

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)

### "Ombres projetées"

Annexe 5.1.4  
au Rapport relatif à l'Impact sur l'Environnement (RIE)



Mondrian







Berne, le 2 septembre 2014

## **Projet d'énergie éolienne Tramelan**

**Etude de projection d'ombres pour sept éoliennes de type Vestas V100, 1.8 MW**

---

Mandante :

Sophie Bosse  
BKW Energie AG  
Wind  
Viktoriaplatz 2  
3000 Berne 25

Version	Date	Document	Numéro de projet
1	02.09.2014	Rapport final	14_067

Elaboration	Nom	Date
Crée par	Dr. Saskia Bourgeois, Jürg J. Engel	02.09.2014
Contrôlé par	Dr. Saskia Bourgeois, Dr. Florian Verdet	29.08.2014
Approuvé par	René Cattin	01.09.2014
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 prévoit de réaliser, au nord-est de Tramelan dans le canton de Berne un parc éolien comprenant au total sept éoliennes de type Vestas V100 avec une hauteur de moyeu de 95 m.

La présente étude examine l'impact des futures éoliennes en matière de projection d'ombres.

Comme nous ne disposons pas, en Suisse, de directives relatives à l'évaluation des ombres projetées par les éoliennes, les lignes directrices allemandes<sup>1</sup> ont été reprises pour la Suisse selon la recommandation de l'OFEN<sup>2</sup>. Elles définissent deux durées de projection d'ombres: La **durée maximale possible au sens astronomique (DPO-mAstro)** et la **durée prévisible en tenant compte de la météorologie<sup>3</sup> (DPO-pMétéo)**. Les lignes directrices allemandes fixent la limite de la DPO-mAstro à 30 minutes par jour et 30 heures par année. Il est en outre exigé que des mesures soient prises pour diminuer la projection d'ombres en cas de dépassement de la DPO-pMétéo de huit heures par année.

Les immissions d'ombres sur les bâtiments environnants ont été calculées avec le logiciel d'énergie éolienne WindPRO. Un modèle numérique de terrain à haute résolution (2 m) ainsi que des statistiques à long terme relatives à la durée d'ensoleillement et aux conditions de vent locales ont servi de base pour les calculs. Le commanditaire a effectué une visite sur le site.

Lors d'une première phase de calcul, des bâtiments habités ont été identifiés en tant que récepteurs d'ombres (points d'immission) pour autant qu'ils soient situés dans la zone de DPO-mAstro de plus de 30 heures par année. Il s'agit au total de 27 bâtiments qui se trouvent dans un périmètre de 600 m autour des éoliennes.

Dans une seconde phase de calcul, nous avons également pris en compte la forêt et les bâtiments proches qui pourraient interrompre ou réduire la ligne de vue vers les éoliennes. Des objets isolés comme des arbres individuels qui pourraient éventuellement contribuer à réduire la durée de projection d'ombres n'ont pas été pris en compte.

Après ce deuxième calcul, on constate que les valeurs indicatives allemandes concernant la durée de projection d'ombres sont dépassées pour 15 à tous les 27 des récepteurs d'ombres examinés. C'est le site "Près de Bémont" (récepteur d'ombres 14) qui enregistre la plus longue DPO-mAstro avec 183 heures par année. La plus longue durée de projection d'ombres en un jour monte à 1 heure et 42 minutes sur le site "La Tourbière" (récepteur d'ombres 26).

---

<sup>1</sup> voir p.ex: Leitlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Leitlinie). Stand: 21.12.2009. [http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land\\_bb\\_bravors\\_01.c.45636.de](http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land_bb_bravors_01.c.45636.de) (Zugriff: 8.8.2014).

<sup>2</sup> OFEN 2008: Eoliennes en Suisse: Bases de planification pour l'Aménagement du Territoire et effets.

<sup>3</sup> tient compte de la durée moyenne de l'ensoleillement sur place

Le nombre de sites présentant des dépassements de la valeur indicative relative à la durée de projection d'ombres pourrait être réduit à six en prenant en compte, lors d'une analyse plus détaillée, les arbres individuels proches des récepteurs d'ombres en question. Pour cela, on a eu recours aux vues aériennes de Google Earth ainsi qu'aux informations fournies par les commanditaires après une visite sur place. Le tableau A ci-dessous présente un résumé des résultats. Les dépassements des valeurs limite sont indiqués en gras.

Tableau A : Durées de projection d'ombres pour chaque récepteur: maximales possibles astronomiquement (**DPO-mAstro**) et prévisibles météorologiquement (**DPO-pMétéo**). Le tableau indique en outre s'il est possible que des arbres individuels situés à proximité réduisent la durée de projection d'ombres.

N°	Nom su site d'immission	DPO-mAstro			DPO-pMétéo	Réduc. arbres individuels?
		h/an	jours d'ombre/an	h/jour	h/an	
1	<b>Le Bousset</b>	<b>58:26</b>	<b>115</b>	<b>0:50</b>	<b>11:21</b>	<b>Oui</b>
2	<b>Le Préparotte</b>	<b>26:01</b>	<b>52</b>	<b>0:39</b>	<b>6:14</b>	<b>Oui</b>
3	Le Préparotte 2	0:00	0	0:00	0:00	-
4	Les Près 1	0:00	0	0:00	0:00	-
5	Les Près 2	9:31	32	0:25	2:25	Non
6	<b>Sur L'Harse</b>	<b>30:44</b>	<b>94</b>	<b>0:30</b>	<b>8:10</b>	<b>Oui</b>
7	<b>Les Planches</b>	<b>128:26</b>	<b>145</b>	<b>1:29</b>	<b>27:28</b>	<b>Oui</b>
8	<b>Sur les Joux</b>	<b>92:43</b>	<b>133</b>	<b>1:07</b>	<b>24:25</b>	<b>Oui</b>
9	Milieu de la Montagne	5:28	36	0:17	1:18	Oui
10	Près aux Liattes	7:50	42	0:27	1:51	Non
11	Près aux Liattes 3	5:26	33	0:17	1:23	Oui
12	Près aux Liattes 3c	9:12	45	0:19	2:21	Non
13	Haut de Bémont	12:15	40	0:27	3:08	Non
14	<b>Près de Bémont</b>	<b>138:00</b>	<b>151</b>	<b>1:17</b>	<b>25:28</b>	<b>Non</b>
15	<b>Près de la Montagne E</b>	<b>30:50</b>	<b>54</b>	<b>0:54</b>	<b>6:48</b>	<b>Non</b>
16	<b>Les Places</b>	<b>120:16</b>	<b>122</b>	<b>1:14</b>	<b>25:05</b>	<b>Oui</b>
17	<b>Rière Jorat - 1a</b>	<b>72:36</b>	<b>142</b>	<b>0:52</b>	<b>17:08</b>	<b>Non</b>
18	<b>Rière Jorat</b>	<b>59:04</b>	<b>132</b>	<b>0:40</b>	<b>13:52</b>	<b>Non</b>
19	<b>Rière Jorat 188</b>	<b>36:19</b>	<b>98</b>	<b>0:33</b>	<b>8:38</b>	<b>Non</b>
20	<b>Sur Montbautier</b>	<b>19:24</b>	<b>54</b>	<b>0:34</b>	<b>3:59</b>	<b>Oui</b>
21	Les Planches 1	6:04	26	0:21	1:31	Non
22	Près aux Liattes 1	11:11	56	0:22	2:18	Non
23	Nord du Montbautier sur Ch.	0:00	0	0:00	0:00	-
24	<b>Rière Jorat Sud</b>	<b>45:18</b>	<b>92</b>	<b>0:44</b>	<b>12:01</b>	<b>Oui</b>
25	La Noz	0:00	0	0:00	0:00	-
26	<b>La Tourbière</b>	<b>116:38</b>	<b>101</b>	<b>1:42</b>	<b>23:45</b>	<b>Oui</b>
27	<b>Milieu de la Montagne 2</b>	<b>45:57</b>	<b>121</b>	<b>0:38</b>	<b>9:24</b>	<b>Non</b>

## Index

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Bases</b> .....	<b>7</b>
2.1	Lignes directrices relatives aux immissions d'ombres .....	7
2.2	Parc éolien de Tramelan.....	8
2.2.1	Plan du parc .....	8
2.2.2	Type d'éolienne .....	8
2.3	Récepteurs d'ombres.....	9
2.4	Méthode de calcul de la projection d'ombres .....	11
2.4.1	Durée de la projection d'ombres .....	11
2.4.2	Zone de projection d'ombres .....	12
2.4.3	Obstacles .....	12
<b>3</b>	<b>Résultats</b> .....	<b>14</b>
3.1	Extension en surface / carte de projection d'ombres.....	14
3.2	Durée de projection d'ombres pour chaque récepteur d'ombre.....	15
3.3	Obstruction visuelle supplémentaire due aux arbres isolés.....	17
<b>4</b>	<b>Conclusions</b> .....	<b>24</b>
4.1	Bilan .....	24
4.2	Mesures de réduction .....	24

# 1 Introduction

La BKW prévoit de réaliser, au nord-est de Tramelan dans le canton de Berne, un parc éolien comprenant au total sept éoliennes de type Vestas V100 avec une hauteur de moyeu de 95 m.

Dans la présente étude, la projection d'ombres des éoliennes sur les bâtiments environnants est calculée et évaluée avec le logiciel WindPRO<sup>4</sup>.

Les ombres produites par les pales tournantes des rotors des éoliennes peuvent avoir un effet gênant en raison de l'effet stroboscopique<sup>5</sup>. Comme nous ne disposons pas, en Suisse, de directives relatives à l'évaluation des ombres projetées par les éoliennes, les lignes directrices allemandes<sup>6</sup> ont été reprises pour la Suisse selon la recommandation de l'OFEN<sup>7</sup>. Elles préconisent une durée de projection d'ombres maximale astronomiquement possible (DPO-mAstro) de 30 minutes par jour et 30 heures par année.

La première partie de cette étude présente les lignes directrices appliquées (chapitre 2.1), le parc éolien planifié (chapitre 2.2), les récepteurs d'ombre identifiés (chapitre 2.3) ainsi que les méthodes de calcul (chapitre 2.4).

Les résultats figurent au chapitre 3. L'étude s'achève par une analyse des résultats ainsi que des recommandations pour réduire les immissions d'ombres (chapitre 4).

---

<sup>4</sup> [www.emd.dk](http://www.emd.dk)

<sup>5</sup> p.ex. Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (2000). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen: Ergebnisse einer Feldstudie und einer Laborpilotstudie. *Public-Psychologie im Umweltschutz*, 1, 11-18.

<sup>6</sup> voir p. ex: Leitlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Leitlinie). Stand: 21.12.2009. [www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land\\_bb\\_bravors\\_01.c.45636.de](http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land_bb_bravors_01.c.45636.de) (dernier accès: 8.8.2014).

<sup>7</sup> OFEN 2008: Eoliennes en Suisse: Bases de planification pour l'Aménagement du Territoire et effets.

## 2 Bases

### 2.1 Lignes directrices relatives aux immissions d'ombres

En Suisse, il n'existe aucune directive ni loi réglementant la projection d'ombres. Dans le rapport de l'OFEN 'Eoliennes en Suisse'<sup>7</sup>, il est précisé que les éléments d'évaluation établis en Allemagne peuvent être appliqués à la Suisse. En Allemagne, plusieurs Länder utilisent des lignes directrices concordantes.

La valeur limite relative à la durée de projection d'ombres est de 30 heures par an et ne devrait pas dépasser 30 minutes par jour. La valeur limite se rapporte à la DPO-mAstro (voir chapitre 2.4.1).

Selon les lignes directrices, sont considérés comme des lieux d'immission significatifs:

- a) *„...les locaux à protéger utilisés en tant que salles de séjour, chambres à coucher, salles de classe, bureaux, salles de formation, cabinets médicaux et locaux professionnels similaires. La hauteur de référence est le milieu de la fenêtre.*
- b) *Les surfaces non exploitées à une hauteur de référence de 2 m au-dessus du sol, sur lesquelles le droit de la construction et de l'aménagement du territoire autorise la construction de bâtiments comprenant des locaux à protéger.“*

L'intensité d'éventuelles réflexions de lumière et les effets optiques gênants dus aux pales des turbines doivent être atténués autant que possible. *„Il faut éviter les réflexions de lumière gênantes en utilisant des couleurs à réflexion moyenne, p. ex. RAL 7035-HR, et des taux de luisance bas selon DIN 67530/ISO 2813-1978 pour le revêtement des rotors. Les éclats lumineux dus à l'humidité ou au givrage ne sont pas pris en compte“.*

Les lignes directrices allemandes recommandent, en cas de dépassement des valeurs limite, d'avoir recours à des moyens techniques pour limiter la durée d'action des éoliennes, comme p. ex. un dispositif d'arrêt automatique. Celui-ci enregistre, au moyen de capteurs d'intensité du rayonnement et de la luminosité, la situation réelle en ce qui concerne l'ombrage météorologique et peut limiter la durée de projection d'ombres concrète. Le dispositif d'arrêt automatique doit être utilisé à partir d'une DPO-pMétéo de huit heures par année. Si la valeur indicative journalière de 30 minutes est dépassée pendant au moins trois jours, la durée quotidienne de projection d'ombres doit être limitée à 30 minutes.

## 2.2 Parc éolien de Tramelan

### 2.2.1 Plan du parc

Le parc éolien planifié est situé au nord de la localité de Tramelan, dans le Jura bernois. Figure 1 montre une carte du parc éolien planifié et Tableau 1 présente les coordonnées des différents sites.

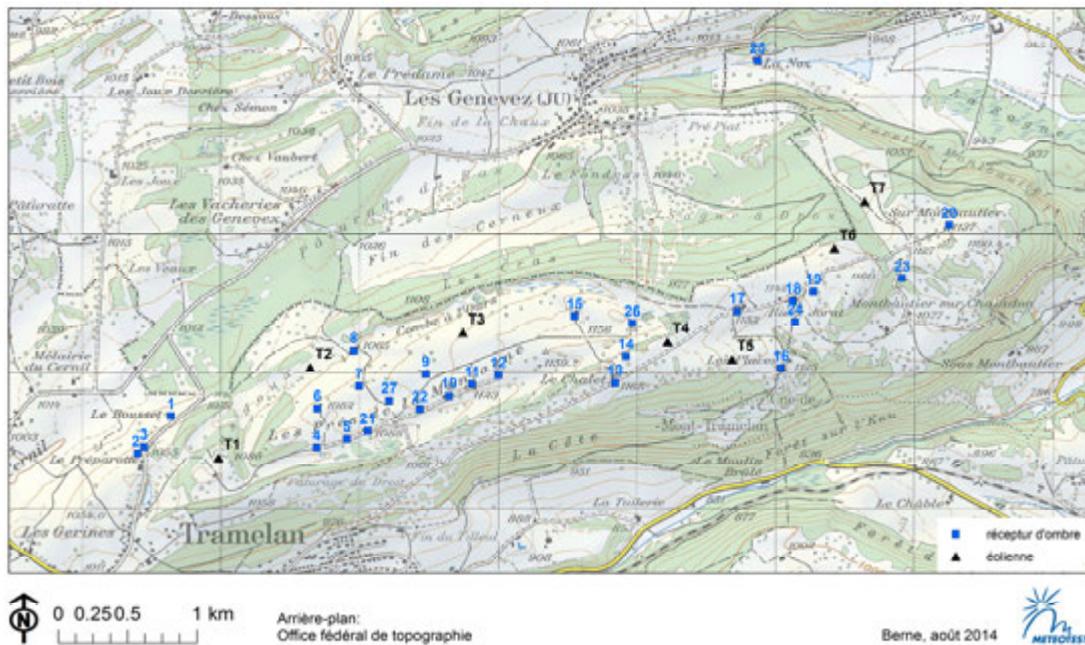


Figure 1 : Plan du parc éolien de Tramelan avec les éoliennes (triangles noirs) et les récepteurs d'ombre identifiés dans le (carrés bleus).

Tableau 1 : Emplacements des éoliennes dans le parc éolien 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 Type d'éolienne

L'analyse est basée sur le type d'éolienne Vestas V100 avec une puissance de 1.8 MW et une hauteur de moyeu de 95 m.

## 2.3 Récepteurs d'ombres

Comme récepteurs d'ombre ont été identifiés les bâtiments habités situés dans les zones qui, selon un premier calcul effectué avec WindPRO – sans prise en compte de la végétation et des constructions proches – présentent des immissions d'ombre dépassant les valeurs indicatives.

Il s'agit au total de 27 bâtiments. Pour tous les récepteurs, nous avons supposé une taille de fenêtre de 1 m x 1 m et utilisé une hauteur de référence de 5 m. Figure 1 montre les récepteurs d'ombres identifiés et Tableau 2 indique leurs coordonnées.

Pour les bâtiments dont l'orientation des fenêtres n'est pas connue et/ou qui peuvent subir des projections d'ombre de plus d'une éolienne, nous avons appliqué le 'mode de serre' de WindPRO. Pour cela, on part du principe qu'une maison soit constituée uniquement de fenêtres et qu'elle peut être touchée par les projections d'ombre depuis toutes les directions. Avec ce mode de calcul, l'influence de la projection d'ombres est fort probablement surévaluée. Lorsque la projection d'ombres ne touche en réalité qu'une façade, l'orientation correspondante du récepteur d'ombres est indiquée.

Tableau 2 : Coordonnées (système suisse LV03) des récepteurs d'ombre sélectionnés et orientation de la façade déterminante du bâtiment. GH signifie 'Gewächshausmodus' (mode de serre).

Nr.	Nom	X [m]	Y [m]	Orientation
1	Le Bousset	573'631	231'680	SE
2	Le Préparotte	573'394	231'407	SE
3	Le Préparotte 2	573'444	231'461	SE
4	Les Près 1	574'689	231'456	E
5	Les Près 2	574'907	231'519	GH
6	Sur L'Harse	574'694	231'741	GH
7	Les Planches	574'995	231'900	GH
8	Sur les Joux	574'956	232'160	GH
9	Milieu de la Montagne	575'476	231'990	GH
10	Près aux Liattes	575'594	231'807	GH
11	Près aux Liattes 3	575'803	231'906	GH
12	Près aux Liattes 3c	576'000	231'979	GH
13	Haut de Bémont	576'839	231'925	SE
14	Près de Bémont	576'917	232'118	SE
15	Près de la Montagne Est	576'559	232'408	GH
16	Les Places	578'048	232'021	SO
17	Rière Jorat - 1a	577'718	232'446	GH
18	Rière Jorat	578'121	232'516	GH
19	Rière Jorat 188	578'269	232'586	GH
20	Sur Montbautier	579'248	233'072	N
21	Les Planches 1	575'039	231'580	GH
22	Près aux Liattes 1	575'429	231'742	GH
23	Nord du Montbautier sur Chandon	578'907	232'680	GH
24	Rière Jorat Sud	578'135	232'369	GH
25	La Noz	577'848	234'261	S
26	La Tourbière	576'963	232'357	GH
27	Milieu de la Montagne 2	575'211	231'789	GH

## 2.4 Méthode de calcul de la projection d'ombres

### 2.4.1 Durée de la projection d'ombres

On distingue entre la durée maximale possible au niveau astronomique et la durée de projection d'ombres prévisible en tenant compte de la météorologie.

La durée de projection d'ombres maximale possible au sens astronomique (DPO-mAstro) comprend la période entre le lever et le coucher du soleil pendant laquelle l'éolienne projette son ombre sur le récepteur si le soleil brillerait continuellement dans un ciel sans nuage. L'on suppose que la surface du rotor soit perpendiculaire aux rayons et que les éoliennes fonctionnent sans interruption.

Pour ce qui est de la durée de projection d'ombres prévisible ou probable (DPO-pMétéo), il s'agit de la durée de projection d'ombres prenant en compte les conditions météorologiques habituelles enregistrées sur les lieux du parc. Celles-ci sont basées sur une analyse statistique du vent et sur une étude de la durée d'ensoleillement quotidienne moyenne dans la région du parc d'éoliennes.

L'analyse statistique du vent utilisée provient d'une étude de vent réalisée par Meteotest<sup>8</sup>. Les données relatives à la durée d'ensoleillement ont été déterminées au moyen du logiciel meteonorm<sup>9</sup> pour un emplacement du mât à Tramelan. Tableau 3 montre pour chaque mois la durée moyenne d'ensoleillement en heures par jour.

La hauteur minimale significative du soleil au-dessus de l'horizon a été fixée à 0°. Comme le parc éolien de Tramelan se trouve dans un terrain vallonné complexe, on admet qu'une projection d'ombres peut être enregistrée dès que le soleil apparaît au-dessus de l'horizon visible.

Tableau 3 : Durée moyenne d'ensoleillement quotidien à l'emplacement du mât installé à Tramelan [h/jour].

jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
2.7	3.8	4.1	4.7	5.2	5.9	6.8	6.4	5.4	4.5	3.0	2.6

<sup>8</sup> Windenergieprojekt Tramelan, Aktualisiertes Schlussgutachten mit Ertragsprognosen Berücksichtigung von Verlusten durch Massnahmen wegen Schall- und Schattenwurfimmissionen, Vereisung und zum Fledermausschutz, Meteotest, Bern, 14. April 2014.

<sup>9</sup> meteonorm, Version 6.1, Meteotest, Schweiz: [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)

### 2.4.2 Zone de projection d'ombres

Tableau 4 indique les dimensions de l'éolienne Vestas V100 significatives pour une analyse des ombres. „La zone de projection d'ombres théorique d'une éolienne est définie par la distance à l'éolienne dans laquelle la surface du soleil est cachée à 20% par une pale de rotor.<sup>10</sup>“ L'intensité de l'ombre est alors assez forte pour être perceptible. La profondeur de la pale joue un rôle déterminant. Les turbines de type Vestas V100 ont une profondeur de pale maximale de 3.92 m. La zone maximale de projection d'ombres des éoliennes du parc de Tramelan recouvre un cercle d'un rayon de 1'691 m autour de l'emplacement de l'éolienne. Elle a été calculée selon le critère de la projection d'ombres astronomiquement maximale et en tenant compte de la topographie. Pour cela, nous nous sommes servis du modèle altimétrique numérique swissAlti3D<sup>11</sup> avec une résolution de 2 m.

Tableau 4 : Dimensions d'une Vestas V100<sup>12</sup> significatives pour une analyse des ombres.

Type de turbine	Hauteur de moyeu [m]	Diamètre du rotor [m]	Prof. pales rotor [m]		Rayon max. zone projection d'ombres [m]
			max	rayon 90%	
Vestas V100	95	100	3.92	1.05	1'691

### 2.4.3 Obstacles

La projection d'ombres est réduite par des obstacles qui, selon les lignes directrices allemandes, devraient être pris en compte lors de calcul de projection d'ombres. Les obstacles suivants ont été pris en compte dans les calculs :

- Forêts avec des arbres d'une hauteur moyenne estimée à 20 m
- Buissons d'une hauteur moyenne estimée à 10 m
- Bâtiments, selon la hauteur indiquée dans la base de données de swiss-Buildings3D de l'Office fédéral de la topographie.

Les données relatives à l'emplacement des surfaces de forêt et de buissons ont été tirées du modèle TLM3D<sup>13</sup> de l'Office fédéral de la topographie.

<sup>10</sup> Leitlinie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Leitlinie). Stand: 21.12.2009.  
[http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land\\_bb\\_bravors\\_01.c.45636.de](http://www.bravors.brandenburg.de/sixcms/detail.php?gsid=land_bb_bravors_01.c.45636.de) (Zugriff: 8.8.2014).

<sup>11</sup> [www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/swissALTI3D.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/swissALTI3D.html)

<sup>12</sup> source: Catalogue d'éoliennes du logiciel WindPRO ([www.emd.dk](http://www.emd.dk)).

<sup>13</sup> [www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/swissTLM3D.html](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/swissTLM3D.html)

Les arbres isolés et la forêt ouverte peuvent également réduire considérablement les immissions d'ombres sur les récepteurs d'ombre. Comme les arbres présentent de grandes différences de rayon et de hauteur, mais que ces informations n'étaient pas disponibles, elles n'ont pas été prises en compte dans les calculs effectués avec WindPRO. Le chapitre 3.3 est consacré à leur influence possible quant à la durée de projection d'ombres sur les récepteurs d'ombres concernés.

### 3 Résultats

#### 3.1 Extension en surface / carte de projection d'ombres

Figure 2 montre la **durée maximale possible astronomiquement (DPO-mAstro)** en heures par année et Figure 3 la **durée météorologique prévisionnelle (DPO-pMétéo)** en heures par année. Les deux tiennent compte de la forêt et des bâtiments. On peut constater qu'il n'y a que de légères modifications en ce qui concerne le dépassement des valeurs indicatives correspondantes (voir également Tableau 5).

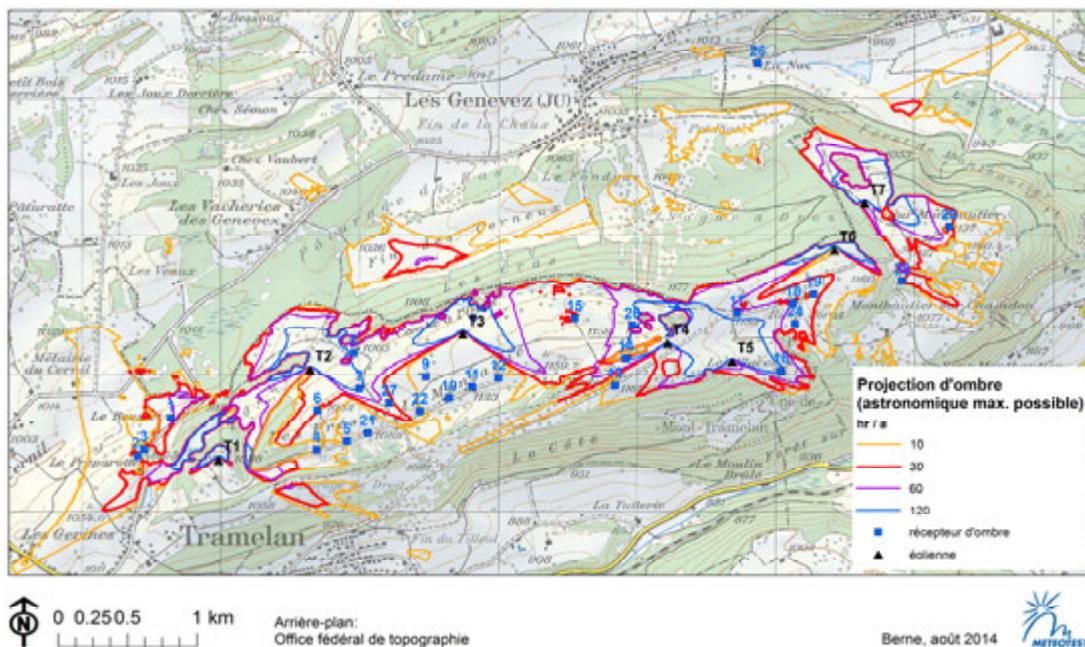


Figure 2: Isolignes de la **DPO-mAstro** en heures par année en tenant compte des obstacles. La ligne rouge marque la valeur limite de 30 heures par année. Les récepteurs d'ombre (carrés bleus) et les éoliennes (triangles noirs) du parc éolien de Tramelan sont également représentés.

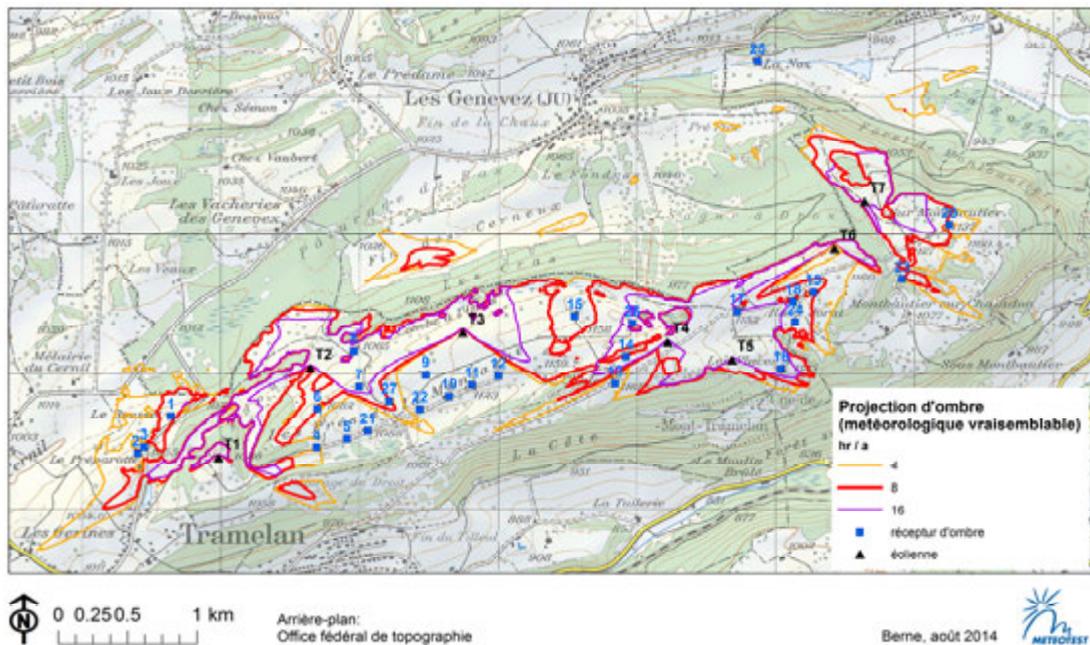


Figure 3: **DPO-pMétéo** en heures par année en tenant compte des obstacles. La ligne rouge marque la valeur limite de 8 h/an. Les récepteurs d'ombre (carrés bleus) et les éoliennes (triangles noirs) du parc éolien de Tramelan sont également représentés.

### 3.2 Durée de projection d'ombres pour chaque récepteur d'ombre

Tableau 5 montre la durée de projection d'ombres calculée pour chaque récepteur d'ombres.

Un document séparé<sup>14</sup>, annexe à cette étude, contient un calendrier graphique des projections d'ombre pour chaque récepteur d'ombres. Le calendrier montre le relevé journalier et annuel de la DPO-mAstro des différentes éoliennes.

Les calendriers d'ombre détaillés pour chaque éolienne sont également annexes à cette étude sous forme d'un document séparé<sup>15</sup>. Ils indiquent la DPO-mAstro d'une éolienne pour chaque jour du calendrier ainsi que la durée de projection d'ombre sur les récepteurs concernés.

<sup>14</sup> schattenkalender\_rezeptor\_grafischTr\_140819.pdf

<sup>15</sup> schattenkalender\_WEA\_tabellarischTr\_140819.pdf

Tableau 5: **DPO-mAstro** et **DPO-pMétéo** sur les récepteurs d'ombre. Le tableau indique aussi s'il est possible que des arbres isolés situés à proximité réduisent la durée de projection d'ombres. Les dépassements des valeurs limite sont indiqués en gras.

Nr.	Nom	DPO-mAstro			DPO-pMétéo	Réduc. grâce aux arbres?
		h/an	jours d'ombre/an	h/jour	h/an	
1	<b>Le Bousset</b>	<b>58:26</b>	<b>115</b>	<b>0:50</b>	<b>11:21</b>	<b>Oui</b>
2	<b>Le Préparotte</b>	<b>26:01</b>	<b>52</b>	<b>0:39</b>	<b>6:14</b>	<b>Oui</b>
3	Le Préparotte 2	0:00	0	0:00	0:00	-
4	Les Près 1	0:00	0	0:00	0:00	-
5	Les Près 2	9:31	32	0:25	2:25	Non
6	<b>Sur L'Harse</b>	<b>30:44</b>	<b>94</b>	<b>0:30</b>	<b>8:10</b>	<b>Oui</b>
7	<b>Les Planches</b>	<b>128:26</b>	<b>145</b>	<b>1:29</b>	<b>27:28</b>	<b>Oui</b>
8	<b>Sur les Joux</b>	<b>92:43</b>	<b>133</b>	<b>1:07</b>	<b>24:25</b>	<b>Oui</b>
9	Milieu de la Montagne	5:28	36	0:17	1:18	Oui
10	Près aux Liattes	7:50	42	0:27	1:51	Non
11	Près aux Liattes 3	5:26	33	0:17	1:23	Oui
12	Près aux Liattes 3c	9:12	45	0:19	2:21	Non
13	Haut de Bémont	12:15	40	0:27	3:08	Non
14	<b>Près de Bémont</b>	<b>138:00</b>	<b>151</b>	<b>1:17</b>	<b>25:28</b>	<b>Non</b>
15	<b>Près de la Montagne E</b>	<b>30:50</b>	<b>54</b>	<b>0:54</b>	<b>6:48</b>	<b>Non</b>
16	<b>Les Places</b>	<b>120:16</b>	<b>122</b>	<b>1:14</b>	<b>25:05</b>	<b>Oui</b>
17	<b>Rière Jorat - 1a</b>	<b>72:36</b>	<b>142</b>	<b>0:52</b>	<b>17:08</b>	<b>Non</b>
18	<b>Rière Jorat</b>	<b>59:04</b>	<b>132</b>	<b>0:40</b>	<b>13:52</b>	<b>Non</b>
19	<b>Rière Jorat 188</b>	<b>36:19</b>	<b>98</b>	<b>0:33</b>	<b>8:38</b>	<b>Non</b>
20	<b>Sur Montbautier</b>	<b>19:24</b>	<b>54</b>	<b>0:34</b>	<b>3:59</b>	<b>Oui</b>
21	Les Planches 1	6:04	26	0:21	1:31	Non
22	Près aux Liattes 1	11:11	56	0:22	2:18	Non
23	Nord du Montbautier sur Ch.	0:00	0	0:00	0:00	-
24	<b>Rière Jorat Sud</b>	<b>45:18</b>	<b>92</b>	<b>0:44</b>	<b>12:01</b>	<b>Oui</b>
25	La Noz	0:00	0	0:00	0:00	-
26	<b>La Tourbière</b>	<b>116:38</b>	<b>101</b>	<b>1:42</b>	<b>23:45</b>	<b>Oui</b>
27	<b>Milieu de la Montagne 2</b>	<b>45:57</b>	<b>121</b>	<b>0:38</b>	<b>9:24</b>	<b>Non</b>

### 3.3 Obstruction visuelle supplémentaire due aux arbres isolés

Nous avons vérifié, à l'aide de vues aériennes de Google Earth et d'informations obtenues lors d'une visite du site par les commanditaires, si des arbres isolés situés à proximité interrompent la ligne de vue entre les éoliennes et les récepteurs d'ombre pour lesquels la valeur indicative de projection d'ombres est dépassée, ce qui pourrait réduire la durée de projection d'ombre.

Les pages suivantes présentent de manière plus détaillée les récepteurs d'ombre pour lesquels la présence d'arbres isolés peut entraîner une réduction de la durée de projection d'ombres par rapport aux résultats obtenus avec WindPRO.

#### 1 – Le Bousset

Figure 4 ne montre pas d'arbres isolés à proximité immédiate du bâtiment. Selon la photo de Figure 5, la forêt située au sud-est du bâtiment semble toutefois nettement plus haute que les 20 m utilisés pour les calculs. Il faudrait analyser la situation de manière plus détaillée.



Figure 4 : Récepteur d'ombres 1 "Le Bousset" (cercle rouge). La ligne blanche pointillée marque la ligne de vue.



Figure 5 : Prise de vue du récepteur d'ombres 1 "Le Bousset", en direction de l'éolienne 1 (sud-est).

## 6 – Sur L'Harse

La ligne de vue du récepteur d'ombres 6 en direction de l'éolienne 1 est obstruée par de la forêt.



Figure 6 : Récepteur d'ombres 6 "Sur L'Harse" (cercle rouge). La ligne blanche pointillée marque la ligne de vue vers l'éolienne 1.

## 7 – Les Planches

Le bâtiment est entouré d'arbres au nord-ouest et au sud-est. Il est fort probable que les immissions d'ombres qui surviennent pendant les mois d'été, en particulier de l'éolienne 2 située au nord-ouest, soient réduites ou même totalement masquées par les arbres (voir Figure 7 et Figure 8). Il faudrait analyser cette situation de manière plus détaillée.



Figure 7 : Récepteur d'ombres 7 "Les Planches" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.



Figure 8 : Prise de vue du récepteur d'ombres 7 "Les Planches", en direction du nord-est.

## 8 – Sur les Joux

Le bâtiment est en grande partie entouré d'arbres. On peut admettre que ceux-ci interrompent la ligne de vue vers l'éolienne 3 situées un peu plus loin. On enregistre toutefois des immissions d'ombres provenant de l'éolienne 2, qui se trouve à proximité, pendant les mois de mars et septembre/octobre. Il faudrait étudier plus précisément si et à quel point les arbres empêchent la projection d'ombres sur le bâtiment.



Figure 9 : Récepteur d'ombres 8 "Sur les Joux" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.

#### 14 – Près de Bémont

La ligne de vue vers les éoliennes 4 et 5 n'est pas interrompue.



Figure 10 : Récepteur d'ombres 14 "Près de Bémont" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.

#### 16 – Les Places

Comme le montre Figure 12, la maison d'habitation se trouve un peu en retrait derrière un grand arbre feuillu. Situé à l'ouest, l'arbre pourrait éventuellement réduire les immissions d'ombre des éoliennes 4 et 5 qui surviennent en été.



Figure 11 : Récepteur d'ombres 16 "Les Places" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.



Figure 12 : Prise de vue du récepteur d'ombres 16 "Les Places", direction est-sud-est

#### 24 – Rière Jorat Sud

Le bâtiment est entouré d'arbres à l'ouest, au sud-ouest et également à l'est. On ne sait pas si la fenêtre du récepteur d'ombres 24, qui est orientée au sud-ouest, est celle d'un local à protéger (voir Figure 13). Si ce n'est pas le cas, les valeurs indicatives ne sont pas dépassées<sup>16</sup>. Sinon, il s'agira de clarifier si les arbres isolés qui se trouvent à l'ouest et au sud-ouest de la parcelle réduisent les immissions d'ombres des éoliennes 4 et 5 en février/mars respectivement septembre/octobre.



Figure 13 : Prise de vue du récepteur d'ombres 24 "Rière Jorat Sud", façade sud-ouest de la maison.

<sup>16</sup> Limite de DPO-mAstro: 45 h 18 min/année et au maximum 44 min/jour. Limite DPO-pMétéo: 12 h 1 min/an.



Figure 14 : Récepteur d'ombres 24 "Rière Jorat Sud" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.

## 26 – La Tourbière

Le bâtiment est en grande partie entouré d'arbres. Il y a toutefois une trouée à l'ouest de la maison. Malgré une obstruction partielle de la vue, il est possible que des immissions d'ombre, même réduites, surviennent à cause de l'éolienne 3. Cela concerne la façade sud-ouest de la maison. Les arbres situés au sud-est sont éventuellement trop éloignés pour interrompre complètement la ligne de vue vers l'éolienne 4.



Figure 15 : Récepteur d'ombres 26 "La Tourbière" (cercle rouge). Les lignes blanches pointillées marquent les lignes de vue vers les éoliennes correspondantes.

## 4 Conclusions

### 4.1 Bilan

Les immissions d'ombres produites par les éoliennes planifiées sur les bâtiments environnants ont été calculées avec le logiciel WindPRO. Les résultats ont ensuite été évalués sur la base des valeurs indicatives allemandes.

Les valeurs indicatives sont dépassées pour 15 récepteurs d'ombres. Les bâtiments situés dans le parc éolien, c'est-à-dire entre plusieurs éoliennes, sont particulièrement touchés. Si on tient compte des arbres isolés, le nombre de sites présentant un dépassement pourrait éventuellement être réduit à six étant donné que les arbres interrompent, en tout cas partiellement, la ligne de vue vers les éoliennes (voir alinéa ci-dessous).

C'est le récepteur d'ombres 14 ("Près de Bémont") qui présente les valeurs astronomiques maximales annuelles les plus importantes avec une durée de projection d'ombres de 138 heures. La DPO-pMétéo est de 25 heures et 28 minutes pour ce bâtiment. La plus longue durée de projection d'ombres pour une journée concerne le récepteur d'ombres 7 "La Tourbière" (1 heure et 42 minutes).

A côté de la durée de la projection d'ombres, il faut tenir compte également des critères de l'heure du jour et de la période de l'année. La projection d'ombres est ressentie de manière particulièrement désagréable le soir pendant les mois d'été, quand les gens sont chez eux. A cet égard, il faut mentionner tout particulièrement les deux récepteurs d'ombres 7 "Les Planches" et 16 "Les Places", qui doivent s'attendre à des projections d'ombres d'une durée jusqu'à 88 minutes le soir de fin avril à début août.

Comme sept bâtiments sont entourés d'arbres, l'immission d'ombres peut être nettement moins importante à ces endroits. Il est recommandé d'analyser ces cas de manière plus détaillée. On pourrait par exemple vérifier sur place si les lignes de vue directes entre les récepteurs et les éoliennes sont interrompues par des objets isolés comme des arbres. Avec la méthode HORlcatcher<sup>17</sup> développée par Meteotest, on peut étudier dans quelle mesure la présence d'arbres est susceptible de réduire la projection d'ombres. Cette méthode permet de relever l'horizon à l'emplacement du récepteur d'ombres et de calculer, sur la base de cette image, la durée de projection d'ombres.

### 4.2 Mesures de réduction

En cas de dépassement de la DPO-mAstro, on peut envisager entre autres des mesures techniques pour limiter temporairement le fonctionnement des éoliennes. La durée de projection d'ombres peut être limitée par l'installation d'un dispositif automatique d'arrêt qui enregistre, au moyen de capteurs de rayonnement et de

---

<sup>17</sup> [www.meteotest.ch/geschaeftsbereiche/sonnenenergie/horicatcher/](http://www.meteotest.ch/geschaeftsbereiche/sonnenenergie/horicatcher/)

luminosité, les conditions concrètes d'ombrage sur le plan météorologique. Selon les lignes directrices allemandes, la durée réelle de projection d'ombres ne doit pas dépasser huit heures par année civile pour chacun des récepteurs d'ombres.

Les lignes directrices allemandes précisent en outre: *„Les données concernant la durée d'ensoleillement et les périodes d'arrêt des installations doivent être documentées pendant au moins une année par l'unité de contrôle. .... Si il y a plusieurs éoliennes, il est possible de répartir les immissions produites au lieu d'immission concerné“*. Un calcul de rendement permettrait d'évaluer les pertes de rendement qui en découlent.





Mondrian

