

PARC ÉOLIEN « COURTIS NEUFS »

PRÉVISION ÉNERGÉTIQUE

Étude réalisée sur mandat de RhônEole SA

RhôneEole SA

c/o SEIC-TELEDIS SA
Grand Hôtel
1904 Vernayaz

info@rhoneole.ch
www.rhoneole.ch

KohleNusbaumer SA

Chemin de Mornex 10
Case postale 570
1001 Lausanne
Tél. 021 341 27 46

info@kn-sa.ch
www.kn-sa.ch

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Situation du projet	2
3.	Résultats.....	3
3.1.	Stations de mesure	3
3.2.	Protocole des mesures	3
3.3.	Vitesse de vent.....	4
3.4.	Profils de vent SODAR 1	4
3.5.	Profils de vent SODAR 2.....	5
3.6.	Roses énergétiques des vents et direction du vent.....	5
3.7.	Prévisions énergétiques des stations de mesure	7
3.8.	Prévisions énergétiques aux emplacements projetés.....	9
4.	Conclusions.....	11

1. Introduction

La société RhônEole SA projette de construire les deux éoliennes additionnelles au parc éolien « Courtis Neufs » sur la commune de Martigny. Une première installation-test a été installée en 2008 suivant le « Concept pour la promotion de l'énergie éolienne en Valais ». Les résultats en termes de production énergétique sont excellents. La production annuelle depuis la mise en service dépasse 5 GWh. S'agissant d'une éolienne du type Enercon E-82 d'une puissance nominale de 2 MW, le facteur de charge correspondant atteint 29 %, ce qui représente actuellement le record au niveau suisse. Le marché éolien ayant évolué nettement depuis 2008, il convient d'étudier l'opportunité d'utiliser d'autres modèles d'éoliennes plus puissants afin d'optimiser la production d'énergie renouvelable de ce site fortement venté.

Les conditions de vent étant très particulières dans la vallée du Rhône de par la topographie exceptionnelle du site, des mesures de vent additionnelles étaient nécessaires pour évaluer l'utilisation des éoliennes du type Enercon E-126 d'une puissance électrique de 7,5 MW et d'une hauteur de mât de 135 m. Un appareil de télédétection a été installé afin d'obtenir des informations sur la force du vent, son profil et le gain énergétique en fonction de la hauteur jusqu'à 200 m du sol ainsi que sur sa direction. Comparée à l'éolienne E-82 / 2 MW déjà en exploitation, et la E-101 / 3 MW récemment installée à Charrat, la E-126 nécessite des vents plus forts pour atteindre sa puissance nominale et un facteur de charge élevé.

Dans ce cadre, le bureau KohleNusbaumer SA a été mandaté pour réaliser plusieurs mesures de vent additionnelles dans la zone du parc éolien « Courtis Neufs » et élaborer une prévision énergétique pour les modèles Enercon E-126 / 7,5 MW et E-101 / 3 MW aux deux emplacements projetés. Ce rapport donne également une estimation du productible pour une Enercon E-115 / 3 MW.

2. Situation du projet

Le parc éolien « Courtis Neufs » se situe dans la vallée du Rhône en Valais entre les communes de Vernayaz et Martigny près du relais autoroutier du Grand St-Bernard. L'éolienne Enercon E-82 / 2 MW « Mont d'Ottan » est en exploitation depuis 2008. Sa production annuelle atteint 5,1 GWh depuis sa mise en service.

La Figure 1 permet de situer les emplacements des éoliennes et des stations de mesure considérées dans cette étude.

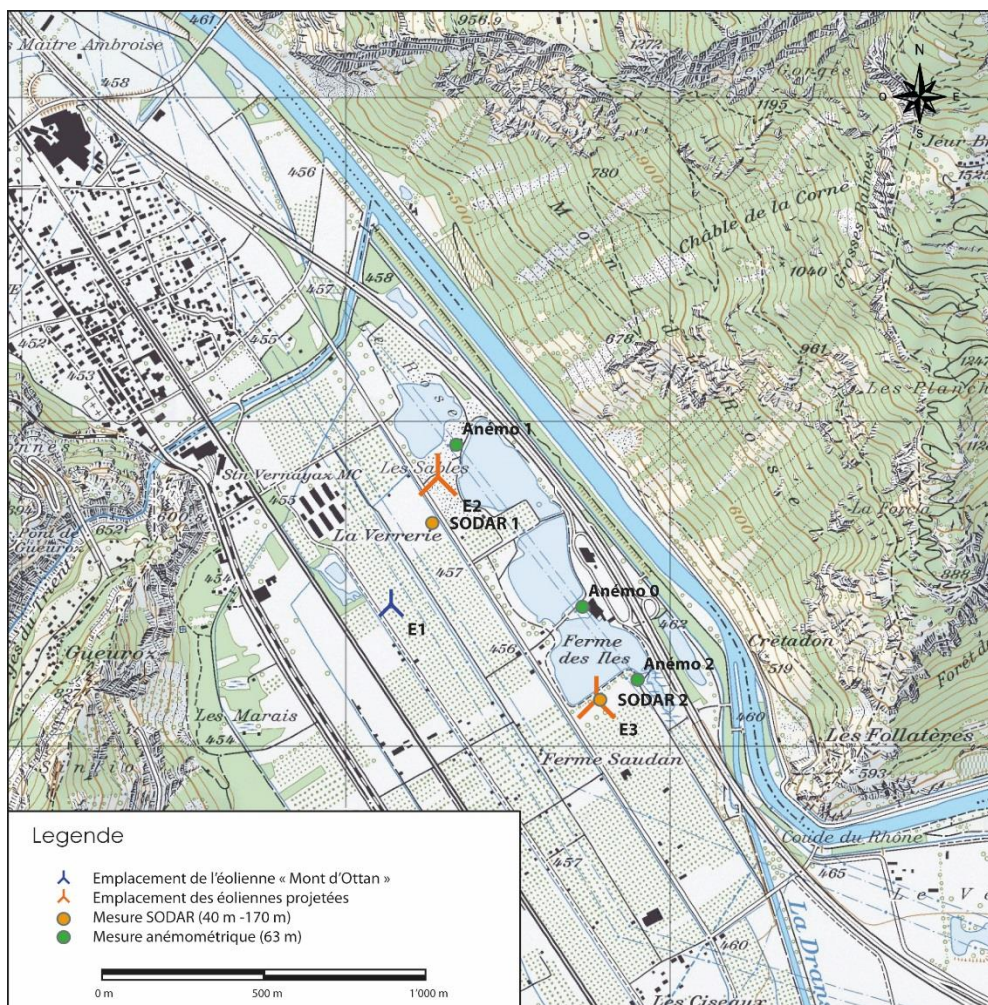


Figure 1 : Situation des éoliennes du parc « Courtis Neufs » et des stations de mesures de vent utilisées dans cette étude. En bleu, il s'agit de l'éolienne « Mont d'Ottan » (E1) en exploitation et en orange les éoliennes en planification (E2 et E3).

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes du parc « Le Rosel ».

Emplacement	Coordonnée E [m]	Coordonnée N [m]	Altitude [m]
E1	570'139	108'435	452
E2	570'279	108'834	450
E3	570'767	108'142	450

3. Résultats

3.1. Stations de mesure

La production de l'éolienne et l'anémomètre situé sur la nacelle de l'éolienne « Mont d'Ottan » servent de référence à moyen terme pour le calcul de la prévision énergétique. Deux anémomètres calibrés du type Thies First Class ont été installés sur des pylônes électriques HT à 63 m du sol près des deux nouveaux emplacements projetés. Une première mesure anémométrique avait été conduite en 2006 sur un pylône HT entre ces deux mesures. La campagne de mesure SODAR réalisée durant l'été 2013 a permis d'obtenir des profils de vent et de déterminer le potentiel énergétique à hauteur de nacelle pour les modèles d'éolienne envisagés, soit les modèles du fabricant Enercon E-126 / 7,5 MW et E-101 / 3 MW.

Tableau 2 : Coordonnées des stations de mesure de vent considérées.

Emplacement	Coordonnée E [m]	Coordonnée N [m]	Altitude [m]
SODAR 1	570'257	108'704	450
SODAR 2	570'780	108'160	450
Anémo 0	570'517	108'658	450
Anémo 1 « Les Sables »	570'345	108'928	450
Anémo 2 « Les Iles »	570'899	108'208	450
Anémo Ref « Mont d'Ottan »	570'139	108'435	452

3.2. Protocole des mesures

Les stations anémométriques fonctionnent de manière continue depuis leur mise en service, et la durée totale des mesures est de 4,3 ans. Pour la station SODAR 1, 16 jours utiles ressortent de la campagne de mesure et 7 jours pour la station SODAR 2. Les 23 jours de mesure étaient très bien ventés, et sont représentatifs pour les conditions de vent sur le site.

Tableau 3 : Protocole des mesures de vent.

Paramètres	SODAR 1	SODAR 2	Anémo 0	Anémo 1	Anémo 2	Anémo Ref
Mise en service	26.06.2013	24.09.2013	24.01.2006	28.11.2012	29.11.2012	01.07.2008
Fin de la mesure	24.08.2013	06.10.2013	04.08.2008	En cours	En cours	En cours
Jours utiles	16	7	924	322	321	5 ans

3.3. Vitesse de vent

Le Tableau 4 donne la vitesse moyenne du vent mesurée par les quatre anémomètres sur leur période de mesure respective. Durant la période de mesure, les vents de provenance nord sont plus forts que ceux du sud. Malgré une différence de hauteur positive d'environ 40 m, l'anémomètre installé sur l'éolienne (Anémo Ref), montre des vitesses de vent inférieures aux autres stations dû au fait que la zone d'implantation de deux nouvelles éoliennes est mieux ventée.

Tableau 4 : Vitesses moyennes du vent, en [m/s] et par secteur durant leur période de mesure respective.

Station	Secteur nord (270°-89°)	Secteur sud (90°-269°)	Total
Anémo 0 (63 m)	7,5	6,4	7,0
Anémo 1 (63 m)*	7,1	6,5	6,8
Anémo 2 (63 m)*	7,7	5,6	6,8
Anémo Ref (100 m)	6,4	5,7	6,1

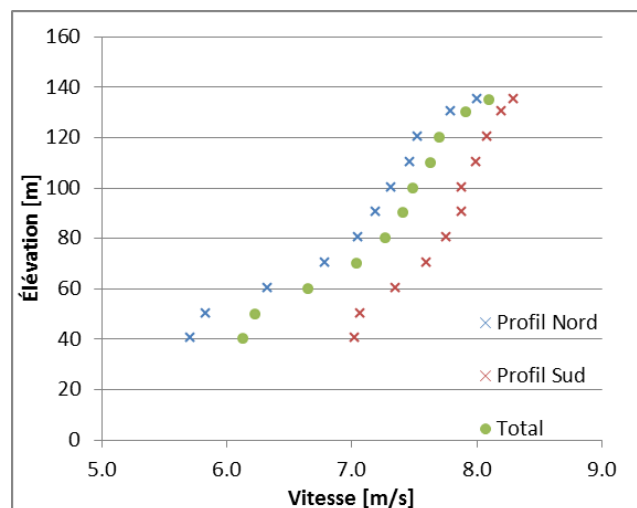
* Résultats sur la même période de mesure.

3.4. Profils de vent SODAR 1

La mesure SODAR 1 permet d'obtenir un profil de vent selon la hauteur. L'augmentation énergétique avec la hauteur peut ainsi être calculée. Les résultats obtenus pour des hauteurs au-delà de 135 montrent également une augmentation. Pour des raisons de disponibilité des données, les prévisions se basent sur les profils complets entre 40 et 135 m de hauteur du sol. La quantité de données diminuent fortement au-delà.

Tableau 5 : Vitesse moyenne par secteur durant la mesure SODAR 1 (profils complets de 40 à 135 m, soit 65 % ou 519 profils).

Élévation [m]	Vitesse [m/s]		
	Nord	Sud	Total
40	5.7	7.0	6.1
50	5.8	7.1	6.2
60	6.3	7.3	6.7
70	6.8	7.6	7.0
80	7.0	7.8	7.3
90	7.2	7.9	7.4
100	7.3	7.9	7.5
110	7.5	8.0	7.6
120	7.5	8.1	7.7
130	7.8	8.2	7.9
135	8.0	8.3	8.1



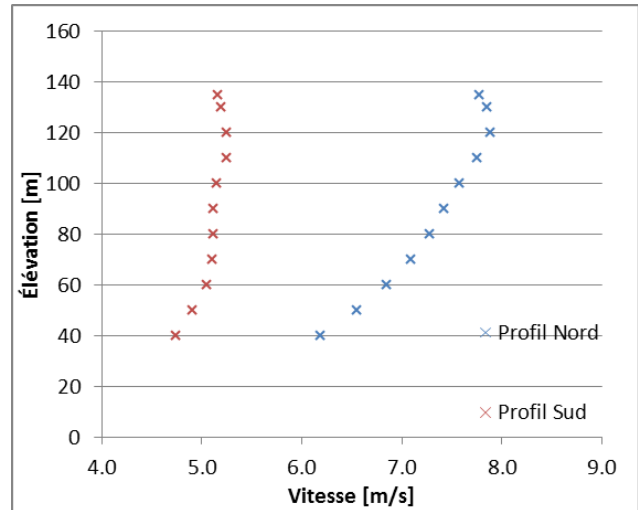
Le profil montre une forte augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur. Ainsi, durant la période de mesure et entre les niveaux 60 m et 135 m, l'augmentation énergétique atteint 194 % pour les vents du secteur nord, 143 % pour les vents du secteur sud et 174 % toutes directions confondues pour une Enercon E-126 / 7,5 MW.

3.5. Profils de vent SODAR 2

La mesure SODAR 2 permet d'obtenir un profil de vent selon la hauteur. Pour cette mesure, la quasi-totalité des profils sont complets jusqu'à une hauteur de 135 m. Vu la durée limitée des mesures pour des vents de provenance sud et la bonne corrélation des résultats entre l'éolienne « Mont d'Ottan » et la mesure SODAR 1, seulement cette dernière a été retenue pour calculer l'augmentation des productibles sur la base des anémomètres.

Tableau 6 : Vitesse moyenne du vent par secteur durant la mesure SODAR 2 (profils complets de 40 à 135 m, soit 100 % ou 386 profils).

Élévation [m]	Vitesse [m/s]		
	Nord	Sud	Total
40	6.2	4.7	5.9
50	6.6	4.9	6.2
60	6.9	5.0	6.4
70	7.1	5.1	6.6
80	7.3	5.1	6.8
90	7.4	5.1	6.9
100	7.6	5.2	7.0
110	7.8	5.2	7.2
120	7.9	5.3	7.3
130	7.9	5.2	7.2
135	7.8	5.2	7.2

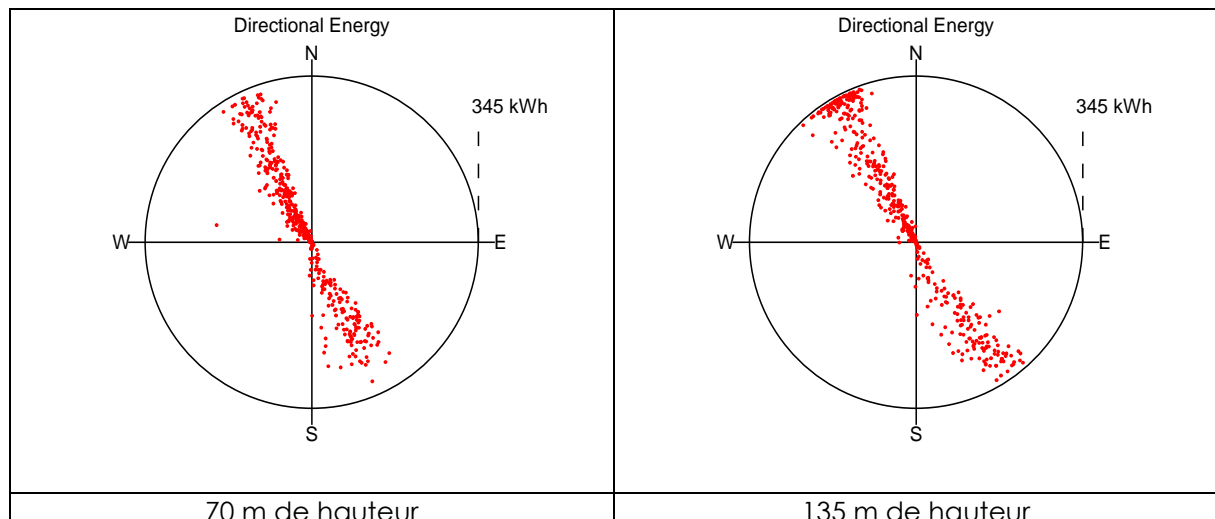


Ces profils montrent une forte augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur pour le secteur nord uniquement. Le profil sud ne se base que sur un nombre limité d'enregistrements. Un écho fixe est visible à partir d'une hauteur de 120 m, les lignes électriques se trouvant à cette distance.

3.6. Roses énergétiques des vents et direction du vent

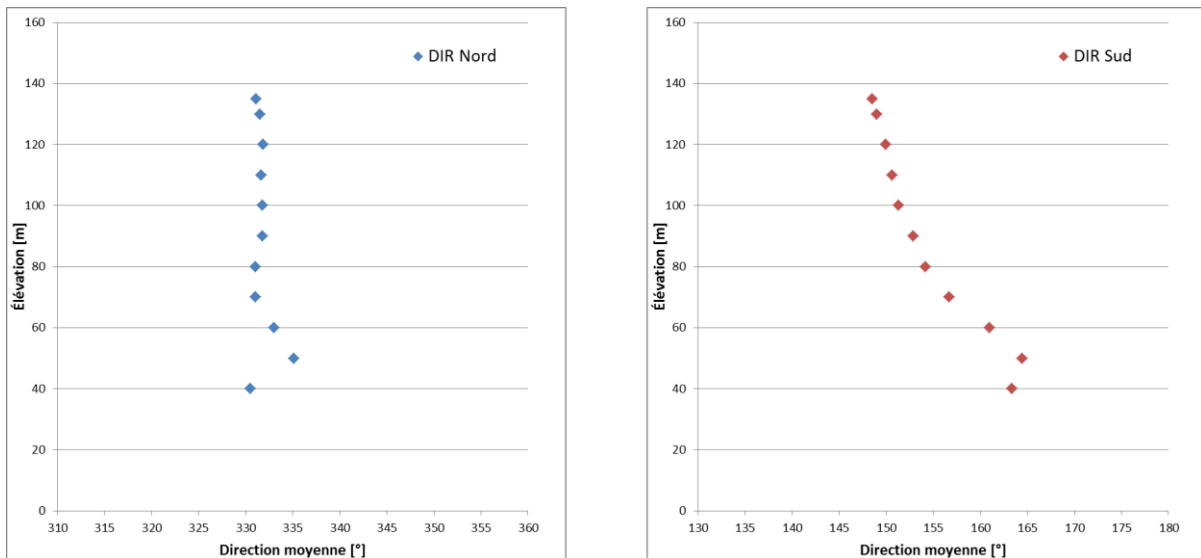
La Figure 2 montre la provenance du vent à l'emplacement de la mesure SODAR 1. Le vent est canalisé par la vallée du Rhône seules deux directions principales apparaissent (NNE-SSO).

Figure 2 : Roses énergétiques pour une Enercon E-82, afin d'observer les effets de saturation du rotor, lors de la mesure SODAR 1 pour deux hauteurs distinctes.



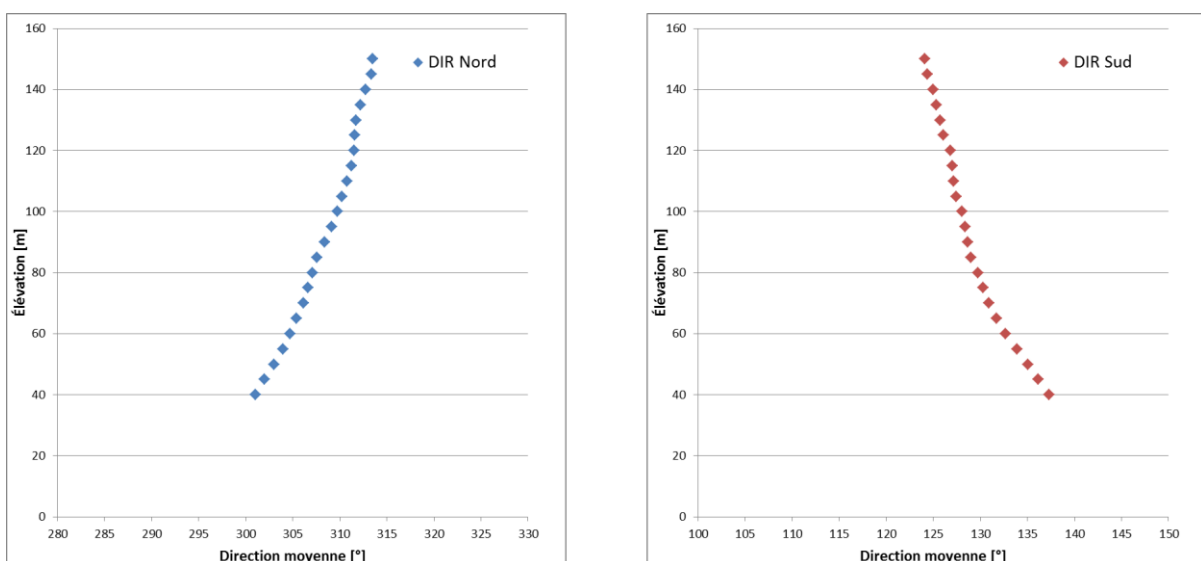
On observe une différence de direction selon la hauteur considérée. Cet effet peut avoir un impact non négligeable sur la productivité de l'éolienne. Cette déviation atteint une valeur de $\pm 4^\circ$ entre la nacelle et les extrémités inférieures et supérieures du rotor pour les vents du secteur sud entre 70 (157°) et 135 m (149°). Elle est plus particulièrement marquée jusqu'à une hauteur de 80 m. Pour le secteur nord, la variation est négligeable à partir d'une hauteur de 70 m, voir Figure 3.

Figure 3 : Direction moyenne du vent entre 40 et 135 m à l'emplacement de la mesure SODAR 1 selon la direction du vent et pour des vitesses de vent supérieures à 6 m/s.



La mesure SODAR 2 réalisée près de l'éolienne des Iles a permis de déterminer la déviation à cet emplacement. On y observe une déviation avec la hauteur pour les deux secteurs. La différence atteint en moyenne $\pm 3^\circ$ pour les vents du secteur sud entre 70 (131°) et 135 m (125°). Pour le secteur nord, la déviation directionnelle est également de $\pm 3^\circ$ entre ces mêmes niveaux (en moyenne, 307° à 70 m et 312° à 135 m), voir Figure 4.

Figure 4 : Direction moyenne du vent entre 40 et 150 m à l'emplacement de la mesure SODAR 2 selon la direction du vent et pour des vitesses de vent supérieures à 6 m/s.



L'impact de cet effet sur la production de l'éolienne reste en dessous de 1 %.

3.7. Prévisions énergétiques des stations de mesure

Station Anémo 0

Les prévisions énergétiques se basent sur la production théorique d'une éolienne à l'emplacement de la mesure, station Anémo 0. Les mesures enregistrées durant les 924 jours de mesure sont annualisées pour chaque modèle d'éolienne.

Tableau 7 : Prévisions annuelles nettes pour Anémo 0 à hauteur de mesure à partir des données annualisées.

Période de mesure	Modèle d'éolienne	Prévision annuelle nette [GWh]		
		Secteur nord (270°-89°)	Secteur sud (90°-269°)	Total
Anémo 0 (63 m)	E-82 / 2 MW	4,3 (64 %)	2,4 (36 %)	6,7
Anémo 0 (63 m)	E-101 / 3 MW	6,3 (64 %)	3,6 (36 %)	9,9
Anémo 0 (63 m)	E-126 / 7,5 MW	11,2 (65 %)	5,9 (35 %)	17,1

La prévision annuelle nette à l'emplacement de la station et pour une hauteur de mât de 63 m atteint 17,1 GWh pour une Enercon E-126 / 7,5 MW.

Station Anémo Ref

Les prévisions énergétiques se basent sur la production théorique du modèle d'éolienne choisi à l'emplacement de l'éolienne existante, station Anémo Ref. Les données SCADA de l'éolienne « Mont d'Ottan » des cinq dernières années sont utilisées pour déterminer le potentiel énergétique à cet emplacement.

Tableau 8 : Prévisions annuelles nettes pour Anémo Ref à hauteur de mesure à partir des données SCADA des 5 années d'exploitation de l'éolienne « Mont d'Ottan ».

Station	Modèle d'éolienne	Prévision annuelle nette [GWh]		
		Secteur nord (270°-89°)	Secteur sud (90°-269°)	Total
Anémo Ref (100 m)*	E-82 / 2 MW	3,2 (63 %)	1,9 (37 %)	5,1
Anémo Ref (100 m)	E-101 / 3 MW	4,8 (63 %)	2,8 (37 %)	7,6
Anémo Ref (100 m)	E-126 / 7,5 MW	7,9 (63 %)	4,7 (37 %)	12,6

* Données de l'anémomètre calibrées pour atteindre la production réelle de 5,1 GWh/an.

La prévision annuelle nette à l'emplacement et à la hauteur de la mesure Anémo Ref (100 m) atteint 12,3 GWh pour une Enercon E-126 / 7,5 MW.

Station Anémo 1

Basé sur la période de mesure commune et des rapports énergétiques avec la station Anémo Ref, les prévisions pour une Enercon E-82, une E-101 et une E-126 sont données dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Prévisions annuelles nettes pour Anémo 1 à hauteur de mesure, à partir de 322 jours de mesure communs avec Anemo Ref.

Station	Modèle d'éolienne	Prévision annuelle nette [GWh]		
		Secteur nord (270°-89°)	Secteur sud (90°-269°)	Total
Anémo 1 (63 m)	E-82 / 2 MW	3,3 (52 %)	3,1 (48 %)	6,4
Anémo 1 (63 m)	E-101 / 3 MW	4,9 (51 %)	4,6 (49 %)	9,5
Anémo 1 (63 m)	E-126 / 7,5 MW	8,3 (50 %)	8,3 (50 %)	16,6

Station Anémo 2

Basé sur la période de mesure commune et des rapports énergétiques avec la station Anémo Ref, les prévisions pour une Enercon E-82 une E-101 et une E-126 sont données dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Prévisions annuelles nettes pour Anémo 2 à hauteur de mesure, à partir de 321 jours de mesure communs avec Anemo Ref.

Station	Modèle d'éolienne	Prévision annuelle nette [GWh]		
		Secteur nord (270°-89°)	Secteur sud (90°-269°)	Total
Anémo 2 (63 m)	E-82 / 2 MW	3,9 (64 %)	2,2 (36 %)	6,1
Anémo 2 (63 m)	E-101 / 3 MW	5,7 (63 %)	3,3 (37 %)	9,0
Anémo 2 (63 m)	E-126 / 7,5 MW	10,3 (64 %)	5,7 (36 %)	16,0

3.8. Prévisions énergétiques aux emplacements projetés

Prévision énergétique pour différents modèles Enercon

A partir des résultats précédents et en particulier des prévisions à hauteur de mesure et du profil de vent obtenu à partir des mesures SODAR, la prévision énergétique pour les modèles Enercon E-126 / 7,5 MW, Enercon E-101 / 3 MW et Enercon E-115 / 3 MW atteint les valeurs suivantes :

Eolienne	E-126 / 7,5 MW (135 m)	E-101 / 3 MW (100 m)	E-101 / 3 MW (135 m)	E-115 / 3 MW (135 m)
E2 « Les Sables »	22,7	10,3	12,2	13,3
E3 « Les Iles »	22,1	9,7	11,5	12,5

Ces prévisions sont excellentes. Le facteur de charge correspondant atteint environ 34 % pour une Enercon E-126 / 7,5 MW (135 m), 38 % pour des Enercon E-101 / 3 MW (100 m) et respectivement 45 % pour des Enercon E-101 / 3 MW (135 m). Le facteur de charge pour une Enercon E-115 / 3 MW atteint la valeur de 49 % pour une hauteur de mât de 135 m.

Pertes dues au sillage (modèle E-126)

Les éoliennes engendrent un sillage et les pertes énergétiques peuvent être importantes en fonction de la configuration du parc éolien et de la topographie. A partir du logiciel WindPRO une modélisation a permis d'évaluer les pertes dues au sillage de chaque éolienne.

Eolienne	Modèle d'éolienne	Pertes dues au sillage
E1 « Mont d'Ottan »	E-82 / 2 MW (100 m)	5 %
E2 « Les Sables »	E-126 / 7,5 MW (135 m)	1 %
E3 « Les Iles »	E-126 / 7,5 MW (135 m)	6 %

Parc éolien « Le Rosel » (modèle E-126)

A partir des prévisions précédentes et en tenant compte des pertes liées au sillage des éoliennes (effet de parc), la prévision du parc peut être estimée à environ **48 GWh/an** si l'on installe des Enercon E-126 / 7,5 MW (135 m) aux deux emplacements projetés.

Eolienne	Modèle d'éolienne	Prévision annuelle nette sans effet de parc [GWh]	Prévision annuelle nette avec effet de parc [GWh]
E1 « Mont d'Ottan »	E-82 / 2 MW (100 m)	5,1	4,8
E2 « Les Sables »	E-126 / 7,5 MW (135 m)	22,7	22,5
E3 « Les Iles »	E-126 / 7,5 MW (135 m)	22,1	20,8
Parc « Courtis Neufs »	-	50	48

4. Conclusions

La prévision énergétique pour les éoliennes du type Enercon E-126 / 7,5 MW aux emplacements prévus est excellente. Le productible du parc « Courtis Neufs » atteindrait au total environ 48 GWh/an soit la consommation d'environ 12'500 ménages privés ou 33'000 personnes. Le facteur de charge équivalent des deux éoliennes planifiées atteint 34 %.

Les éoliennes E-101 / 3 MW montrent des facteurs de charge très élevés. Cependant par rapport aux E-126, la production totale est au moins deux fois moins importante, soit environ 10 à 12 GWh par an et par machine contre environ 22 GWh pour des E-126. L'erreur de prévision est estimée à 5 - 10 %.

Les éoliennes E-115 / 3 MW, dont le rotor est 30 % plus grand que celui de la E-101, dépassent la production des E-101 d'environ 9 %. Elle atteint près de 13 GWh par an et par machine de 135 m de hauteur. Le facteur de charge correspondant atteint environ 49 %.

Le site, de par la proximité du coude du Rhône, montre une hétérogénéité directionnelle en fonction de l'élévation. Nous recommandons l'utilisation d'un mât de 135 m afin d'éviter le balayage de la couche de vent en dessous de 70 m qui induirait des pertes énergétiques et une éventuelle usure mécanique additionnelle. Cette hauteur est également plus avantageuse pour la protection des chauves-souris par rapport à un mât de plus faible taille.

Les éoliennes du parc « Courtis Neufs » seront les plus productives de Suisse et le site l'un des meilleurs du pays.

Le tableau suivant donne une appréciation qualitative des sites éoliens déjà en exploitation dans la vallée du Rhône.

Site	Appréciation des conditions de vent		
	Vents montants	Vents descendants	Appréciation générale
Collonges « Cime de l'Est »	Moyen	Très fort	Très bon - excellent
Martigny « Mont d'Ottan »	Fort	Moyen	Très bon
Charrat « Adonis »	Très fort	Faible	Très bon
Courtis Neufs	Très fort	Moyen-Fort	Excellent

Le bureau KohleNusbaumer SA confirme par la présente avoir exécuté son mandat selon ses meilleures connaissances et sur la base de l'état actuel des connaissances. Concernant la prévision énergétique, des risques résiduels ne peuvent être complètement exclus. Ces risques non négligeables pourraient être dus en particulier à la méthode de mesure et aux éventuels changements climatiques pouvant apparaître.