèmes comme DTBird (utilisation de caméras) ou des techniques de radar qui tentent de détecter automatiquement des oiseaux qui approchent d'une éolienne. Ensuite on peut essayer d'effaroucher l'oiseau avec des signaux acoustiques ou d'arrêter l'éolienne (May et al.2012). Des telles techniques sont déjà sur le marché mais des résultats fiables par rapport leurs efficacités sont encore rares et les problèmes nombreux (May et al.2012; Rydell et al. 2012, p.66)

On peut conclure que les mesures de mitigation, notamment le choix de l'emplacement, peuvent réduire considérablement les impacts négatifs. Les mesures de mitigation après l'installation sont par contre relativement limitées à l'heure actuelle, il y a certainement un besoin de recherche pour mobiliser des options pour le futur.

3.2.8 Conclusions

Dans l'ensemble il apparaît que le problème que des éoliennes en forêt représentent pour l'avifaune se focalise sur quelques espèces particulièrement sensibles comme le milan royal et la cigogne noire. Le choix du site d'implantation semble en conséquence très important notamment pour éviter la proximité des lieux de nidification de ces espèces. Les espèces purement forestières étant en grande partie peu sensible, il s'avère que ce sont surtout les lisières entre forêts et terrains ouverts ainsi que les couloirs de migration qui représentent des emplacements délicats. Ainsi, il paraît tout à fait possible d'installer des éoliennes dans

des forêts peu fréquentées par les espèces sensibles. Dans la plupart des cas il semble possible d'assumer que des forêts à faible valeur écologique (p. ex. monocultures d'épicéas) sont peu utilisées par ces espèces si elles ne se trouvent pas à côté ou entre des habitats plus diversifiés.

3.3 Les chiroptères

Dans ce chapitre nous allons analyser le risque que représente l'installation des éoliennes en forêt pour les chauves-souris. Nous allons regarder comment vivent les chiroptères et quelle est leur situation en Wallonie pour comprendre les enjeux, puis analyser les différents impacts des éoliennes en forêt et regarder quelles sont les espèces les plus touchées. Enfin, nous étudierons les moyens permettant de diminuer les impacts.

3.3.1 Mode de vie

Au printemps les chauves-souris quittent leur site d'hivernage pour migrer vers les terrains de chasse avant que les femelles se retrouvent au début de l'été dans des colonies de reproduction appelées maternités. Les maternités se trouvent souvent dans des bâtiments par exemple dans des clochers ou des étables mais selon l'espèce les maternités peuvent se trouver également dans des arbres à cavités. Ces colonies peuvent comprendre plusieurs milliers d'individus qui y mettent bas leurs petits (Arzt 2011). Les mâles restent isolés ou en petit groupe pendant ce temps, ils s'installent souvent dans des quartiers comparables aux maternités. Toutes les espèces n'ont en général qu'un seul petit par femelle et par an, les cas de jumelage sont exceptionnels. Le taux de reproduction est donc très bas ce qui est compensé avec une longévité assez élevée qui peut aller jusqu'à plusieurs décennies selon les espèces (Arzt 2011). Une conséquence de cette stratégie est, que des pertes supplémentaires causées par des activités humaines, par exemple dues à une éolienne mal placée, sont difficiles à compenser.

Aussi dans les quartiers de chasse, les chauves-souris ont besoin de sites de repos pour s'abriter pendant la journée. Ces sites peuvent être à nouveau des arbres à cavités ou d'autres cachettes comme des écorces cassées, quelques espèces comme la barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*) changent souvent leurs gîtes et dépendent en conséquence d'une densité élevée de gîtes (Richarz 2014, p.24). Si toutes les espèces qui vivent en Wallonie se nourrissent exclusivement d'insectes¹⁶ et mangent jusqu'à un quart de leur poids par

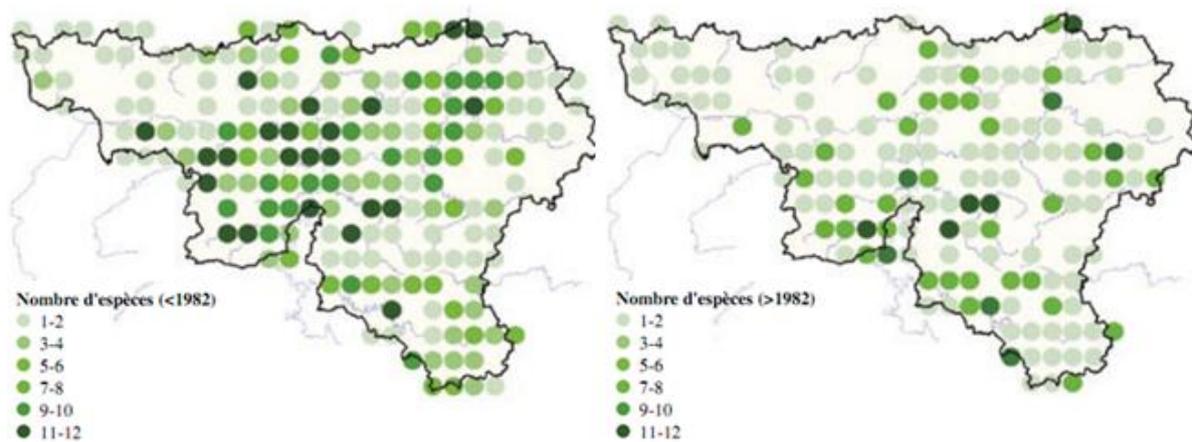
¹⁶ La grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) est une exception. Si elle se nourrit principalement d'insectes elle mange aussi des petits oiseaux lorsque ceux-ci se trouvent en migration nocturne (SPW 2011).

nuit, les méthodes de chasse et en conséquence les lieux de chasse dépendent fortement de l'espèce (Arzt 2011). Il existe des espèces comme le grand murin (*Myotis myotis*) qui chassent surtout des carabes sur le sol (ground gleaning), d'autres espèces comme le murin de bechstein (*Myotis bechsteinii*) chassent des papillons de nuit à mi-hauteur dans les buissons et les arbres (foliage gleaning) tandis que la noctule commune (*Nyctalus noctula*) ou la pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) chassent principalement des moustiques en volant souvent assez haut (hawking) (Arzt 2011). Il y a même des espèces comme le murin des marais (*Myotis dasycneme*) qui attrapent des insectes tombés dans des lacs (Arzt 2011). En conséquence le danger que représentent potentiellement des éoliennes dépend également fortement de l'espèce (Rodrigues et al. 2015a, p.19). En effet ce sont surtout des espèces qui volent en hauteur soit pour chasser soit pendant la migration entre sites d'hivernages et sites d'été qui sont menacées de rentrer en collision avec les éoliennes (cf. chapitre 3.3.4).

En automne les chauves-souris s'accouplent avant de migrer à nouveau vers les sites d'hivernage. Les distances qu'elles parcourent entre les sites de reproduction et les sites d'hivernage peuvent, selon l'espèce être assez longues et les trajets se font parfois à des hauteurs élevées. En conséquence elles sont exposées au risque de rentrer en collision avec des éoliennes durant ces migrations. Pour les sites d'hivernage la plupart des espèces choisissent des grottes ou d'autres cavités souterraines mais il y a des espèces qui utilisent des creux dans des arbres comme pour les maternités (Kervyn et al. 2011).

3.3.2 Situation des chiroptères en Wallonie

24 espèces de chiroptères peuvent être observées en Wallonie (cf. annexe XI) dont 21 qui y vivent certainement pendant au moins une partie de leur cycle de vie. 21 espèces représentent plus qu'un quart des espèces mammifères qui vivent en Wallonie (Kervyn et al. 2011). À cause de leur mode de vie, il est difficile d'estimer clairement l'abondance spécifique des chiroptères, notamment en milieu forestier. Il est en effet difficile de dresser un inventaire complet car il n'est pas possible de détecter toutes les espèces à partir du sol (Rodrigues et al. 2015, p.15). Il semble néanmoins clair que durant les dernières 50 années, la situation des chauves-souris s'est dégradée. Ainsi, la diversité spécifique a diminuée de 50% dans les sites d'hivernation et il semble que la plupart des espèces aient connu une diminution de leurs effectifs durant cette période (Lamotte 2007a; Kervyn et al. 2009). Même si le nombre d'individus a augmenté pour quelques espèces, le nombre de toutes les espèces confondu ne représente plus qu'un tiers du niveau d'il y a 50 ans (Kervyn et al. 2009, p.129). Le graphique 12 illustrent la régression de l'abondance spécifique en Wallonie.



Graphique 12 : Développement de la richesse spécifique de chiroptères en Wallonie

Source: Lamotte 2007a

Les causes sont *a priori* de nature anthropogène. Ainsi la destruction et le dérangement des sites d'hivernage et des sites de reproduction puis la dégradation des espaces de chasse sont des facteurs importants (Kervyn et al. 2009, p.129). En ce qui concerne les sites d'estivages la rénovation des bâtiments mais aussi la diminution des vieux arbres à cavités jouent un rôle important pour beaucoup d'espèces. La qualité des espaces de chasse souffre de l'utilisation d'insecticides et sous la dégradation de la structure écologique. Il faut notamment mentionner l'agriculture intensive et, en ce qui concerne les forêts, les monocultures d'essences ligneuses exotiques comme l'épicéa et la disparition des lisières qui se sont avérés très nocives (Lamotte, 2007a). En matière de mortalité directement induite par les activités humaines, la densification du trafic routiers qui entraîne des collisions joue un rôle important (Lamotte, 2007a). En conséquence, près de la moitié des espèces sont aujourd'hui menacées (en danger critique, en danger ou vulnérable) en Wallonie selon les critères d'UICN (cf. annexe XI).

Tous les chiroptères en Wallonie sont strictement protégés selon le décret du 6 décembre 2001 modifiant la loi du 12 juillet 1973 de la conservation de la nature qui traduit la directive Faune-Flore-Habitat (FFH) de l'Union européenne. Il est notamment interdit de mettre des spécimens intentionnellement à mort, de perturber les espèces pendant leur hibernation, leur reproduction et leurs déplacements ou de détruire tout habitat naturel où vivent les chauves-souris (LCN, Art. 2).¹⁷

¹⁷ Quelques espèces (cf. annexe XI) sont en plus listées dans l'annexe 2 de la directive FFH ce qui signifie qu'elles sont d'intérêt communautaire et que leur habitas doivent obligatoirement être mise sous protection en désignant des zones spéciales de conservation (Conseil des Communautés européennes, 1992, Annexe II). Ces espèces d'intérêt communautaire sont en revanche relativement rares en Wallonie, elles représentent probablement seulement 1,5% des individus de toutes les espèces de chiroptères confondues (Gosselin 2012, p.8).

3.3.3 Perte d'habitat

Les chauves-souris sont un groupe d'animaux omniprésent qu'on peut rencontrer presque dans tous les habitats (Rodrigues et al. 2015a, p.10). S'il y a des populations importantes dans des espaces urbanisés et des espaces agricoles, il semble que les forêts hébergent généralement une diversité bien supérieure aux autres habitats (Rodrigues et al. 2015a, p.12). Les forêts sont en effet particulièrement importantes pour la plupart des espèces surtout s'il s'agit des forêts de feuillues avec des arbres matures. Même si la plupart des espèces ne sont pas purement forestières elles passent souvent en moins une partie de l'année en forêt (cf. chapitre 3.3.5 et annexe XII). Comme vu précédemment, les chauves-souris ont besoin de gîtes pour s'abriter durant toute l'année (maternités, sites de repos, sites d'hivernage). Ces gîtes sont devenus rares dans la majorité de nos forêts, où on accorde encore trop peu de place aux arbres morts, abimés ou très âgés qui sont économiquement peu intéressants mais très importants pour la biodiversité. C'est d'autant plus grave si de tels arbres sont détruits durant les déboisements nécessaires à l'installation des éoliennes, surtout si la destruction a lieu pendant une période de l'année où ces sites sont occupés. Mise à part des sites qui se trouvent à proximité de l'Homme, on connaît généralement relativement peu les sites occupés par des chauves-souris. Ainsi, il n'est pas facile d'éviter de détruire des arbres qui hébergent des chiroptères surtout pour les espèces, comme la barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*), qui utilisent des cachettes très peu visibles.

En ce qui concerne les habitats de chasse, la situation semble moins grave. Dans la majorité des cas il n'est pas probable que l'abondance des proies diminue ou que d'autres conditions comme par exemple la présence de branches d'affût ou encore de structures pour l'orientation soient considérablement dégradées. Au contraire, comme beaucoup d'espèces utilisent principalement des lisières pour la chasse (Ratzbor et al. 2012, p.123), les clairières artificielles sur lesquelles les éoliennes sont implantées sont potentiellement de nouveaux terrains de chasse. Il semble néanmoins important de ne pas attirer de chauves-souris près des éoliennes pour ne pas les exposer au risque de rentrer en collision avec les pales. Le tableau 4 résume les pertes d'habitat liées à la phase d'implantation des éoliennes.

Impacts en lien avec le site d'implantation		
Impact	En été	Aux périodes de migration
Perte des habitats de chasse pendant la construction	Impact faible à moyen, en fonction du site et des espèces présentes sur ce site	Impact faible
Perte de gîtes en raison de la construction	Impact probablement fort à très fort, en fonction du site et des espèces présentes	Impact fort ou très fort, e.g. perte de gîtes d'accouplement

Tableau 4: Impacts sur les chiroptères pendant la construction

Source: Rodrigues et al. 2008

À côté des impacts liés à l'implantation il y a les impacts liés au fonctionnement des éoliennes. L'émission des ultrasons ne semble pas gênante pour les chiroptères (Rodrigues et al. 2008, p.10). S'il y a quelques années on accordait encore une certaine importance à la perte d'habitats due à l'effet de l'effarouchement dans les habitats de chasse (cf. Rodrigues et al. 2008, p.10) aujourd'hui, il semble que cet impact soit négligeable (Rodrigues et al. 2015a). Comme le montre le tableau 5 qui résume les impacts relatifs au fonctionnement des éoliennes, il reste donc surtout le problème de la collision avec les pales. Le prochain chapitre va analyser de plus près cette question importante.

Impacts relatifs au fonctionnement du parc éolien		
Impact	En été	Aux périodes de migration
Perte ou déplacement de couloirs de vol	Impact moyen	Impact faible
Collision avec les pales	Impact faible à moyen, en fonction des espèces	Impact fort à très fort

Tableau 5: Impacts sur les chiroptères pendant la phase d'utilisation

Source: Rodrigues et al. 2008 adapté selon Rodrigues et al. 2015

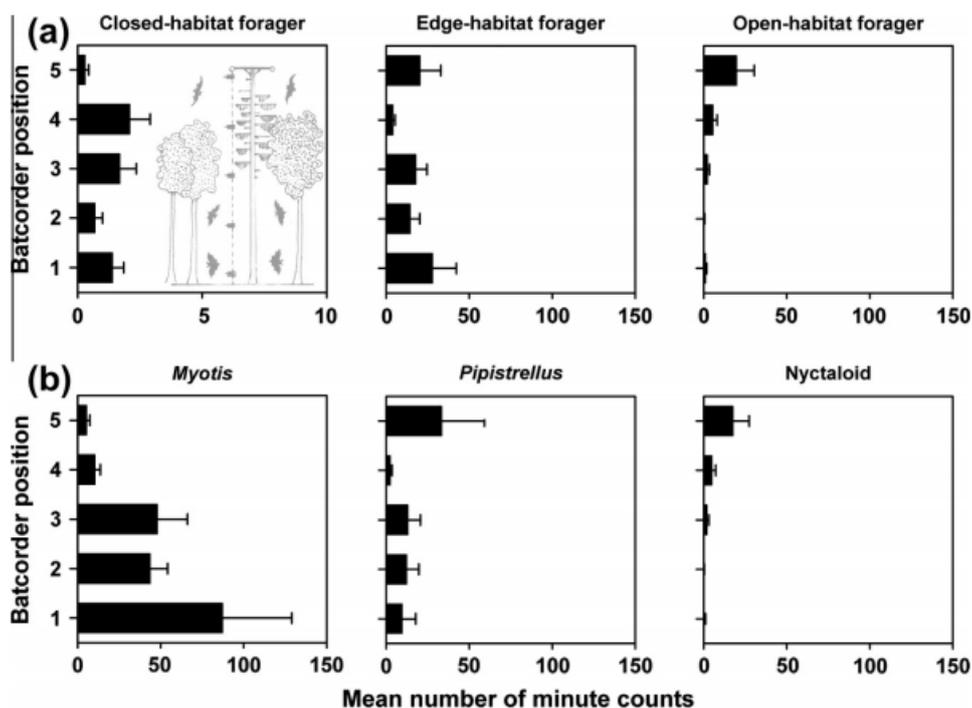
3.3.4 Risque de collision et barotraumatisme

Les bouts des pales bougent avec une vitesse qui peut atteindre 250 km/h ce qui les rend probablement indétectables pour le sonar des chauves-souris (Ratzbor et al.2012, p.259) qui risquent en conséquence de rentrer en collision avec les pales des éoliennes. En plus il n'est même pas nécessaire qu'elles soient directement touchées par les pales. En effet, la plupart des victimes qui sont trouvées sous des éoliennes n'ont pas de blessures qui résultent d'une collision directe avec les pales mais des blessures intérieures, aux poumons et aux oreilles notamment. Ces blessures sont dues à la différence de la pression d'air qui résulte des turbulences provoquées par une éolienne en fonctionnement. On appelle cet effet barotrauma-

tisme (Richarz 2014, p.14; Baerwald et al. 2008, p.695). En conséquence de cet effet la probabilité qu'une entrée en zone de risque se termine avec un accident mortel est fortement augmenté car l'individu peut mourir même sans être touché par une pale. La mortalité des chauves-souris due aux collisions directes et aux barotraumatismes est généralement décrite comme l'impact le plus lourd que des éoliennes ont sur les chauves-souris (Grotsky et al. 2011).

Comme il est difficile de trouver les cadavres des petits animaux et comme celles-ci sont vite enlevées par des charognards, il est difficile d'établir un chiffre de mortalité moyenne par éolienne. Ainsi les estimations varient assez fortement selon la méthode d'estimation mais aussi selon l'emplacement (cf. Ellison 2012, p.5). Pour l'Allemagne la plupart des auteurs (cf. Brinkmann et al. 2011, Richarz 2014, p.27; DNR 2012, p.238) estime en moyenne une mortalité d'environ 10 individus par an et éolienne. Vu la proximité géographique et la ressemblance de la distribution des espèces on peut s'attendre à un chiffre comparable pour la Wallonie. Vu le caractère approximatif de cette estimation et les données imprécises sur les populations de chauve-souris en Wallonie il est très difficile d'estimer l'impact de la mortalité provoquée par les éoliennes sur les populations. Le faible taux de reproduction laisse néanmoins craindre des répercussions au niveau des populations (Rodrigues et al. 2015a, p.41).

Comme c'était déjà le cas pour les oiseaux le nombre de fatalités par éolienne varie fortement d'une éolienne à l'autre (Richarz 2014, p.27). Notamment l'emplacement et les espèces qui y vivent semblent jouer un rôle important, car pas toutes les espèces courent le même risque face aux éoliennes. En effet ce sont surtout les espèces qui utilisent l'espace au-dessus des canopées pour chasser, communiquer ou pendant la migration qui courent le risque de rentrer en collision avec des éoliennes. Le graphique 13 montre la distribution spatiale de l'activité en forêt pour différents groupes d'espèces.



Graphique 13 : Activité des chiroptères dans les différents strates des forêts

Source : Müller et al. 2013, p. 181

En milieu forestier, les cas de mortalité sont susceptibles d'être plus importants qu'ailleurs car comme nous l'avons vu une grande partie des espèces de chiroptères a une forte activité en forêt. Ceci est dû aux sites de repos et de reproduction qui se trouve souvent en forêts mais aussi à l'abondance des insectes qui est plus grande en forêt car la température y reste plus élevée pendant la nuit (Rodrigues et al.2015b, p.14). Néanmoins, si la relation entre activité et milieu est clairement établie, la relation entre le nombre de fatalités et le milieu où se trouve l'éolienne ne semble pas toujours existante. Ainsi une analyse basée sur les victimes trouvées sous presque 450 éoliennes n'a pas pu établir un lien entre le nombre de victimes par éolienne et la distance entre forêts et éoliennes (Ratzbor et al.2012, p.284). Rodrigues et al. (2015a, p.17) confirment qu'il y a des études qui montrent que des éoliennes peuvent parfois provoquer une mortalité importante dans des milieux très peu propices pour accueillir des chiroptères. Une étude sur une espèce spécifique (*N. noctula*) montre par contre une relation entre nombre de victimes et la distance entre forêts et éoliennes (Dürr 2007). Après une revue de la littérature Rydell (2012, p.4) et al. résumant que des éoliennes en forêt intensivement utilisées ne représentent pas plus de risques pour les chauves-souris qu'en terrain agricole.

Une raison qui explique le grand nombre de collision est que les chiroptères sont souvent attirés par les éoliennes de manière générale et particulièrement par des éoliennes en forêt.

Il y a plusieurs raisons qui expliquent pourquoi les chiroptères sont attirés par les éoliennes, en générale : (1) par simple curiosité (Ahlén 2003; Kunz et al. 2007), (2) parce que les turbulences faussent l'écholocation en suggérant des proies (Horn et al. 2008), (3) parce que pour les animaux une éolienne pourrait ressembler à un grand arbre qui serait donc potentiellement un lieu de repos ou de maternité (Cryan et al. 2014; Kunz et al. 2007). Si les éoliennes sont implantées dans une forêt, l'attrait d'une éolienne augmente encore car la création d'un terrain ouvert autour du pied de l'éolienne attire des insectes et crée un terrain de chasse privilégié par nombreuses espèces de chauve-souris (Rodrigues et al. 2015b, p.16; Horn et al. 2008). En plus les chiroptères qui s'orientent aux structures linéaires pendant la chasse peuvent être attirés au long des chemins d'accès jusqu'aux éoliennes (Kervyn, T. & Bizoux, P., 2015).

Nous avons vu que le risque que des sites forestiers importants pour les chiroptères soient détruits pendant l'installation des éoliennes et aussi le risque de rentrer en collision avec une éolienne n'est pas pareil pour toutes les espèces. C'est pourquoi nous allons regarder en détail le risque pour différentes espèces wallonnes dans le chapitre suivant.

3.3.5 Risque spécifique par groupes d'espèces

Dans ce qui suit nous allons regarder plus en détail les risques pour les espèces wallonnes faces aux éoliennes en forêt. Une importance particulière va être mise sur les espèces qui sont susceptibles d'être particulièrement impactées. Nous allons considérer le risque de collision et les impacts sur l'habitat. Un tableau récapitulatif des risques spécifiques par espèce se trouve en annexe XII.

LA NOCTULE COMMUNE (*NYCTALUS NOCTULA*) & LA NOCTULE DE LEISLER (*NYCTALUS LEISLERI*)

La noctule commune comme la noctule de leisler sont des espèces particulièrement liées aux forêts. Elles ont leurs maternités et leurs sites d'hivernage dans des cavités dans des vieux arbres et elles chassent principalement en forêt. Les déboisements nécessaires pour construire les chemins d'accès et les éoliennes elles-mêmes risquent donc de détruire des arbres qui comportent des sites importants pour ces espèces, surtout si on se trouve dans des forêts âgées. Même s'il n'y a aucun de ces sites qui est détruit durant la construction, la phase d'exploitation des éoliennes en forêt peut encore causer de grands dommages à ces espèces. Comme la noctule chasse principalement en forêt et souvent à des altitudes élevées (jusqu'à plusieurs centaines de mètres) (Richarz 2014, p.21), il y a en effet un grand risque de collision. Aussi à cause de leurs migrations, entre les quartiers de reproduction et les

sites d'hivernages à des altitudes importantes sur des grandes distances (>1000 km), la grande noctule et la noctule de leisler sont susceptibles de rentrer en collision avec des éoliennes. Ceci est particulièrement vrai vers la fin de l'été et à l'automne (Richarz 2014, p.21). Les statistiques confirment cette crainte. Ainsi la noctule commune est parmi les espèces le plus retrouvées morte sous des éoliennes. Il y a beaucoup de victimes de cette espèce notamment en Allemagne où une partie non négligeable des éoliennes se trouve dans des forêts (cf. Rodrigues et al. 2015b, p.3; Dürr 2014b). Bien que moins que pour la noctule commune, on retrouve également souvent des cas de décès de noctule de leisler (cf. Dürr 2014b).

PIPISTRELLE COMMUNE (*PIPISTRELLUS PIPISTRELLUS*)

La pipistrelle commune est de loin l'espèce la plus courante et le plus abondante en Wallonie (cf. Nyssen 2015, p.11; Gosselin 2012, p.8). Elle vie souvent à proximité de l'Homme et n'est pas particulièrement liée aux forêts, le risque que des éoliennes détruisent des maternités en forêt est donc minime. Les forêts jouent néanmoins un rôle, notamment comme sites d'accouplement, en Allemagne on connaît également des grands sites d'hivernage dans des arbres (Richarz 2014, p.24). De plus, la pipistrelle commune chasse souvent en milieu forestier, surtout au long des lisières. En suivant les bordures des chemins d'accès elle va également à l'intérieure des forêts où elle est donc directement amenée vers les éoliennes (Grunwald et al. 2012, p.36, Richarz 2014, p.24). Même si elle chasse en général pas très haut, elle fait souvent des vols de reconnaissance qui l'amènent dans la hauteur des pales. De plus, elle compte comme particulièrement curieuse et il est probable qu'elle inspecte les éoliennes à la recherche de sites d'hivernage (Richarz 2014, p.24). Cette curiosité pourrait en effet expliquer pourquoi une grande partie des pipistrelles communes qui meurent dans des éoliennes est trouvée en août et en septembre quand la recherche du site d'hivernage commence (Dietz et al. 2012, p.41). De manière générale la pipistrelle commune est l'espèce pour laquelle le plus grand nombre de collisions avec des éoliennes est documenté et la grande majorité de cas connus en Wallonie concerne également cette espèce (Rodrigues et al. 2015b, p.3). Si le grand nombre de cas s'explique aussi par l'abondance de l'espèce il semble néanmoins clair qu'elle soit assez vulnérable face aux éoliennes.

PIPISTRELLE PYGMÉE (*PIPISTRELLUS PYGMAEUS*)

La pipistrelle pygmée ressemble fortement à la pipistrelle commune de laquelle elle a été singularisée seulement récemment. En conséquence, les connaissances de cette espèce sont encore limitées, il semble néanmoins que le risque de collision est comparable et également

élevé. De plus, la pipistrelle pygmée utilise contrairement à la pipistrelle commune souvent des forêts pour établir des maternités dans des vieux arbres (Richarz 2014, p.24; Diez et al. 2012, p.55). La problématique liée à la destruction d'habitat de reproduction est donc réelle pour la pipistrelle pygmée.

PIPISTRELLE DE NATHUSIUS (*PIPISTRELLUS NATHUSII*)

La pipistrelle de nathusius est la pipistrelle la plus liée aux forêts. Elle a la grande majorité de ses maternités, de ses terrains de chasse et de ses sites d'hivernage dans les forêts où elle occupe des arbres à cavités (Kervyn et al. 2011, Dietz et al. 2012, p.36). Comme les noctules, la pipistrelle de nathusius effectue des très longs trajets (>1000 km) entre les sites de reproduction et les sites d'hivernage (Kervyn et al. 2011; Dietz et al. 2012, p.35). Les sites de reproduction se trouvent surtout dans le nord-est de l'Europe, il n'y a pas de site connu en Wallonie (Kervyn et al. 2011). Il n'y a donc *a priori* pas de risque que des éoliennes en forêt détruisent des maternités en Wallonie. L'installation des éoliennes en forêt risque en revanche de détruire des sites de parade et d'accouplement ainsi que des sites de repos dans les terrains de chasse qui se trouvent en Wallonie. La pipistrelle de nathusius chasse en effet presque exclusivement en forêt, surtout près de cours d'eau (Grunwald et al. 2012, p.38). Le comportement de chasse est comparable à celui de la pipistrelle commune, c'est-à-dire elle chasse normalement pas très haut mais fait des vols de reconnaissance qui l'amènent régulièrement à hauteur des pales. Elle partage également son caractère curieux avec la pipistrelle commune (Grunwald et al. 2012, p.38). Elle a donc un grand risque de collision, surtout pendant la migration en début d'automne (Grunwald et al. 2012, p.38). Le nombre de victimes trouvé à travers l'Europe confirme le risque élevé pour cette espèce, la pipistrelle de nathusius occupe actuellement la 3ème place après la pipistrelle commune et la noctule commune (Rodrigues et al. 2015b, p.3). Les sites d'hivernage se trouvent également dans des arbres à cavités, ils sont donc aussi menacés par l'implantation des éoliennes en milieux forestiers.

LE MURIN ALCATHOE (*MYOTIS ALCATHOE*), LE MURIN DE BECHSTEIN (*MYOTIS BECHSTEINII*), LE MURIN DE BRANDT (*MYOTIS BRANDTII*) ET LE MURIN DE NATTERER (*MYOTIS NATTERERI*)

Ces quatre espèces sont très liées aux forêts. Ainsi les sites de reproduction et d'hivernage se trouvent majoritairement en forêt, en ce qui concerne *M. nattereri* même des forêts pauvres comme des monocultures d'épicéas sont utilisées (Grunwald et al. 2012, p.30). Il y a donc un risque assez élevé que l'installation des éoliennes en forêt détruise des sites importants pour ces espèces (Grunwald et al. 2012; Richarz 2014, p.22). Les aires de chasse se

trouvent également presque exclusivement en forêt. Le murin de natterer et le murin de bechstein chassent sur le sol (*ground gleaning*) et à proximité des plantes (*foliage gleaning*). Ils volent en conséquence jamais très haut (Kervyn et al. 2011). Le murin de alcatheo et le murin de brandt quant à eux chassent surtout dans l'air libre (*hawking*) mais seulement à des hauteurs très basses. Ils quittent en effet très rarement la canopée (Grunwald et al. 2012, p.30). En conséquence le risque de collision pour ces quatre espèces est très bas. Ceci est confirmé par le nombre très limité de cas de collision connues (Rodrigues et al. 2015, p.3).

LE GRAND MURIN (*MYOTIS MYOTIS*), LE MURIN A MOUSTACHES (*MYOTIS MYSTACINUS*) ET LE MURIN A OREILLES ECHANCREES (*MYOTIS EMARGINATUS*)

Ces murins ne sont pas particulièrement liés aux forêts, même si on peut les y rencontrer. Les sites de reproduction ne se trouvent normalement pas en forêt mais on y trouve des sites d'accouplement et de repos (Richarz 2014, p.22; Grunwald et al. 2012, p.29). Dans l'ensemble le risque que des sites importants pour ces espèces qui se trouvent en milieux forestiers soient détruits est probablement mineur. En ce qui concerne le risque de collision la situation est comparable aux espèces précédentes. Les habitudes de chasse font que ces chauves-souris volent seulement exceptionnellement à hauteur des pales (Grunwald et al. 2012, p.29) et le nombre de victimes reste en conséquence très limité (cf. Rodrigues et al. 2015, p.3).

LE MURIN DE DAUBENTON (*MYOTIS DAUBENTONII*) & LE MURIN DES MARAIS (*MYOTIS DASYCHEME*)

Ces deux espèces sont très liées à l'eau car elles chassent principalement très bas au-dessus des surfaces d'eau. De plus, les déplacements entre sites de reproduction et d'hivernage sont assez limités. En conséquence le risque de collision est négligeable (Grunwald et al. 2012, p.27; Richarz 2014, p.22). Les deux espèces, surtout le murin de daubenton, utilisent en revanche entre autres des arbres comme maternités. Il y a donc potentiellement un risque pour les maternités, surtout si on se trouve près de l'eau (Richarz 2014, p.22; Dietz et al. 2012, p.44).

LA BARBASTELLE D'EUROPE (*BARBASTELLA BARBASTELLUS*)

Cette espèce autrefois très rependue en Wallonie est devenue très rare, aujourd'hui on estime la population à seulement 50 individus en Wallonie (Lamotte 2007b, p.53). La barbastelle est une espèce forestière qui vit surtout dans des forêts feuillues avec strate buissonnante (Lamotte 2007b, p.51). Elle a ses maternités derrière des écorces écaillées ce qui les

rends très difficiles à trouver, d'autant qu'elle change régulièrement de sites (Dietz et al. 2012, p.43; Richarz 2014, p.24). Elle hiberne probablement principalement en forêt même si elle a été également vue dans des sites souterrains (Kervyn et al. 2011). En conséquence, il y a le risque que des sites de reproduction ou d'hivernage soient détruits quand on installe des éoliennes en forêt. Due à la faible abondance et leur mode de vie retiré, il est difficile d'estimer le risque de collision. À cause de leur rareté on devrait par mesure de précaution assumer un risque élevé si on a connaissance d'une population à proximité d'un site potentiel pour des éoliennes (Richarz 2014, p.24).

L'OREILLARD ROUX (*PLECOTUS AURITUS*) & L'OREILLARD GRIS (*PLECOTUS AUSTRICUS*)

Les oreillards chassent très bas et leurs sites de reproduction sont très proches des sites d'hivernage. Ainsi, le risque de collision est très bas (Richarz 2014, p.26; Grunwald et al. 2012, p.41). L'oreillard gris a ses maternités et ses sites hivernage à proximité des habitations (Kervyn et al. 2011). Des éoliennes en forêt ne représentent donc pas de risque. L'oreillard roux en revanche compte comme chauve-souris de forêt car les maternités et les sites d'hivernage se trouvent pour la grande majorité dans des arbres à cavités (Dietz et al. 2012, p.49). On le rencontre même dans des forêts de résineux plutôt banalisées (Richarz 2014, p.26). Pour cette espèce il y a donc le risque que des sites importants soient détruits suite à l'installation des éoliennes en forêt (Grunwald et al. 2012, p.41).

LE GRAND RHINOLOPHE (*RHINOLOPHUS FERRUMEQUINUM*) & LE PETIT RHINOLOPHE (*RHINOLOPHUS HIPPOSIDEROS*)

Ces espèces étaient parmi les plus courantes il y a quelques décennies. Depuis leurs populations ont connues une chute brutale. Le petit rhinolophe qui comptait 300.000 individus en Wallonie dans les années 50 ne compte aujourd'hui plus que 200 individus environ (Nyssen 2011). La situation du grand rhinolophe qui compte encore environ 300 individus n'est guère mieux (Lamotte 2007b, p.27). Mais c'est le changement du paysage agricole et des bâtiments et non des éoliennes qui sont la cause de ce déclin. Les éoliennes sont en effet négligeables comme menace pour ces espèces qui chassent très bas (Richarz 2014, p.26). Les forêts sont parfois utilisées comme terrain de chasse mais les sites de reproduction et d'hivernage sont à proximité de l'Homme et jamais en forêt. Des éoliennes qu'y sont installées ne représentent donc pas de risque pour ces espèces (Dietz et al. 2012, p.54).

LA SEROTINE COMMUNE (*EPTESICUS SEROTINUS*) & LA SEROTINE DE NILSSON (*EPTESICUS NILSSONII*)

Les deux espèces chassent dans l'espace libre à des hauteurs moyennes (Dietz et al. 2012, p.46; Richarz 2014, p.21). Elles sont donc potentiellement en danger face aux éoliennes, quoique moins que les espèces comme les noctules qui chassent et migrent à des hauteurs très élevées. Le nombre d'individus trouvés mort sous des éoliennes confirme ainsi un risque moyen (cf. Rodrigues et al. 2015b, p.3). Ceci vaut aussi pour des éoliennes en milieu forestiers, car, même si non privilégiées, les forêts sont tout de même utilisées pour la chasse, surtout par *E. nilssonii*. Comme les activités de ces chauves-souris se limitent à des hauteurs moyennes, le risque de collision est moins grand pour de très grandes éoliennes (Grunwald et al. 2012, p.40). Comme pour des raisons techniques des éoliennes en forêt sont forcément très grandes (cf. chapitre 2.1), le risque de collision avec des éoliennes en forêt est donc potentiellement diminué vis-à-vis d'autres emplacements tels que les terrains agricoles. Les deux espèces ont la majorité de leurs habitats de reproduction et d'hivernage près de l'Homme, seulement *E. nilssonii* a parfois des sites de repos en forêt (Richarz 2014, p.21; Dietz et al. 2012, p.46). Le risque que des habitats soient détruits suite à l'installation des éoliennes en forêt est donc négligeable.

3.3.6 Moyens de diminuer les impacts négatifs

Pour mettre en place des mesures efficaces afin d'éviter, minimiser et compenser les impacts, il faut d'abord connaître les espèces qui utilisent le territoire en question. En effet, comme expliqué précédemment, les impacts peuvent varier fortement selon les espèces. Une étude approfondie sur les chauves-souris s'impose donc pour tous les emplacements d'éoliennes potentiels, surtout si ceux-ci se trouvent en forêt. EUROBATS propose des lignes directrices générales pour établir des programmes de suivie (Rodrigues 2015a). Le DNF propose également un protocole de comptage pour les chauves-souris et les oiseaux (cf. annexe XV).

Comme nous l'avons vu, la hiérarchie de mitigation demande d'abord d'éviter de créer des impacts négatifs. Le choix du site est évidemment le premier outil pour éviter des impacts. Ainsi, il semble très important d'éviter la construction sur des routes de migration (surtout de *N. noctula*, *N. leisleri* et *P. nathusii*) si celles-ci sont connues. Les environs des sites importants de reproduction ou d'hivernage devraient également être exclus pour l'installation des éoliennes. En outre, le type d'habitat joue un rôle important. Même si des chiroptères utilisent beaucoup de différents habitats, les forêts sont importantes pour la majorité

des espèces (cf. chapitre 3.3.5). En conséquence Rodrigues et al. (2015) recommandent fortement d'exclure tous les espaces boisés et une zone tampon de 200 mètres autour de ceux-ci afin de réduire l'impact sur les chauves-souris. Si des éoliennes sont implantées en milieu forestier malgré cette recommandation, par exemple parce qu'il n'y a pas assez de places propices en dehors des zones forestières, des mesures pour minimiser et compenser les impacts deviennent très importantes. Enfin, la proximité de l'eau semble d'être un facteur qui augmente le risque de collision (Brinkmann 2011).

En ce qui concerne la phase de construction tout déboisement dans les phases sensibles de reproduction et/ou d'hivernage doit être évité s'il y a des espèces sensibles (qui ont leurs maternités et/ou sites d'hivernage en forêt) même s'il n'y a pas de sites connus (Rodrigues et al. 2015, p.43).

Afin de prévenir une activité élevée des chauves-souris autour des éoliennes, il faut limiter tous les éléments qui sont susceptibles d'attirer les chauves-souris. Il faut notamment sceller les nacelles pour éviter que des espèces curieuses comme *P. pipistrellus* utilisent les nacelles comme site de reproduction et éviter d'attirer des insectes ce qui attire aussi les chauves-souris. Pour ne pas attirer d'insectes, il convient d'éviter de leur créer des habitats potentiels au pied de l'éolienne, notamment des flaques d'eau et des structures linéaires de végétation comme des haies doivent être évitées (Rodrigues et al. 2015, p). Les feux de position et surtout des éclairages au pied des éoliennes attirent également des insectes, il faut donc réduire ceux-ci autant que le cadre réglementaire le permet¹⁸ (cf. CWEDD 2014, p.3).

Il y a quelques années il était souvent recommandé de déboiser dans un rayon de 200 mètres autour de l'éolienne¹⁹ car les chiroptères chassent principalement en bordure de lisières (Rodrigues et al. 2008, p.11). Or, il est apparu qu'un tel déboisement n'incite pas les chauves-souris à voler plus bas autour de l'éolienne. En conséquence, il semble plus pertinent de réduire au contraire la surface déboisée autant que possible afin de ne pas créer des

¹⁸ La circulaire ministérielle GDF-03 définit le type de balisage qui est obligatoire pour les éoliennes afin d'éviter des conflits avec l'aviation. En dehors des zones d'aviation à basse altitude le balisage peut être réduit.

¹⁹ Cette recommandation a même trouvé son entrée dans le cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en région wallonne avec la précision que des éoliennes en forêt peuvent exceptionnellement être admises "à condition de réaliser des mises à blanc de manière à conserver un milieu ouvert autour de l'éolienne dont la surface sera déterminée par l'étude d'incidence [...]" (Gouvernement wallonne 2013, p.6). Pour les raisons qui suivent cette précision peut donc déjà être considéré comme obsolète à l'heure qu'il est.

clairières qui deviennent des terrains de chasse intéressants (Kervyn & Bizoux 2015; cf. CWEDD 2014, p.3). De plus, cette approche diminue fortement le risque que des arbres-habitat soient détruits. En effet, dans la nouvelle version des recommandations d'EURO-BATS la recommandation de déboiser ne s'y trouve plus (Rodrigues et al. 2015a).

Nous avons vu que plusieurs espèces s'orientent aux structures linéaires (en forêt donc surtout les bordures de chemins) et qu'elles sont donc automatiquement menées vers les éoliennes pendant leur chasse en forêt. Selon Kervyn & Bizoux (2015) il est préférable d'installer les routes d'accès entre les éoliennes d'un parc en forêt "en peigne" que linéairement afin de diminuer cet effet (cf. graphique 14).



Graphique 14 : Disposition géographique des éoliennes et des chemins d'accès

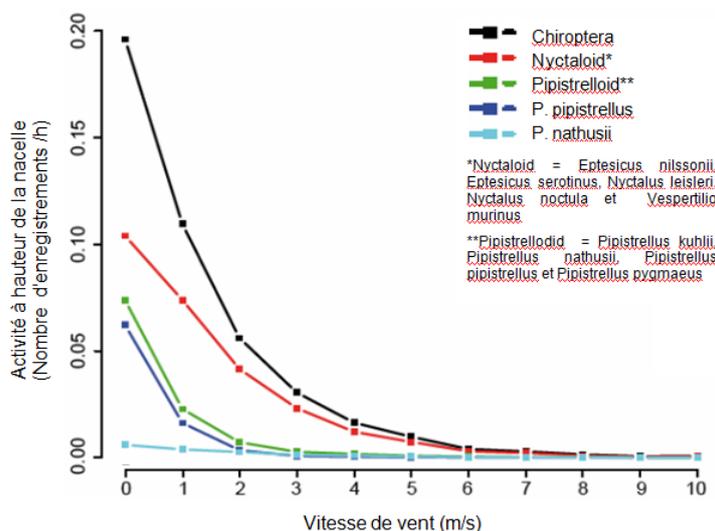
Source : Propre graphique

Entre la hauteur de l'éolienne et l'activité des chauves-souris, il y a une corrélation négative significative (Brinkmann et al. 2011, p.7) ce qui veut dire que des grandes éoliennes représentent proportionnellement un risque plus petit que des petites éoliennes. Surtout en milieu forestier, des raisons techniques et économiques suggèrent également de grandes éoliennes. L'installation de quelques grandes éoliennes au lieu de beaucoup de petites éoliennes dans l'idée du *repowering* peut donc être vue comme une mesure pour réduire les impacts. Si cette logique semble pertinente pour la majorité des espèces qui volent à bas et mi-hauteur il se peut que des espèces qui volent très haut (*Nyctalus noctula*, *Nyctalus leisleri*) soient encore plus touchées par les grandes éoliennes. Ainsi Fiedler et al. (2007) constatent une plus grande mortalité due aux grandes éoliennes²⁰.

Les moyens de mitigation durant la phase d'exploitation sont limités. Comme des mesures de farouchement ne semblent pas efficaces (Arnett et al. 2011a), il ne reste en effet que

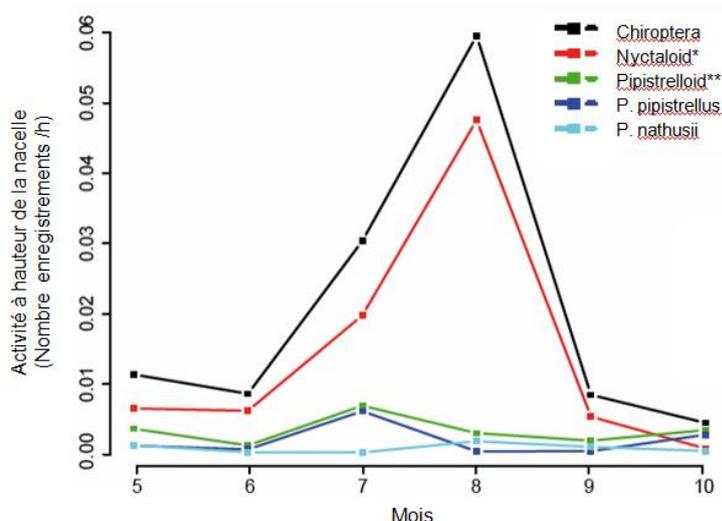
²⁰ Il faut cependant noter que l'étude de Fiedler et al. concerne un parc en Amérique avec des éoliennes d'une taille très inférieure aux modèles utilisés en Europe. Les résultats sont donc éventuellement pas transposables pour la Wallonie.

l'arrêt des éoliennes pendant les moments particulièrement risqués comme méthode prometteuse. Cette option est basée sur le constat que l'activité des chauves-souris dépend fortement de quelques facteurs météorologiques notamment. Le facteur le plus important est la vitesse du vent. Comme le montre le graphique 15 l'activité des chiroptères diminue fortement si la vitesse du vent augmente.



Graphique 15 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent
Source : Changé après Brinkmann 2011

Ainsi, on peut minimiser le risque de collision en mettant l'éolienne en marche seulement à partir d'une vitesse de 6-7 m/s au lieu d'une vitesse de 3-4 m/s (vitesse d'enclenchement habituelle). En outre, l'activité et en conséquence aussi la mortalité s'étalent sur quelques mois principalement (cf. graphique 16).



Graphique 16 : Activité des chiroptères en fonction de la saison
Source : Changé après Brinkmann 2011

En Wallonie, il est déjà coutume d'arrêter les éoliennes qui se trouvent dans des zones sensibles pour des chiroptères dans les nuits entre le 1^{er} avril et le 30 octobre si la vitesse du vent est en dessous de 6 m/s et la température au-dessus de 8°C (Kervyn T. dans Rodrigues et al. 2015, p.46). Comme les périodes critiques pour les chauves-souris sont en coïncidence avec les périodes où les éoliennes ne produisent que peu d'électricité on perd seulement 2% environ de la production (Rodrigues et al. 2015a, p.46).

Selon plusieurs études de tels critères généraux de bridage peuvent réduire la mortalité de chiroptères de 44 à 93% (Arnett et al. 2011b; Rodrigues et al. 2015a, p.44). Néanmoins, comme les différents emplacements et les différentes populations de chauve-souris ne sont pas forcément toujours comparables, il semble encore plus prometteur d'utiliser des paramètres spécifiques qui déterminent l'activité des chauves-souris dans chaque cas concret pour mettre en place des algorithmes de fonctionnement qui arrêtent les éoliennes dans des phases de grandes activités de chauve-souris (Rodrigues et al. 2015a, p.44). En outre, il est possible d'inclure encore plus de paramètres comme l'humidité de l'air, la pluviosité ou l'heure dans les algorithmes spécifiques afin d'augmenter la précision de l'algorithme (Brinkmann et al. 2011).

Selon Rodrigues et al. (2015, p.48) il n'est pas possible de compenser les pertes de chauves-souris induites par des collisions avec les éoliennes parce que l'impact de la mortalité sur les populations n'est pas encore suffisamment connue. Ici il faut donc absolument privilégier des approches de minimisation des impacts. Pour les pertes d'habitats, il est en revanche possible de mettre en place des mesures de compensation, d'autant plus que la plupart des espèces souffrent fortement des changements de leurs habitats (cf. chapitre 3.3.2). Ainsi, le moyen qui semble le plus promoteur pour compenser les impacts résiduels est la valorisation de l'habitat des chauves-souris. Selon Peeters & Robert (2012, p.65) les mesures les plus efficaces sont (1) la protection des fonds des vallées humides et riches en espèces, (2) la protection des tourbières, landes et pelouses calcaires, (3) la protection des boulaies tourbeuses et chênaies riches en espèces sur sol calcaire, (4) la mise en réserve intégrale de parcelles forestières, (5) l'élimination des résineux dans des fonds de vallées au profit des habitats favorables, (6) la création ou restauration de plans d'eau et de zones humides et de forêts alluviales. Les mesures sylvico-environnementales proposées par Fichfet et al. (2011) développent en détail des actions concrètes pour améliorer les habitats forestiers. De plus, des mesures générales pour améliorer la biodiversité en forêt (par exemple l'augmentation du nombre d'arbres morts ou un développement des lisières naturelles),

comme proposées dans "Les normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier" (Branquart et al. 2010) semblent bénéficier également aux chauves-souris. L'installation de nichoirs pour chauves-souris est seulement efficace pour la pipistrelle commune et les oreillards (Peeters & Robert 2012, p.65). Pour garantir des effets positifs, les mesures de compensation doivent être implémentés dans le champ d'action des populations impactées mais pas à proximité des éoliennes (Rodrigues et al. 2015, p.30).

3.3.7 Conclusions

Il apparaît que les chauves-souris sont très sensibles à l'installation des éoliennes en forêts car de nombreuses espèces dépendent fortement de cet habitat. En conséquence une grande partie des auteurs qui traitent l'impact des éoliennes sur les chiroptères déconseille fortement l'installation des éoliennes en forêt. Notamment les recommandations d'EUROBATS (cf. Rodrigues et al. 2008; Rodrigues et al. 2015a) qui sont généralement reconnues comme document central, déconseillent l'installation des éoliennes dans tous les types de forêts et dans un rayon de 200 m autour de celles-ci (Rodrigues et al. 2015a, p.11). Si la perte d'habitat semble moins problématique, à condition que des mesures d'atténuation et de compensation soient mise en place, la mortalité induite par les collisions reste un grand problème. Les algorithmes de bridage, qui permettent un système plus respectueux de chauve-souris, sont très prometteuses. Néanmoins celles-ci ne sont pas encore suffisantes à l'heure actuelle pour garantir une faible mortalité. Notons que des problèmes comparables peuvent exister pour des emplacements hors forêt où l'activité des chiroptères peut également être importante. Ainsi, il semble que l'interdiction de l'installation en forêt ne soit quant à elle que partiellement justifiable. Il est donc plus pertinent de faire des études approfondies sur les impacts potentiels qui découlent de l'implantation des éoliennes à un endroit donné et de proscrire l'installation si l'activité est importante. S'il s'avère qu'il n'y a pas d'activité intensive, il n'y a alors pas de raison de proscrire l'installation en forêt. Ceci peut notamment être le cas dans des plantations de résineux. Il semble en revanche très peu probable de trouver une activité négligeable de chauve-souris dans des forêts matures de feuillues ou mixte. Ainsi, il peut être pertinent d'exclure *a priori* ces types de forêt. S'il est donc judicieux d'autoriser seulement des forêts à faible valeur écologique pour l'implantation d'éolien, il ne semble en revanche pas pertinent de restreindre cette implantation à des éoliennes en continuité d'un parc existante comme le prévoit la législation actuelle. Au contraire, cette limitation expose surtout les lisières qui sont pourtant particulièrement importantes pour les chauves-souris.

3.4 Autres animaux

Si l'impact sur l'avifaune et les chiroptères représente certainement l'impact principal sur la faune, il y a néanmoins quelques autres espèces qui peuvent être impactées. Ici nous allons considérer les impacts sur les insectes et sur les mammifères. Ceci ne veut pas dire qu'il n'y a absolument pas d'impacts sur d'autres classes animales mais il semble qu'on peut considérer que les impacts sur d'autres classes sont généralement négligeables.

3.4.1 Insectes

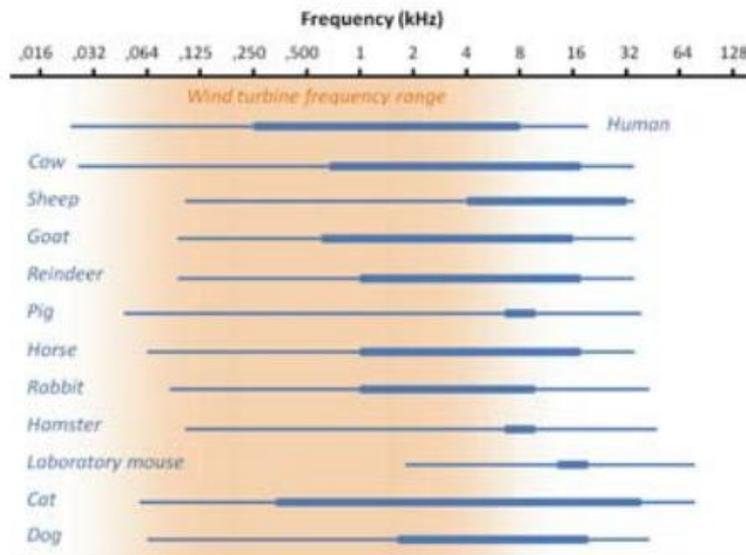
À part les oiseaux et les chiroptères, seulement des insectes sont susceptibles d'être trouvés à la hauteur des éoliennes et de rentrer en collision avec les pales. En plus des insectes qui se trouvent par hasard près des éoliennes, on estime que certains sont attirés par les lumières, la chaleur produite par le générateur et la couleur des éoliennes (Ratzbor et al. 2012, p.257; Richarz 2014, p. 59). En forêt, la création de trouées avec un microclimat plus chaud provoque des thermiques qui sont utilisées par certains insectes (NABU 2011, p.3). Ainsi il faut s'attendre à des quantités non négligeables d'insectes autour des éoliennes. Et en effet, des quantités considérables d'insectes meurent sur des éoliennes. Ces insectes éclatés sur les pales peuvent même former des croûtes qui peuvent aller jusqu'à ralentir l'éolienne (Corten & Veldkamp 2001; Dalili et al. 2009). S'il est vrai que la plupart des insectes en Wallonie ne bénéficient d'aucune protection juridique, il y a néanmoins des efforts comme le plan Maya qui vise la protection de certaines espèces. Il faut également reconnaître qu'une part non négligeable d'espèces doit être considérées comme en danger (DGARNE 2010). En conséquence il faudrait théoriquement tenir compte des impacts sur ces insectes. En pratique il est néanmoins impossible de seulement estimer quelles espèces et combien d'insectes sont tués sur une éolienne donnée. De plus, il faut considérer que l'impact des éoliennes est négligeable par rapport à d'autres impacts comme la mortalité sur les pare-brises des milliers de voitures (Ratzbor et al. 2012, p.257). Enfin, la stratégie de reproduction des insectes implique de forts taux de natalité et de mortalité. Même si pas impossible, il est donc peu probable que la mortalité induite par les éoliennes ait une réelle influence sur les populations (Lindeiner et al. 2011, p.12). La présence d'insectes près des éoliennes semble donc surtout problématique du fait qu'ils peuvent attirer des chiroptères (cf. chapitre 3.3.4).

3.4.2 Mammifères terrestres (sauf chiroptères)

Même s'il n'y a pas de danger direct pour les mammifères (excepté chiroptères) il est néanmoins possible qu'ils soient dérangés par la présence des éoliennes en forêt, notamment à cause des changements d'habitat mais aussi par le bruit, les ombres ou les champs magnétiques.

DERANGEMENTS ACOUSTIQUES

Les animaux pourraient être dérangés par le bruit dans leur communication ou pour entendre des menaces. Ceci qui pourrait résulter en un stress continue qui pourrait porter atteinte à leur santé et *in fine* mettre à mal la population (Helldin et al. 2012, p.19). Il est notamment connu qu'une exposition à un bruit de 60-75 dBA peut altérer la santé des animaux domestiques (Christensen et al. 2005). Le bruit directement sous une éolienne est typiquement de 50-60 dBA et reste donc en dessous du seuil à risque (Helldin et al. 2012, p.20). Toutefois, les animaux n'entendent pas dans les mêmes fréquences que l'Homme. Il se pourrait donc qu'ils soient plus sensibles à certaines fréquences du bruit des éoliennes²¹. Comme le montre le graphique 17 la plupart des animaux entendent des fréquences plus hautes que l'Homme mais pas celles plus basses. Dans la gamme de fréquences émise par une éolienne les animaux peuvent donc entendre de manière similaire ou moins bien que l'Homme.



Graphique 17 : Audibilité de différentes fréquences pour l'Homme et des animaux
Source : Helldin et al. 2012, p. 21

²¹ Les mesures en dBA sont en effet adapté à l'audibilité de l'Homme

Ainsi, même s'il y a peu d'études qui analysent l'impact du bruit sur des mammifères il semble probable que dans la plupart des cas l'impact est négligeable. Il y a néanmoins des exceptions. Il existe notamment un cas au Danemark qui a fait beaucoup de vague parce que les visons d'un élevage semblaient devenir fous à cause du bruit d'une éolienne qui avait été implanté à proximité (Wetzel 2015). Il n'y a néanmoins aucune étude scientifique qui traite ce cas et qui pourrait confirmer ces inquiétudes. Plus d'études sont ainsi nécessaires pour déterminer s'il existe des espèces sensibles. Pour le moment il n'est donc pas possible de dire si des éoliennes en forêt impactent des animaux particulièrement sensibles. Les études sur des animaux sauvages existantes semblent néanmoins confirmer qu'il n'y a pas d'impact majeur. Ainsi une étude allemande ne trouve pas de comportement d'évitement de la zone autour des éoliennes pour les animaux étudiés (chevreuil, renard, lièvre) (Menzel & Pohlmeier 1999).

Contrairement à la phase de l'utilisation qui ne semble pas posée de problèmes il est certain, que la phase de construction provoque du bruit qui a un potentiel de dérangement sur les mammifères (Ratzbor et al. 2012, p.258). Les carnivores (comme notamment les chats sauvages) et les ongulés (comme notamment les cerfs) semblent éviter la zone des éoliennes pendant la construction (Boldt & Hummel 2013, p.14). Comme ces animaux sont très liés aux forêts, l'implantation des éoliennes en forêts semble plus problématique à cet égard. La perturbation due à la construction est en revanche d'une durée limitée et il semble que les animaux se réapproprient vite leurs habitats autour des éoliennes une fois les travaux finis. Ceci est également confirmé par le passage de gibier qui a pu être trouvé directement en dessous d'une éolienne pendant la visite du parc d'Hilchenbach (cf. annexe II). S'il y a des habitats de repli pour le temps de la construction, le dérangement dû à la construction ne semble donc pas impacter les populations sur le long terme (Boldt & Hummel 2013, p.1). Un facteur plus important que le bruit directement provoqué par les éoliennes ou leur construction est le bruit qui est provoqué par l'utilisation des chemins d'accès pour des raisons de loisir (cf. chapitre 3.1.4) surtout s'il s'agit de lieux auparavant reculés comme ça peut être le cas en forêt. Cet impact apparaît comme critère déterminant d'effarouchement durable et en conséquence de la perte d'habitat pour de grands mammifères (Helldin et al. 2012).

CHAMPS MAGNÉTIQUES

Les études qui analysent l'impact des champs magnétiques de lignes à haute tension sur les animaux domestiques n'ont pas constaté une influence sur leur santé ou leur comportement (Renaud et al. 1999 in Helldin et al. 2012, p.22). Une recherche expérimentale avec des

vaches en revanche a démontré une diminution de la production de lait et des impacts sur le système endocrinien (Burchard et al. 2006 in Helldin et al. 2012, p.22). Les champs magnétiques provoqués par les éoliennes à hauteur du sol sont par contre bien inférieure aux champs magnétiques utilisés dans ces expériences, la même chose vaut pour les câbles souterrains (Helldin et al. 2012, p.22). Une influence quelconque sur la faune semble donc improbable, surtout parce que le temps d'exposition des espèces sauvages est très réduit par rapport à des animaux domestiques.

OMBRES PORTEES

L'effet des ombres sur les animaux sauvage n'a pas encore été étudiée. Une étude sur des chevaux montre qu'il est assez rare que les chevaux montrent des réactions quand ils sont confrontés aux ombres des éoliennes (Seddig A. 2004). Ceux qui montrent une réaction au début semblent vite s'habituer aux ombres. Par analogie on peut donc s'attendre à ce que la plupart des mammifères soient plutôt indifférents aux ombres. Il y a néanmoins des indices qui portent à croire que les petits mammifères réagissent plus fortement aux stimulations visuelles (Boldt & Hummel 2013, p.13), ils pourraient donc être plus impactés. En milieu forestier ce problème semble diminué car le sol est généralement éclairé de manière diffuse. Il y a donc moins souvent d'ombres sur le sol.

CHANGEMENT D'HABITAT

Il y a d'abord la perte directe d'habitat forestier due à la construction de chemins et des éoliennes. Comme nous avons vu cette surface est très réduite (cf. chapitre 3.1.1), pour les grands mammifères qui ont généralement des territoires étendus cette perte est donc négligeable s'il ne s'agit pas de zones particulièrement importantes (Helldin et al. 2012, p.26). En plus de cette perte directe il est possible qu'il y ait des pertes dues aux changements d'habitats. L'utilisation de ces chemins par les Hommes pour leurs loisirs peut indirectement aboutir à une perte d'habitat plus importante. De plus, nous avons vu que la mise en place d'une trouée dans la forêt provoque un effet de lisière qui diminue la surface des habitats purement forestiers (cf. chapitre 3.1.3). Il semble que cet effet soit plutôt positif pour une bonne partie des mammifères. Ainsi des chevreuils et cerfs trouvent plus de nourriture sur les clairières et les petits rongeurs profitent des micro-habitats au pied de l'éolienne et au bord des routes (Helldin et al. 2012, p.26). Enfin, les victimes de collision représentent une amélioration de l'offre de nourriture pour les renards notamment.

Il n'y a en revanche pas qu'uniquement des effets positifs sur les mammifères. Ainsi la construction ou l'élargissement des routes peut provoquer une fragmentation des habitats des petits rongeurs. La martre des pins (*Martes martes*) par exemple est un animal forestier qui évite de traverser des espaces ouverts même de la taille d'un chemin forestier (Helldin et al. 2012, p.26). Le muscardin (*Muscardinus avellanarius*) pourrait également être touché car il se déplace principalement dans les buissons en sautant d'une branche à l'autre. Des chemins peuvent donc devenir des obstacles infranchissables (Richarz 2014, p.58). Les deux espèces vivent toutefois surtout dans des forêts feuillus assez riches et avec strate buissonnante, or nous avons déjà constaté que de telles forêts devraient être exclues pour l'installation d'éoliennes. Notant qu'à part les petits mammifères, des amphibiens peuvent également souffrir de l'effet de fragmentation surtout si la route reste fréquentée après les travaux.

3.4.3 Conclusions

Dans l'ensemble il apparaît que l'impact des éoliennes sur les mammifères et les insectes est très réduit. Les facteurs le plus problématiques sont les routes d'accès et notamment la perturbation provoquée par l'utilisation de ces routes pour des raisons de loisir. En analogie avec la minimisation des impacts sur les autres parties déjà analysées, il convient donc de minimiser la construction des routes dans la forêt. Il faut néanmoins noter que l'état des connaissances concernant l'impact sur les mammifères et sur les insectes reste très rudimentaire et que les conclusions tirées dans ce chapitre doivent donc être sujet à caution.

3.5 Milieu abiotique

En plus des impacts sur le milieu biotique, il convient également de considérer les impacts sur le milieu abiotique, notamment le sol, l'eau et l'air.

3.5.1 Les sols

L'impact sur le sol se limite principalement aux endroits directement touchés par la construction de l'éolienne et des infrastructures. Le fondement des éoliennes imperméabilise complètement le sol ce qui le prive de toutes ses fonctions. Si les sols sont meubles, il est nécessaire de faire une fondation par points en plus du fondement habituel ce qui impacte les sols dans des profondeurs très importantes. Pour les chemins, on utilise généralement du concassé ce qui nécessite un échange complet du sol mais ne l'imperméabilise pas complètement (Ratzbor et al. 2012, p.133). Il faut donc privilégier les routes en concassé et éviter de faire des routes en asphaltes si la pente le permet. Si des travaux de nivellement sont nécessaires, la stratification du sol peut être perturbée. Sur les surfaces de stockage qui sont

provisoirement consolidées, on pourrait avoir des effets de compactage qui sont toutefois probablement négligeables à côté des dégâts provoqués par les engins forestiers. Dans l'ensemble, les impacts sur le sol restent donc très localisés. Néanmoins, le sol reste un bien à protéger, surtout s'il s'agit de sols productifs. Dans cette optique l'installation en milieu forestier pèse moins lourd car les sols sur lesquels se trouvent les forêts wallonnes sont généralement moins productifs que les sols des plaines agricoles.

3.5.2 L'eau

L'impact sur l'eau est principalement dû aux chemins qui croisent des petites rivières. De tels croisements nécessitent des aménagements très lourds qui changent localement sur 5-10 mètres l'état des rivières (Ratzbor et al. 2012, p.133). Même si l'impact est très localisé il peut être important pour le cours d'eau. Comme la construction de croisements coutent chère, on peut partir du principe que le promoteur réduit le nombre et la largeur des croisements dans son propre intérêt à un minimum absolument nécessaire (Ratzbor et al. 2012, p.133). L'impact sur la nappe phréatique est négligeable car (comme on l'a vu) l'imperméabilisation du sol reste très réduite. Une pollution de l'eau par l'huile de graissage en cas d'accident n'est pas envisageable car les éoliennes sont équipées de cuves collectrices (Ratzbor et al. 2012, p.133).

3.5.3 L'air et le climat

Globalement les éoliennes ont un impact positif sur le climat en comparaison avec des centrales électriques conventionnelles car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre (cf. chapitre 3.1.2). Mise à part la question des GES, les éoliennes pourraient influencer le climat local car elles freinent le vent et provoquent des turbulences. Toutefois, ces effets disparaissent déjà 300-500 mètres derrière les éoliennes, ils sont donc négligeables à côté des masses d'air dans leurs ensembles (Ratzbor et al. 2012, p.134). L'impact sur le climat forestier via la création de trouées dans la couverture végétale (cf. chapitre 3.1.3) pèse donc certainement plus lourd que l'impact sur les mouvements de l'air.

3.5.4 Conclusions

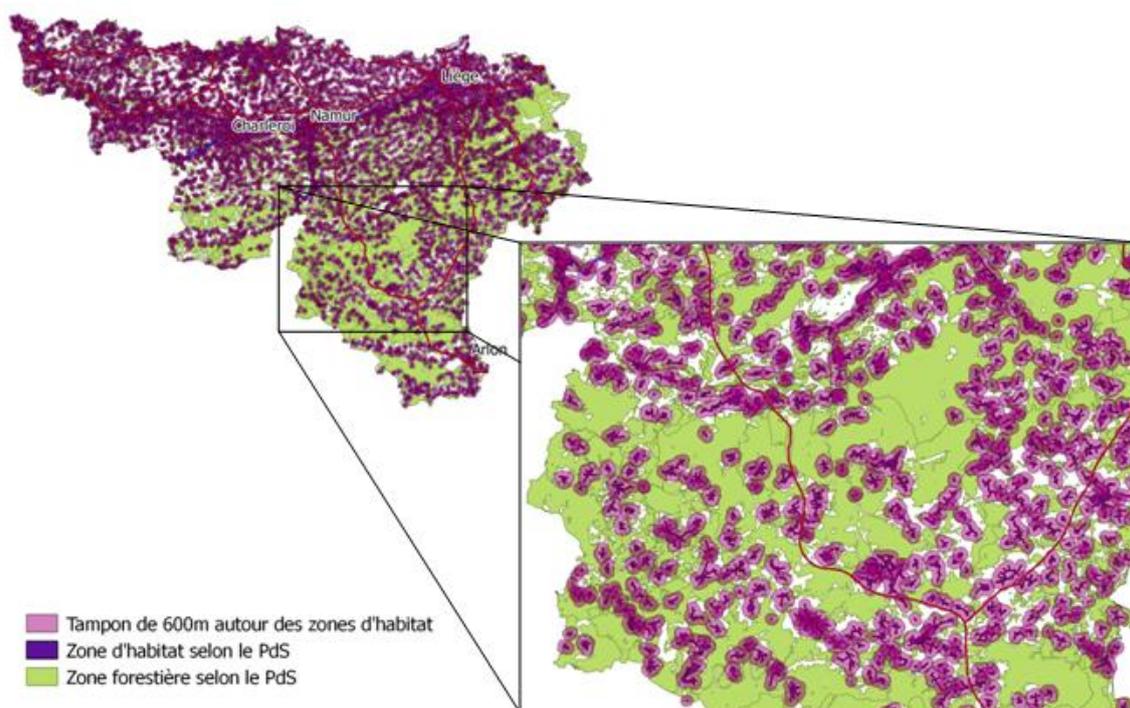
En somme l'impact sur le milieu abiotique se limite donc principalement aux impacts provoqués par les activités de construction. La construction des éoliennes n'est à cet égard guère différente que d'autres projets de construction. Il est néanmoins vrai que l'installation des éoliennes en milieux forestiers représente des constructions de taille atypique en forêt. Il ne semble toutefois pas que le milieu abiotique en forêt soit plus sensible qu'ailleurs.

3.6 L'Homme

Quand on parle des différentes parties des écosystèmes forestiers, on ne pense pas forcément tout de suite à l'Homme. En effet les forêts sont souvent perçues comme l'un des derniers écosystèmes naturels, peu façonnés par la présence de l'Homme. Il est vrai que la gestion des milieux forestiers est marquée par une intervention humaine moins fréquente que dans les espaces agricoles par exemple. Néanmoins, les forêts de la Wallonie sont elles aussi largement le résultat de la gestion humaine et elles sont utilisées par l'Homme comme d'autres écosystèmes. Ainsi, des éoliennes en milieux forestiers peuvent avoir des impacts sur l'Homme même s'ils se trouvent loin des habitations. En effet, l'Homme peut être impacté par un dérangement des riverains si on se trouve à proximité d'habitations mais aussi via des effets sur l'économie locale ou via une diminution de la fonction récréationnelle des forêts, entre autres due à un changement de paysage. Même si ces impacts peuvent paraître minimes par rapport aux impacts d'un point de vue des chiroptères par exemple (peut-on comparer une mortalité accrue avec une modification paysagère?) il ne faut pas oublier que l'emplacement des éoliennes est choisit dans une perspective anthropogène et que les riverains ont des possibilités bien supérieurs aux chauves-souris de défendre leurs intérêts. Les impacts sur l'Homme ne sont donc absolument pas à négliger.

3.6.1 Les riverains

Si des éoliennes se trouvent à proximité d'habitats, celles-ci peuvent provoquer une gêne pour les résidents, notamment dû au bruit provoqué par les éoliennes et aux effets stroboscopiques qui peuvent être provoqués par l'ombre des pales. L'ampleur de l'impact est étroitement liée à la distance entre l'éolienne et l'habitat, ainsi une éolienne qui provoque un bruit de 50-55 dBA au pied de l'éolienne ne s'entend plus qu'avec 40-45 dBA à une distance de 450-500 mètres (Gouvernement wallon 2013, p.8). Pour éviter un niveau de gêne non tolérable, le cadre de référence fixe conséquemment une distance minimum qui est de 4 fois la hauteur de l'éolienne entre l'éolienne et des zones d'habitat et de 400 mètres entre l'éolienne et des habitats hors zone d'habitat (Gouvernement wallon 2013, p.10). Comme on peut le voir sur le graphique 18, cela implique qu'une grande partie des zones qui ne se trouvent pas en zones forestières ne sont pas propices pour l'installation d'éoliennes. À l'inverse, une implantation en forêt a le grand avantage d'être généralement loin des habitations. On peut donc assumer que dans la majorité des cas une implantation en forêt réduit les impacts sur les riverains.



Graphique 18 : Zones d'habitats et zones forestières

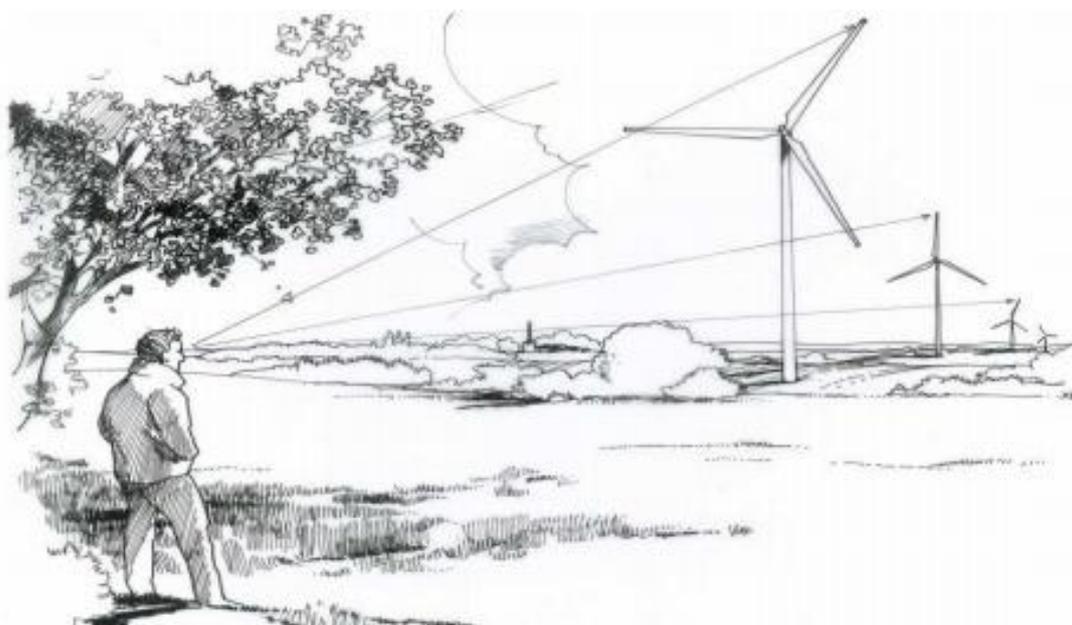
Source : Propre image, sur base de données de SPW-DGO4, 2007

En plus de ces impacts spécifiques pour les riverains directs, les impacts sur le paysage, sur la fonction récréationnelle des forêts et sur l'économie que nous allons regarder par la suite peuvent bien entendu aussi toucher les riverains directs mais également des riverains plus lointains.

3.6.2 Le paysage et la fonction récréationnelle des forêts

On entend souvent que les éoliennes gâcheraient le paysage. Avant de regarder à quel point cela est justifié il convient de comprendre qu'est-ce qu'on entend par paysage. Dans la Convention européenne du paysage le mot paysage est défini comme suit: « Paysage désigne une partie de territoire telle que perçue par les populations, [...] » (Conseil de l'Europe 2000, article 1, alinéa a). Cette définition nous apprend qu'un paysage existe seulement pour autant qu'il y a quelqu'un pour le voir. La perception du paysage dépend donc de l'observateur. En conséquence elle peut changer d'une personne à l'autre, selon l'angle de vu ou au cours du temps. Ainsi on ne peut pas toujours parler d'un gâchis de paysage, selon la perspective il se peut même que des éoliennes contribuent positivement à la formation d'un paysage. Si la majorité des Wallons sont principalement favorables à l'implantation d'éoliennes (Ipsos 2010, p.36), il faut néanmoins reconnaître qu'une grande partie de gens (30%) semble désapprouver la vue sur les éoliennes (Ipsos 2010, p.46). On peut s'attendre à ce que les désapprobations croissent si les éoliennes se trouvent dans un environnement

naturel, peu influencé par l'Homme comme c'est le cas si on les implante en forêt. Ainsi la question des moyens de diminution de l'impact sur le paysage est généralement un sujet de grande préoccupation. Ceci s'observe également par la place que le cadre de référence octroie à la question (cf. Gouvernement wallonne 2013, p.11-27). Comme des éoliennes sont des constructions d'une grande visibilité, leurs impacts sur le paysage doit être pris en compte dans un périmètre d'au moins 9-11 km autour du parc éolien (Gouvernement wallonne 2013, p.26). Ceci, d'autant plus que les dimensions verticales ont généralement un impact particulièrement important sur le paysage perçu (Godart 2015, p.4). Néanmoins c'est surtout l'environnement proche qui est impacté car l'impact visuel diminue déjà fortement avec quelques centaines de mètres de recul. Ainsi, une éolienne d'une hauteur de 150 mètres occupe 23° de l'angle verticale de vision si on se trouve à une distance de 250 m et plus que 16° à une distance de 500 m (Gouvernement wallonne 2013, p.9). Le graphique 19 illustre ce phénomène.



Graphique 19 : Visibilité d'une éolienne en fonction de la distance
Source : Gouvernement wallonne 2013, p.9

Une installation des éoliennes en forêts est donc avantageuse à cet égard puisque dans l'environnement immédiat de l'éolienne, la vue particulièrement critique sur celle-ci est généralement cachée par la canopée des arbres. Ceci est également montré par l'image 1 de l'annexe II. De l'autre côté la présence des éoliennes dans des forêts peut être vue comme particulièrement grave car les forêts sont généralement perçues comme des endroits naturels pas encore influencés par l'Homme. Il est très difficile de faire des suggestions générales afin de diminuer l'impact sur le paysage car il faut considérer chaque cas individuellement. Si on

essaie de généraliser il convient néanmoins de conseiller fortement de regrouper les éoliennes afin de ne pas étaler l'impact. En plus on peut conseiller le maintien et l'appui des lignes de force d'un paysage plutôt que de le concurrencer (Gouvernement wallonne 2013, p.15). Ces lignes de force sont souvent données par des lignes de crête qui à leurs tours sont souvent boisées. Dans l'optique d'appuyer ces lignes de force, il serraient donc dommage d'opter pour un emplacement à mi-hauteur de la colline afin d'éviter une implantation en forêt, il convient plutôt de couronner le sommet par le parc éolien (Gouvernement wallonne 2013, p.16). Cette situation est schématisée par le graphique 20.



Graphique 20 : Position d'un parc éolien et les lignes de force d'un paysage

Source : Gouvernement wallonne 2013, p.16

Afin de préserver les paysages extraordinaires, il convient de privilégier les zones déjà altérées par exemple en implantant des éoliennes à côté des infrastructures existantes comme les autoroutes (Gouvernement wallonne 2013, p.17). À nouveau, il serraient dommage d'abandonner cette piste pour éviter l'implantation en forêt, d'autant plus qu'au-delà du paysage, les écosystèmes voisins sont déjà fortement impactés par la présence de l'infrastructure. Ainsi, l'impact supplémentaire des éoliennes pèse proportionnellement moins lourd.

À travers l'impact sur le paysage, à cause du bruit et due aux aménagements des chemins, l'implantation des éoliennes peut avoir des impacts sur la valeur récréationnelle d'un endroit. Ceci est autant plus important en ce qui concerne les éoliennes en forêt car les forêts sont des endroits privilégiés pour des activités de loisir. Ainsi, presque la moitié des Belges francophones se rendent régulièrement en forêt pour des activités de détente ou de loisir (Colson 2006, p.29). Les activités de loisirs qu'on pratique typiquement en forêt (promenades de détente, observation de la faune et de la flore, randonnées...) sont pour la grande majorité liées à une recherche de nature et de quiétude (Colson 2006, p. 33; Bernasconi &

Schroff 2008, p.17). Des éoliennes peuvent compromettre une telle recherche car le bruit diminue la quiétude et la simple présence des éoliennes en forêt va à l'encontre de l'image que la plupart de gens ont d'un paysage naturel. De plus, il y a le danger potentiel de chute de glace (cf. annexe II) qui pourrait empêcher des gens de bénéficier des sites à proximité des éoliennes. De l'autre côté, l'installation des éoliennes entraîne une construction ou élargissement des routes ce qui améliore l'accessibilité des sites propices pour de telles activités de loisirs.

3.6.3 L'économie

Finalement l'implantation des éoliennes peut avoir des conséquences pour l'économie locale et ainsi indirectement impacter l'Homme. Il y a plusieurs mécanismes à travers lesquels l'implantation en forêt pourrait avoir des effets en ce sens. Premièrement, l'économie de la filière du bois avec ces 18 800 emplois (OEWB 2013, p.7) pourrait être impactée car une partie du territoire est perdu pour la production primaire. Il semble néanmoins que cet effet soit négligeable puisque la surface durablement déboisée est extrêmement petite par rapport à la surface totale (cf. chapitre 3.1.1). Les lignes directrices sur l'implantation d'éoliennes en Rhénanie du Nord-Westphalie conseillent néanmoins de faire attention aux forêts qui sont particulièrement productives ou qui livrent des bois particulièrement précieux (MKULNV 2012, p.45). En plus de la surface déboisée, les surfaces avoisinantes pourraient être négativement influencées, par exemple via un risque accru de chablis (cf. chapitre 3.1.4). De l'autre côté, l'amélioration des chemins forestiers via l'installation des éoliennes permet sûrement une exploitation plus facile des forêts ce qui pourrait augmenter la performance de la filière.

Une autre aspect très positif pour les propriétaires de forêt est la création de recettes supplémentaires via le loyer pour l'emplacement des éoliennes qui apporte généralement 5-10.000 € par éolienne et an (Beguin 2013). Si les riverains participent directement dans le financement des éoliennes (ce qui est encouragé par le nouveau cadre de référence), les retombés économiques ne bénéficieront pas seulement aux propriétaires de l'emplacement mais également aux riverains. Il y a en revanche de grandes inquiétudes des propriétaires avoisinants qui craignent souvent que la valeur de leurs patrimoines baissent suite à l'installation des éoliennes (Ipsos 2010, p.50). Ainsi, une des préoccupations principales de la SRFB vis-à-vis des éoliennes en forêt est la valeur patrimoniale des propriétaires de forêt (Wouters 2015). Cependant, plusieurs études dont deux pour la Wallonie montrent que l'implantation des éoliennes n'a pas d'effet négatif sur les prix immobiliers mise à part une

chute passagère entre l'annonce de construction et la mise en activité des éoliennes (Henry, P. 2013). Si les valeurs immobilières ne sont pas négativement impactées, il semble probable que la même chose soit vrai pour des parcelles sylvicoles. Il s'avère dès lors que qu'il s'agit majoritairement de craintes sans fondement réel. On remarque en ce sens que la crainte est plus rependu chez les non-riverains que chez les riverains d'une éolienne (Ipsos 2010, p.51).

Une autre branche économique qui pourrait être affectée et qui est particulièrement importante pour les zones les plus boisées en Wallonie est le tourisme. L'effet potentiel de l'installation des éoliennes sur la fonction récréationnelle des forêts comme nous l'avons vu précédemment pourrait porter à croire que le tourisme pourrait être négativement impacté par l'installation des éoliennes en forêt. Plusieurs études allemandes montrent néanmoins que l'installation des éoliennes n'a pas eu d'impact sur le tourisme des régions étudiées (Günther 2002; Benkenstein et al. 2003). Le fait que les éoliennes en Wallonie soient généralement vu positivement par la plupart de la population (Ipsos 2010) permet la prévision que le tourisme en Wallonie ne va pas non plus être affecté par l'implantation d'éoliennes.

Finalement il ne faut pas oublier que les études et les travaux qui sont nécessaires pour l'installation des éoliennes ainsi que l'entretien peuvent également profiter à l'économie locale. Ceci n'est par contre aucunement spécifique pour les éoliennes en forêt.

3.6.4 Conclusions

Dans l'ensemble, il apparaît que les éoliennes en forêt sont moins critiques que dans la majorité des autres endroits en ce qui concerne les impacts sur l'Homme. Cela est principalement dû à un éloignement des éoliennes par rapport à l'Homme mais aussi à une certaine diminution de la visibilité. Néanmoins, de fortes influences sur le paysage persistent. La perception de ces changements de paysage, qu'elle soit négative, neutre ou même positive dépend entre autres fortement de l'attitude du spectateur. Un risque est que le changement du paysage forestier, souvent vu comme naturel, soit perçu de manière particulièrement négative. L'impact sur l'économie locale semble quant à lui plutôt positif ou tout au moins neutre.

4 Conclusion générale

L'installation de nouvelles éoliennes en Wallonie est actuellement insuffisante pour atteindre les objectifs que la Wallonie a fixés dans le cadre du paquet énergie climat de l'Union Européenne. Un des problèmes est notamment la difficulté de trouver des emplacements propices, permettant à la fois une qualité de vent suffisante et engendrant des impacts raisonnablement bas sur les différentes parties de l'environnement y compris sur l'Homme. Dans ce contexte, l'exclusion des forêts pèse lourd. En intégrant les surfaces forestières dans la recherche d'emplacements, on pourrait en effet augmenter la surface des zones potentielles de 50%. Malgré la qualité du vent inférieur à d'autres emplacements les forêts représentent donc un grand potentiel pour l'implantation d'éoliennes.

L'analyse des impacts a montré que les impacts sur la flore, sur le milieu abiotique et sur la plupart des animaux restent négligeables ce qui est principalement dû au fait que la surface qui doit être déboisée pour l'implantation des éoliennes reste finalement assez réduite. Des études approfondies des impacts sur les mammifères et les insectes seraient toutefois recommandées afin de confirmer les présupposés actuels d'impacts de faible ampleur. L'impact sur l'Homme est quant à lui potentiellement diminué si on implante des éoliennes en forêt car celles-ci sont généralement éloignées des habitations. Le plus grand impact sur l'Homme semble être le changement de paysage qui est néanmoins difficile à objectiver. Si une grande partie de l'environnement reste ainsi peu impactée, il y a toutefois des impacts importants en ce qui concerne les oiseaux et les chiroptères. L'impact principal pour les deux groupes d'espèces est la mortalité accrue induite par une collision avec les pales. Le cas des oiseaux semble néanmoins moins problématique qu'on pourrait le croire. Ce sont en effet surtout les grands rapaces qui sont vulnérables face aux éoliennes en général or, les rapaces forestiers volent généralement bien en dessous de la hauteur des pales. Les endroits les plus critiques sont en conséquence les lisières de forêts où on rencontre souvent des nids d'espèces comme le milan royal qui nichent en forêts et chassent en terrains ouverts. Quelques oiseaux comme la cigogne noire peuvent également être effarouchés par les éoliennes. Ces espèces ont néanmoins besoin de forêts particulièrement diversifiées que l'on peut aisément exclure pour l'implantation. Si on évite donc l'installation des éoliennes dans les zones sensibles, c'est-à-dire autour des nids, dans des terrains de chasse importants et dans des couloirs de migration, il semble que l'impact sur l'avifaune puisse être maintenu à un niveau acceptable. Le cas des chiroptères est plus difficile. En effet, même si l'utilisation d'algorithmes de bridage semble prometteuse, cette solution reste insuffisante pour dimi-

nuer la mortalité à un niveau acceptable. Le choix de l'emplacement reste donc l'outil principal pour réduire les impacts. Bien qu'il y ait de grandes différences entre les espèces en ce qui concerne le risque de collision et l'importance des forêts comme habitat, il s'avère que la plupart des espèces sont présentes en forêt à un moment de l'année. L'activité importante des chiroptères étant très probable dans des forêts de feuillus et mixte avec des arbres matures, une exclusion générale de ce type de forêt est justifiée. L'étude des forêts wallonnes montre toutefois qu'environ la moitié des forêts sont constituées de résineux et qu'il s'agit généralement de monocultures d'épicéas avec un faible potentiel écologique. En outre, le cadre socio-économique de la gestion forestière suggère que cela va rester ainsi à moyen et long-terme. Dans ces forêts plus pauvres, la présence de chauves-souris est certes moins probable mais il est néanmoins difficile d'exclure à l'avance un risque pour les chiroptères. Des études approfondies au cas par cas sont donc la seule possibilité pour connaître les espèces présentes et leurs activités afin d'éviter l'installation sur des emplacements entraînant des impacts importants sur les chiroptères. Ces études au cas par cas pourront être faites dans le cadre des études d'incidences environnementales requises pour l'implantation des parcs éoliens de plus de 3 MW en Wallonie.

Ainsi, et du fait que nous habitons dans une société qui crée de lourds impacts sur l'environnement à travers presque tous ses actes, il ne semble pas justifiable de maintenir une approche ultra-précautionneuse vis-à-vis des éoliennes. En effet, l'exclusion de toutes les forêts, même pauvre en biodiversité ou la soumission de l'implantation dans de telles forêts à des critères dépourvus de justifications environnementales, comme le critère de la continuité avec un parc en dehors de la forêt, semble peu pertinente. Au contraire, l'installation dans des forêts à faible biodiversité peut épargner l'installation d'éoliennes en dehors de la forêt sur des emplacements plus sensibles. Une approche trop précautionneuse vis-à-vis des forêts pourrait donc être nocive pour d'autres habitats. Enfin, il semble important de rappeler que les autres possibilités qui existent pour générer de l'électricité sont loin d'être sans impacts. Ainsi, afin de remettre les conclusions du présent travail dans un contexte plus global, il conviendrait de comparer les impacts des éoliennes avec les impacts induits par d'autres technologies comme des centrales à charbon ou nucléaire par exemple.

Dans l'optique des objectifs actuels et afin de préserver un juste équilibre entre une installation accrue d'éoliennes qui permettrait d'atteindre les objectifs wallons pour lutter contre le changement climatique d'un côté, et une sauvegarde de l'environnement wallon et de sa biodiversité de l'autre côté, il semble judicieux d'autoriser l'implantation dans des forêts à faible biodiversité. Nous conseillons donc de changer la législation wallonne en ce sens durant les changements de législation à venir. Il conviendrait ainsi de regarder en détail comment les résultats de ce travail pourraient être traduits dans la législation, notamment en ce qui concerne la définition des forêts pauvres en biodiversité et l'étendu des périmètres de protection autour des endroits sensibles (nids, sites d'hivernage etc.).

5 Glossaire

Anserinae

Sous-famille dans la classe des oiseaux qui comprend notamment les genres des oies, des bernaches et des cygnes.

Avifaune

Ensemble des espèces d'oiseaux d'une région donnée. L'avifaune comprend des espèces sédentaires et des espèces saisonnières.

Capacité d'accueil

Nous sous-entendons ici capacité d'accueil de la biodiversité. La capacité d'accueil désigne donc le potentiel théorique qu'un habitat donné a pour abriter un nombre élevé d'espèces.

Carabes

Nom vermiculaire qui désigne l'ensemble des 40 000 d'espèces de coléoptères terrestre.

Chablis

Renversement d'arbres par le vent. Les arbres sensibles sont surtout ceux qui sont brusquement exposés au vent ou qui ne sont pas adaptés aux conditions géologiques et/ou climatiques.

CORINE Land Cover

Projet coordonné par l'Agence européenne de l'environnement qui classe l'occupation du sol en Europe. La classification se fait sur base des images satellitaires. CORINE et l'acronyme pour *Coordination of Information on the Environment*.

Effet d'effarouchement

La présence des éoliennes peut faire fuir des animaux de la zone autour des éoliennes ce qui réduit la taille effectivement utilisable de leurs habitats. De l'autre côté les espèces qui se laisse effaroucher par les éoliennes ne risque pas ou moins de rentrer en collision avec les pales (en ce qui concerne les chiroptères et les oiseaux). L'effet d'effarouchement peut être passer si les espèces concernées s'adaptent aux dérangements.

Effet lisière

Aussi appelé effet de bordure. Désigne les impacts négatifs des lisières artificielles sur l'écosystème. En lisière de forêt on peut notamment observer une augmentation de l'ensoleillement, une diminution de l'humidité et une augmentation de la température.

Effet stroboscopique

A proprement parlé, l'effet stroboscopique désigne une suite d'image avec une telle vitesse que l'œil humain ne peut plus capter toutes les images (effet qui peut créer l'impression que les roues d'une voitures tournent à l'envers). Les ombres qu'une éolienne jette par terre n'atteignent pas cette vitesse. On parle néanmoins souvent d'effet stroboscopique pour désigner la gêne provoquée par la succession d'ombres provoquées par une éolienne.

Heures équivalente (h_{eq})

Désigne le nombre d'heures qu'une éolienne devrait tourner à puissance nominale pour fournir une quantité d'électricité donnée. La notation des heures équivalente est principalement utilisée pour exprimer le facteur de charge.

Maternité

Endroit où les femelles des chauves-souris se rassemblent pour mettre bas et pour élever leurs jeunes. Les exigences pour les maternités dépendent de l'espèce, elles se trouvent typiquement dans des bâtiments ou dans des arbres creux.

Moyeu

Pièce centrale de l'éoliennes sur laquelle sont fixés les pales.

Passereaux

Oiseaux appartenant à l'ordre des *Passeriformes* qui englobe plus que la moitié de tous les oiseaux, notamment tous les oiseaux chanteurs. Il s'agit d'oiseaux de petit taille.

Puissance nominale

Puissance maximale en fonctionnement normal (dans conditions définies par le fabricant).

Vent géostrophique

Vent qui n'est plus influencé par la friction du sol.

6 Bibliographie

6.1 Littérature

Ahlén, I., 2003. *Wind turbines and bats, a pilot study*. Final report 11 December 2003 to the Swedish National Energy Administration. 5p.

Albouy, S., Dubois, Y. & Picq, H., 2002. *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)*. Abies et LPO

Alignier, A. & Deconchat, M., 2013. "Patterns of forest vegetation responses to edge effect as revealed by a continuous approach", in *Annals of Forest Science*, n°70, pp.601–609

APERe, 2015. Observatoire éolien. En Wallonie. Online: <http://www.apere.org/observatoire-%C3%A9olien> (consulté le 21.04.2015)

Arnett, E.B., Baker, M., Hein, C., Schirmacher, M., Huso M.M.P. & Szewczak J.M. 2011a. *Effectiveness of deterrents to reduce bat fatalities at wind energy facilities*. NINA Report, n°693. 57p.

Arnett, E.B., Huso, M.M.P., Schirmacher, M.R. & Hayes, J.P., 2011b. "Altering turbine speed reduces bat mortality at wind energy facilities", in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 9, pp.209-214.

Arzt, V., 2011. *Fledermäuse - Warte bis es dunkel wird* -. WDR 2011. [Vidéo online] Online: <http://www.ardmediathek.de/tv/Doku-am-Nachmittag/Flederm%C3%A4use-Warte-bis-es-dunkel-wird/Einsfestival/Video?documentId=20153664&bcastId=13980890> (consulté le 18.03.2015)

ATM-PRO, 2008. *Local Wind Resources & Energy Potential Assessment*. ATM-PRO Decision Maker Tools (MAESTRO Wind). ATM-PRO, Nivelles.

Baerwald, E.F., D'amours, G.H. Klug B.J. & Barclay R.M.R, 2008. "Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind Turbines", in *Current Biology*, n°18. pp.695-696.

Beguín, É., 2013. *Éolien: la poule aux œufs d'or pour les propriétaires agricoles?* L'Avenir du lundi 28 octobre 2013. Online: http://www.lavenir.net/cnt/dmf20131001_00368688 (consulté le 28.04.2015).

Bellebaum, J., Korner-Nievergelt, F., Dürr T. & Mammen U., 2013. "Wind turbines fatalities approach a level of concern in a raptor population", in *Nature Conservation*, n°21, pp.394-406.

Benkenstein, M., Zielke K., & Bastian, J., 2003. *Wirkungseffekte von Offshore-Windkraftanlagen in Mecklenburg-Vorpommern auf touristische Nachfrage- und Angebotsstrukturen, Forschungsgutachten (Endbericht)*. Ostseeinstitut für Marketing, Verkehr und Tourismus an der Universität Rostock.

Bentrup, G., 2008. *Zones tampons de conservation : lignes directrices pour l'aménagement de zones tampons, de corridors boisés et de trames vertes*. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 115 p.

Bergen, F., Breuer, W., Dürr, T., Fritsche, A., Herbert, M., Kaatz, J., Ketzenberg, C., Köp- pel, J., Langgemach, T., Langhoff, H., Menzel, C., Piela, A., Ramsauer, J., Reichenbach, M., Richarz, K., Schreiber, M., Sinning, F., Sprötge, M., Steffen, A., Südbeck, P., Viertl, C. & Weihrich, D., 2002. *Windenergie und Vögel - Ausmaß und Bewältigung eines Konfliktes Technische*. Tagungsband. Technische Universität Berlin

- Bernasconi A. & Schroff U., 2008. *Loisirs et détente en forêt. Bases, instruments, exemples*. Connaissance de l'environnement n° 0819. Office fédéral de l'environnement, Berne. 69 p.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz), 2011. *Windkraft über Wald - Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Bögelein, B., 2011. *Bau und Betrieb von Windenergieanlagen: Technische und infrastrukturelle Anforderungen*. Présentation de Juwi dans le cadre de la Naturschutz-Akademie Hessen 2011.
- Boldt, A. & Hummel, S., 2013. *Windenergieanlagen und Landsäugetiere. Literaturübersicht und Situation in der Schweiz*. FaunAlpin GmbH, Bern, 26p.
- Branquart, E. & De Keersmaeker, L., 2010: "Effets du mélange d'essences sur la biodiversité forestière" in *Forêt Wallonne* n°106, pp.17-24
- Branquart, E. & Dufrière, M., 2005. *Les arbres, de puissants révélateurs de la biodiversité forestière*. Résumé des interventions de la journée d'étude. Gestion forestière et biodiversité, Gembloux, le 23 mars 2005.
- Branquart, E., Liégeois, S., Blerot, P., De Wolf, P., Gérard, E., Lecomte, H., Liégeois, S., Stein, J., Van Driessche, I., Villers, M., Barjasse, A., Scohy, J.-P., Van Doren, B., Duchesne, J., Dahmen, R., Vanderstegen, J., Dufrière, M., Licoppe, A., Baar, F., Claessens, H., Delahaye, L., Farcy, C., Paquet, J.-Y. & Verté, P., 2010. *Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestière (complément à la circulaire n° 2619 du 22 septembre 1997 relative aux aménagements dans les bois soumis au régime forestière)*. DGARNE, Jambes.
- Branquart, E., Noiret, O. & Lecomte, H., 2007. Les milieux forestières. In: *Rapport analytique sur l'État de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE, pp.538-545
- Brielmann, N., Russow, B. & Koch, H., 2005. *Schwarzstorch-Beobachtungen im Jahr 2005. Erfassung und Bewertung der Flugaktivitäten an den Schwarzstorch-Horsten „Hasenwinkel“ und „Groß Langerwisch“*. – Gutachten im Auftrag der WKN Windkraft Nord AG, Rostock.
- Bright, J. A., Langston, R.H.W. & Anthony, S., 2009. *Mapped and written guidance in relation to birds and onshore wind energy development in England*. Royal Society for the Protection of Birds Research Report n° 35, London
- Brinkmann, R., 2011. *Kollisionsrisiko für Fledermäuse an Windkraftanlagen*. Présentation dans le cadre de la "Fachtagung BMU und DNR - Windenergie im Wald". Berlin, 13.09.2011.
- Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.), 2011. *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. Umwelt und Raum 4, Cuvillier Verlag, Göttingen. 457p.
- BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland), 2011. *Für einen natur- und umweltverträglichen Ausbau der Windenergie*. Wissenschaftlichen Beirat des BUND
- Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 100 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist.
- Bundeswaldgesetz (BWaldG) vom 6.8.2010
- Bunyan, M., Jose, S. & Fletcher, R., 2012. "Edge Effects in Small Forest Fragments: Why More Is Better?", in *American Journal of Plant Sciences*, n°3, pp.869-878

Burchard J.F., Nguyen D.H. & Rodriguez M., 2006. "Plasma concentrations of thyroxine in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields", in *Bioelectromagnetics* n°27, pp.553–559.

Canters, F., Cornet, Y., De Keersmaecker, M.L., De Maeyer, Ph., Donnay, J.P., Erpicum, M., Fettweis, X., Houbrechts, G., Marion, J.M., Poty, E. & Thomas, I. 2013. *Analyse du « Dossier méthodologique relatif à l'élaboration d'une carte positive de référence traduisant le cadre actualisé, associée à un productible minimal par lot permettant de développer le grand éolien en Wallonie à concurrence de 3.800 GWH à l'horizon 2020 » réalisé par Ph. Lejeune, C. Feltz & F. Fourneau.* Faculté agronomique de Gembloux.

Christensen J.W., Keeling L. & Lindstrøm Nielsen B., 2005. "Responses of horses to novel visual, olfactory and auditory stimuli", in *Applied Animal Behaviour Science* n°93, pp.53–65

Colson, V., 2006. "La fréquentation des massifs forestiers à des fins récréatives et de détente par la population wallonne et bruxelloise" in *Forêt wallonne* n°81, pp.26-38

Commission européenne, 2014. *Objectifs pour 2030 en matière de climat et d'énergie en faveur d'une économie de l'UE compétitive, sûre et à faibles émissions de carbone.* Communiqué de presse du 22 janvier 2014. Online: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_fr.htm (consulté le 18.03.2015)

Conseil de l'Europe, 2000. *Convention européenne du paysage.* Florence, 20.10.2000.

Conseil des communautés européennes, 1992. Directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages

Corten, G.P. & Veldkamp, H.F., 2001. "Insects can halve wind-turbine power", in *Nature* n°412, pp.42-43

Cryan, P.M., C.D., M.R., Diehl, R.H., M.M. Hayman, D.T. S., Fricker, P.D., Bonaccorso, F.J., Johnson, D.H., Heist, K. & Dalton, D.C., 2014. "Behavior of bats at wind turbines", in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, n°42, pp.15126-15131 CSD, 2013. *Projet de parc éolien à Neufchâteau et Léglise (Echangeur E411-E25).* Etude d'incidences sur l'environnement. Rapport final. CSD Ingénieurs Conseils s.a. Namur, 362 p.

CWEDD, 2014. *AVIS Permis unique pour un parc éolien à NEUFCHATEAU et LEGLISE.* Réf. : CWEDD/14/AV.373

Dalili, N., Edrissy, A., & Carriveau, R., 2009. "A review of surface engineering issues critical to wind turbine performance", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews* n°13, pp.428-438

De le Court J.-F., 2010. "Rôle de la forêt et du bois dans la lutte contre le CO2", in *Silva Belgica* n°117, pp.24-25

De Moreau, G., 2009. "Le Bois et les énergies renouvelables aujourd'hui et demain", in *Silva Belgica* n°116, pp.50-53

Defays, E. 2014a. *Le résineux : socle fissuré de la filière bois ?* Présentation dans le cadre de la Conférence Reboisement: « yes, we plant ! », de la Société royale forestière de Belgique, Marloie.

Defays, E., 2014b. *Le printemps du Feuillu.* Présentation dans le cadre de la 9emes Rencontres Filière Bois: 21 mars 2014. Namur

- DEMNA, FUSAGx, UCL & l'ULg, 2001. *Catalogue des espèces et habitats des sites Natura 2000 de la région wallonne*. Service publique de Wallonie, DGO 3 - Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement. Online: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/liste-des-especes-de-la-directive-oiseaux-en-wallonie.html?IDD=1674&IDC=832> (consulté le 17.02.2015)
- DG Energie et Climat, 2010. *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Fiche technique n° 8*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie du Développement durable et de la Mer. Direction générale de l'Énergie et du Climat
- DGARNE, 2010. *Insectes*. Service publique de Wallonie, DGO 3 - Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement Online: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/insectes.html?IDC=274> (Consulté le 18.05.2015)
- DGO4 (Service Public de Wallonie DGO4), 2009. *Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Energie (PMDE) en Wallonie à l'horizon 2020*. Service Public de Wallonie, 307p.
- DGTRE (Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie). s.d. *Des éoliennes en région wallonne*. DGTRE, Jambes.
- Dietz C., von Helversen O. and Nill D., 2009. *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord*. Delachaux et Niestlé, 400 p.
- Dietz, M., Bögelsack, K., Hörig A. & Normann, F., 2012. *Gutachten zur landesweiten Bewertung des hessischen Planungsraumes im Hinblick auf gegenüber Windenergienutzung empfindliche Fledermausarten*. Institut für Tierökologie und Naturbildung. Gonterskirchen. 120p.
- DNR (Deutscher Naturschutzring), 2012. *Windenergie in Raumordnung- und Bauleitplanung - Zentrale Forderungen der Natur- und Umweltschutzverbände*. DNR, Berlin.
- Donnerstag, C., 2013. Ausweisung von Konzentrationszonen in der Bauleitplanung. In: *Windenergie in der kommunalen Praxis*. Dokumentation zur Fachtagung am 02.12.2013 in Kirchberg
- Dupouey J.-L., Pignard G., Badeau V., Thimonier A., Dhôte J.-F., Nepveu G., Bergès L., Augusto L., Belkacem S. & Nys C., 1999. "Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises" in *Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 85, n° 6, pp.139-154
- Dürr, T., 2007. "Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg", in *Nyctalus (N.F.)* n°12, pp.238-252.
- Dürr, T., 2011. "Vogelunfälle an Windradmasten", in *Der Falke, Journal für Vogelbeobachter* n°58, pp.499-501
- Dürr, T., 2014a. *Vogelverluste an Windenergieanlagen / bird fatalities at windturbines in Europe*. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landessamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Version du 13.08.2014
- Dürr, T., 2014b. *Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe*. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landessamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Version du 13.08.2014
- EDORA, 2012. *Réaction d'EDORA au projet de cadre de référence éolien*. EDORA, Bruxelles.
- EDORA, 2015. *Une année morose pour l'éolien wallon*. EDORA. Online: <http://www.edora.org/2012/news-2014-annee-morose-pour-eolien-wallon-211.html>

- EEA (European Environment Agency), 2006. Corine Land Cover 2006
- Electrabel, 2014. *Réchauffement climatique*. Site officiel d'Electrabel. Online: <https://www.electrabel.com/fr/corporate/centrale-nucleaire-belgique/centrale/defis/details> (consulté le 05.04.2015)
- Ellison, L.E., 2012. *Bats and wind energy—A literature synthesis and annotated bibliography*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2012–1110, 57 p.
- EnergieAgenturNRW, 2014. *Wissenswertes über Windenergie Fakten zur Nutzung von Wind als Stromquelle in Nordrhein-Westfalen*. EnergieAgentur.NRW. Düsseldorf.
- Erickson, W.P., Johnson, G.D. & Young D.P.J., 2005. *A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions*. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-191 pp.1029-1049.
- Fichet, V., Branquart, E., Claessens, H., Delescaille, L.-M., Dufrière, M., Graitson, E., Paquet, J.-Y. & Wibail, L., 2011. *Milieus ouverts forestiers, lisières et biodiversité. De la théorie à la pratique*. Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW-DGARNE), Série "Faune - Flore - Habitat" n° 7, Gembloux, 184 pp.
- Fiedler J.K., Henry T.H., Tankersley R.D. & Nicholson C.P., 2007. *Results of Bat and Bird Mortality Monitoring at the Expanded Buffalo Mountain Windfarm, 2005*. Tennessee Valley Authority, 38 pp.
- Fischer H.-G., 2011. *Wind & Wald - Windenergie im Wald*. Der Beitrag der Waldbesitzer für eine regionale und umweltfreundliche Energieversorgung. Waldbesitzerverbandes für Rheinland-Pfalz.
- Flora & Fauna International, s.d. *The Mitigation Hierarchy No Net Loss and Net Positive Impact*. Online: www.fauna-flora.org/wp-content/uploads/The-Mitigation-Hierarchy.pdf (consulté le 25.03.2015).
- Forman, R.T.T., Galli A.E. & Leck, C.F., 1976. "Forest Size and Avian Diversity in New Jersey Woodlots with Some Land Use Implications" in *Oecologia*, vol. 26, n°1, pp.1-8
- Frech, H.M., 2012. Liebherr. Online: <http://www.windkraft-journal.de/2012/05/08/neues-montagekonzept-fur-windkraftanlagen-liebherr-turmdrehkrane/> (consulté le 07.04.2015)
- Gasch, R., Twele, J. (eds.), Bade, P., Conrad, W., Heilmann, C., Kaiser, K., Kortenkamp, R., Kühn, M., Langreder, W., Liersch, J., Maurer, J., Ohde, K., Reuter, A., Schubert, M., Sundermann, B. & Stoffel, A., 2010. *Windkraftanlagen. Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. 6ème Edition. Vieweg + Teubner. Berlin. 584p.
- GIEC, 2013. *Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques*. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge et New York.
- Godart, 2014. *L'étude d'incidences sur projet*. Présentation dans le cadre du cours Droit de l'environnement et évaluations environnementales. Inédit.
- Godart, 2015. *Évaluation des paysages*. Présentation dans le cadre du cours Analyse, évaluation et gestion des paysages. Inédit.
- Gosselin, M., 2012. *Inventaires chauves-souris dans quelques sites Natura 2000 en vue de la préparation des arrêtés de désignation*. Résultats des recensements réalisés au cours de l'été 2012. Plecotus / Natagora. 24p.

Gouvernement wallon, 2002. *Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne*. Approuvé par le Gouvernement wallon, le 18 juillet 2002.

Gouvernement wallon, 2009. *Projet de Déclaration de politique régionale wallonne 2009-2014 « Une énergie partagée pour une société durable, humaine et solidaire »*. 264p.

Gouvernement wallon, 2013. *Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne*. Approuvé par le Gouvernement wallon, le 21 février 2013, modifié le 13 juillet 2013

Greenpeace Deutschland, 2012. *Positionspapier zu Windenergieanlagen im Wald*. Greenpeace. Hamburg. Online: <https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/20120305-Windenergie-im-Wald-Positionierung.pdf> (consulté le 27.02.2014)

Griese, T., 2013, Impulsvortrag. In: *Windenergie in der kommunalen Praxis*. Dokumentation zur Fachtagung am 02.12.2013 in Kirchberg

Grodsky, S.M., Behr, M.J., Gendler, A., Drake, D., Dieterle, B.D., Rudd, R.J. & Walrath, N.L., 2011. "Investigating the Causes of Death for Wind Turbine-Associated Bat Fatalities", in *Journal of Mammalogy*, vol.92 n°5 pp.917-925

Grunwald, T., Adorf, F., Adorf, F., Braun, C., Debler, J. & Korn, V., 2012. *Fachgutachten zum Konfliktpotenzial Fledermäuse und Windenergie auf einer Windenergiepotenzialfläche der Stadt Horb am Neckar (Landkreis Freudenstadt)*. Endbericht. Büro für Faunistik und Landschaftsökologie. Schöneberg. 72p.

Günther, W. (Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH), 2002. Touristische Effekte von On- und Offshore-Windkraftanlagen in Schleswig-Holstein. In: *Stimmen zur Windenergie*. Ministerium für Finanzen und Energie Schleswig-Holstein, pp. 61-63.

Handke, K., 2006. *Untersuchungen zur Raumnutzung des Schwarzstorchpaares aus dem Wiegenser Forst (Gemeinde Wohnste, Landkreis Rotenburg)*. Büro für Ökologische Gutachten. Ganderkesee. Online: <http://www.oekologische-gutachten-handke.de/pdf/Gutachten6.pdf> (consulté le 16.02.2015)

Helldin, J.O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A. & Widemo, F., 2012. *The Impacts of Wind Power on Terrestrial Mammals - A synthesis*. Report pour la Swedish Environmental Protection Agency. Traduction de l'original "Vindkraftens effekter på landlevande däggdjur" (Naturvårdsverket report n° 6499). Naturvårdsverket, Stockholm, 53p.

Henry, P., 2013. *L'impact des éoliennes sur le marché de l'immobilier*. Réponse du Ministre P. HENRY sur la question question orale de S. MOUCHERON au Ministre HENRY - le 22 octobre 2013. Online: <http://www.cdh-wallonie.be/notre-action-au-pw/archives/questions-orales/12019impact-des-eoliennes-sur-le-marche-de-12019immobilier> (consulté le 28.04.2015)

Horch, P., Schmid, H., Guélat, J. & Liechti, F., 2012. *Carte suisse des conflits potentiels entre l'énergie éolienne et les oiseaux: partie oiseaux nicheurs, hôtes de passage et réserves naturelles OROEM*. Rapport explicatif. Station ornithologique suisse, Sempach, 79p.

Horn, J.W., Arnett, E.B. & Kunz, T.H., 2008. "Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines", in *The Journal of Wildlife Management*, vol. 72, pp.123-132

Hötker, H., 2006. *Auswirkungen des "Repowering" von Windkraftanlagen auf Vögel und Fledermäuse*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen, 40p.

Hötker, H., Krone, O. & Nehls, G., 2013. *Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge*. Schlussbericht für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Michael-Otto-Institut im NABU, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung & BioConsult SH, Bergenhusen, Berlin & Husum.

Hötker, H., Thomsen, K.-M. & Köster, H., 2005. *Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen*. BfN-Skripten 142

Huart, M., 2013. *Energie et environnement présentation 04a – Energies renouvelables (Aspects généraux)*. Présentation dans le cadre du cours Energie et environnement. Version du 22/10/2013. Inédit.

Hume, R., Lesaffre, G. & Duquet, M., 2011. *Oiseaux de France et d'Europe*. LPO, Larousse.

Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique (IWEPS), 2012. *Les chiffres-clés de la Wallonie*, n°12, IWEPS, Namur.

Ipsos, 2010. *Perception de l'énergie éolienne en Wallonie. Résultats d'enquête*. Ipsos Belgium, Waterloo, 91p.

Kervyn, T., Lamotte, S., Nyssen, P. & Verschuren, J., 2009. "Major Decline of Bat Abundance and Diversity During the Last 50 Years in Southern Belgium", in *Belgian Journal of Zoology*, n°139 pp.124-132

Kervyn, T., Nyssen, P., Lamotte S. & Gathoye, J.-L., 2011. *Les chauves-souris de Belgique*. Service public de Wallonie, DGO 3 - Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement. Online: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/nos-especes.html?IDC=5579> (consulté le 19.03.2015)

Kunz, T.H., Arnett, E.B., Erickson, W.P., Hoar, A.R. Johnson, G.D., Larkin, R.P., Strickland, M.D., Thresher, R.W. & Tuttle M.D., 2007. "Ecological Impacts of Wind Energy Development on Bats: Questions, Research Needs, and Hypotheses", in *Frontiers in Ecology and the Environment* n°5, pp.315–324

LAG-VSW - Länder-Arbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten, 2007. "Abstandsregelungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogel Lebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten", in *Berichte zum Vogelschutz* n°44, pp.151-153

LAK - Länderarbeitskreis Energiebilanzen, 2014. *Energiebilanzen der Bundesländer*. version du 11. décembre 2014, Online: <http://www.lak-energiebilanzen.de> (consulté le 18.12.2014)

Lamotte, S., 2007a. *L'érosion de la biodiversité : les mammifères. Partim "Chauves-souris"*. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006 sur l'état de l'environnement wallon. Ministère de la Région wallonne. Jambes

Lamotte, S., 2007b. *Les chauves-souris dans les milieux souterrains protégés en Wallonie*. Région wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Division de la Nature et des Forêts, Travaux n°29, 272 p.

Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LFoG) (version du 2.11.2014)

Landesjagdverband Rheinland-Pfalz, 2012. *Positionspapier zur Windenergienutzung im Wald*. Online: http://www.ljv-rlp.de/DER-LJV/RESOLUTIONEN/Resolution_Windkraft_im_Wald_28.3.12.pdf (consulté le 11.03.2015)

- Langgemach, T., Krone, O., Sömmer, P., Aue, A. & Wittstatt, U., 2010. "Verlustursachen bei Rotmilan (*Milvus milvus*) und Schwarzmilan (*Milvus migrans*) im Land Brandenburg", in *Vogel und Umwelt* n°18. pp.85-101
- LANUV NRW (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW), 2015. *Energieatlas Nordrhein-Westfalen - Windenergie*. LANUV NRW. Online: <http://www.energieatlasnrw.de/site/nav2/Wind.aspx?P=7> (consulté le 24.02.2015)
- Laurent C. & Lecomte H., 2007a. La composition, l'évolution et l'exploitation de la forêt. In: *Rapport analytique sur l'État de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE, pp. 184-195
- Laurent C. & Lecomte H., 2007b. Les services environnementaux et sociaux rendus par la forêt. In: *Rapport analytique sur l'État de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE, pp.196-201
- Laurent C. & Lecomte H., 2007c. La santé des forêts. In: *Rapport analytique sur l'État de l'environnement wallon 2006-2007*. Namur, MRW - DGRNE, pp.202-209
- LCN (Loi sur la Conservation de la Nature) du 12 juillet 1973 modifiée par le décret du 27 mars 2014 (M.B. 10.04.2014)
- Lecomte, H., Florquin, P., Morimont, J-P, Thirion, M., 2002. *La forêt wallonne, État de la ressource à la fin du 20^è siècle*. MRW-DGRNE-DNF, Namur, 71p.
- Lejeune, P., Feltz, C. & Fourneau, F., 2013. *Elaboration d'une carte positive de référence traduisant le cadre actualisé, associée à un productible minimal par lot permettant de développer le grand éolien en Wallonie à concurrence de 3.800 GWh à l'horizon 2020*. Dossier méthodologique. SPW – DGO 4, Namur.
- Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO), 2009. *Proceedings of the Red Kite international Symposium, October 2009*. Montbéliard, France
- Lindeiner, A., Scholz, F. & Rosenberger, T., 2011. *Thesenpapier zur DNR-Kampagne „Windkraft im Visier“ Windenergie und Biodiversität – Für eine Zukunft voller Leben*. DNR, LBV, BUND, 17p.
- Lubbadeh, J., 2012. *Windkraftanlagen: Mit Holzbein hoch hinaus*. Spiegel Online Montag, 17.12.2012. Online: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/timber-tower-holztuerme-fuer-grosse-windkraftanlagen-a-872484.html> (consulté le 10.04.2015)
- Lucéole, 2012. *Coexistence milan royal & Parc éolien, pour une compréhension ouverte d'un problème complexe*. Actes du séminaire citoyen, 14 janvier, Tintigny. Online: www.luceole.be/coexistencemilan.pdf (consulté le 12.02.2015)
- LUGV (Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz), 2014. *Leitfaden des Landes Brandenburg für Planung, Genehmigung und Betrieb von Windkraftanlagen im Wald*. LUGV, Potsdam, 31p.
- Mahy G., 2014. *Réactions des organismes aux modifications des habitats*. Présentation dans le cadre du cours Ecologie appliquée à l'aménagement du territoire. Inédit.
- May, R., Hamre, Ø., Vang, R. & Nygård, T., 2012. *Evaluation of the DTBird video-system at the Smøla wind-power plant. Detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour*. NINA Report 910. 27 pp.
- Meier, P.H., 2011. "Whistling through the trees" in *Renewable Energy Focus*, vol. 12, Issue 5, pp.28-29

Menzel C. & Pohlmeier K., 1999. "Proof of habitat utilization of small game species by means of feces control with "dropping markers" in areas with wind-driven power generators" in *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, n°45, pp.223–229

Ministère de la région wallonne (MRW), 2007. *Vade-mecum non technologique du candidat à l'implantation d'un parc éolien*. Ministère de la région wallonne, Direction générale des technologies, de la recherche et de l'énergie, Jambes, 49p.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) & Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV), 2013. *Leitfaden „Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen“*. Version du 12. Novembre 2013

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), 2012. *Leitfaden "Rahmenbedingungen für Windenergieanlagen auf Waldflächen in Nordrhein-Westfalen"* MKULNV, 65p.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (MWEBWV NRW) und Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen (Staatskanzlei NRW), 2011. *Windenergie-Erlass 2011: "Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung*. MKULNV, MWEBWV NRW, Staatskanzlei NRW, 49p.

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung RLP (MWKEL), 2014. *Windenergie*. Online: <http://www.mwkel.rlp.de/Energie/Erneuerbare-Energien/Windenergie/> (consulté le 24.02.2015)

Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL), Ministeriums der Finanzen (MF), Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF), Ministeriums des Innern, für Sport und Infrastruktur (MISI), 2013. *Hinweise für die Beurteilung der Zulässigkeit der Errichtung von Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz: Rundschreiben Windenergie*. Rundschreiben vom 28.05.2013. MWKEL, MF, MULEWF, MISI, 52p.

Müller, J., Brandl R., Buchner, J., Pretzsch, H., Seifert, S., Strätz, C., Veith, M. & Fenton B., 2013. "From Ground to Above Canopy—Bat Activity in Mature Forests is Driven by Vegetation Density and Height", in *Forest Ecology and Management*, n°306, pp.179–184

Natagora, 2008. *L'implantation d'éoliennes en Région wallonne*. Online: http://www.apere.org/backoffice/dev/displayDoc/view_docnum.php?key=1254 (consulté le 18.02.2015)

Natagora, 2010. *Position concernant le projet de révision du Cadre de référence pour l'implantation d'éoliennes en Région wallonne*. Online: http://www.natagora.be/fileadmin/Natagora/Presse/Presse_2010/CP_pdf/20100621_Natagora_position_Eoliennes.pdf [consulté le 30.09.2014]

National Research Council (NRC), 2007: *Environmental Impacts of Wind-Energy Projects*. National Research Council, Committee on Environmental Impacts of Wind Energy Projects, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies. The National Academies Press. Washington, DC, 278p.

- Naturschutzbund Deutschland (NABU), 2011. *Windkraftanlagen im Wald. Grundlagen für eine Bewertung aus naturschutzfachlicher Sicht*. Naturschutzbund NABU Landesverband Brandenburg. Potsdam, 4p.
- Naturschutzbund Deutschland (NABU), 2013. *Position des NABU Nordrhein-Westfalen zum Ausbau der Energiegewinnung aus Windkraft*. Positionspapier Naturschutzbund NABU Landesverband NRW.
- Nyssen P., 2011. *Découverte d'une nouvelle espèce de chauve-souris en Belgique : le vespertilion d'Alcathoe Myotis alcathoe*. Service public de Wallonie, DGO 3 - Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement. Online: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/chauvesouris.html?IDC=3986> (consulté le 03.04.2015)
- Nyssen, P., 2015. *Participation à la surveillance des populations de chiroptères : inventaires estivaux de chauves-souris dans quelques sites Natura 2000. Résultats des recensements réalisés au cours de l'été 2014*. Rapport résumé. Plecotus, Natagora. 15p.
- Office économique wallon du bois (OEWB), 2013. *PanoraBois Wallonie 2012-2013*. OEWB, Marche-en-Famenne, 64 p.
- Paquet, J.-Y. & Jacob, J.-P., 2010. *Liste rouge 2010 des oiseaux nicheurs*. Online: <http://biodiversite.wallonie.be/fr/oiseaux.html?IDC=787> (consulté le 17.02.2015)
- Paquet, J.-Y. & Jacob, J.-P., 2011. "Breeding avifauna in the heart of Europe: the Breeding Bird Atlas of Wallonia (Belgium) 2001-2007", in *Bird Census News* vol.24 n°1 pp.19 - 36
- Peeters, A. & Robert, H., 2012. *Objectivation des mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre du développement de projets éoliens en Wallonie*. RHEA, 65p.
- Pieret, N., 2010. "La production d'électricité à partir de pellets de bois en Belgique ?", *Silva Belgica*, n°117 pp.48-49
- Ratzbor, G., Wollenweber, D., Schmal, G., Lindemann, K. & Fröhlich, T., 2012. *Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne "Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (onshore)" - Analyseteil* -. Dachverband der deutschen Natur- und Umweltschutzverbände (DNR). 484p.
- Rehfeldt, K. & Wallasch, A.-K., 2011. *Kurzstellungnahme - Zielsetzung bis 2020 für die Windenergieentwicklung in Nordrhein-Westfalen und Bedeutung dieser Ziele für den Windenergieausbau*. Deutsche WindGuard GmbH, Varel, 6p.
- Rehwald, F., 2011. "Windenergie an Waldstandorten", in *Windblatt* n°4, pp.14-16
- Renaud F., Goulet D. & Bousquet R., 1999. *Les effets des champs électriques et magnétiques sur la santé et la productivité du bétail*. Report to Hydro-Québec, Canada.
- Renewable Energy Concepts, 2014. *Rauhigkeitsklassen*. Online: <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/windenergie/wind-basiswissen/rauhigkeitsklassen.html> (consulté le 15.03.2015)
- Richarz, K., 2014. *Energiewende und Naturschutz - Windenergie im Lebensraum Wald - Statusreport und Empfehlungen*. Deutsche Wildtier Stiftung. Hamburg, 68p.
- Richarz, K., Hormann, M., Werner, M., Simon, L. & Wolf, T., 2012. *Naturschutzfachlicher Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz Artenschutz (Vögel, Fledermäuse) und NATURA 2000-Gebiete*. Staatliche Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland & Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Frankfurt am Main, Mainz, 145p.

Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Karapandza, B., Kovac, D., Kervyn, T., Dekker, J., Kepel, A., Bach, P., Collins, J., Harbusch, C., Park, K., Micevski, B., Minderman J., 2015a. *Guidelines for consideration of bats in wind farm projects -Revision 2014*. EUROBATS Publication Series N°6 (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 133pp.

Rodrigues, L., Dubourg-Savage, M.-J., Bach, L., Karapandza, B., Kepel, A., Kervyn, T., Harbusch, C., Dekker, J., Micevski, B., Kovac, D., Bach, P., Collins, J., Park, K., Herdina, A.N., Voigt, C., Scaravelli, D., Hurst, J., Kyheröinen, E.-M., Limpens, H., Matthews, J., Georgiakakis, P., Hamidovic, D., Walsh, K., Biraschi, L., Schley, L., Syvertsen, P.O., Moeschler, P., Bernardino, J., Bastos, R., Mathews, F. & Raynor, R., 2015b. *Report of the IWG on the Wind Turbines and Bat Population*. 20th Meeting of the Advisory Committee. Budva, Montenegro. 28p.

Rodrigues, L., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, J. Goodwin & C. Harbusch, 2008. *Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens*. EUROBATS Publication Series No. 3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 55 pp.

Roux, D., Le Bot, A., Clément, J. & Tesson, J.-L., 2004. *Synthèse des connaissances actuelles - Conseils et recommandations -Impact des éoliennes sur les oiseaux*. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage. Le Perray-en-Yvelines.

Rydell, J., Engström, H., Hedenström, A., Kyed Larsen, J., Pettersson, J. & Green, M., 2012. *The effect of wind power on birds and bats - A synthesis*. Swedish Environmental Protection Agency. Bromma, Sweden

Sanz Rodrigo, J., Van Beeck, J. & Dezsö-Weidinger, G., 2007. "Wind tunnel simulation of the wind conditions inside bidimensional forest clear-cuts : Application to wind turbine siting", in *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 95, n° 7, pp.609–634

Schaub, M., 2012. "Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations", in *Biological Conservation* n°155, pp.111–118

Schifferdecker, J., 2014. "Das Spannungsfeld zwischen Windkraft und Artenschutz auf der Flächennutzungsplanungsebene" in *NuR* n°36, pp.692–696

Seddig A., 2004. *Gutachten: Windenergieanlage und Pferde*. Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld, 18p.

Simar J., Kervyn, T., Lamotte, S., Liegeois, S. & Bizoux J.-P., 2012. *Projets éoliens - Note de référence pour la prise en compte de la biodiversité*. Service publique de Wallonie, DGO 3 - Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement. Département de l'Étude du Milieu naturel et agricole et Département de la Nature et des Forêts.

Société royal Forestière de Belgique (SRFB), 2007. *Biodiversité et gestion forestière. Des conseils simples pour une gestion durable de notre patrimoine*. SRFB, Bruxelles, 25p.

Sovacool, B. K., 2012. "The Avian Benefits of Wind Energy: A 2009 Update" in *Renewable Energy* n°49, pp.19-24

SPW-DGO4, 2007. *Plan de secteur en vigueur* (version coordonnée vectorielle), Direction de la Géomatique (SPW - DGO4 - DATU - DirGeo), version 2007

Staatskanzlei Nordrhein-Westfalen (Staatskanzlei NRW), 2014. *Nordrhein-Westfalen entdecken*, Online: <http://www.nrw.de/nordrhein-westfalen/land-und-leute/> (consulté le 01.10.2014)

Staatskanzlei Rheinland-Pfalz (Staatskanzlei RLP), 2014. *Forstwirtschaft*, Online: <http://www.rlp.de/verwaltung/behoerdenverzeichnis/landesverwaltung-nach-themen/forstwirtschaft/> (consulté le 01.10.2014)

Tindal, A & Landenberg, L., 2008. *Wind Power in Forests*. Gerrald Hassan and Patners, Malmo, 20p.

Twele, J., 2015. *Technische Aspekte bei der Windenergienutzung im Wald: Ergebnisse aus dem FuE-Vorhaben*. Présentation dans le cadre de la conférence d'experts „Windenergienutzung im Wald – Möglichkeiten und Grenzen der Formulierung naturschutzfachlicher Standards für die Regionalplanung“. Berlin, 5. Februar 2015

Uphoff, V., Brand, R. & Duin, I., 2008. Einzelblattmontage: Bewährte Aufbaulösung für Standorte im Wald. WINDBLATT n°3 2008, pp.12-13

Verheyen, K. & Branquart, E., 2010. "La recherche sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes forestiers", in *Forêt Wallonne* n°106, pp.6-16

Wetzel D., 2015. *Macht der Infraschall von Windkraftanlagen krank? Die Welt* du 02.03.15. Online: <http://www.welt.de/wirtschaft/energie/article137970641/Macht-der-Infraschall-von-Windkraftanlagen-krank.html> (consulté le 15.04.2015)

WindGuard, 2014. *Kostensituation der Windenergie an Land Internationaler Vergleich*. Deutsche WindGuard GmbH, Varel, 52p.

WindGuard, 2015. *Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland. Jahr 2014*. Deutsche WindGuard GmbH, Varel, 6p.

6.2 Visites de terrain, conférences et entretiens

6.2.1 Visite de terrain

Parc éolien d'Hilchenbach (50° 54' 15" N, 8° 22' 55" E), visité le 06.02.2015 (cf. annexe II)

Parc éolien Kalteiche (50° 48' 0.2" N, 8° 8' 9.5" E), visité le 06.02.2015 (cf. annexe III)

6.2.2 Conférences

"Transition énergétique et protection de l'environnement - éoliennes en forêt" (Energiewende und Naturschutz - Windenergie im Lebensraum Wald) organisée par le Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) et la Gesellschaft für Naturschutz und Ornithologie (GNOR), 06.02.2015, 56470 Bad Marienberg

6.2.3 Entretiens

Balthasart, J.-S., 2015. Service public de Wallonie, Direction générale opérationnelle - Aménagement du territoire, Logement, Patrimoine et Energie. Dans le cadre de son travail, Mr Balthasart a été impliqué dans nombreuses procédures d'autorisation pour des éoliennes. Entretien téléphonique le 27.02.2015.

De Wouters, P., 2015. Directeur de la Société Royale Forestière de Belgique (SRFB). Entretien téléphonique le 21.04.2015

Eyben, S., 2015. Responsable Communication chez NTF Propriétaires ruraux de Wallonie. Entretien téléphonique le 10.04.2015

Guillitte, O., 2015. Président du CWEDD, maître de conférences à l'ULg et Membre fondateur de Natagora. Entretien téléphonique le 10.04.2015

Kervyn, T. & Bizoux, P., 2015. Mr Kervyn, Service public de Wallonie (SPW), Direction générale de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement » (DGARNE), Département de l'Etude du milieu naturel et agricole (DEMNA), Direction de la Nature et de l'Eau (DNE). Mr Kervyn est membre du comité d'expert "Wind Turbines and Bat Populations" d'EUROBATS. Mr Bizoux, Service public de Wallonie (SPW), Direction générale de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement » (DGARNE), Département de la Nature et des Forêts (DNF). Entretien personnel le 31.03.2015

Lejeune, P., 2015. Coauteur du Dossier Méthodologique "Elaboration d'une carte positive de référence traduisant le cadre actualisé, associée à un productible minimal par lot permettant de développer le grand éolien en Wallonie à concurrence de 3.800 GWh à l'horizon 2020" et Professeur à l'ULg, Gembloux Agro-Bio Tech, Chef de service en charge de l'Unité des Ressources forestières et des Milieux naturels. Entretien téléphonique le 17.02.2015.

Pulte, G., 2015. Président-directeur général du Parc éolien d'Hilchenbach, en Allemagne. Entretien téléphonique le 05.02.2015.

Richarz, K., 2015. Auteur de l'étude "Transition énergétique et protection de l'environnement - éoliennes en forêt - rapport de statut et recommandations" (Energiewende und Naturschutz - Windenergie im Lebensraum Wald - Statusreport und Empfehlungen) et ancien directeur de la Station ornithologique gouvernementale de la Rhénanie-Palatinat. Entretien personnel le 06.02.2015

Schriever, T., 2015. Directeur "Hoheit und Dienstleistungen", Zentralstelle der Forstverwaltung Rheinland Pfalz (administration central des forêts de la Rhénanie-Palatinat). Entretien téléphonique le 28.04.2015.

7 Annexes

7.1 Liste des Annexes

Annexe I : Méthode de recherche bibliographique.....	95
Annexe II : Protocol de visite du parc éolien Hilchenbach	96
Annexe III : Protocol de visite du parc éolien Kalteiche	99
Annexe IV : Potentiel de vent et types de forêt en Wallonie	100
Annexe V : Accroissement et récolte de bois résineux et feuillus	100
Annexe VI : Spécifications relatives aux chemins d'accès.....	101
Annexe VII : Configuration du chantier (exemple).....	102
Annexe VIII : Exigences géométriques pour les virages et croisements (exemple).....	103
Annexe IX : Exigences pour les virages en fonction de la longueur des pales	103
Annexe X : Proposition de Natagora pour des zones d'exclusions ornithologiques	104
Annexe XI : Chiroptères en Wallonie et leur statut	105
Annexe XII : Utilisation des forêts et risques pour les chiroptères en Wallonie.....	106
Annexe XIII : Dates de migration pour les espèces de chiroptères sensibles	108
Annexe XIV : Proposition de Natagora pour des zones d'exclusions chiroptérologique.....	109
Annexe XV : Proposition du DNF - Protocole de comptage pour l'EIE	109

7.2 Annexes

Annexe I : Méthode de recherche bibliographique

Dans un premier temps j'ai fait des recherches dans la bibliothèque de l'APERe dans les revues spécialisées sur les énergies renouvelables (Systèmes Solaires, le journal de l'éolien; Windblatt; Sun & Wind; Renouvelle; Wind Directions; New energy) afin de me faire une image de l'importance que ces journaux attribuent à la question des éoliennes en forêt et aux questions liées à cette thématique. Il y a néanmoins très peu d'articles qui traitent explicitement la thématique des éoliennes en forêt. J'ai seulement pu trouver quelques articles qui traitent des sujets périphériques tels que des articles sur la mortalité des oiseaux ou sur les chauves-souris.

Ensuite j'ai fait des recherches dans le catalogue des bibliothèques de l'ULB et sur l'internet avec les moteurs de recherche Google Scholar et Google et dans les bases de données de Scopus et ScienceDirect. La recherche a été effectuée en anglais, en allemand et en français. Les mots-clés utilisés pour la première recherche étaient: éolienne forêt; éolienne impacts; éolienne forêt Wallonie. Puis j'ai effectué une multitude d'autres recherches avec des mots-clés spécifiques pour les thématiques précises des différents chapitres. Notamment le site "Portail de Biodiversité en Wallonie" de la DGARNE du service public de Wallonie [biodiversite.wallonie.be] a été une source précieuse en ce qui concerne la présence et le statut des différentes espèces en Wallonie.

Dans un deuxième temps j'ai étudié les références bibliographiques des articles que je possédais pour trouver d'autres articles pertinents traitant de la question. Afin de sélectionner les articles les plus pertinents parmi les centaines d'articles, j'ai choisi principalement les articles cités par plusieurs auteurs. De plus quelques articles comme notamment les publications d'Eurobats proposent des listes de lecture pertinentes avec des études et travaux actuels. Le mémoire de J. Martin (Haute École Provinciale du Hainaut Condorcet) qui traite le sujet des éoliennes en forêt a également fourni quelques sources. Finalement des personnes de ressource rencontrées dans les différents entretiens m'ont souvent données des pistes pour trouver des travaux importants.

Annexe II : Protocol de visite du parc éolien Hilchenbach

Le parc éolien "Bürgerwindpark RothaarWind" se trouve près du village Hilchenbach en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie (Allemagne). Il est composé de 5 éoliennes du type E82 d'Enercon à entraînement direct. Les éoliennes ont une hauteur de moyeu de 138 mètres, une hauteur totale de 180 mètres et une puissance installée de 2 MW chacune. Il s'agit d'un parc éolien citoyen géré par Rothaarwind GmbH & Co. KG. Le parc a été installé en 2007 et début 2008 et produit environ 20.000 MWh par an depuis. L'image 1 montre une partie du parc d'une distance d'environ 500 m, on constate surtout la grande taille des éoliennes par rapport aux arbres et la distance entre les pales et les cimes des arbres. On ne voit qu'une des trois éoliennes, les arbres cachent l'autre partie du parc. À partir d'autres endroits pourtant plus près des éoliennes (cf. image 2) on n'en voit aucune. J'ai visité le parc le 06.02.2015. Il y avait environ quarante cm de neige et du soleil. À cause de la neige, il fût plus difficile de faire des constats par rapport à la végétation et tous les contours, surtout ceux des chemins, semblent en peu plus doux. Comparé aux photos qu'on voit souvent directement après les travaux les chemins ressemblent en effet à de simples chemins forestiers (image 2). Seulement dans les courbes on se demande pourquoi les chemins sont si larges et les bordures si généreusement déboisées (image 3).



Image 1 : Vue sur une partie du parc à partir du parking



Image 2 : Chemin vers le parc



Image 3 : Courbe du chemin vers l'éolienne 2

L'éolienne 1 ne se trouve pas en haut de la colline mais sur le flac. Sur l'image 4 on voit bien que le terrain est fortement en pente. En effet Mr. G. Pulte, le manager du parc confirme durant notre entretien téléphonique que le terrain a 20% de pente. D'après Mr. Pulte, l'emplacement n'est techniquement pas idéal due à cette pente. D'une coté le rendement est plus faible car le positionnement sur le flanc fait que la hauteur de l'éolienne par rapport au sommet de la colline est réduite. De l'autre côté, l'installation demande des surfaces planes pour la fondation de l'éolienne et pour l'aire de grutage. Si l'emplacement se trouve sur un terrain avec pente des travaux de terrassement préalables sont nécessaires. Ceci augment les coûts et consomme plus de place. Sur l'image 5 on voit des résidus de travaux de terrassement, en haut du mur se trouve l'air de grutage. Malgré l'emplacement de l'éolienne 1 le parc consomme seulement 1,5 ha de forêt pour l'ensemble des 5 éoliennes explique Mr. Pulte. Les 1,5 ha comprennent l'espace pour les fondations, les aires de grutage et les espaces pour le prémontage, seulement l'espace pour l'élargissement des chemins se rajoute.



Image 4 : Pente du terrain à côté de l'éolienne 1



Image 5 : Résidus des travaux de terrassement près de l'éolienne 1



Image 6 : Aire de grutage devant l'éolienne 2

Un facteur très important pour analyser l'impact d'un parc éolien en forêt et la qualité de la forêt. Les images 7 et 8 montrent le type de forêt qui est largement dominant autour du parc éolien d'Hilchenbach. Il s'agit d'une forêt intensivement utilisée pour la sylviculture avec des monocultures d'épicéas. De telles forêts ont généralement peu de valeur écologique et abritent ainsi peu d'espèces pour qui les éoliennes représentent un danger potentiel. Les forêts ne sont néanmoins pas vidées de toute vie et il faut quand même analyser les espèces éventuellement dérangées. L'image 9 montre un passage de gibier directement en dessous de l'éolienne 3 ce qui est un indice que ces animaux ne se laissent pas déranger par la présence des éoliennes. L'image 10 montre quant à eux un danger potentiel pour les humains. Des panneaux mettent les randonneurs en garde contre des chutes éventuelles de glace autour des éoliennes.



Image 7 : Bois récolté devant une forêt d'épicéas



Image 8 : Monoculture d'épicéas



Image 9 : Panneau qui avertit du danger potentiel de chute de glace



Image 10 : Passage de gibier a côté de l'éolienne 3

Crédits photos: Paul Averbeck

Annexe III : Protocol de visite du parc éolien Kalteiche

Le parc éolien "Kalteiche" se trouve près du village de Wilgersdorf en Rhénanie-Du-Nord-Westphalie (Allemagne) directement à la frontière de la Rhénanie-Palatinat. Les 5 éoliennes du type Fuhrländer FL 2500 avec une puissance nominale de 2,5 MW chacune ont une hauteur totale de 150 mètres. J'ai visité le parc le 06.02.2015 après la visite du parc éolien Hilchenbach. Malgré le fait que les éoliennes soient uniquement en acier (cf. image 1), ce qui peut rendre le transport des éléments plus difficile que pour des tours hybrides (béton armé en bas puis des segments d'acier) utilisés dans le parc Hilchenbach, les chemins d'accès et les aires de grutages semblent comparables à ceux du parc éolien Hilchenbach. Contrairement à ce dernier on constate qu'il n'y a ici pas seulement des monocultures d'épicéas autour des éoliennes. Comme on peut le voir sur l'image 2 et 3, les forêts sont également composées de chênes et d'hêtres. Même si ces forêts sont encore relativement jeunes, la possibilité que le parc provoque des impacts non négligeables sur la faune (oiseaux et chiroptères) aujourd'hui ou dans le futur semble donc probable.



Image 1 : Éolienne du type FL 2055



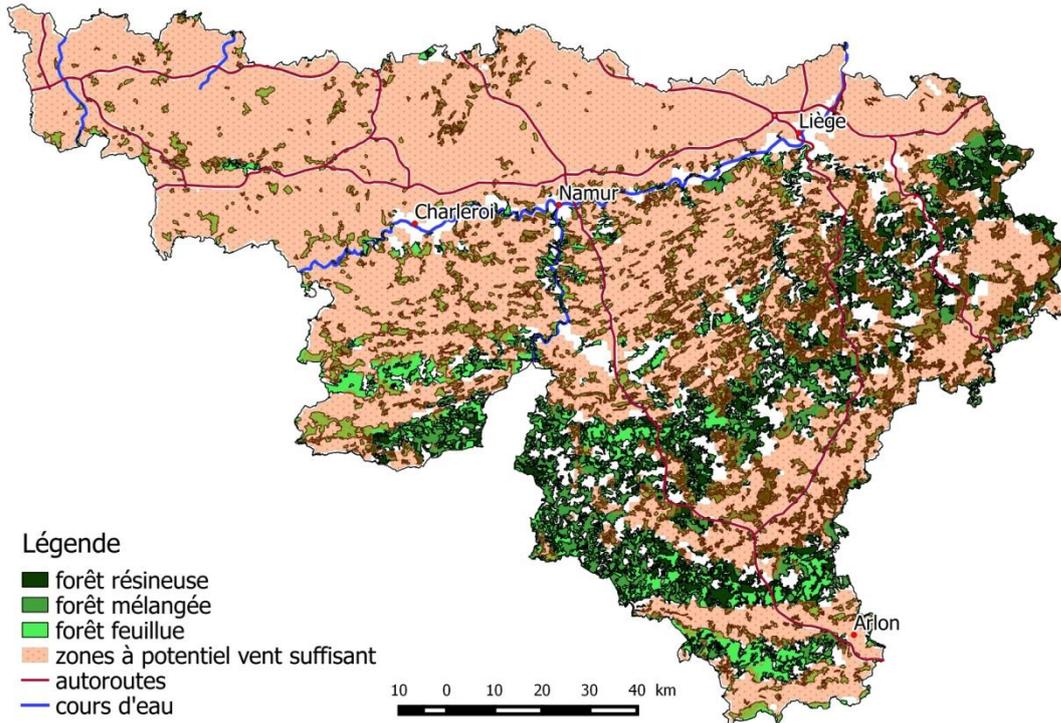
Image 2 : Chênes et hêtres à côté du chemin d'accès près des éoliennes



Image 3 : Plantation de hêtres devant une éolienne

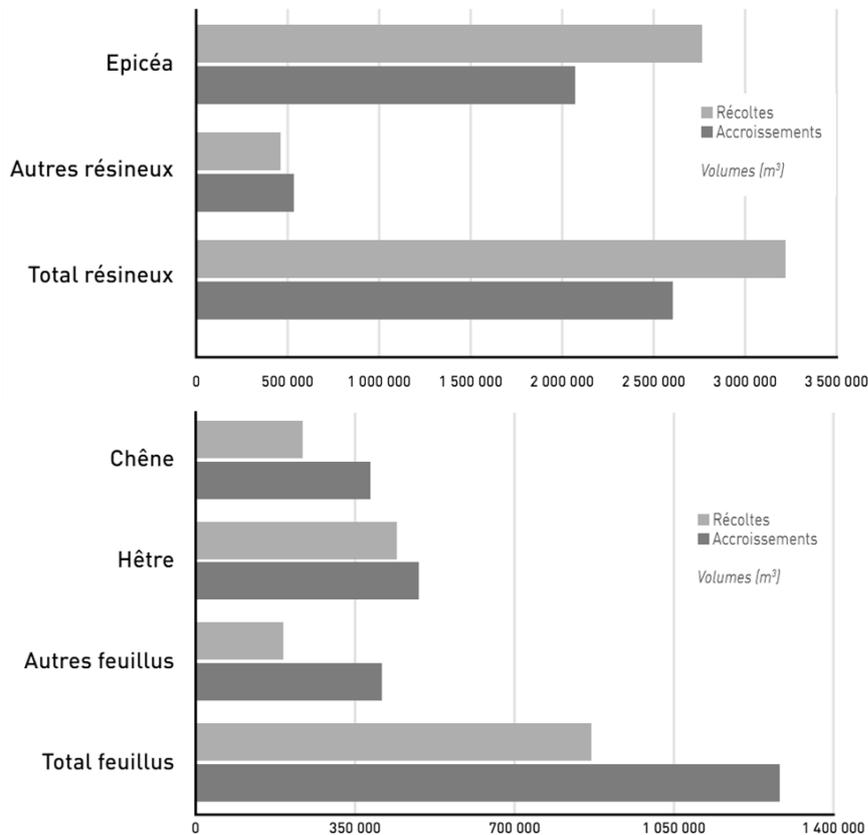
Crédits photos: Paul Averbek

Annexe IV : Potentiel de vent et types de forêt en Wallonie



Source : Propre image sur base de données de SPW-DGO4 (2007) et EEA (2006)

Annexe V : Accroissement et récolte de bois résineux et feuillus



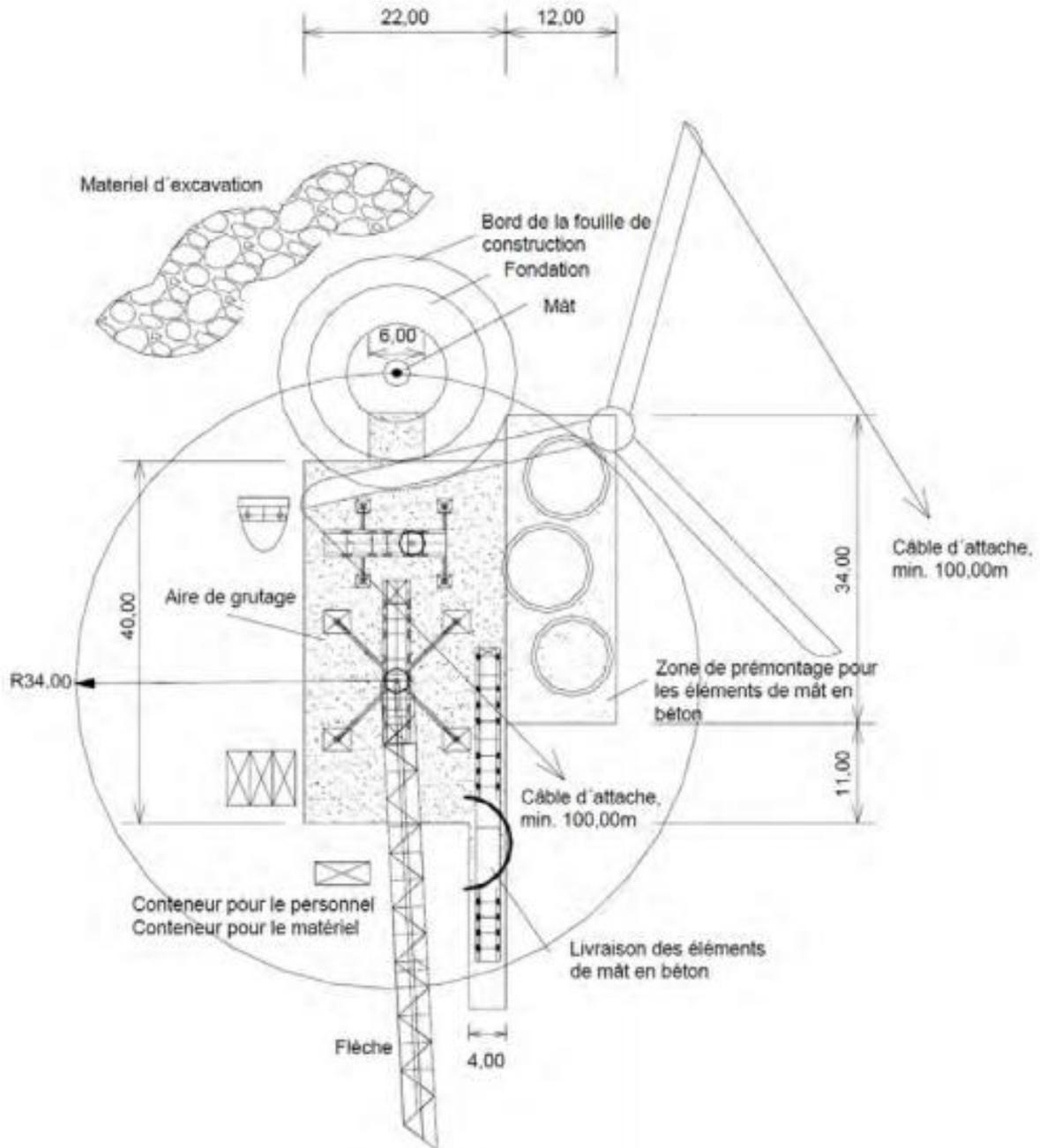
Source : OEWB 2013

Annexe VI : Spécifications relatives aux chemins d'accès

Paramètre	
Largeur utile de la chaussée	minimum 3,00 m
Largeur exempte d'obstacle	minimum 5,00 m
Hauteur exempte d'obstacle	minimum 4,60 m
Rayon de courbure extérieur du virage	minimum 28,00 m
Pentes / déclivités max. avec revêtement non cohésif	7 %
Pentes / déclivités max. avec revêtement cohésif	12 %
Garde au sol des véhicules de transport	0,15 m
Résistance substrat	> 45 MN/m ²
Résistance couche portante	> 100 MN/m ²
Charge maximale par essieu des transports	12 t
Poids maximal des véhicules	120 t

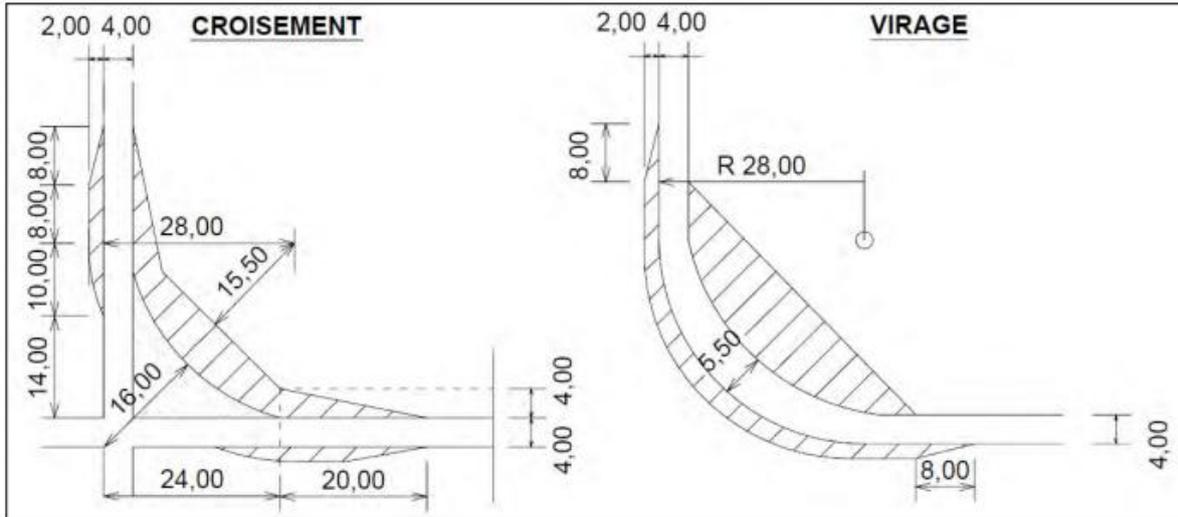
Source : CSD 2013, p.33

Annexe VII : Configuration du chantier (exemple)



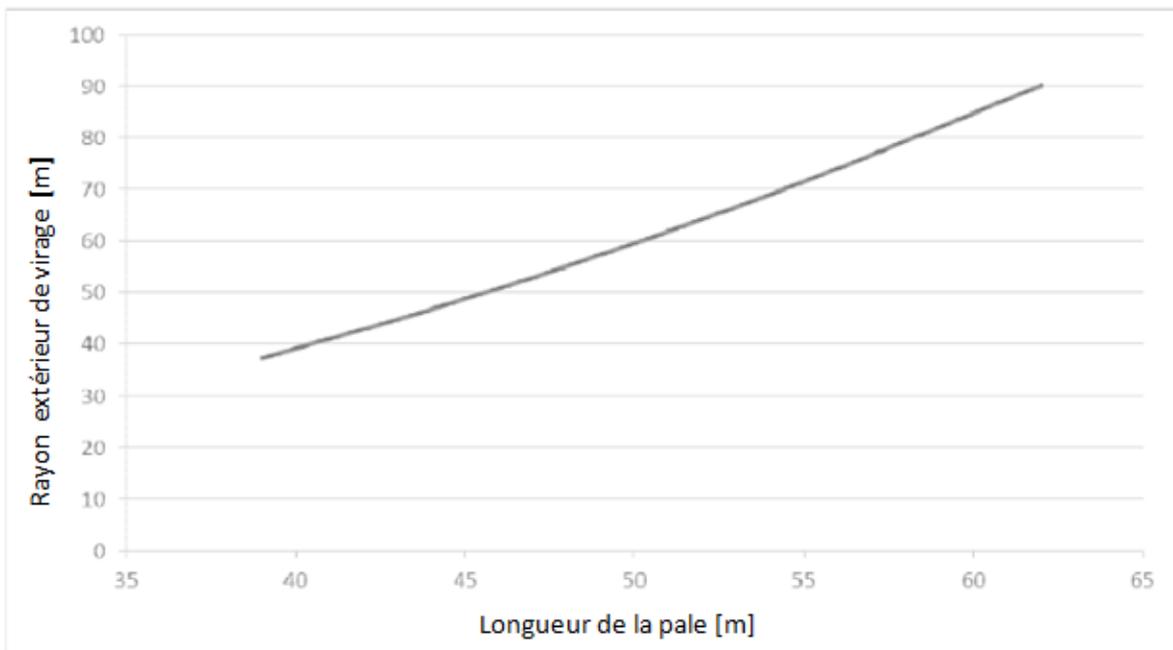
Source : CSD 2013, p. 32

Annexe VIII : Exigences géométriques pour les virages et croisements (exemple)



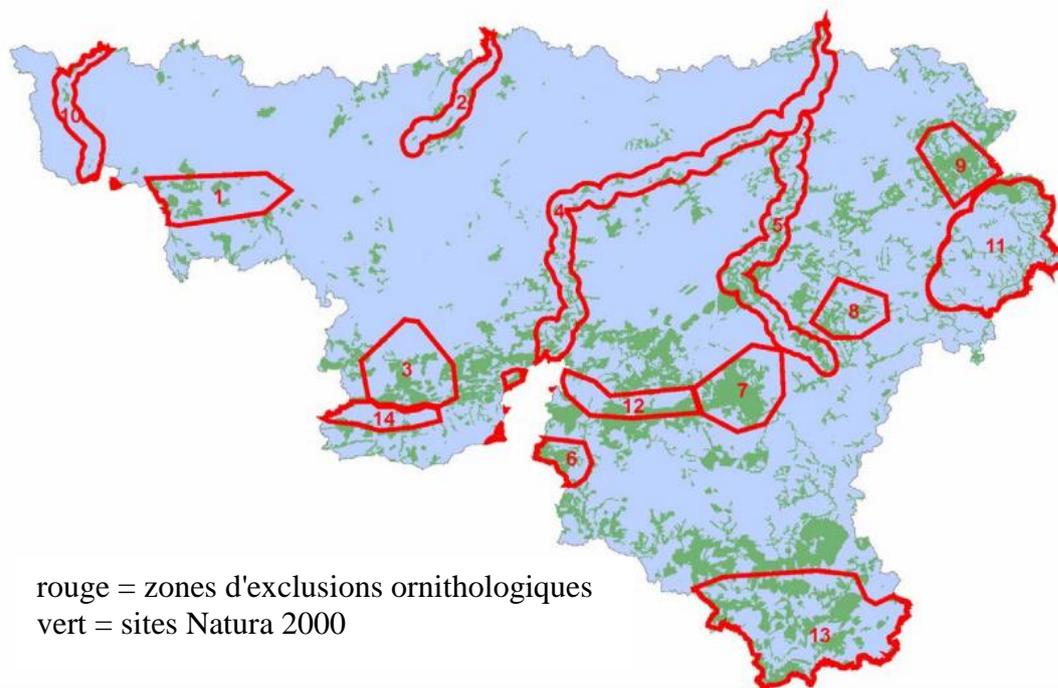
Source : CSD 2013, p.34

Annexe IX : Exigences pour les virages en fonction de la longueur des pales



Source : Twele 2015

Annexe X : Proposition de Natagora pour des zones d'exclusions ornithologiques



Source : Natagora 2010

Annexe XI : Chiroptères en Wallonie et leur statut

Nom latin	Nom français	Statut en Wallonie	Liste rouge	Tendance	FFH-annexe 2
<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastelle d'Europe	Ac, Hi	CR	-	x
<i>Eptesicus nilssonii</i>	Sérotine de Nilsson	Po	DD	?	
<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	Hi, Re	DD	?	
<i>Myotis alcaethoe</i>	Murin d'Alcaethoe	Ac	DD	?	
<i>Myotis bechsteinii</i>	Murin de Bechstein	Hi, Re	DD	?	x
<i>Myotis brandtii</i>	Murin de Brandt	Hi, Re	LC	?	
<i>Myotis dasycneme</i>	Murin des marais	Hi, Mi	EN	-	x
<i>Myotis daubentonii</i>	Murin de Daubenton	Hi, Re	LC	+	
<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échan-crées	Hi, Re	EN	=	x
<i>Myotis myotis</i>	Grand murin	Hi, Re	EN	-	x
<i>Myotis mystacinus</i>	Murin à moustaches	Hi, Re	LC	+	
<i>Myotis nattereri</i>	Murin de Natterer	Hi, Re	EN	?	
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Grande noctule	Ac	DD	?	
<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	Hi, Re, Mi	DD	?	
<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	Hi, Re, Mi	DD	?	
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	Ac	DD	?	
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Nathusius	Hi, Re, Mi	DD	?	
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Hi, Re	LC	?	
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle pygmée	Hi, Re	DD	?	
<i>Plecotus auritus</i>	Oreillard roux	Hi, Re	VU	?	
<i>Plecotus austriacus</i>	Oreillard gris	Hi, Re	VU	?	
<i>Rhinolophus ferrume-quinum</i>	Grand rhinolophe	Hi, Re	CR	-	x
<i>Rhinolophus hipposide-ros</i>	Petit rhinolophe	Hi, Re	CR	-	x
<i>Vespertilio murinus</i>	Sérotine bicolore	Ir	DD	?	
<p>Statut : Hi=Hivernage; Re=Reproduction; Mi=Migration; Ir=Irrégulier; Ac=Accidentel; Po=Présence possible mais pas observé</p> <p>Liste rouge : CR=En danger critique; EN=En danger; VU=Vulnérable; LC=Non menacé; DD=Donnés déficitaires</p> <p>Tendance : Extension: + ; Stable:= ; Régression: - ; Donnés déficitaires: ?</p>					

Source : Kervyn et al. 2011

Annexe XII : Utilisation des forêts et risques pour les chiroptères en Wallonie

Nom latin	Utilisation de la forêt selon l'espèce pendant la reproduction (Re), la chasse(Ch), l'hibernage (Hi) ou la migration	Risque de collision	Risque pour quartiers de reproduction et d'hibernage	Risque pour les habitats de chasse
Barbastella barbastellus	Re : Le plus souvent des cavités dans les arbres Ch : Dans forêts de feuillus âgées, avec strate buissonnante, à la lisière des zones boisées aussi aux cimes des arbres Hi : Principalement dans des cavités dans les arbres	3	5	5
Eptesicus nilssonii	Ch : En bordure de forêt en survolant les chemins forestiers	4	-	1
Eptesicus serotinus	Ch : Au printemps et en été en lisières forestières	4	-	1
Myotis alcaethoe	Re : Exclusivement dans des arbres. Aucune colonie de reproduction n'a encore été observée en Wallonie. Ch : Strictement inféodé aux milieux forestiers, surtout riches en milieux humides. Hi : Vraisemblablement dans des trous d'arbres	2	(5)	3
Myotis bechsteinii	Re : Principalement dans les arbres creux ou fissurés et dans les trous de pics Ch : Surtout dans les forêts de feuillus âgées avec sous-bois denses, ainsi que dans les pinèdes, les clairières, les parcelles de régénération, les coupe-feux, les layons forestiers Hi : Principalement dans les arbres creux	1	5	5
Myotis brandtii	Re : Entre autres arbres creux. Mais aucune colonie de reproduction n'a encore été observée en Wallonie. Ch : Inféodé aux milieux forestiers	3	(4)	3
Myotis dasycneme		2	1	1
Myotis daubentonii	Re : Chauve-souris considérée comme forestière. Colonies dans des trous de pics (souvent de hêtres). Peu de colonies de reproduction sont connues en Wallonie. Ch : Entre autres les lisières et les allées des sous-bois	2	4	1
Myotis emarginatus	Ch : Entre autres forêts de feuillus avec de milieux humides	1	1	3

Myotis myotis	Ch : Entre autres dans les forêts	3	1	5
Myotis mystacinus	Ch : Entre autres dans les forêt	3	3	1
Myotis nattereri	Re : Surtout dans les trous d'arbres Ch : Entre autres en forêt	1	5	4
Nyctalus lasiopterus	Re : <i>A priori</i> dans des cavités arboricoles. Aucune colonie de reproduction n'est connue en Wallonie. Ch : Survole en altitude (jusqu'à 2000 mètres) de très grandes étendues, le plus souvent boisées Hi : <i>A priori</i> dans des cavités arboricoles. Aucune observation en Wallonie.	5	-	-
Nyctalus leisleri	Re : Typiquement des anfractuosités ou des cavités dans les arbres ou dans les cabanes forestière Ch : Entre autres en milieux forestiers, en lisière, au-dessus de la canopée et en altitude au-delà de 100 mètres Hi : Typiquement dans des cavités arboricoles Mi : Effectue deux fois par an une migration sur de très longues distances (environ 1000 km). Ce comportement migratoire rend cette espèce particulièrement vulnérable aux éoliennes.	5	5	1-2
Nyctalus noctula	Comme <i>Nyctalus leisleri</i>	5	5	1-2
Pipistrellus kuhlii	chasse : Entre autres en forêt	4	-	1
Pipistrellus nathusii	Re : Se reproduit dans des cavités arboricoles, des fissures et des décollements d'écorce. Aucune colonie de reproduction n'a encore été observée en Wallonie. Ch : Principalement dans les zones boisées Hi : Principalement cavités arboricoles Mi : Effectue deux fois par an une migration sur de très longues distances (environ 1000 km). Ce comportement migratoire rend cette espèce particulièrement vulnérable aux éoliennes.	5	5	3
Pipistrellus pipistrellus	Ch : Entre autres en forêt Hi : Aussi dans cavités arboricoles	5	3	1-2
Pipistrellus pygmaeus	Ch : Plus en forêt que P. pipistrellus, typiquement le long de ripisylves Hi : Probablement principalement dans cavités arboricoles	4	4	2
Plecotus auritus	Re : Parfois dans des trous d'arbres Ch : Entre autres sur lisières forestières	2	5	4
Plecotus austriacus	Re : Parfois dans des trous d'arbres Ch : Entre autres sur lisières forestières	2	2	1

Rhinolophus ferrum-equinum	Ch : Entre autres dans les boisements clairs	-	-	5
Rhinolophus hipposideros	Ch : Entre autres le long des lisières des forêts	-	-	5
Vespertilio murinus		4	-	-
	Re=Reproduction; Ch= Chasse; Hi=Hibernage; Mi=Migration	5= très élevé, 4=élevé, 3=moyenne, 2=faible, 1=très faible ()=potentiel car pas de hivernage/reproduction en Wallonie		

Source : Changé après Kervyn et al. 2011 et Richarz 2014

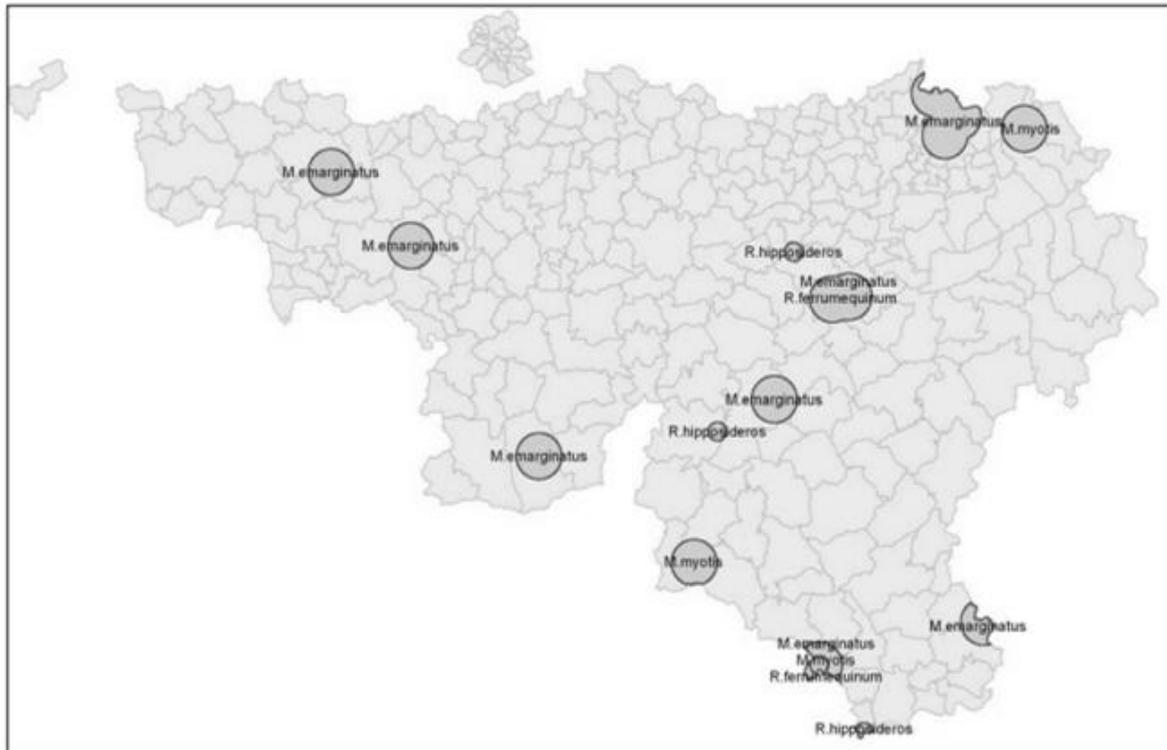
Annexe XIII : Dates de migration pour les espèces de chiroptères sensibles

Noms scientifiques	Noms vernaculaires	Migration de printemps	Migration d'automne
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Nathusius	Mars – avril	Août à novembre
<i>Pipistrellus pygmaeus</i> *	Pipistrelle pygmée	Mars – avril Déplacements à courte distance (> 20 km)	Septembre à novembre Déplacements à courte distance (> 20 km)
<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	Février – mars Déplacements à courte distance (> 50 km)	Août à octobre Déplacements à courte distance (> 50 km)
<i>Vespertilio murinus</i> **	Sérotine bicolore	Février – mars Migrateur partiel	Septembre-octobre Migrateur partiel
<i>Myotis myotis</i>	Grand murin	Avril	Septembre-octobre
<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	Mars – avril	Septembre à novembre
<i>Nyctalus leisleri</i> ***	Noctule de Leisler	Mars – avril	Septembre à novembre

* espèce très rare en Wallonie, seulement 8 observations (1 en avril, mai et juillet et 5 en août) ; dates de migration probablement comparables à celles de *P. pipistrellus*.
** seulement 15 cas d'observation en Wallonie (dont 6 en septembre et 6 en octobre).
*** seulement 60 cas d'observation en Wallonie (dont 28 en juillet et 28 en août, rien en hiver) ; date de migration probablement comparables à celles de *N. noctula*.

Source : Dietz et al. cité par Peeters & Robert 2012

Annexe XIV : Proposition de Natagora pour des zones d'exclusions chiroptérologique



Source : Natagora 2008

Annexe XV : Proposition du DNF - Protocole de comptage pour l'EIE

Espèce(s) ou groupe d'espèces	technique	calendrier	localisation	modalités
Chauve-souris (si implantation > 200 m de lisière)	Recensements crépusculaires	1 avril – 31 octobre En plaines agricoles ouvertes : 6 passages ; Dans les autres zones : 9-12 passages en fonction de l'importance biologique de la zone	Dans rayon de 500 m autour du projet Tous les 200m le long de tous les éléments linéaires boisés et plans d'eau dans un rayon de 1 km	Détecteurs d'ultrasons (avec enregistrement) Bonnes conditions météo Relevés au sol 5 min. par point de relevé au sol
Chauves-souris (si implantation < 200 m de lisière)	Recensements crépusculaires et en continu	1 avril – 31 octobre En zone de lisière à haute valeur ajoutée : 12 passages De 9 à 12 passages suivant le type de	entre les lisières et l'éolienne concernée	Détecteurs d'ultrasons (avec enregistrement) Bonnes conditions météo 5 min. par point de relevé En période migratoire des C-S, des

Espèce(s) ou groupe d'espèces	technique	calendrier	localisation	modalités
		lisière et leur exposition		relevés à hauteur des pâles pour min.1 éolienne pour tout parc ou extension d'au moins 6 éoliennes
Oiseaux nicheurs (hors rapaces)	Points d'écoute	3 relevés mi-avril, mi-mai, mi-juin	Dans un rayon de 1.5 km autour du projet Endroits faciles d'accès Bocages, bosquets, petits boisements	Temps favorable Lever du soleil + 3h Plan d'échantillonnage Fiche de terrain Durée 10min par point d'écoute
Oiseaux nicheurs Rapaces	Postes fixes	3 relevés mai à juillet	Dans un rayon de 1.5km autour du projet	Fin de matinée –mi d'après-midi Plan d'échantillonnage
Oiseaux nicheurs nocturnes	Points d'écoute	3 relevés début janvier – mi-juin	Dans un rayon de 1.5km autour du projet	Plan d'échantillonnage
Oiseaux des plans d'eau (si plan d'eau présent)	Postes fixes	Mai à juillet	Dans un rayon de 1.5km autour du projet	Plan d'échantillonnage
Oiseaux non nicheurs (hivernants haltes migratoires)	Postes fixes, uniquement si dortoir à proximité Itinéraires échantillons	2 à 3 relevés octobre à mars	Dans un rayon de 1.5km autour du projet	1 à 3 postes pour 10 éoliennes Plusieurs heures Plan d'échantillonnage En journée / en soirée pour les dortoirs
Oiseaux non nicheurs - Flux migratoires	Postes fixes	6-10 relevés A répartir de manière uniforme sur période post nuptiale (mi-août à mi-novembre) déterminer les pics	Dans un rayon de 1.5km autour du projet Point situé au sol (avec bonne visibilité)	1 à 3 postes pour 10 éoliennes Bonnes conditions météo Lever du soleil jusque fin matinée (min. 4h)

Espèce(s) ou groupe d'espèces	technique	calendrier	localisation	modalités
		avec les naturalistes locaux		Fiches de terrain Plan d'échantillonnage

Source : Gouvernement wallon (2013)