

Canton de Berne

Communes de TRAMELAN & de SAICOURT

Parc éolien de la
Montagne de Tramelan

"Prés de la Montagne - Montbautier"

Etude de l'Impact sur l'Environnement (EIE)

"Expertise acoustique"

Annexe 5.2
au Rapport relatif à l'Impact sur l'Environnement (RIE)



Mondrian





Berne, le 27 août 2014

Parc éolien de Tramelan

Expertise acoustique pour sept éoliennes de type Vestas V100, 1.8 MW

Mandant:

Sophie Bosse
BKW Energie AG
Wind
Viktoriaplatz 2
3000 Berne 25

Version	Date	Document	Numéro de projet
1	27.08.2014	Rapport final	14_067

Elaboration	Nom	Date
Crée par	Dr. Saskia Bourgeois, Jürg J. Engel	27.08.2014
Contrôlé par	Dr. Saskia Bourgeois, Dr. Florian Verdet	27.08.2014
Approuvé par	René Cattin	27.08.2014
Meteotest garantit à ses clients une exécution soignée et dans les règles de l'art de son mandat. Toute responsabilité, en particulier pour les dommages causés par le défaut, est exclue dans la mesure permise par la loi.		

Résumé

La BKW projette d'aménager, au nord-est de Tramelan, dans le canton de Berne, un parc de sept éoliennes de type Vestas V100 d'une hauteur de 95 m au moyeu. Dans le cadre de la présente expertise, les émissions sonores des éoliennes projetées ont été calculées à l'aide du logiciel WindPRO, sur la base des directives nationales et cantonales. La norme ISO 9613-2, utilisée dans le monde entier, a été appliquée. L'étude a également porté sur le respect des valeurs limites fixées par l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB).

S'agissant de nouvelles installations, l'OPB prescrit une valeur de planification pour la journée et une autre pour la nuit. Toutes deux doivent être respectées aux points d'immission. Ces valeurs sont respectivement de 60 dB(A) la journée et 50 dB(A) la nuit pour les points d'immission situés en zone mixte. En zone d'habitation, la valeur de planification est de 55 dB(A) la journée et de 45 dB(A) la nuit. Pour chacune de ces valeurs, la valeur limite d'immission est de 5 dB(A) supérieure.

Selon les directives cantonales, tous les bâtiments comportant des locaux sensibles au bruit situés dans un rayon de 300 m en zone mixte et de 450 m en zone habitée autour d'une éolienne doivent être identifiés comme des points d'immission. Un seul bâtiment sensible est situé dans un tel périmètre autour des éoliennes projetées à Tramelan. Conscient de l'importance des émissions sonores des éoliennes pour les communes voisines, le mandant a toutefois décidé de prendre en considération tous les points concernés dans un rayon de 500 m. Au total, 30 points d'immission ont été retenus dans la zone mixte (degré III de sensibilité au bruit). De ce fait, la présente expertise dépasse de loin les exigences cantonales en la matière.

La puissance acoustique ponctuelle des éoliennes a été calculée sur la base de l'OPB et des directives du beco. Les corrections de niveau correspondent à ces directives; autrement dit, nous avons appliqué une valeur de 4 dB(A) pour la correction de niveau K3 (audibilité des composantes impulsives) dans le calcul des immissions sonores. Un niveau d'évaluation spécifique de jour et de nuit a été calculé pour chaque emplacement d'éolienne. Pour la réduction des immissions sonores, un niveau d'évaluation a été calculé pour la nuit pour quatre éoliennes avec un régime d'exploitation plus silencieux (mode 2) des Vestas V100. Tous les calculs sont fondés sur l'expertise des conditions de vent effectuée pour le site de Tramelan¹.

Les niveaux d'évaluation aux points d'immission pour une éolienne Vestas V100, ont été calculés sur cette base à l'aide du logiciel WindPRO. Une réduction de la correction de niveau K3, possible selon le beco, a été effectuée aux points d'immission. Le tableau A ci-après indique les niveaux d'évaluation calculés aux points d'immission pour une Vestas V100.

¹ Windenergieprojekt Tramelan, Aktualisiertes Schlussgutachten mit Ertragsprognosen Berücksichtigung von Verlusten durch Massnahmen wegen Schall- und Schattenwurfimmissionen, Vereisung und zum Fledermausschutz, Meteotest, Bern, 14. April 2014.

Tableau A : Point d'immission, valeurs de planification (jour/nuit) et niveau d'évaluation pour le jour avec mode de fonctionnement 0 et pour la nuit avec mode de fonctionnement 0 (sites T1, T3 et T7) et mode 2 (sites T2, T4, T5, T6). Les dépassements sont marqués en **gras**.

	Nom du point d'immission	Valeur de planification jour / nuit [dB(A)]	Niveau d'évaluation jour mode 0 [dB(A)]	Niveau d'évaluation nuit mode 0/2 [dB(A)]
1	Le Bousset	60 / 50	45.9	46.3
2	Le Préparotte	60 / 50	43.1	43.5
3	Sous la Sagne	60 / 50	39.4	39.9
4	Les Fraises	60 / 50	45.0	45.4
5	Les Fraises 2	60 / 50	40.8	41.3
6	Sur L'Harse	60 / 50	49.1	48.4
7	Les Planches	60 / 50	49.1	48.5
8	Sur les Joux	60 / 50	49.8	49.1
9	Milieu de la Montagne	60 / 50	48.1	48.5
10	Près aux Liattes	60 / 50	46.3	46.7
11	Près aux Liattes 3	60 / 50	48.7	49.1
12	Près aux Liattes 3c	60 / 50	48.1	48.5
13	Haut de Bémont	60 / 50	47.3	46.3
14	Près de Bémont	60 / 50	51.4	50.3
15	Haut de Bémont	60 / 50	52.0	50.9
16	La Turlure	60 / 50	46.0	44.9
17	Les Places 25	60 / 50	46.1	44.9
18	Les Places 26	60 / 50	48.7	47.4
19	Les Places	60 / 50	46.8	45.6
20	Rière Jorat - 1a	60 / 50	51.2	50.0
21	Rière Jorat	60 / 50	48.4	47.5
22	Rière Jorat 188	60 / 50	48.6	47.7
23	Rière Jorat 190	60 / 50	49.1	48.2
24	Les Voïtines	60 / 50	51.3	50.5
25	Sur Montbautier	60 / 50	40.3	40.3
26	Les Tartins 1	60 / 50	36.1	36.0
27	Les Planches 1	60 / 50	43.8	43.5
28	Près aux Liattes 1	60 / 50	43.8	44.0
29	Sous la Lampe	55 / 45	36.8	36.8
30	Les Deutes	55 / 45	36.2	36.1

Pour le jour, le mode de fonctionnement 0 a été choisi pour tous les emplacements et le mode 2 plus silencieux a été utilisé pour la nuit à quatre des emplacements. Avec un tel scénario d'exploitation, les valeurs de planification sont respectées à tous les points pendant la journée. La nuit, elles sont tout légèrement dépassées à trois points. La valeur limite d'immission (valeur de planification + 5 dB(A)) est respectée à tous les points d'immission.

Index

1	Introduction	7
2	Généralités	8
2.1	Bases juridiques et prescriptions	8
2.1.1.	Sources	8
2.1.2.	Niveau d'évaluation	8
2.1.3.	Corrections de niveau.....	9
2.1.4.	Durée des phases bruit (durée de fonctionnement)	9
2.1.5.	Valeurs limites d'exposition	9
2.1.6.	Points d'immission.....	10
2.2	Parc éolien de Tramelan.....	11
2.2.1.	Configuration	11
2.2.2.	Modèle d'éolienne	12
2.3	Points d'immission	12
2.4	Méthode d'évaluation acoustique	15
2.4.1.	Niveau d'évaluation des éoliennes en fonction de l'emplacement....	15
2.4.2.	Calcul des immissions sonores.....	16
2.4.3.	Réduction de la correction de niveau K3	16
2.5	Marge d'erreur des calculs.....	17
3	Résultats	18
3.1	Propagation spatiale / Cartes.....	18
3.2	Immissions sonores aux différents points d'immission	19
4	Conclusions	23
4.1	Evaluation.....	23
4.2	Mesures destinées à réduire les perturbations selon les recommandations de l'OFEV :	23
Annexe A : Niveau de puissance acoustique d'une Vestas V100, 1.8 MW.....		25
Annexe B : Niveaux d'évaluation spécifiques.....		27
Annexe C : Résultats détaillés des calculs d'immission.....		28

1 Introduction

La BKW projette d'aménager, au nord-est de Tramelan dans le canton de Berne un parc de sept éoliennes de type Vestas V100 d'une hauteur de 95 m au moyeu.

Dans le cadre de la présente expertise, les émissions sonores des éoliennes projetées ont été calculées à l'aide du logiciel WindPRO, sur la base des directives nationales et cantonales, dans le but de vérifier le respect des valeurs limites fixées par l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB).

Les bases juridiques relatives aux émissions sonores sont mentionnées au chapitre 2. Dans ce même chapitre, la configuration du parc éolien projeté est exposée et les bâtiments potentiellement touchés sont identifiés en tant que points d'immission. La méthode de calcul des valeurs sonores est présentée, avec une information sur la marge d'incertitude en matière de prévisions.

Les résultats sont présentés au chapitre 3. Ils comportent des cartes exposant la répartition spatiale des immissions sonores sous la forme d'isophones et de tableaux avec le niveau d'évaluation calculé et des indications sur le respect des valeurs de planification pour chaque lieu d'immission. Les dépassements des valeurs limites sont spécifiés pour les différents points d'immission concernés.

L'expertise se conclut par une évaluation générale et un exposé des mesures possibles de réduction du bruit.

2 Généralités

2.1 Bases juridiques et prescriptions

2.1.1. Sources

Les prescriptions et sources juridiques suivantes sont considérées dans l'évaluation des émissions sonores du parc éolien de Tramelan :

- Ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB; RS 814.41).
- Recommandations pour la planification d'installations éoliennes (OFEV, OFEN, ARE) du 1^{er} mars 2010.
- Fiche d'information de l'OFEV sur le bruit des installations éoliennes du 5 mars 2011.
- Fiche d'information du beco Economie bernoise sur la protection contre le bruis émis par les installations éoliennes de juillet 2011.

2.1.2. Niveau d'évaluation

Selon l'OPB, annexe 6, art. 31, le niveau d'évaluation L_r se calcule séparément pour le jour (7 à 19 h) et la nuit (19 à 7 h), de la manière:

$$L_r = 10 \cdot \log \sum_i 10^{0,1 \cdot L_{r,i}}$$

Le niveau d'évaluation partiel $L_{r,i}$ se calcule pour la durée moyenne journalière de la phase de bruit i comme suit :

$$L_{r,i} = L_{eq,i} + K_{1,i} + K_{2,i} + K_{3,i} + 10 \cdot \log(t_i / t_o)$$

Signification :

$L_{eq,i}$ = niveau moyen, pondéré A, pendant la phase de bruit i

$K_{1,i} - K_{3,i}$ = corrections de niveau pour la phase de bruit i

t_i = durée journalière moyenne de la phase de bruit i en minutes

$t_o = 720$ minutes (demi-journée)

2.1.3. Corrections de niveau

La fiche d'information du beco fixe les valeurs suivantes pour les corrections de niveau :

- K1 (type de source du bruit) = 5 dB(A)
- K2 (audibilité des composantes tonales) = 0 dB(A)
- K3 (audibilité des composantes impulsives) = 4 dB(A)

Il est précisé qu'en cas de protection prouvée (p. ex. un local dont l'usage est sensible au bruit, situé à l'écart des éoliennes, selon la définition du point 2.1.6), K3 peut être réduite. Selon les informations du beco, la réduction peut être de 2 à 4 dB(A)². On obtient par conséquent un écart de K3 = 4 dB(A) dans les cas suivants:

- Les locaux dont l'usage est sensible au bruit sont situés à l'écart des éoliennes: K3 = 2 dB(A)
- Des obstacles massifs et imperméables à l'air, comme des bâtiments, empêchent la vue des éoliennes: K3 = 0 dB(A)
- Une forêt de plus de 25 m de profondeur empêche la vue des éoliennes: K3 = 2 dB(A)

2.1.4. Durée des phases bruit (durée de fonctionnement)

On part du principe que les éoliennes fonctionnent en permanence: $t_i/t_o=1$ (fiche beco 2011).

2.1.5. Valeurs limites d'exposition

Les valeurs limites d'exposition relatives à l'industrie et aux arts et métiers sont énumérées à l'annexe 6 de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (Tableau 1). L'art. 7 OPB indique que les émissions de bruit d'une nouvelle installation doivent être limitées «*de telle façon que les immissions de bruit dues exclusivement à l'installation en cause ne dépassent pas les valeurs de planification*».

² Réponse écrite aux questions de BKW par Daniela Glücker du beco, 4.10.2011

Tableau 1 : Valeurs limites d'exposition au bruit de l'industrie et des arts et métiers selon l'OPB.

Degré de sensibilité (DS) ³	Valeur de planification [dB(A)]		Valeur limite d'immission [dB(A)]		Valeur d'alarme [dB(A)]	
	jour	nuit	jour	nuit	jour	nuit
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Selon l'art. 7, al. 2, OPB, l'autorité d'exécution peut accorder des allègements dans la mesure où «le respect des valeurs de planification constituerait une charge disproportionnée pour l'installation et que cette dernière présente un intérêt public prépondérant». Les valeurs limites d'immission ne doivent cependant pas être dépassées.

2.1.6. Points d'immission

Selon la fiche d'information du beco, sont à prendre en compte les parcelles exploitées et les locaux sensibles au bruit:

- DS II: dans un rayon de 300 m autour d'une éolienne
- DS III: dans un rayon de 450 m autour d'une éolienne

L'art. 2, al. 6, OPB définit les locaux sensibles au bruit comme *"a) les pièces des habitations, à l'exclusion des cuisines sans partie habitable, des locaux sanitaires et des réduits et b) les locaux d'exploitations, dans lesquels des personnes séjournent régulièrement durant une période prolongée; en sont exclus les locaux destinés à la garde d'animaux de rente et les locaux où le bruit inhérent à l'exploitation est considérable."*

³ Degrés de sensibilité (art. 43 OBP):

I: les zones de détente

II: les zones d'habitation

III: les zones d'habitation et artisanales (zones mixtes) et les zones agricoles

IV: les zones industrielles

2.2 Parc éolien de Tramelan

2.2.1. Configuration

Le parc éolien projeté se situe au nord-est de la localité de Tramelan, dans le Jura bernois. Figure 1 montre une carte du parc éolien projeté et des points d'immission. Tableau 2 liste les coordonnées des différents emplacements.

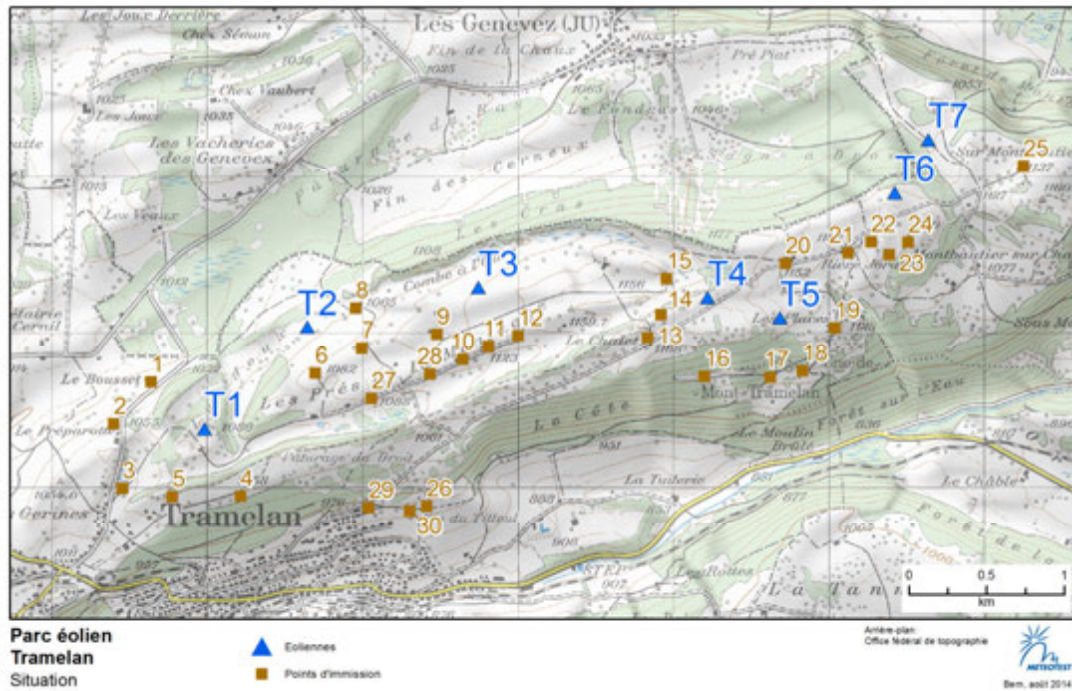


Figure 1 : Configuration du parc éolien de Tramelan et points d'immissions.

Tableau 2 : Emplacements des éoliennes du parc de Tramelan.

Eolienne	Coordonnées X	Coordonnées Y	Altitude [m]
T1	573'982	231'383	1'071
T2	574'643	232'037	1'057
T3	575'744	232'291	1'120
T4	577'218	232'226	1'172
T5	577'683	232'096	1'151
T6	578'421	232'901	1'142
T7	578'639	233'242	1'097

2.2.2. Modèle d'éolienne

L'analyse se fonde sur le modèle V100 de la société Vestas avec une puissance nominale de 1,8 MW et une hauteur de 95 m au moyeu.

Selon les informations du fabricant, la puissance acoustique maximale se situe à un niveau moyen de 500 Hz. Pour une Vestas V100 en mode de fonctionnement 0, elle est de 105.0 dB(A) et se réfère à 95% de la puissance nominale. En mode de fonctionnement 2, le niveau moyen de 500 Hz est à 103.0 dB(A). Le niveau de puissance acoustique L_{WA} par m/s à 10 m de hauteur indiqué par Vestas ainsi que pour la vitesse du vent à la hauteur du moyeu figurent à l'annexe A.

Le niveau de puissance acoustique par phase de bruit de la Vestas V100 est défini sur cette base pour chaque site (un exemple figure dans annexe B).

2.3 Points d'immission

Il y a un seul bâtiment habité dans le rayon prescrit par le beco (chapitre 2.1.6). Conscient de l'importance des émissions sonores des éoliennes pour les communes voisines, le mandant a décidé de prendre en considération tous les points concernés dans un rayon de 500 m.

Au total, 30 points d'immission ont été pris en considération. De ce fait, la présente expertise dépasse de loin les exigences cantonales en la matière.

Pour chaque bâtiment ou secteur concerné, on a pris en considération le point le plus proche d'une installation. Tableau 3 indique les coordonnées des points d'immission et la distance jusqu'à l'éolienne la plus proche. Tableau 4 donne une vue d'ensemble de la situation concrète des points d'immission par rapport à la correction de niveau K3 (cf. chapitre 2.4.3) à effectuer et au degré de sensibilité au bruit DS.

Tableau 3 : Coordonnées (Swiss Grid) des points d'immission sonore considérés, distance de l'éolienne la plus proche et type de point d'immission.

N°	Nom du point d'immission	X [m]	Y [m]	Eolienne la plus proche n° (distance)	Type de point d'immission
1	Le Bousset	573'639	231'684	1 (456 m)	Ferme
2	Le Préparotte	573'402	231'411	1 (581 m)	Ferme
3	Sous la Sagne	573'459	231'010	1 (640 m)	Ferme
4	Les Fraises	574'222	230'957	1 (486 m)	Ferme
5	Les Fraises 2	573'785	230'945	1 (470 m)	Chalet
6	Sur L'Harse	574'694	231'741	2 (301 m)	Ferme
7	Les Planches	574'987	231'901	2 (370 m)	Chalet
8	Sur les Joux	574'954	232'164	2 (336 m)	Ferme
9	Milieu de la Montagne	575'478	231'990	3 (402 m)	Ferme
10	Près aux Liattes	575'642	231'845	3 (458 m)	Ferme
11	Près aux Liattes 3	575'805	231'917	3 (379 m)	Ferme
12	Près aux Liattes 3c	575'987	231'983	3 (392 m)	Ferme
13	Haut de Bémont	576'839	231'973	4 (456 m)	Bâtiment en construction
14	Près de Bémont	576'923	232'121	4 (313 m)	Chalet
15	Haut de Bémont	576'965	232'350	4 (282 m)	Bâtiment en construction
16	La Turlure	577'200	231'722	4 (504 m)	Chalet
17	Les Places 25	577'616	231'714	5 (383 m)	Chalet
18	Les Places 26	577'820	231'755	5 (367 m)	Ferme
19	Les Places	578'005	232'031	5 (328 m)	Restaurant/ Ferme
20	Rière Jorat - 1a	577'715	232'446	5 (351 m)	Ferme
21	Rière Jorat	578'140	232'531	6 (465 m)	Ferme
22	Rière Jorat 188	578'274	232'587	6 (347 m)	Ferme
23	Rière Jorat 190	578'382	232'506	6 (397 m)	Ferme
24	Les Voïtines	578'502	232'584	6 (327 m)	Ferme
25	Sur Montbautier	579'236	233'096	7 (615 m)	Ferme
26	Les Tartins 1	575'401	230'879	2 (1384 m)	Ferme
27	Les Planches 1	575'027	231'591	2 (588 m)	Ferme
28	Près aux Liattes 1	575'435	231'750	3 (623 m)	Ferme
29	Sous la Lampe	575'001	230'840	1 (1154 m)	Maison d'habitation
30	Les Deutes	575'284	230'859	2 (1341 m)	Maison d'habitation / Ferme

Tableau 4 : Description de la situation des points d'immission par rapport à la correction de niveau et au degré de sensibilité au bruit DS.

N°	Nom	Situation du bâtiment par rapport à l'éolienne la plus proche	K3 dB(A)	DS ⁴
1	Le Bousset	Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
2	Le Préparotte	Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
3	Sous la Sagne	La forêt empêche de voir l'éolienne	2	III
4	Les Fraises	Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
5	Les Fraises 2	Une colline empêche de voir l'éolienne	0	III
6	Sur L'Harse	Etable entre la maison d'habitation et l'éolienne 2, pas de locaux sensibles au bruit du côté tourné vers l'éolienne	2	III
7	Les Planches	-	4	III
8	Sur les Joux	-	4	III
9	Milieu de la Montagne	-	4	III
10	Près aux Liattes	-	4	III
11	Près aux Liattes 3	-	4	III
12	Près aux Liattes 3c	Pas de locaux sensibles au bruit du côté tourné vers l'éolienne	4	III
13	Haut de Bémont	Pas de locaux sensibles au bruit du côté tourné vers l'éolienne	4	III
14	Près de Bémont	-	4	III
15	Haut de Bémont	-	4	III
16	La Turlure	Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
17	Les Places 25	La forêt empêche de voir l'éolienne	2	III
18	Les Places 26	Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
19	Les Places	Etable entre maison d'habitation / restaurant et éolienne	0	III
20	Rière Jorat - 1a	-	4	III
21	Rière Jorat	-	4	III
22	Rière Jorat 188	Etable entre maison d'habitation et éolienne 6	2	III
23	Rière Jorat 190	-	4	III
24	Les Voitines	-	4	III
25	Sur Montbautier	Etable entre la maison d'habitation et l'éolienne, pas de locaux sensibles au bruit du côté tourné vers l'éolienne. Portion de forêt entre le bâtiment et l'éolienne	0	III
26	Les Tartins 1	Pâturage boisé entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
27	Les Planches 1	Forêt entre le bâtiment et l'éolienne	4	III
28	Près aux Liattes 1	-	4	III
29	Sous la Lampe	Pâturage boisé entre le bâtiment et l'éolienne	4	II
30	Les Deutes	Un pâturage boisé entre la maison d'habitation et l'éolienne empêche la vue sur celle-ci; pas de locaux sensibles au bruit du côté tourné vers l'éolienne	4	II

⁴ Degré de sensibilité selon art. 43 OPB.

2.4 Méthode d'évaluation acoustique

2.4.1. Niveau d'évaluation des éoliennes en fonction de l'emplacement

Le niveau d'évaluation est déterminé à partir des niveaux partiels d'évaluation des différentes phases de bruit; pour cela, une moyenne de la composante énergétique du son est calculée. Les phases de bruit ont été définies en fonction de la vitesse du vent à la hauteur du moyeu aux emplacements des éoliennes. La répartition de la fréquence des vitesses du vent à la hauteur du moyeu aux emplacements des éoliennes a été calculée à l'aide du logiciel CFD WindSim. On s'est fondé pour cela sur les mesures et la modélisation du vent effectuées dans le cadre de l'expertise du vent¹. En-dessous de la vitesse de fourniture, une éolienne n'émet aucun bruit car elle est l'arrêt. A partir de la vitesse nominale du vent, l'installation tourne à plein régime et émet le niveau maximal de bruit.

Sur cette base, un niveau d'évaluation des émissions pour le jour et un pour la nuit ont été calculés pour chaque emplacement d'éolienne, conformément à l'OPB. Pour le jour, le mode de fonctionnement 0 a été utilisé. Pour la nuit, la propagation du son a d'abord été calculée avec le mode 0. Ceci mène à un dépassement des valeurs de planification à plusieurs points d'immission dans le périmètre des éoliennes T2, T4, T5 et T6. En conséquence, il fut décidé d'appliquer le mode de fonctionnement 2 plus silencieux pendant la nuit aux emplacements T2, T4, T5 et T6. Les autres unités sont exploitées en mode 0 également pendant la nuit. Les niveaux de puissance acoustique pour les deux modes de fonctionnement sont donnés dans l'annexe A. Les corrections de niveau ont été effectuées d'après les directives du beco (cf. chapitre 2.1.3).

Tableau 5 indique le niveau d'évaluation calculé pour chaque emplacement d'éolienne. Le calcul effectué à l'exemple de l'emplacement T1 figure à l'annexe B.

Tableau 5 : Niveau d'évaluation pour le jour et pour la nuit pour chaque emplacement d'éolienne.

Eolienne	Lr jour [dB(A)]	Lr nuit [dB(A)]
T1	109.1	109.7
T2	108.7	107.9*
T3	109.3	109.9
T4	109.7	108.7*
T5	109.7	108.4*
T6	109.7	108.8*
T7	109.2	109.8

* mode de fonctionnement 2

2.4.2. Calcul des immissions sonores

Les immissions sonores des éoliennes ont été calculées au moyen du logiciel WindPRO, qui constitue la norme pour les projets éoliens.

Les calculs sont fondés sur le niveau d'évaluation de chaque emplacement (chapitre 2.4.1) mais aussi sur le modèle d'altitude swissAlti3D⁵ de l'Office fédéral de la topographie, avec une résolution horizontale de 2 m.

Le calcul de la propagation du son a été fait d'après la norme ISO 9613-2⁶, appliquée dans le monde entier. Les hypothèses suivantes ont été avancées:

- Les **niveaux de puissance acoustique des éoliennes** se situent approximativement à 500 Hz. Des valeurs d'atténuation proches de 500 Hz sont donc utilisées pour le calcul.
- **Hauteur du point d'immission** au-dessus du sol : 5 m
- **L'effet du sol** a été calculé au moyen de la procédure dite alternative. Cette méthode emploie l'orographie pour calculer le parcours moyen d'un son. Il est recommandé de l'utiliser en raison de la topographie complexe du site de Tramelan. Les critères suivants doivent être pris en considération:
 - Seul le niveau d'évaluation A présente un intérêt.
 - Le son se propage surtout au-dessus des sols poreux.
 - Le son n'est pas une tonalité pure.
- **Coefficient d'absorption de l'air** : l'atténuation du son par l'air dépend de sa température et de son humidité. Selon les recommandations de l'OFEV, il faut compter avec une température moyenne globale de 8°C et une humidité relative de 76%, d'où une atténuation du son par l'air de 1,8 dB/km.
- **Coefficient météorologique** : Une atténuation supplémentaire par des conditions météorologiques particulières n'est pas prise en compte.

2.4.3. Réduction de la correction de niveau K3

La possibilité d'une réduction de la correction de niveau K3 (cf. chapitre 2.1.3) après les calculs effectués au moyen de WindPRO pour chaque point d'immission a été examinée et appliquée le cas échéant. Les corrections de niveau effectuées sont listées par lieu d'immission au Tableau 4 (chapitre 2.3).

- **Effet d'obstacle** : on examine, pour chaque lieu d'immission, si la ligne de vue directe entre le lieu d'immission et l'éolienne (hauteur maximale 145 m)

⁵ www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/height/swissALTI3D.html

⁶ ISO 9613-2: Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre.

est gênée par un obstacle. Pour quatre points d'immission, la vue est coupée par un bâtiment et pour un point par une colline. Pour deux autres points, la ligne de vue au point le plus élevé atteint par une éolienne est coupée par une forêt (voir Tableau 4). On applique en principe dans de tels cas une correction de niveau de $K3 = 0$. S'agissant des points recevant des immissions sonores de plusieurs éoliennes et où l'obstacle agit sur la vue de l'éolienne la plus proche, la correction de niveau est de $K3 = 2$.

- **Orientation des locaux sensibles au bruit** : pour le calcul au moyen de WindPRO, on est parti du principe que les locaux sensibles au bruit sont orientés vers les éoliennes. S'ils se situent de l'autre côté du bâtiment, le niveau de correction peut être réduit selon le chapitre 2.1.3. Certains points d'immission ne possèdent pas de local sensible au bruit face à l'éolienne mais sont exposés latéralement. Le niveau ne pouvant être corrigé que si les locaux sensibles au bruit sont situés du côté opposé aux éoliennes, il n'est pas possible de procéder à une réduction de $K3$ dans ces cas-là.

2.5 Marge d'erreur des calculs

Les méthodes et les hypothèses utilisées dans la présente expertise permettent d'estimer la marge d'erreur des calculs de propagation dans une fourchette de $-6/+3\text{dB(A)}$, «*autrement dit, le véritable niveau d'immission se situe avec 67% de vraisemblance dans une fourchette de -6 à $+3$ dB(A) de part et d'autre de la valeur calculée. Compte tenu de la marge d'erreur de la valeur d'émission de l'éolienne, on peut tabler sur une marge d'erreur de $-7/+4$ dB(A)*» (recommandations de l'OFEV, mars 2010).

3 Résultats

3.1 Propagation spatiale / Cartes

Figure 2 présente les isophones des niveaux d'évaluation pour le jour, Figure 3 montre le même pour la nuit. Les sites des turbines et les points d'immission sont également représentés. Le mode de fonctionnement 2 fut utilisé pendant la nuit pour quatre emplacements. Ces calculs ont été effectués avec $K3 = 4$, sans tenir compte d'une atténuation par des obstacles.

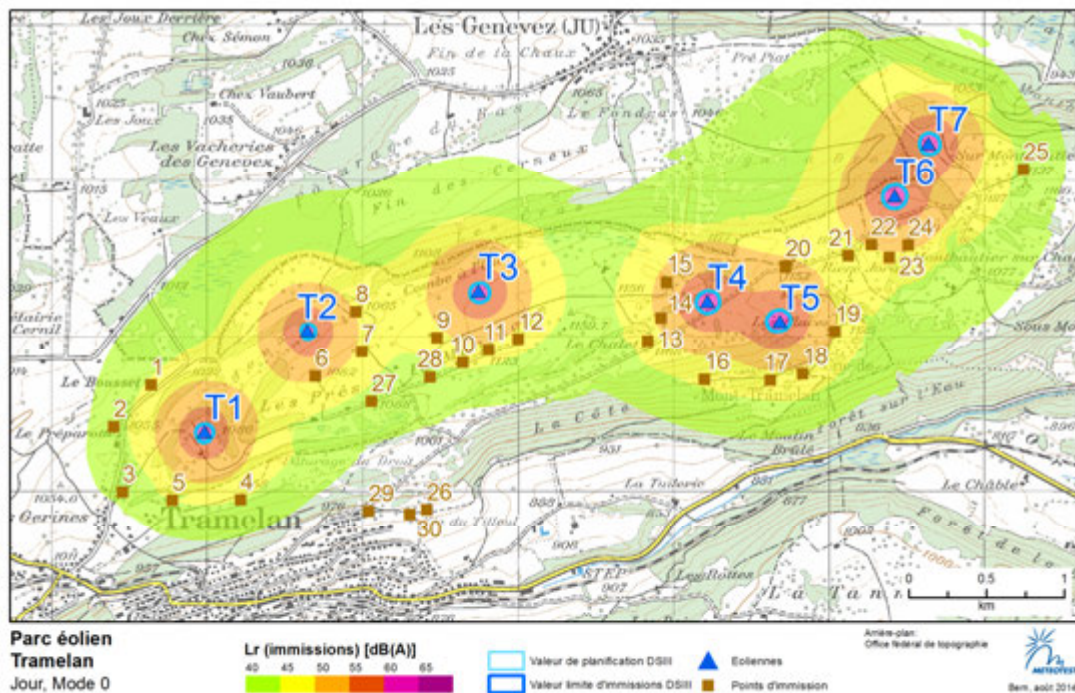


Figure 2 : Isophones pour les conditions de vent moyennes sur le site du projet de parc éolien de Tramelan la **journée**. Les carrés bruns représentent les points d'immission, les triangles bleus les sites des turbines.

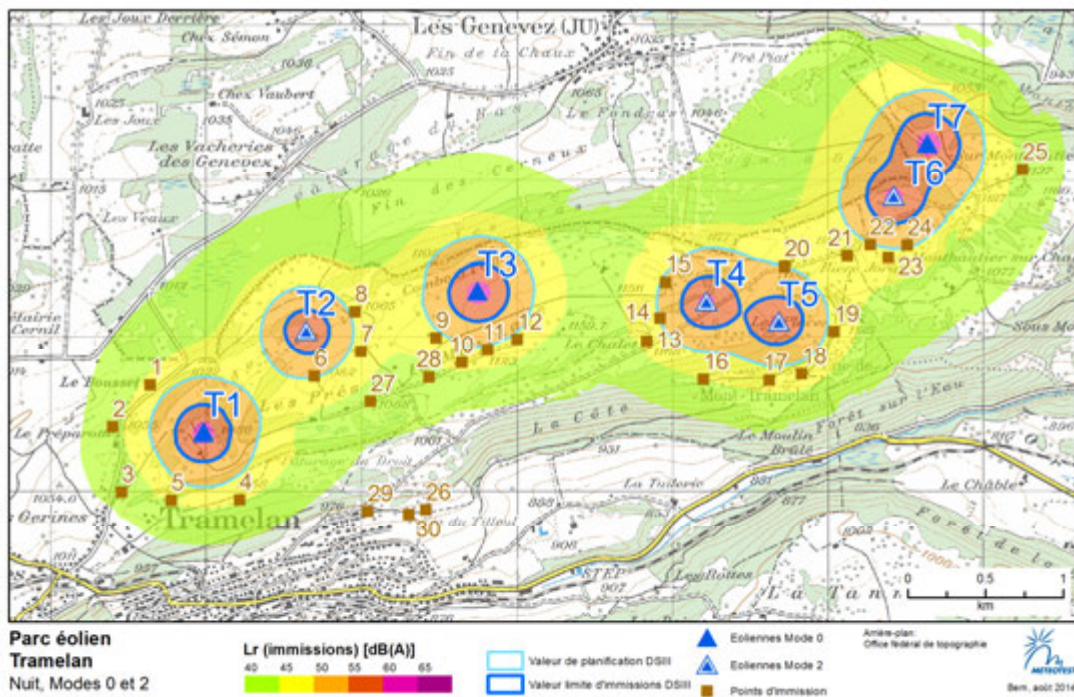


Figure 3 : Isophones pour les conditions de vent moyennes sur le site du projet de parc éolien de Tramelan la nuit. Les carrés bruns représentent les points d'immission, les triangles bleus les sites des turbines.

3.2 Immissions sonores aux différents points d'immission

Tableau 6 et Tableau 7 indiquent les niveaux d'évaluation calculés aux points d'immission pour le jour et la nuit après adaptation de la correction de niveau K3.

Le jour, la valeur de planification est d'une part plus élevée que la nuit et, d'autre part, la vitesse du vent est légèrement plus faible, de sorte que les valeurs de planification sont respectées à tous les points d'immission.

La nuit, les valeurs de planification de trois points d'immission sur 30 sont dépassées légèrement. Les dépassements ont lieu aux points d'immission 14 (Près de Bémont), 15 (Haut de Bémont) et 24 (Les Voitines). Les valeurs de planification sont dépassées respectivement de 0.3, 0.9 et 0.5 dB(A).

Les valeurs limites d'immission sont respectées à tous les points d'immission le jour et la nuit.

Tableau 6 : Niveau d'évaluation sonore aux points d'immission et respect des valeurs de planification pendant la **journée**.

N°	Nom	Valeur de planification [dB(A)]	K3 [dB(A)]	Niveau d'évaluation [dB(A)]	Valeur de planification respectée?
1	Le Bousset	60	4	45.9	Oui
2	Le Préparotte	60	4	43.0	Oui
3	Sous la Sagne	60	2	39.4	Oui
4	Les Fraises	60	4	44.9	Oui
5	Les Fraises 2	60	0	40.8	Oui
6	Sur L'Harse	60	2	49.0	Oui
7	Les Planches	60	4	49.1	Oui
8	Sur les Joux	60	4	49.8	Oui
9	Milieu de la Montagne	60	4	48.1	Oui
10	Près aux Liattes	60	4	46.3	Oui
11	Près aux Liattes 3	60	4	48.6	Oui
12	Près aux Liattes 3c	60	4	48.0	Oui
13	Haut de Bémont	60	4	47.2	Oui
14	Près de Bémont	60	4	51.3	Oui
15	Haut de Bémont	60	4	51.9	Oui
16	La Turlure	60	4	45.9	Oui
17	Les Places 25	60	4	46.0	Oui
18	Les Places 26	60	4	48.7	Oui
19	Les Places	60	0	46.8	Oui
20	Rière Jorat - 1a	60	4	51.2	Oui
21	Rière Jorat	60	4	48.3	Oui
22	Rière Jorat 188	60	2	48.6	Oui
23	Rière Jorat 190	60	4	49.0	Oui
24	Les Voitines	60	4	51.3	Oui
25	Sur Montbautier	60	0	40.2	Oui
26	Les Tartins 1	60	4	36.1	Oui
27	Les Planches 1	60	4	43.8	Oui
28	Près aux Liattes 1	60	4	43.8	Oui
29	Sous la Lampe	50	4	36.7	Oui
30	Les Deutes	50	2	36.2	Oui

Tableau 7 : Niveau d'évaluation sonore aux points d'immission et respect des valeurs de planification pendant la **nu**it.

N°	Nom	Valeur de planification [dB(A)]	K3 [dB(A)]	Niveau d'évaluation [dB(A)]	Valeur de planification respectée?
1	Le Bousset	50	4	46.3	Oui
2	Le Préparotte	50	4	43.5	Oui
3	Sous la Sagne	50	2	39.9	Oui
4	Les Fraises	50	4	45.4	Oui
5	Les Fraises 2	50	0	41.3	Oui
6	Sur L'Harse	50	2	48.4	Oui
7	Les Planches	50	4	48.5	Oui
8	Sur les Joux	50	4	49.1	Oui
9	Milieu de la Montagne	50	4	48.5	Oui
10	Près aux Liattes	50	4	46.7	Oui
11	Près aux Liattes 3	50	4	49.1	Oui
12	Près aux Liattes 3c	50	4	48.5	Oui
13	Haut de Bémont	50	4	46.3	Oui
14	Près de Bémont	50	4	50.3	Non
15	Haut de Bémont	50	4	50.9	Non
16	La Turlure	50	4	44.9	Oui
17	Les Places 25	50	2	44.9	Oui
18	Les Places 26	50	4	47.4	Oui
19	Les Places	50	0	45.6	Oui
20	Rière Jorat - 1a	50	4	50.0	Oui
21	Rière Jorat	50	4	47.5	Oui
22	Rière Jorat 188	50	2	47.7	Oui
23	Rière Jorat 190	50	4	48.2	Oui
24	Les Voïtines	50	4	50.5	Non
25	Sur Montbautier	50	0	40.3	Oui
26	Les Tartins 1	50	4	36.0	Oui
27	Les Planches 1	50	4	43.5	Oui
28	Près aux Liattes 1	50	4	44.0	Oui
29	Sous la Lampe	45	4	36.8	Oui
30	Les Deutes	45	4	36.1	Oui

Les résultats détaillés des calculs d'immissions sonores pour la nuit aux points d'immission où la valeur de planification a été dépassée figurent à l'annexe C. On peut notamment y voir la contribution de chaque éolienne aux immissions sonores à chaque point d'immission.

4 Conclusions

4.1 Evaluation

Il y a un seul bâtiment comportant des locaux sensibles au bruit dans le rayon prescrit par le canton de Berne. Conscient de l'importance des émissions sonores des éoliennes pour les communes voisines, le mandant a toutefois décidé de prendre en considération tous les points concernés dans un rayon de 500 m. Les immissions sonores ont donc été calculées et évaluées sur un total de 30 points. Les immissions sonores ont été calculées conformément à l'OPB et aux directives du beco. Les corrections de niveau ont été appliquées selon les directives du beco, c'est-à-dire qu'une valeur de 4 dB(A) a été utilisée pour la correction de niveau K3 (audibilité de la composante impulsive) lors du calcul des niveaux d'évaluation des différents emplacements d'éoliennes. Une réduction de cette correction de niveau K3, autorisée par le beco, a été effectuée aux différents points d'immission.

La journée, les valeurs de planification sont respectées à tous les points d'immission, alors que la nuit, des dépassements sont constatés sur trois points d'immission. Les dépassements chez les points d'immissions 14, 15 et 24 dans l'est du parc éolien sont avec des valeurs de 50.3, 50.9 et 50.5 dB(A) faibles.

4.2 Mesures destinées à réduire les perturbations selon les recommandations de l'OFEV :

- **Emploi de technologies et modes de fonctionnement moins bruyants :** Les calculs ont été effectués sur la base du mode de fonctionnement 0 des V100, qui constitue la norme. Pour quatre emplacements, le mode de fonctionnement 2 plus silencieux fut utilisé lors des calculs pour la nuit.
- **Adaptation de la vitesse de rotation :** la vitesse de rotation a une influence décisive sur les émissions acoustiques. Une vitesse maximale autorisée dans certaines conditions (p. ex. la nuit) permettrait d'assurer que certains niveaux d'émission ne soient pas dépassés. Une limitation de vitesse peut aussi être judicieuse lorsque la direction du vent est particulièrement défavorable.
- **Exigences en termes de maintenance :** les efforts mécaniques dus p. ex. à la foudre ou à la grêle ainsi que l'encrassement des pales peuvent détériorer les conditions acoustiques. Une mesure périodique des émissions contribue à déterminer à temps le moment d'effectuer des travaux de maintenance pour des raisons acoustiques.

- **Visibilité** : des études ont montré que les riverains se sentent moins dérangés si le rotor d'une éolienne n'est pas visible (Pedersen 2008, 2009⁷).
- **Mesures à la livraison** : des mesures effectuées à la livraison des éoliennes peuvent permettre de détecter d'éventuels défauts de fabrication et/ou d'installation et de les dénoncer.
- **Mesures à la livraison** : des mesures effectuées à la livraison des éoliennes peuvent permettre de détecter d'éventuels défauts de fabrication et/ou d'installation et de les dénoncer.

Le dépassement des valeurs de planification pendant la nuit aux trois points d'immission peut être empêché par un bridage des éoliennes lors de vitesses de vents élevées. Les deux éoliennes T4 et T6 seraient concernés par un tel bridage.

⁷ E. Pedersen, J. Bouma, R. Bakker, F. van den Berg (2008): Response to wind turbine noise in the Netherlands, Acoustics 08 Paris (2008). E. Pedersen, F. van den Berg, R. Bakker, J. Bouma (2009): Response to noise from modern wind farms in The Netherlands, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 126, 634-643 (2009).

Annexe A : Niveau de puissance acoustique d'une Vestas V100, 1.8 MW

12.1.3 V100-1.8 MW Sound Power Levels, Noise Mode 0

V100-1.8 MW Sound Power Level at Hub Height, Noise Mode 0		
Conditions for Sound Power Level:	Measurement standard IEC 61400-11 Ed. 2. Wind shear: 0.15 Maximum turbulence at 10 metre height: 16% Inflow angle (vertical): $0 \pm 2^\circ$ Air density: 1.225 kg/m^3	
Hub Height	80 m	95 m
LwA @ 3 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	94.0 4.2	94.1 4.3
LwA @ 4 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	95.9 5.6	96.4 5.7
LwA @ 5 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	100.1 7.0	100.6 7.2
LwA @ 6 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.8 8.4	104.3 8.6
LwA @ 7 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 9.8	105.0 10.0
LwA @ 8 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 11.2	105.0 11.5
LwA @ 9 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 12.6	105.0 12.9
LwA @ 10 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 13.9	105.0 14.3
LwA @ 11 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 15.3	105.0 15.8
LwA @ 12 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 16.7	105.0 17.2
LwA @ 13 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	105.0 18.1	105.0 18.6

Table 12-3: V100-1.8 MW sound power level at hub height, Noise Mode 0.

Figure 4 : Niveaux de puissance acoustique pour une **Vestas V100, 1.8 MW**, en mode de fonctionnement 0, pour vitesses de vent à 10 m au-dessus du sol et avec vitesses de vent à hauteur de moyeu de 80 et 95 m.

12.3.3 V100-1.8 MW Sound Power Levels, Noise Mode 2

V100-1.8 MW Sound Power Level at Hub Height, Noise Mode 2		
Conditions for Sound Power Level:	Measurement standard IEC 61400-11 Ed. 2. Wind shear: 0.15 Maximum turbulence at 10 metre height: 16% Inflow angle (vertical): $0 \pm 2^\circ$ Air density: 1.225 kg/m^3	
Hub Height	80 m	95 m
LwA @ 3 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	94.0 4.2	94.1 4.3
LwA @ 4 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	96.1 5.6	96.5 5.7
LwA @ 5 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	100.0 7.0	100.6 7.2
LwA @ 6 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	102.9 8.4	102.9 8.6
LwA @ 7 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 9.8	103.0 10.0
LwA @ 8 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 11.2	103.0 11.5
LwA @ 9 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 12.6	103.0 12.9
LwA @ 10 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 13.9	103.0 14.3
LwA @ 11 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 15.3	103.0 15.8
LwA @ 12 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 16.7	103.0 17.2
LwA @ 13 m/s (10 m above ground) [dBA] Wind speed at hub height [m/s]	103.0 18.1	103.0 18.6

Table 12-9: V100-1.8 MW Sound power level at hub height, Noise Mode 2.

Figure 5 : Niveaux de puissance acoustique pour une **Vestas V100, 1.8 MW**, en mode de fonctionnement 2, pour vitesses de vent à 10 m au-dessus du sol et avec vitesses de vent à hauteur de moyeu de 80 et 95 m.

Annexe B : Niveaux d'évaluation spécifiques

Calcul du niveau d'évaluation des émissions le jour et la nuit selon l'OPB. Les corrections de niveau sont conformes aux directives du beco (cf. chapitre 2.1.3). Tableau 8 montre un exemple pour le site de la turbine 1 pour le jour.

Tableau 8 : Phase de bruit, répartition de la vitesse de vent, niveau de puissance acoustique et Lr,i.

Phase bruit ⁸ [m/s]	Répartition	Niveau de puissance acoustique [dB(A)]	Lr,i ⁹ [dB(A)]
<2	6.8%	0	0.0
2-3	12.1%	92.2	92.0
3-4	15.8%	93.8	94.8
4-5	15.3%	95.4	96.3
5-6	12.8%	97.4	97.5
6-7	10.0%	100.2	99.2
7-8	7.9%	102.8	100.8
8-9	6.0%	104.6	101.3
9-10	4.2%	105.0	100.2
10-11	3.1%	105.0	98.9
11-12	2.1%	105.0	97.3
12-13	1.4%	105.0	95.5
13-14	0.9%	105.0	93.4
14-15	0.5%	105.0	91.3
15-16	0.3%	105.0	88.7
16-17	0.2%	105.0	86.7
17-18	0.2%	105.0	86.2
18-19	0.1%	105.0	85.3
19-20	0.1%	105.0	83.1
		Lr	109.1

⁸ la vitesse déclarée se réfère à la hauteur de moyeu.

⁹ L'évaluation résulte conformément à chapitre 2.4.1

Annexe C : Résultats détaillés des calculs d'immission

Les résultats détaillés des calculs d'immission sonore pour la nuit sont présentés ci-après pour tous les points d'immission où un dépassement de la valeur de planification a été constaté. Ils indiquent notamment la contribution de chaque éolienne à l'immission sonore à chaque lieu d'immission et répartissent les valeurs d'atténuation A entre les différents types d'atténuation.

Les abréviations suivantes sont utilisées:

LWA, ref:	niveau d'évaluation spécifique à chaque emplacement d'éolienne
Dc:	correction de directivité
Adiv:	atténuation en fonction de la propagation géométrique
Aatm:	atténuation en fonction de l'absorption de l'air
Agr:	atténuation en fonction de l'effet du sol
A:	atténuation totale

Tableau 9 : Point d'immission 14: Près de Bémont.

N°	Distance [m]	Parcours de son [m]	Niveau d'évaluation [dB(A)]	LwA,ref [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	A [dB]
T1	3'032	3'032	66.8	109.7	3.01	80.63	5.46	4.05	90.14
T2	2'281	2'281	44.0	107.9	3.01	78.16	4.11	4.14	86.41
T3	1'191	1'191	46.9	109.9	3.01	72.52	2.14	3.44	78.11
T4	313	324	47.8	108.7	2.97	61.21	0.58	0.0	61.79
T5	760	763	44.0	108.4	3.00	68.65	1.37	2.80	72.82
T6	1'688	1'689	52.1	108.8	3.01	75.55	3.04	3.74	82.34
T7	2'049	2'049	42.5	109.8	3.01	77.23	3.69	4.09	85.01
Total			50.3						

Tableau 10 : Point d'immission 15: Haut de Bémont.

N°	Distance [m]	Parcours de son [m]	Niveau d'évaluation [dB(A)]	LwA,ref [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	A [dB]
T1	3'135	3'135	50.5	109.7	3.01	80.92	5.64	4.25	90.82
T2	2'342	2'342	37.4	107.9	3.01	78.39	4.22	4.25	86.86
T3	1'222	1'223	42.5	109.9	3.01	72.75	2.20	3.60	78.55
T4	282	301	52.5	108.7	2.96	60.57	0.54	0.00	61.11
T5	762	767	42.2	108.4	3.00	68.69	1.38	2.88	72.95
T6	1'557	1'559	45.4	108.8	3.01	74.85	2.81	3.80	81.46
T7	1'897	1'897	41.6	109.8	3.01	76.56	3.41	4.80	84.78
Total			50.9						

Tableau 11: Point d'immission 24: Les Voitines.

N°	Distance [m]	Parcours de son [m]	Niveau d'évaluation [dB(A)]	LwA,ref [dB(A)]	Dc [dB]	Adiv [dB]	Aatm [dB]	Agr [dB]	A [dB]
T1	4'676	4'676	39.8	109.7	3.01	84.40	8.42	4.80	97.62
T2	3'897	3'897	24.7	107.9	3.01	82.82	7.01	4.80	94.63
T3	2'773	2'774	39.8	109.9	3.01	79.86	4.99	4.31	89.16
T4	1'333	1'337	64.6	108.7	3.01	73.52	2.41	3.13	79.06
T5	953	957	65.3	108.4	3.01	70.62	1.72	2.44	74.78
T6	327	335	49.4	108.8	2.97	61.51	0.60	0.00	62.12
T7	672	673	47.9	109.8	3.00	67.55	1.21	2.32	71.08
Total			50.5						



Mondrian

