



Environmental  
Consulting

&

Software Development

Rue Saint-André, 5  
B-1400 Nivelles  
Belgium

E-Mail : info@atmpro.be  
Tel : 32 (0)67 84 33 04  
Fax : fax\_atmpro@atmpro.be

---

## Rapport Complémentaire

### « Etude du potentiel Eolien »

pour le projet de 10 éoliennes à Hannut/Wasseiges (ELICIO)  
à l'aide du logiciel « MAESTRO Wind » tenant compte du  
projet voisin de 5 éoliennes (LUMINUS)

---



---

**Customer :** ELICIO N.V. (Mme M. DESCAMPS)  
**Study # :** ST-190100

**Author :** Dr. Alexis DUTRIEUX  
**Date :** 18/07/2019  
**Revision # :** V01

---

This report is to be considered as a whole and cannot be printed in part without written agreement of the author.



Environmental  
Consulting

&

Software Development

Rue Saint-André, 5 E-Mail : info@atmpro.be  
B-1400 Nivelles Tel : 32 (0)67 84 33 04  
Belgium Fax : fax\_atmpro@atmpro.be

## RÉSUMÉ

L'objet de la mission confiée par **ELICIO** à ATM-PRO consiste d'une part, à étudier le potentiel éolien moyen long terme pour le projet d'un parc de **10 éoliennes** à **Hannut/Wasseiges**, et, d'autre part, d'évaluer l'impact de diverses contraintes d'exploitation formalisées par le bureau SERTIUS, **en tenant compte du projet voisin de 5 éoliennes (LUMINUS)**.

En ce qui concerne cette mission, nous avons utilisé les données météorologiques provenant des **ré-analyses du centre européen** de prévision à moyen terme (« ERA-Interim »), fournies sur base 3-horaire pour les données de surface, et ce, à la résolution des modèles globaux, soit 0.75 degré, c'est-à-dire à une **échelle compatible avec l'échelle synoptique** et donc avec les stations utilisées habituellement comme référence pour piloter **MAESTRO Wind**. Les caractéristiques de surface proviennent quant à elles des BDs « Corine Land Cover 2006 » pour ce qui concerne l'occupation des sols et des BDs « SRTM » pour ce qui concerne le relief.

Afin de calculer le **productible annuel moyen sur le long terme** du parc, nous avons analysé **30 ans** de données météorologiques (1983-2012) afin de déterminer une **année climatologique moyenne** représentative de ces 30 ans. Le **modèle météorologique MAESTRO Wind** a ensuite calculé sur base horaire, la météorologie 3D locale dans un domaine de calcul englobant le parc projeté.

Les résultats ont été analysés afin d'étudier les aspects météorologiques locaux, le productible annuel moyen long terme dans la zone du parc (cartographie de productible) pour les différents modèles d'éoliennes envisagés, les productibles annuels moyens long terme pour chaque éolienne et pour le parc « sans » effets de parc, les pertes liées aux **effets de parc**, les pertes liées au **bridage « sonore »** (2 scénarii ont été étudiés), les pertes liées au **bridage « chauves-souris »** et les pertes liées au **bridage « ombrage »**. Les pertes d'indisponibilités, réseaux et environnementales sont basées sur des hypothèses communément admises par le secteur.

La synthèse ci-dessous reprend les **productibles annuels moyen à Long Terme** (base 30 ans) du parc pour les différents modèles d'éoliennes dans le scénario « Conditions Sectorielles ».

SCENARIO « Conditions Sectorielles »	Unités	VESTAS V136 @ 112m (3450 kW)	SIEMENS-GAMESA SG114 @ 123 m (2625 kW)	SIEMENS-GAMESA SG132 @ 114m (3465 kW)
<b>PRODUCTIBLE ANNUEL MOYEN LONG TERME « BRUT »</b>	<b>kWh/an</b>	<b>122315666</b>	<b>91875515</b>	<b>118522851</b>
Pertes d'exploitation (calculées)	%	<b>-9.11</b>	<b>-7.46</b>	<b>-9.00</b>
<b>PRODUCTIBLE ANNUEL MOYEN LT AVEC : « EFFET DE PARC », « BRIDAGE SONORE », « BRIDAGE CHAUVES-SOURIS » et « BRIDAGE OMBRAGE »</b>	<b>KWh/an (Héq.)</b>	<b>111171737 (3222)</b>	<b>85026034 (3239)</b>	<b>107853088 (3113)</b>
<b>Autres pertes (hypothèses)</b>	%	<b>-5.5</b>	<b>-5.5</b>	<b>-5.5</b>
<b>PRODUCTIBLE ANNUEL MOYEN LONG TERME « NET »</b>	<b>KWh/an (Héq.)</b>	<b>105057291 (3045)</b>	<b>80349602 (3061)</b>	<b>101921168 (2941)</b>

Enfin, les impacts des parcs voisins sur le parc projeté sont estimés à ~ 1.2%, ceux du parc projeté sur les parcs voisins restent quant à eux inférieurs au pourcent, sauf pour le parc directement voisin (VLP) pour lequel il peut atteindre ~ 2.1 %.

This report is to be considered as a whole and cannot be printed in part without written agreement of the author.



# TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>DÉFINITION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>MAESTRO WIND – MISE EN OEUVRE .....</b>	<b>8</b>
2.1	DOMAINE DE CALCUL .....	9
2.2	GRILLE DE CALCUL.....	10
2.3	RELIEF SUR LE DOMAINE DE CALCUL .....	11
2.4	OCCUPATION DES SOLS SUR LE DOMAINE DE CALCUL.....	12
2.5	DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES DE RÉFÉRENCE.....	14
2.5.1	Données « ERA-Interim » vs « Observations ».....	15
2.5.2	Année « moyenne » .....	16
2.6	DONNÉES RELATIVES AUX CONFIGURATIONS DE PARC À ÉTUDIER .....	18
2.6.1	Bridage « sonore ».....	20
2.6.1.1	Bridages requis dans le cadre des « Conditions sectorielles ».....	22
2.6.1.2	Bridages requis dans le cadre des « Conditions générales » .....	24
2.6.2	Bridage « chauves-souris ».....	26
2.6.3	Bridage « ombrage » .....	27
<b>3</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>28</b>
3.1	CARTOGRAPHIE DU PRODUCTIBLE ANNUEL MOYEN LONG TERME .....	28
3.1.1	Cas du modèle « VESTAS V136STE - 3450 kW ».....	28
3.1.2	Cas du modèle « SIEMENS-GAMESA SG114 - 2625 kW ».....	29
3.1.3	Cas du modèle « SIEMENS-GAMESA SG132 - 3465 kW ».....	30
3.2	ANALYSES MÉTÉOROLOGIQUES LOCALES.....	31
3.2.1	Caractéristiques Météorologiques Locales .....	31
3.2.1.1	Analyses météo à la position (195875 ; 149625) (« Mât01 »).....	32
3.2.1.2	Analyses météo à la position (196875 ; 149875) (« Mât02 »).....	32
3.2.1.3	Analyses météo à la position (196125 ; 147375) (« Mât03 »).....	33
3.2.1.4	Analyses météo à la position (197875 ; 148125) (« Mât04 »).....	33
3.2.2	« Wind Shear » et « Wind Veer » (« Mât01 ») .....	34
3.2.3	« Wind Distribution », « Wind Rose » & densité de l'air (« Mât01 ») .....	35
3.3	PRODUCTIBLES ANNUELS MOYENS À LONG TERME.....	36
3.3.1	Productibles estimés « sans bridages » .....	37
3.3.2	Productibles estimés « avec bridage sonore » .....	39
3.3.2.1	Scénario « Conditions sectorielles» .....	39
3.3.2.2	Scénario « Conditions générales » .....	41

3.3.3	Productibles estimés « avec bridage chauves-souris » .....	42
3.3.4	Productibles estimés « avec bridage ombrage » .....	44
3.3.5	Synthèse « Productibles » et « pertes » .....	45
3.4	ANALYSES DES INTERACTIONS AVEC LES PARCS VOISINS .....	47
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>51</b>
5.1	ANNEXE 1 : COURBES DE PUISSANCE DES ÉOLIENNES .....	52
5.1.1	Annexe 1.1 : Sans Bridage .....	53
5.1.2	Annexe 1.2 : VESTAS V136 STE 3450 kW – variantes avec bridage .....	55
5.1.3	Annexe 1.3 : SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW – variantes avec bridage .....	57
5.1.4	Annexe 1.4 : SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW – variantes avec bridage .....	59
5.2	ANNEXE 2 : SYNTHÈSES MÉTÉOROLOGIQUES .....	61
5.2.1	Annexe 2.1 : Synthèse météorologique .....	62
5.2.2	Annexe 2.2 : « Wind Shear » / « Wind Veer » au niveau du « mât 01 » .....	64
5.2.3	Annexe 2.3 : « Wind Distribution / « Wind Rose » (« mât 01 ») .....	66
5.3	ANNEXE 3 : SYNTHÈSES PRODUCTIBLES - ÉOLIENNES « NON BRIDÉES » .....	68
5.3.1	Annexe 3.1 : Productibles – éoliennes « non bridées » (V136) .....	69
5.3.2	Annexe 3.2 : Productibles – éoliennes « non bridées » (SG114) .....	71
5.3.3	Annexe 3.3 : Productibles – éoliennes « non bridées » (SG132) .....	73



# 1 INTRODUCTION

La société ELICIO a confié à ATM-PRO une étude de potentiel éolien pour son projet de 10 éoliennes à HANNUT/WASSEIGES. Le présent rapport complète le rapport principal en apportant les éléments d'analyses relatives à la prise en compte de la présence d'un parc voisin de 5 éoliennes (LUMINUS). En particulier, les **contraintes de bridages ont été adaptées** (cf. instructions fournies par le bureau SERTIUS) et les résultats de productibles tenant compte de ceux-ci également.

Les livrables demandés pour cette mission consistent en :

- 1- **Analyses météorologiques locales** (roses des vents, distributions des vitesses, estimations des intensités de turbulence en 4 positions et 3 hauteurs, ainsi que les « wind shear » et « wind veer » en 1 position centrale par rapport au projet),
- 2- **cartographie du productible annuel moyen sur le long terme** à hauteur du rotor pour 3 modèles d'éoliennes,
- 3- **Productible annuel moyen** sur le long terme « **sans** » et « **avec** » effets de parc, ainsi que les estimations des pertes liées aux effets de parc, pour chaque éolienne et pour le parc dans son ensemble,
- 4- estimations des pertes de productibles liées au bridage induit par les contraintes de bruit (« **bridage sonore** »),
- 5- estimations des pertes de productibles liées au bridage induit par les contraintes liées aux « chauves-souris » (« **bridage chauves-souris** »),
- 6- estimations des pertes de productibles liées à l'arrêt des machines lorsqu'elles induisent des effets d'ombres sur certains récepteurs (« **bridage ombrage** »).
- 8- estimations des pertes « cumulées » de productibles (« effets de parc », « bridage chauves-souris », « bridage sonore » et « bridage ombrage »).
- 9- **Productible annuel moyen « Net »** sur le long terme.
- 10- Impacts potentiel entre le parc projeté et les parcs voisins

En ce qui concerne la présente mission, nous avons utilisé les données météorologiques provenant des **ré-analyses du centre européen** de prévision à moyen terme (« ERA-Interim »), lesquelles sont disponibles depuis **1979 à nos jours**. Ces données sont fournies sur base 3-horaire pour les données de surface, et ce, à la résolution des modèles globaux, soit 0.75 degré, c'est-à-dire à une **échelle compatible avec l'échelle synoptique** et donc avec les stations utilisées habituellement comme référence pour piloter MAESTRO Wind.

Les caractéristiques de surface proviennent quant à elles des BDs « Corine Land Cover 2006 » pour ce qui concerne l'occupation des sols et des BDs « SRTM » pour ce qui concerne le relief.



Dans les paragraphes qui suivent, nous décrirons donc les diverses étapes de notre mission :

- 1- définition de la zone d'étude
- 2- mise en œuvre de MAESTRO Wind
- 3- acquisition et préparation des données de ré-analyses,
- 4- analyse des résultats de la modélisation et production des livrables,
- 5- synthèse de la mission.

# 1 Définition de la zone d'étude

La zone d'étude pour le projet de Hannut/Wasseiges s'étend en coordonnées Lambert Belge 1972 de 194500 à 200500 m d'Ouest en Est, et de 147000 à 151000 m du Sud au Nord (voir figure 1).

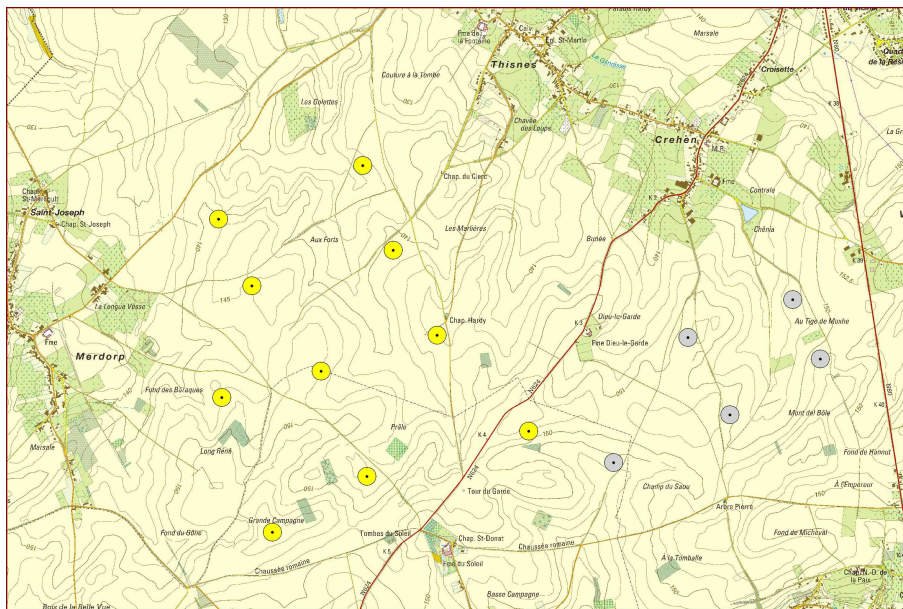


figure 1. : implantation du projet de Hannut/Wasseiges : éoliennes (points jaunes) (extrait de carte IGN au 1/10000).

Nous avons repris cette zone sur fond extrait de Google Earth afin de pouvoir visualiser de manière plus réaliste l'implantation du projet (voir figure 2).



figure 2. : Extrait de Google Earth reprenant la zone du parc à étudier et les éoliennes du projet (points jaunes).

## 2 MAESTRO Wind – Mise en oeuvre

Afin de pouvoir utiliser “MAESTRO Wind” (*voir notice méthodologique dans le document « MAESTRO Wind – Decision Maker Tools » accessible sur le site [www.atmpro.be](http://www.atmpro.be)*), modèle météorologique 3D à la moyenne échelle, il convient de :

- 1- définir le domaine sur lequel celui-ci sera implanté,
- 2- fournir les données relatives au relief et à l'occupation des sols sur ce dernier,
- 3- « piloter » le modèle avec des données météorologiques « synoptiques »
- 4- fournir les positions des éoliennes à évaluer ou la zone d'étude à investiguer.

Ces éléments sont décrits ci-après.



## 2.1 Domaine de calcul

Afin de pouvoir représenter convenablement la météorologie locale sur le *domaine d'étude*, il convient de choisir un *domaine de calcul* suffisamment grand. Pour ce faire, nous avons établi un domaine de calcul de 30 km x 30 km, s'étendant selon un axe Ouest-Est (X) de 182 à 212 km et selon un axe Sud-Nord (Y) de 134 à 164 km, en coordonnées « Lambert Belge 1972 ». Les résultats de calculs ont été stockés sur les zones d'étude afin d'optimiser l'espace disque sur l'ordinateur.

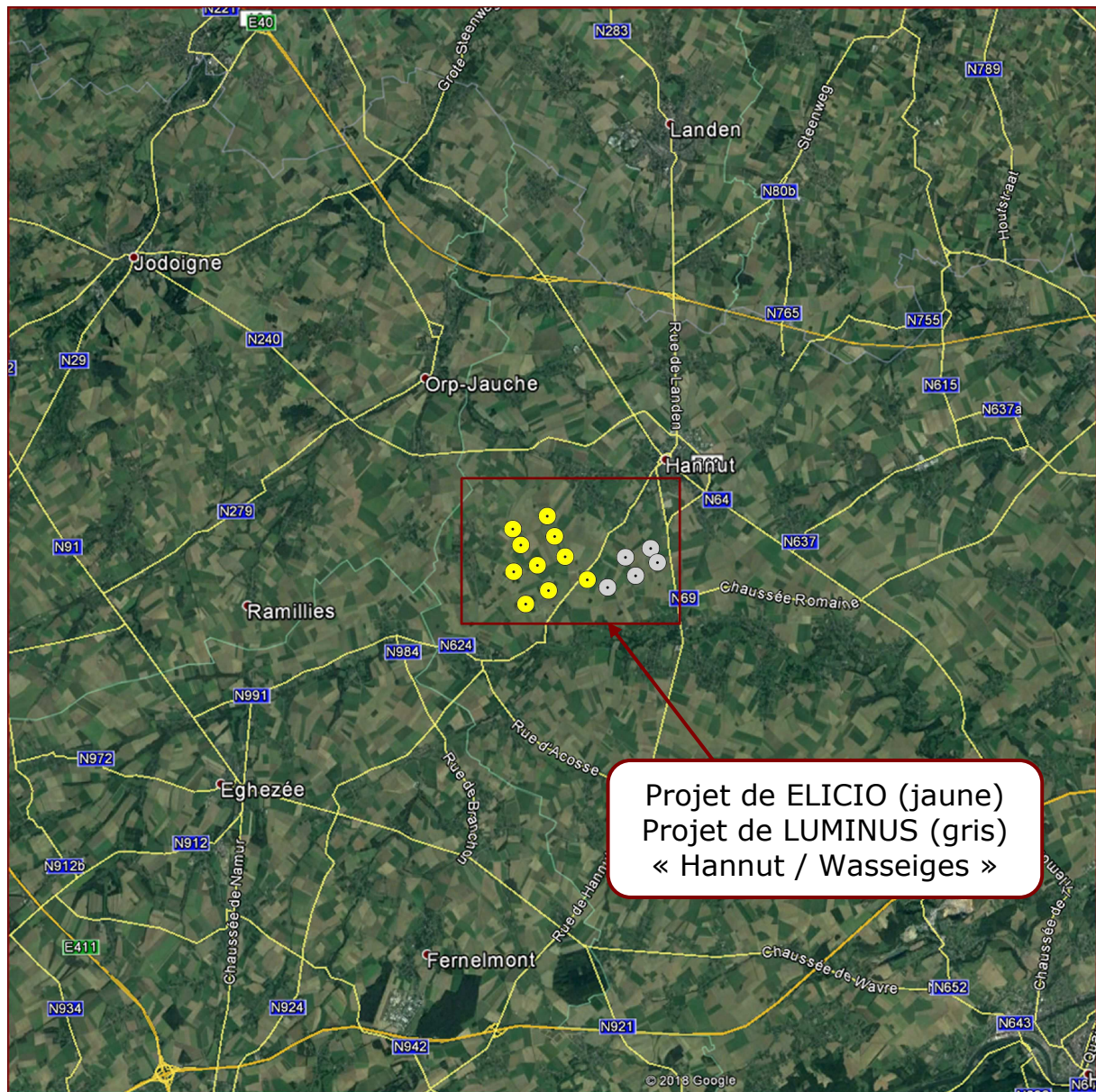


figure 3. : Domaine de calculs (30 km x 30 km) englobant la zone d'étude pour le projet de parc éolien.



## 2.2 Grille de calcul

Afin de réaliser les calculs, une résolution horizontale de 250 m a été utilisée. Ceci équivaut à 120 x 120 points, soit 14400 points de calculs, pour lesquels le relief et l'occupation des sols correspondant seront à fournir (voir ci-après).

En ce qui concerne la grille verticale, celle-ci s'étend sur 20 points jusqu'à 5000 m. Les premiers niveaux sont situés à : 10, 32, 59, 93, 134, 184, ... m.

En d'autres termes, la grille de calcul est tridimensionnelle et « représenterait » **14400 mâts de mesures** « informatiques ou virtuels » comprenant chacun **20 niveaux** de mesures des divers paramètres météorologiques (vitesse du vent, direction du vent, turbulence, etc ...).

Ces dimensionnements de domaine et de mailles de calculs sont nécessaires pour représenter correctement les mouvements de l'air que « subiront » les éoliennes du parc, lesquels mouvements correspondent en termes de modélisation météorologique à l'échelle « *méso-γ* », c'est-à-dire l'échelle caractéristique des mouvements allant de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres. L'évolution au fil du temps de la couche limite atmosphérique et de la stabilité atmosphérique requière ces échelles de travail pour la modélisation.

## 2.3 Relief sur le domaine de calcul

Le graphique suivant montrent le relief sur le domaine de calcul. La zone d'étude est identifiée par le rectangle brun. Le code couleur correspond à l'élévation par rapport au niveau de la mer (en m). Sur la zone de calcul, la gamme des valeurs de topographie s'étend de 0 à 250 m.

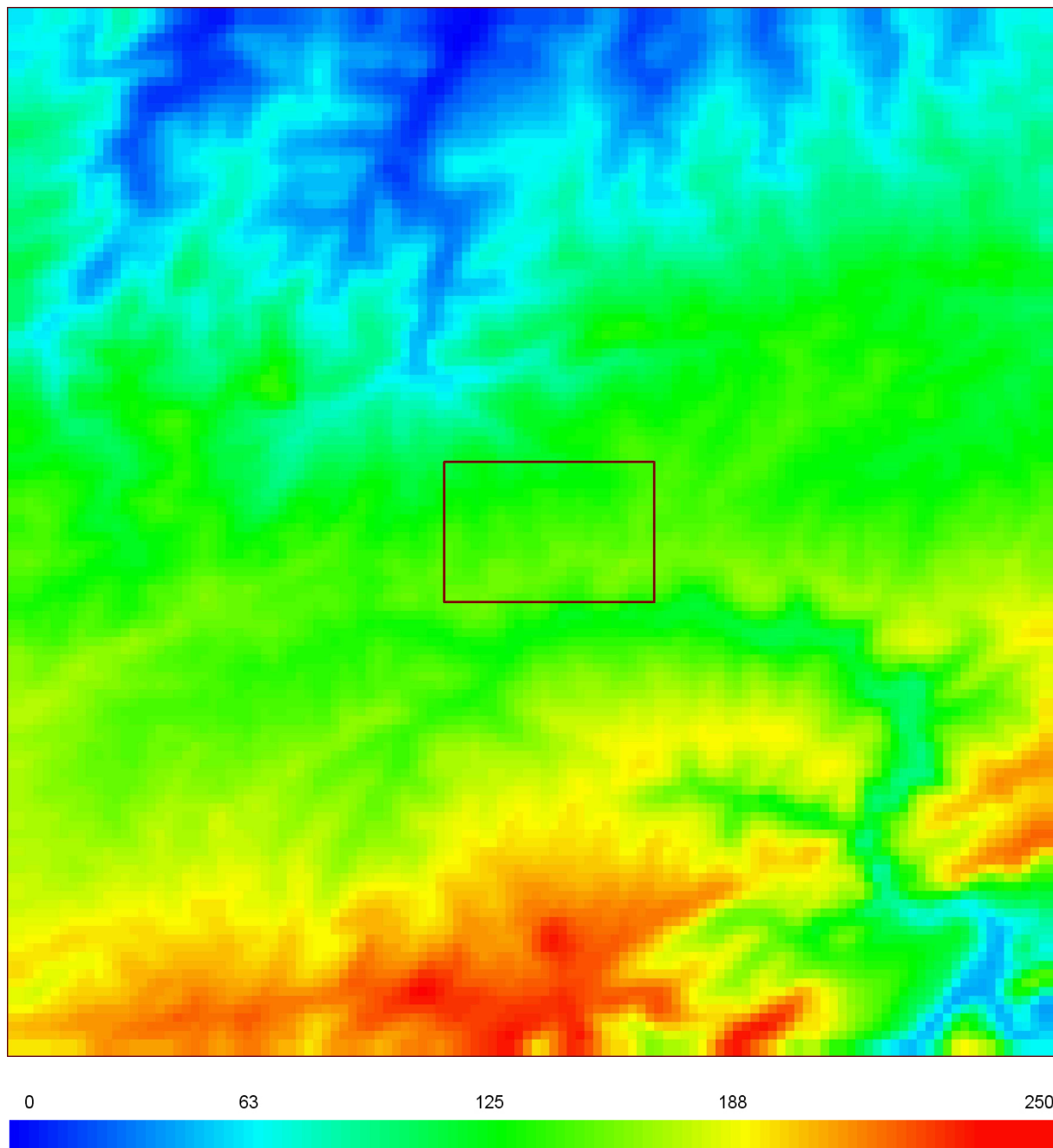


figure 4. : Relief (en m) sur la zone de calcul.

## 2.4 Occupation des sols sur le domaine de calcul

L'occupation des sols telle que présentée dans la base de données « CORINE LAND COVER » est montrée ci-dessous. La zone d'étude est identifiée par le rectangle brun.

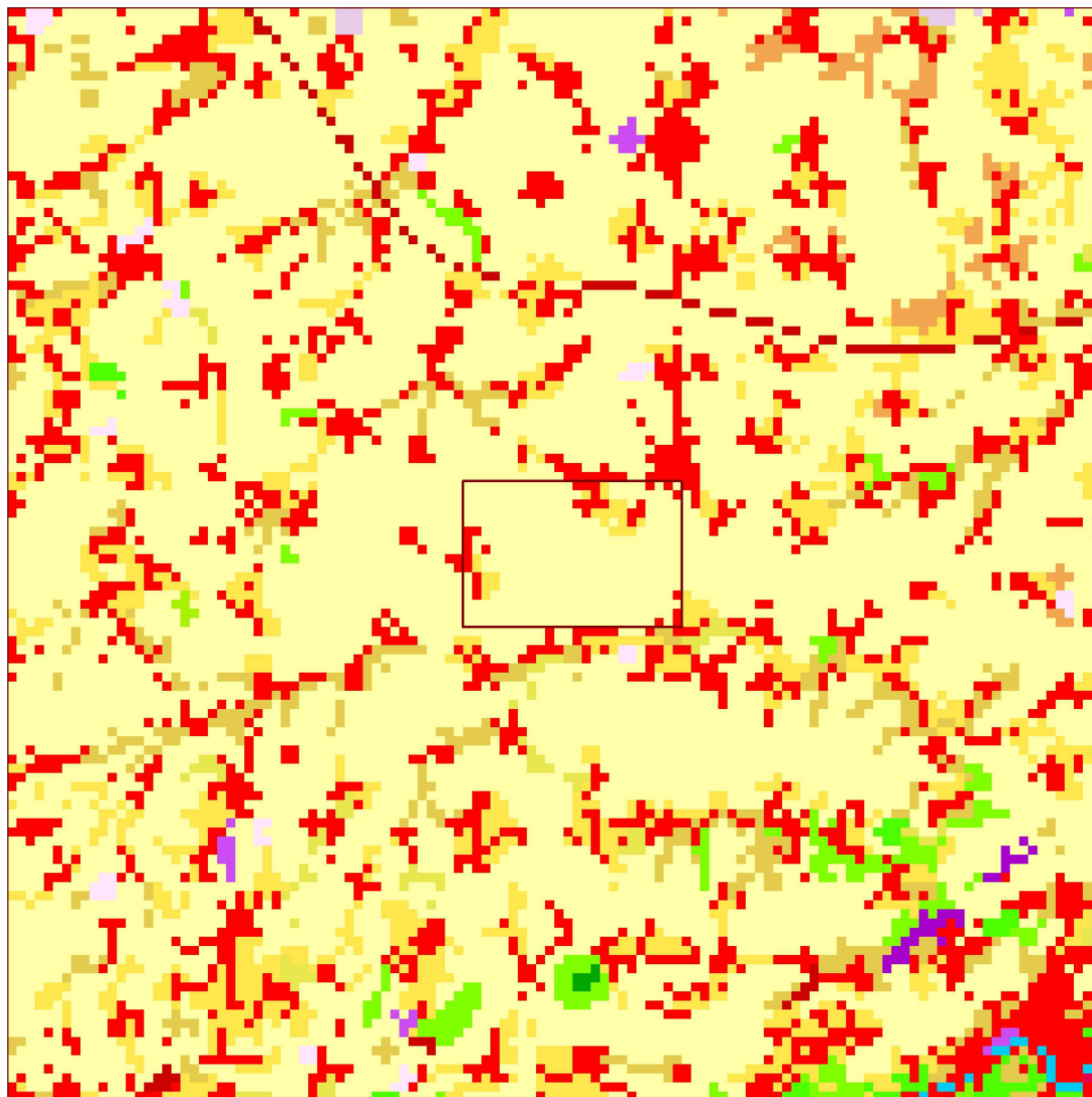


figure 5. : Occupation des sols sur la zone de calcul.

Chaque couleur correspond à un type de sol. Le tableau ci-après en fait la synthèse.

#	Color	Description of CORINE LAND COVER CATAGORIES		%
0		Non inventorié	Not Inventoried	
1		Tissu urbain continu	Continuous urban fabric	0.03
2		Tissu urbain discontinu	Discontinuous urban fabric	14.56
3		Zones industrielles et commerciales	Industrial or commercial units	0.20
4		Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	Road and rail networks and associated land	0.60
5		Zones portuaires	Port areas	
6		Aéroports	Airports	0.12
7		Extraction de matériaux	Mineral extraction sites	0.20
8		Décharges	Dump sites	
9		Chantiers	Construction sites	
10		Espaces verts urbains	Green urban areas	
11		Equipements sportifs et de loisirs	Sport and leisure facilities	0.49
12		Terres arables hors périmètres d'irrigation	Non-irrigated arable land	66.09
13		Périmètres irrigués en permanence	Permanently irrigated land	
14		Rizières	Rice fields	
15		Vignobles	Vineyards	
16		Vergers et petits fruits	Fruit trees and berry plantations	0.92
17		Oliveraies	Olive groves	
18		Prairies	Pastures	0.72
19		Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	Annual crops associated with permanent crops	
20		Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Complex cultivation patterns	9.71
21		Territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	4.13
22		Territoires agro forestiers	Agro-forestry areas	
23		Forêts de feuillus	Broad-leaved forest	1.54
24		Forêts de conifères	Coniferous forest	0.06
25		Forêts mélangées	Mixed forest	0.47
26		Pelouses et pâturages naturels	Natural grasslands	
27		Landes et broussailles	Moors and heathland	
28		Végétation sclérophylle	Sclerophyllous vegetation	
29		Forêt et végétation arbustive en mutation	Transitional woodland-shrub	0.04
30		Plages, dunes et sable	Beaches, dunes, sands	
31		Roches nues	Bare rocks	
32		Végétation clairsemée	Sparsely vegetated areas	
33		Zones incendiées	Burnt areas	
34		Glaciers et neiges éternelles	Glaciers and perpetual snow	
35		Marais intérieurs	Inland marshes	
36		Tourbières	Peat bogs	
37		Marais maritimes	Salt marshes	
38		Marais salants	Salines	
39		Zones intertidales	Intertidal flats	
40		Cours et voies d'eau	Water courses	0.13
41		Plans d'eau	Water bodies	
42		Lagunes littorales	Coastal lagoons	
43		Estuaires	Estuaries	
44		Mers et océans	Sea and ocean	
45		Non inventorié	Not inventoried	
46		Non inventorié	Not inventoried	
47		Non inventorié	Not inventoried	
48		Données manquantes	NODATA	
49		Surface non classée	unclassified land surface	
50		Plan d'eau non classé	unclassified water bodies	

## 2.5 Données Météorologiques de référence

Les données météorologiques exploitées pour piloter le modèle MAESTRO Wind doivent être des données compatibles avec l'échelle « **synoptique** » des phénomènes météorologiques. Les données proviennent des ré-analyses produites par le centre européen ECMWF, i.e. la banque de données « ERA-Interim ». La résolution spatiale de l'ordre de  $0.75^\circ$ , soit environ 75-100 km, correspond en effet à l'échelle synoptique.

Afin de vérifier la cohérence du pilotage du modèle par les ré-analyses au regard des données d'observations, nous avons « extrait » ces données au niveau de la station de Beauvechain qui répond au caractère synoptique recherché pour le pilotage du modèle, soit une caractéristique permettant d'assurer la représentativité à grande échelle, échelle synoptique, des mouvements atmosphériques.

Enfin, nous avons défini une année moyenne permettant de représenter une période de 30 ans, période de temps utilisée pour définir le climat, et, partant, nécessaire pour définir le climat moyen « long terme » que « subira » un projet éolien.

En effet, comme expliqué sur le site de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.html>), « *le climat, dans un sens étroit, est généralement défini comme le « temps moyen », ou, plus rigoureusement, comme la description statistique en termes de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur une période de temps allant de quelques mois à des milliers ou des millions d'années. La période classique est de 30 ans, tel que défini par l'OMM. Ces quantités de surface sont plus souvent des variables telles que la température, les précipitations et le vent. Climat dans un sens plus large est l'état, y compris une description statistique, du système climatique* ».

Partant de cette définition, et afin de fournir une information correcte de la moyenne « long terme » du productible et de sa variabilité, nous avons pu démontrer que la période de 30 était, de fait, nécessaire, et que des périodes plus courtes amèneraient une très forte variabilité ou incertitude dans l'estimation, tant du productible moyen sur le long terme que des valeurs extrêmes de ce productible, valeurs souvent utilisées lors de la recherche de financement de projet (voir : [www.ICEM2013.org](http://www.ICEM2013.org), Toulouse, Juin 2013 « *What can we learn from an application of a meso-Gamma-scale meteorological model to an existing wind farm* », Alexis Dutrieux (ATM-PRO), with GDF Suez Future Energies // Dutrieux A. (2019) *How long should be « long term » to reduce uncertainty on annual wind energy assessment?* WindEurope 2019, Bilbao, Spain, 2 April. Poster PO153.).

La période analysée dans le cadre de la présente étude s'étend de 1983 à 2012.





## 2.5.1 Données « ERA-Interim » vs « Observations »

Les données nécessaires au pilotage du modèle MAESTRO Wind sont : (1) la vitesse du vent à 10 m du sol (m/s), (2) la direction du vent à 10 m du sol (degré), (3) la température de l'air à 2 m du sol (°C), (4) l'humidité relative (%), (5) la nébulosité totale (octas), (6) les précipitations (mm/h) et (7) la pression (hPa).

Les données de ré-analyses de surface contiennent ces informations sur base tri-horaire, et ce, de 1979 à nos jours (voir [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)) et ont été extraites à la position de la station de Beauvechain, soit en coordonnées Lambert Belge 1972 (X : 178020 m, Y : 159436 m).

A titre d'exemple, afin de vérifier la cohérence des données du centre européen par rapport aux données d'observations, nous avons comparé les vitesses et directions de vent pour l'année 2008 (voir graphique ci-dessous reprenant ces éléments pour le mois de janvier 2008). Les corrélations globales sur l'année 2008 et sur base tri-horaire sont, respectivement, de ~90 % pour les vitesses de vent et de 94 % pour les directions.

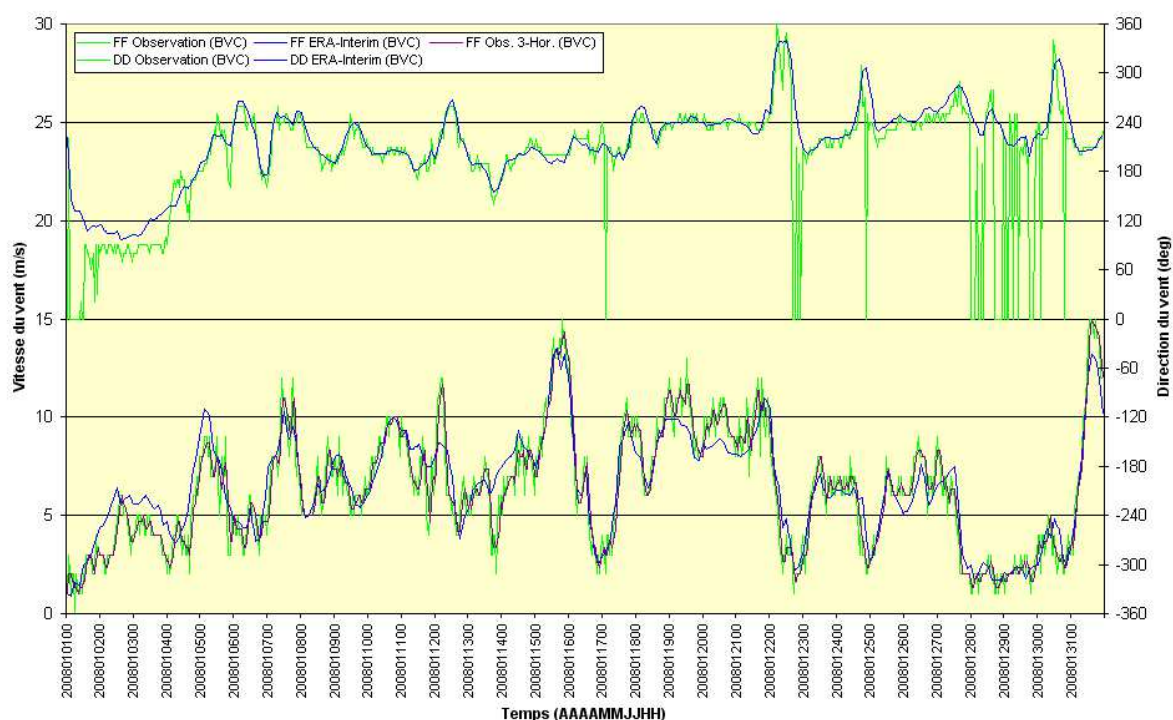


figure 6. : Comparaison des vitesses de vent et des directions à 10 m pour la station de Beauvechain pour le mois de janvier 2008 (en vert : observation / en bleu : Ré-Analyses « ERA-Interim »)

Ces éléments permettent de confirmer l'utilisation des données de Ré-Analyses « ERA-Interim » pour le pilotage du modèle « MAESTRO Wind ».

## 2.5.2 Année « moyenne »

L'intérêt des données de ré-analyses ERA-Interim, outre la résolution spatiale compatible avec l'échelle synoptique, réside dans le fait que les données sont disponibles de 1979 à nos jours. Il est donc possible d'analyser les données sur une période de 30 ans nécessaire à la définition du « climat » ou encore au productible « moyen » sur le long terme qui pourrait en résulter.

Afin d'établir une année « moyenne » ou « année de référence sur le long terme », nous avons calculé le productible mensuel à partir des données de vitesses de vent sur l'ensemble de la période 1983-2012. Les productibles mensuels moyens sur le long terme peuvent alors être calculés. L'année « moyenne » sera construite, mois par mois, en considérant les mois « historiques » les plus proches des valeurs moyennes. Le graphique suivant montre les 30 cycles saisonniers de productibles mensuels « théoriques », le signal moyen et les extrêmes.

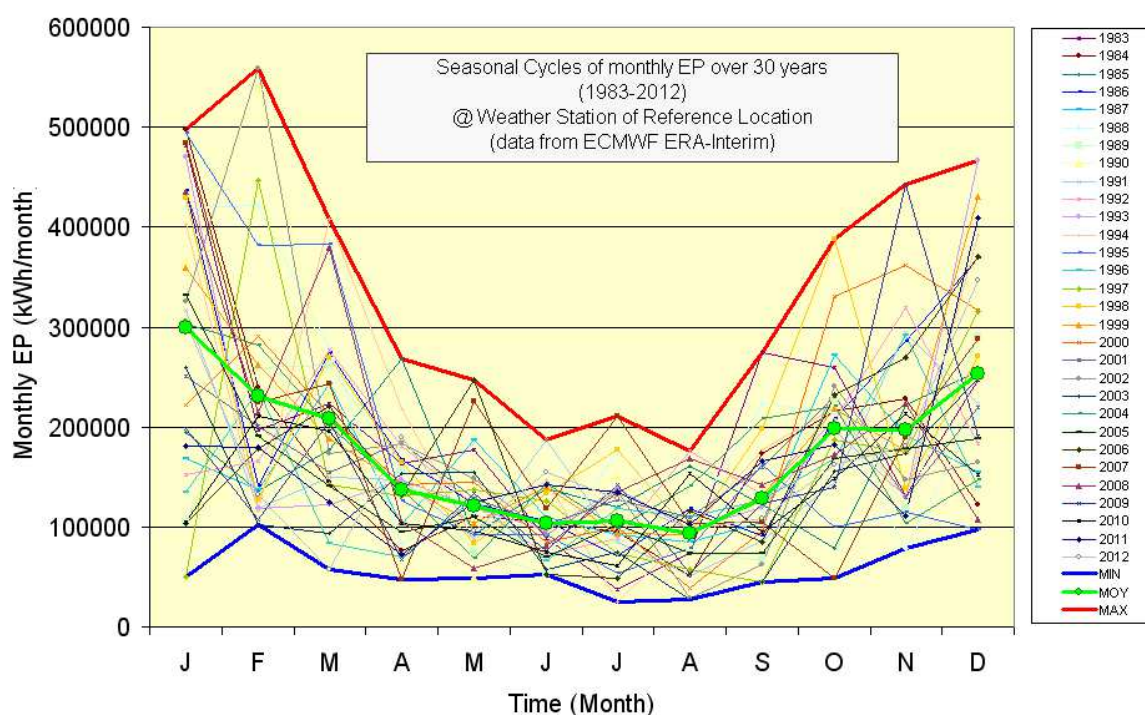


figure 7. : Cycles saisonniers de productibles « théoriques » de 1983 à 2012 (cf. data ERA-Interim @ Beauvechain)..

De cette analyse, découle la « définition » de l'« année moyenne climatologique » :

JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2004	2007	2009	2004	1992	2001	2005	1998	1996	1993	1987	1985

Les diverses variables requises par le modèle sont donc extraites des données de ré-analyses pour les divers mois sélectionnés pour établir l'année « moyenne ».

Pour ces données synoptiques correspondant à l'année « moyenne » (période de 30 ans 1983-2012), nous donnons ci-après la distribution des vitesses et la rose des vents.

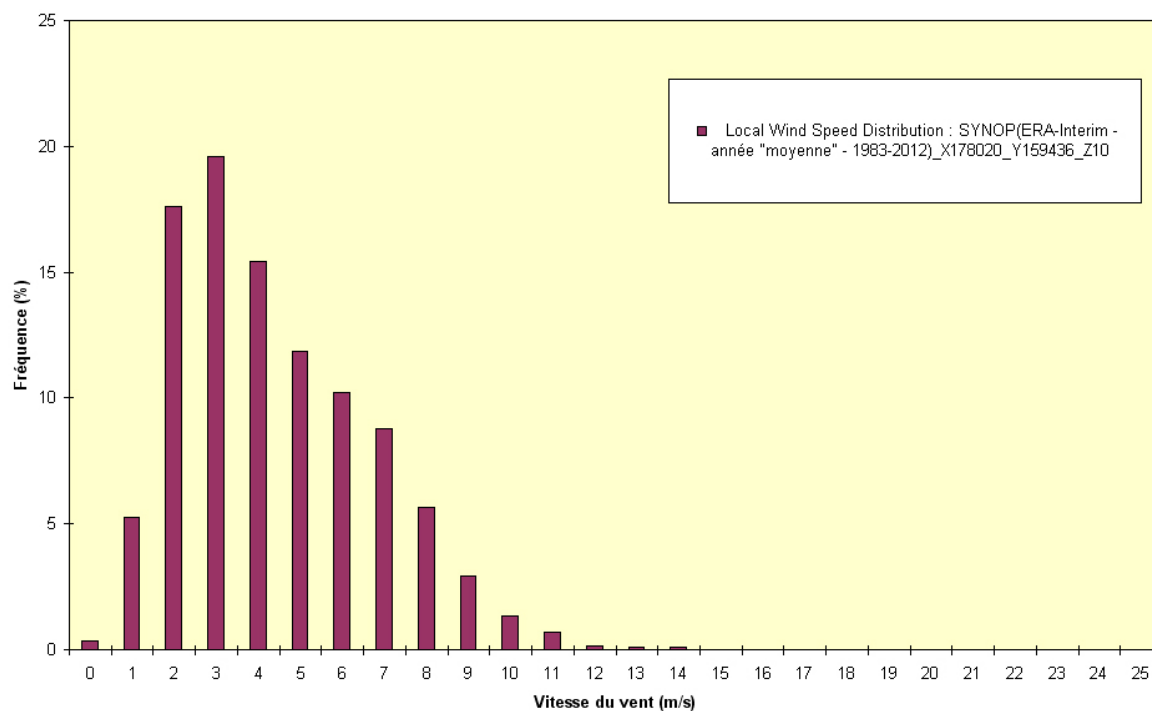


figure 8. : Distribution des vitesses de vent pour l'année moyenne à la station de référence (cf. ERA-Interim)

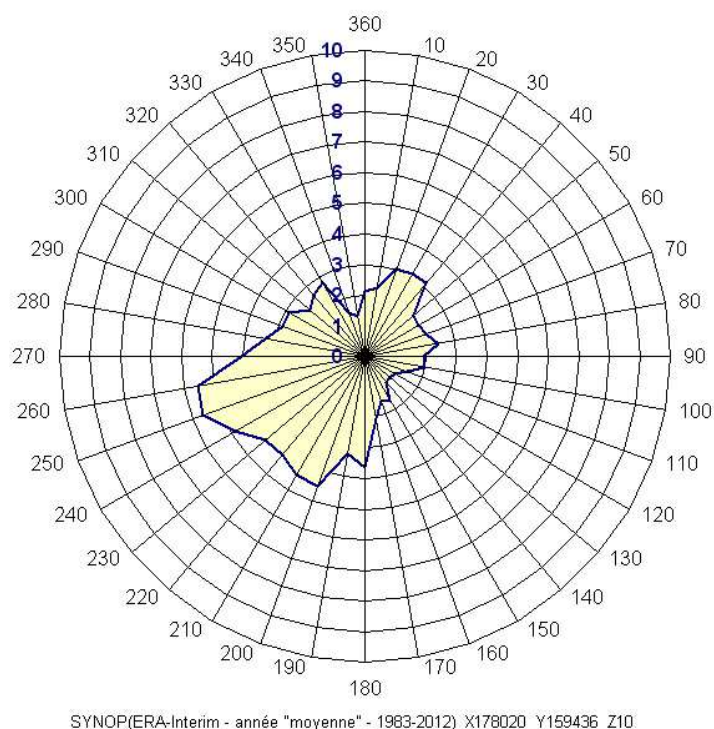


figure 9. : Rose des vents pour l'année moyenne à la station de référence (cf. ERA-Interim)



## 2.6 Données relatives aux configurations de parc à étudier

Concernant le projet de Hannut/Wasseiges, les coordonnées d'implantation des éoliennes ainsi que les caractéristiques des différents modèles d'éoliennes à étudier ont été fournies par le client.

Le tableau ci-dessous reprend les positions des éoliennes en coordonnées Lambert Belge 1972 :

NOM	X (m)	Y (m)
ELICIO_HWS_WT01 ( <b>HWS01</b> )	196856	149951
ELICIO_HWS_WT02 ( <b>HWS02</b> )	197057	149393
ELICIO_HWS_WT03 ( <b>HWS03</b> )	197347	148831
ELICIO_HWS_WT04 ( <b>HWS04</b> )	197954	148199
ELICIO_HWS_WT05 ( <b>HWS05</b> )	195903	149599

NOM	X (m)	Y (m)
ELICIO_HWS_WT06 ( <b>HWS06</b> )	196123	149159
ELICIO_HWS_WT07 ( <b>HWS07</b> )	196582	148595
ELICIO_HWS_WT08 ( <b>HWS08</b> )	196883	147900
ELICIO_HWS_WT09 ( <b>HWS09</b> )	195926	148420
ELICIO_HWS_WT10 ( <b>HWS10</b> )	196259	147532

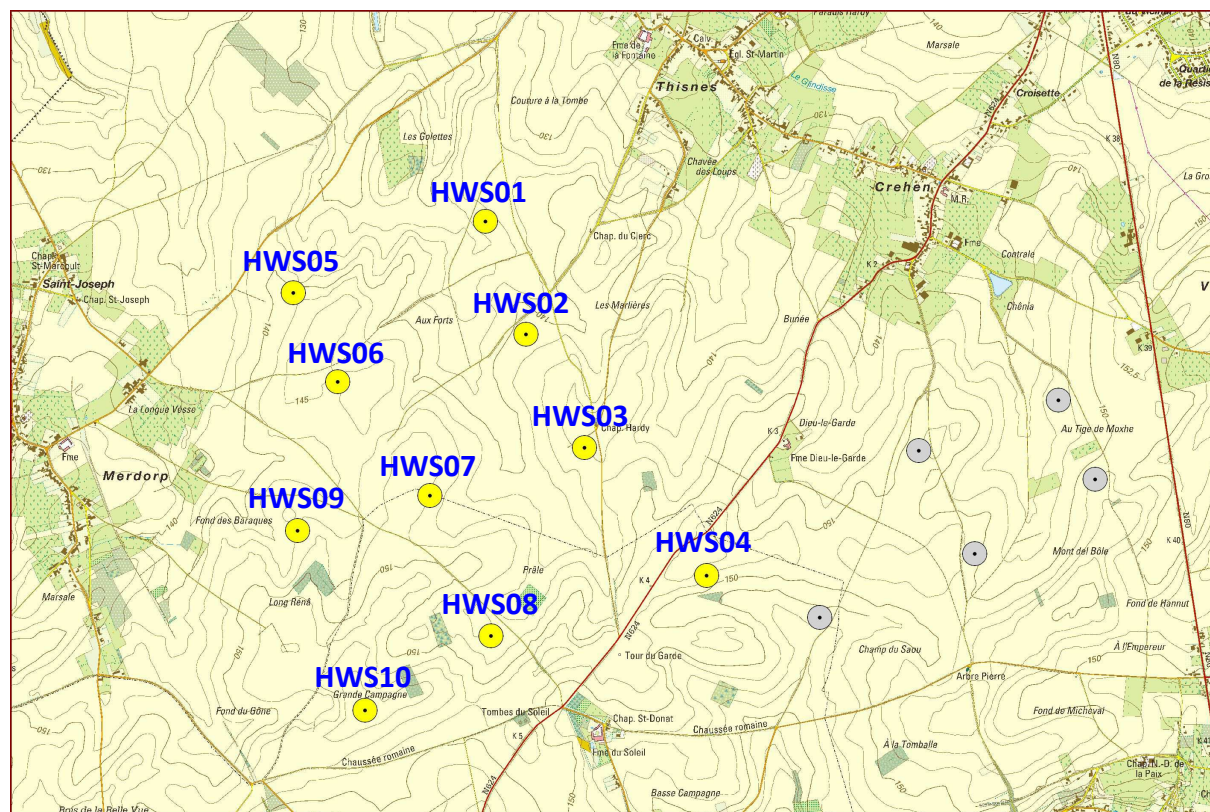


figure 10 : positions des éoliennes sur fond de carte IGN (ELICIO = points jaune / LUMINUS = points gris) (1/10000).

Les modèles d'éoliennes à considérer ainsi que leurs caractéristiques générales, fournies par le client, la littérature (web) et/ou les fabricants, sont reprises dans le tableau ci-après :

Modèle d'éolienne	Puissance Nominale (kW)	Hauteur du rotor (m)	Rayon du rotor (m)	Acronyme utilisé dans le rapport (voir annexe 1)
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450	112	68	V136_M0STD_MS1055_KW3450
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625	123	57	SG114_M0STD_MS1046_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465	114	66	SG132_M0STD_MS1063_KW3465

Les courbes de puissance de ces éoliennes sont données en annexe 1.

Le demandeur a également fait réaliser par un autre bureau d'étude des analyses relatives à la présence de chauves-souris, au bruit et aux effets d'ombres au niveau de divers récepteurs. Le lecteur s'y référera pour les détails y relatifs.

Il ressort des besoins de bridage des éoliennes : (1) **bridage « sonore »**, (2) **bridage « chauves-souris »** et (4) **bridage « ombrage »**.

L'impact de ces bridages sur les productibles moyens à long terme seront donc estimés ci-après.



## 2.6.1 Bridage « sonore »

En ce qui concerne les « **bridages acoustiques** », différents scénarii de contraintes ont été définis par le bureau SERTIUS pour les conditions suivantes :

		Conditions sectorielles					Conditions générales						
<b>Note sur les contraintes</b>		Zone d'immission dans laquelle les mesures sont effectuées		Valeurs limites en dB [A]				Zone d'immission		Valeurs limites en dB [A]			
	Jour 7h à 19h			Transition 6h à 7h et de 19h à 22h	Nuit 22h à 6h Conditions nocturnes estivales*	Nuit 22h à 6h Horre conditions nocturnes estivales	Jour (jours ouvrables et samedi de 7h à 19h)			Transition (jours ouvrables et samedi de 6h à 7h et de 19h à 22h, dimanches et jours fériés de 6h à 22h)	Nuit (tous les jours de 22h à 6h)		
	I	Zones d'habitat et d'habitat à caractère rural	45	45	40	43	I	Toutes zones, lorsque le point de mesure est situé à moins de 500 m de la zone d'extraction, d'activité économique industrielle ou d'activité économique spécifique, ou à moins de 200 m de la zone d'activité économique mixte dans laquelle est situé l'établissement	55	50	45		
	II	Zones agricoles, forestières, d'espaces verts, naturelles, de parcs	45	45	43	43	II	Zones d'habitat et d'habitat à caractère rural, sauf I	50	45	40		
	III	Toutes zones, y compris les zones visitées en I et II, lorsque le point de mesure est situé dans ou à moins de 500 m de la zone d'extraction, d'activité économique industrielle ou d'activité économique spécifique, ou dans ou à moins de 200 m de la zone d'activité économique mixte, dans laquelle est totalement situé le parc éolien.	55	50	45	45	III	Zones agricoles, forestières, d'espaces verts, naturels, de parcs, sauf I	50	45	40		
	IV	Zones de loisirs, de services publics et d'équipements communautaires	55	50	45	45	IV	Zones de loisirs, de services publics et d'équipements communautaires	55	50	45		
	* Les conditions nocturnes sont considérées comme estivales pour la nuit à venir lorsque la température atteint 16 degrés centigrades à 22 heures à la station météorologique de l'I.R.M. la plus proche du parc d'éoliennes.												

Les bridages à appliquer résultent essentiellement en une modification des courbes de puissance des éoliennes. Les variantes utilisées dans la présente étude sont reprises ci-dessous. Les acronymes utilisés reprennent dans leur structure le nom de l'éolienne, le mode réduit (*précédé de « M »*), le niveau sonore en dixième de dB(A) (*précédé de « MS »*) et la puissance maximale en mode réduit (*précédée de « KW »*).

Modèle d'éolienne	Puissance Nominale( <i>bridée</i> ) (kW)	Hauteur du rotor (m)	Rayon du rotor (m)	Acronyme utilisé dans le rapport (voir annexe 1)
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>3450</i> )	112	68	V136_M0STD_MS1055_KW3450
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>3450</i> )	112	68	V136_M1SO1_MS1044_KW3450
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>3450</i> )	112	68	V136_M2SO2_MS1035_KW3450
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>3121</i> )	112	68	V136_M3SO3_MS1024_KW3121
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>2253</i> )	112	68	V136_M4SO12_MS0999_KW2253
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>1690</i> )	112	68	V136_M5SO11_MS0992_KW1690
VESTAS V136STE 3.450 kW	3450 ( <i>1040</i> )	112	68	V136_M6SO4_MS0980_KW1040

Modèle d'éolienne	Puissance Nominale( <i>bridée</i> ) (kW)	Hauteur du rotor (m)	Rayon du rotor (m)	Acronyme utilisé dans le rapport (voir annexe 1)
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 ( <i>2625</i> )	123	57	SG114_M0FP_MS1046_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 ( <i>2625</i> )	123	57	SG114_M1N1_MS1030_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 ( <i>2625</i> )	123	57	SG114_M2N2_MS1020_KW2625

SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 (2625)	123	57	SG114_M3N3_MS1010_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 (2625)	123	57	SG114_M4N4_MS1000_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 (2625)	123	57	SG114_M5N5_MS0990_KW2625
SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	2625 (2625)	123	57	SG114_M6N6_MS0965_KW2625

Modèle d'éolienne	Puissance Nominale( <i>bridée</i> ) (kW)	Hauteur du rotor (m)	Rayon du rotor (m)	Acronyme utilisé dans le rapport (voir annexe 1)
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3465)	114	66	SG132_M0NL0_MS1063_KW3465
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3447)	114	66	SG132_M1NL1_MS1050_KW3447
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3432)	114	66	SG132_M2NL2_MS1040_KW3432
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3415)	114	66	SG132_M3NL3_MS1030_KW3415
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3402)	114	66	SG132_M4NL4_MS1020_KW3402
SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	3465 (3388)	114	66	SG132_M5NL5_MS1010_KW3388

Les courbes de puissance de ces variantes sont données également en annexe 1.

### 2.6.1.1 Bridages requis dans le cadre des « Conditions sectorielles »

Les conditions à respecter au niveau du bruit entraînent les contraintes de fonctionnement suivantes pour les différents modèles d'éoliennes étudiés :

Modèle	Eolienne	Période			
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit-Hors été	Nuit - été
V136	HWS01	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS02	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS03	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « S02 »</b>	<b>Mode 2 « S02 »</b>
	HWS05	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 3 « S03 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « S02 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS08	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS09	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « S01 »</b>
	HWS10	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « S01 »</b>

Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions sectorielles – Vestas V136

Modèle	Eolienne	Période			
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit-Hors été	Nuit - été
SG114	HWS01	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS02	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS03	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>	Mode 0
	HWS05	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « N2 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS08	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS09	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS10	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0

Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions sectorielles – Siemens Gamesa SG114

Modèle	Eolienne	Période			
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit-Hors été	Nuit - été
SG132	HWS01	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « NL2 »</b>
	HWS02	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS03	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 3 « NL3 »</b>	<b>Mode 2 « NL2 »</b>
	HWS05	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 4 « NL4 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS08	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS09	Mode 0	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS10	Mode 0	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 3 « NL3 »</b>

Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions sectorielles – Siemens Gamesa SG132



### 2.6.1.2 Bridages requis dans le cadre des « Conditions générales »

Les conditions à respecter au niveau du bruit entraînent les contraintes de fonctionnement suivantes pour les différents modèles d'éoliennes étudiés :

Modèle	Eolienne	Période		
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit
V136	HWS01	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS02	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS03	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « S01 »</b>
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 6 « S04 »</b>
	HWS05	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 3 « S03 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « S02 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS08	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 2 « S02 »</b>
	HWS09	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « S01 »</b>
	HWS10	Mode 0	Mode 0	Mode 0

*Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions générales – Vestas V136*

Modèle	Eolienne	Période		
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit
SG114	HWS01	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS02	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS03	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 6 « N6 »</b>
	HWS05	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS08	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 1 « N1 »</b>
	HWS09	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS10	Mode 0	Mode 0	Mode 0

*Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions générales – Siemens-Gamesa SG114*



Modèle	Eolienne	Période		
		Jour	Transition, dimanche et jours fériés	Nuit
SG132	HWS01	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS02	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS03	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS04	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS05	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS06	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS07	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS08	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>
	HWS09	Mode 0	Mode 0	Mode 0
	HWS10	Mode 0	Mode 0	<b>Mode 5 « NL5 »</b>

Programme de bridage des éoliennes en projet de Hannut – conditions générales – Siemens-Gamesa SG132

## 2.6.2 Bridage « chauves-souris »

En ce qui concerne le **bridage « chauves-souris »**, suivant la description des contraintes définies par le bureau SERTIUS, il s'agit d'**arrêter toutes les éoliennes** dans les conditions cumulatives suivantes :

- (1) entre le 1<sup>er</sup> avril et le 31 juillet si :
  - a. durée : 6h après le coucher du soleil
  - b. vitesse du vent à hauteur de la nacelle inférieure à 6 m/s
  - c. température de l'air supérieure à 10°C au sol
  - d. absence de précipitation
- (2) entre le 1<sup>er</sup> août et le 15 octobre si :
  - a. durée : du coucher au lever du soleil
  - b. vitesse du vent à hauteur de la nacelle inférieure à 7 m/s
  - c. température de l'air supérieure à 8°C au sol
  - d. absence de précipitation
- (3) entre le 16 octobre et le 31 octobre si :
  - a. durée : 6h après le coucher du soleil
  - b. vitesse du vent à hauteur de la nacelle inférieure à 6 m/s
  - c. température de l'air supérieure à 10°C au sol
  - d. absence de précipitation

### 2.6.3 Bridage « ombrage »

D'après les études menées par le bureau SERTIUS, aucun bridage « ombrage » n'est requis pour les éoliennes du projet (voir *le rapport relatif à ces aspects pour les détails*).

### 3 RESULTATS

Dans les paragraphes suivants, nous donnerons les diverses analyses demandées dans le cadre de notre mission.

#### 3.1 Cartographie du productible annuel moyen long terme

Le productible annuel moyen à long terme correspond au productible moyen attendu sur la période de 30 ans considérée pour l'analyse (1983-2012).

##### 3.1.1 Cas du modèle « VESTAS V136STE - 3450 kW »

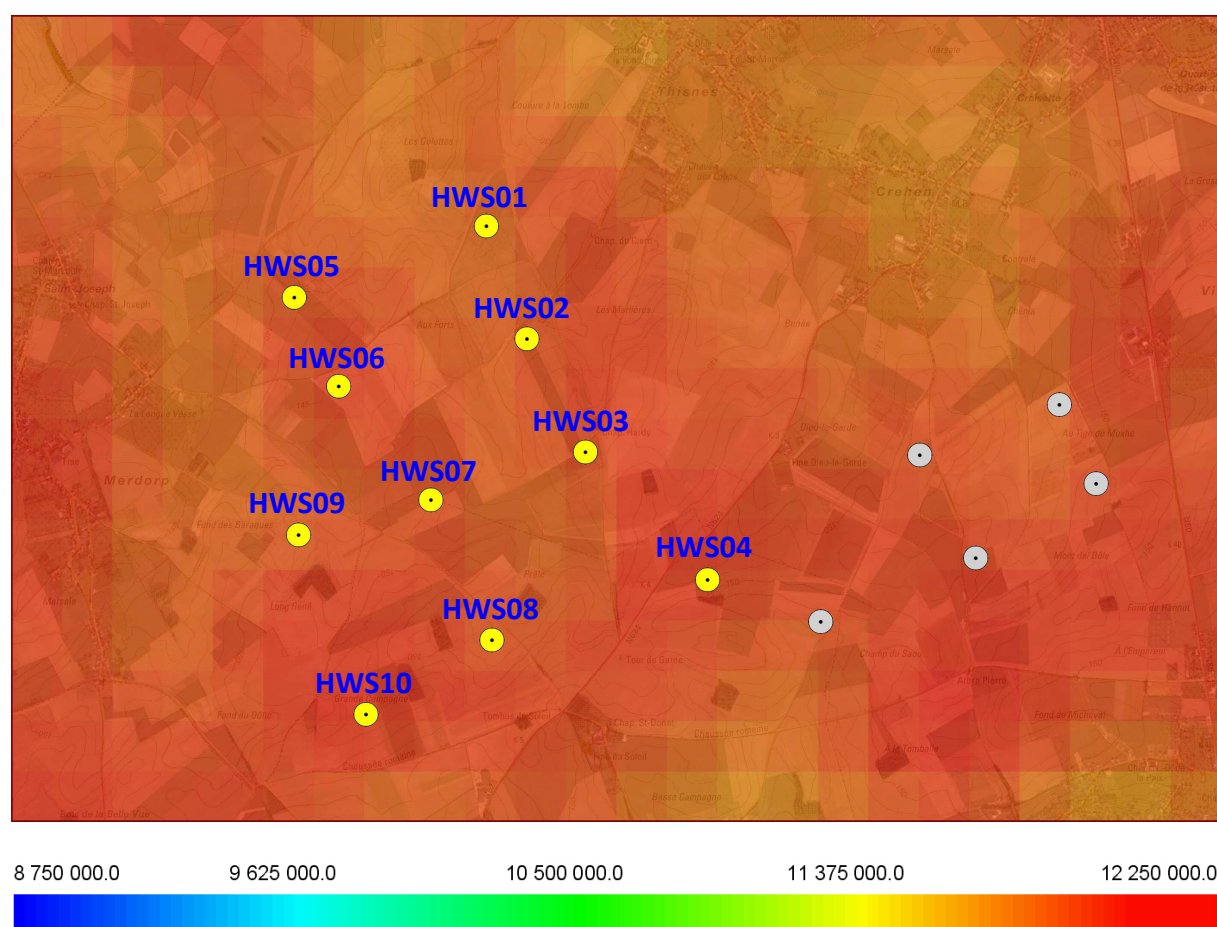


figure 11 : Productible annuel moyen sur le long terme (kWh/an) sur la zone d'étude (6km x 4 km) en considérant l'éolienne VESTAS V136STE - 3450 kW dont le rotor est à **112 m** du sol.

### 3.1.2 Cas du modèle « SIEMENS-GAMESA SG114 - 2625 kW »

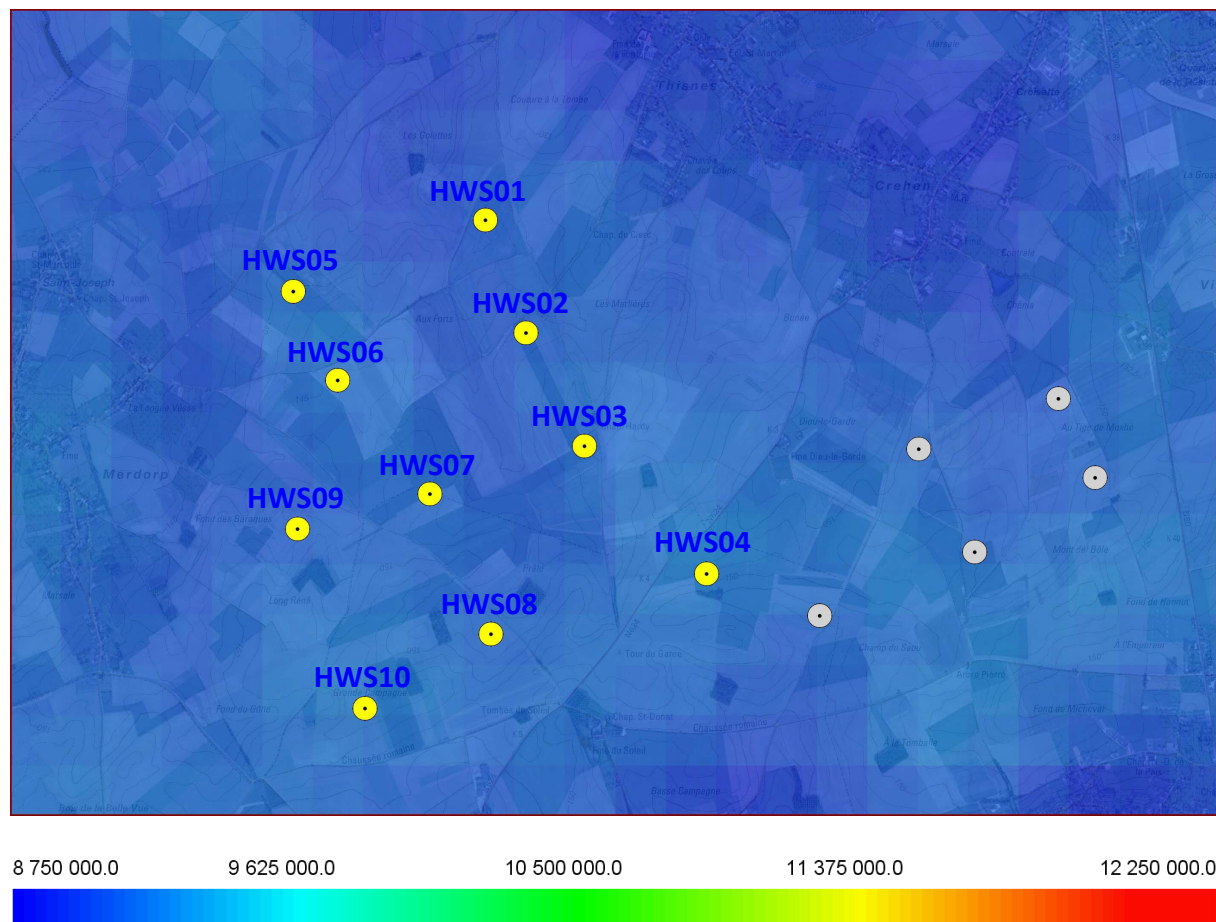
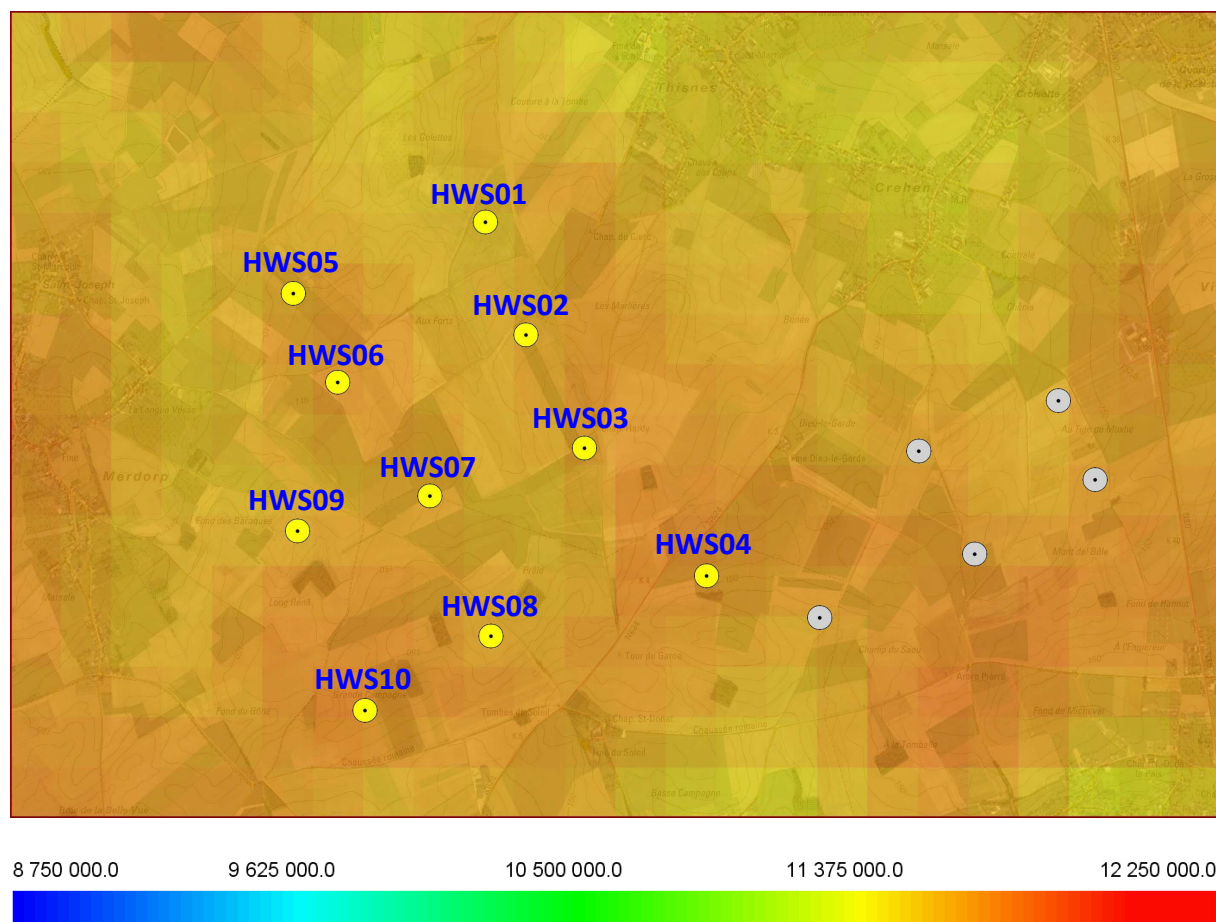


figure 12 : Productible annuel moyen sur le long terme (kWh/an) sur la zone d'étude (6km x 4 km) en considérant l'éolienne SIEMENS-GAMESA SG114 - 2625 kW dont le rotor est à **123** m du sol.

### 3.1.3 Cas du modèle « SIEMENS-GAMESA SG132 - 3465 kW »





## 3.2 Analyses Météorologiques Locales

### 3.2.1 Caractéristiques Météorologiques Locales

Il s'agit ici de fournir en 4 points et 3 hauteurs, les distributions de vitesses, les roses des vents et l'estimation de l'intensité de la turbulence. Les 4 points considérés se trouvent au centre et à proximité des éoliennes du projet. Les hauteurs considérées sont 10, 50 et 115 m du sol. Les résultats sont repris dans l'annexe 2.1. .

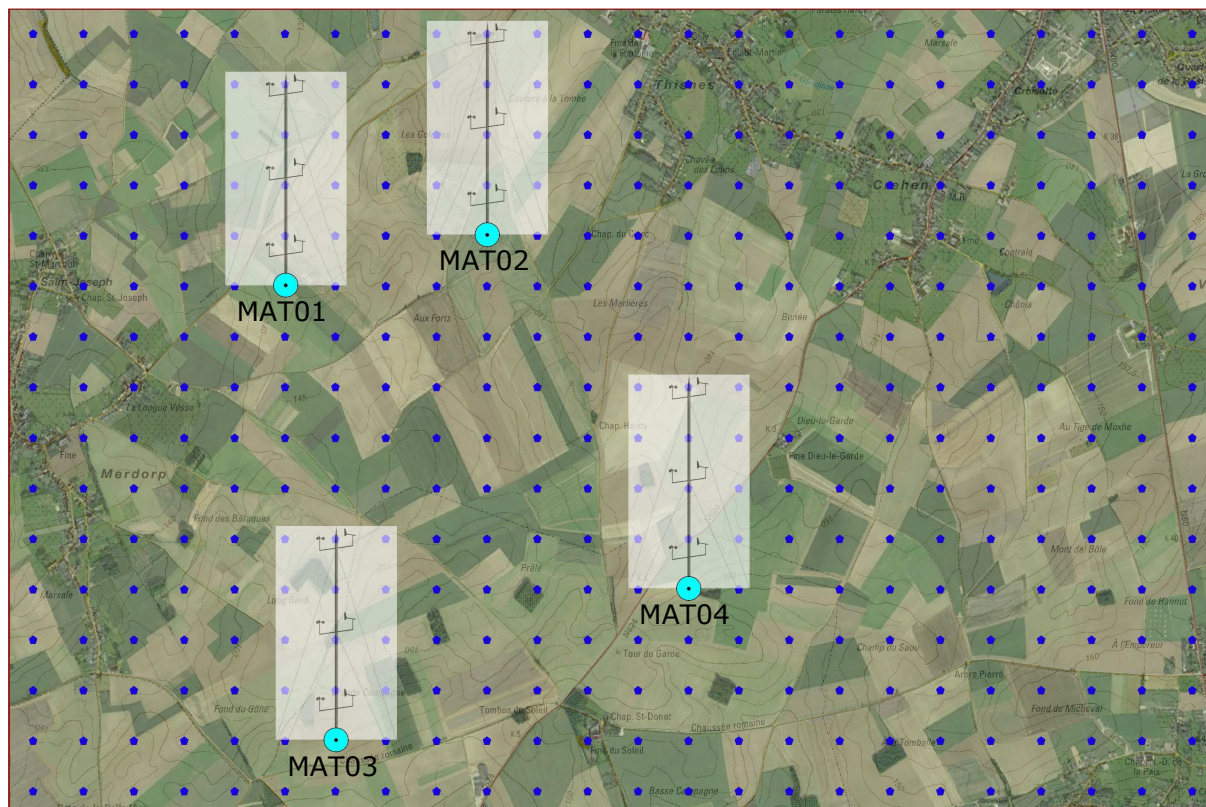


figure 16 : Position des « mâts virtuels » où les analyses météorologiques locales ont été réalisées (6 km x 4 km).

Les coordonnées, Lambert Belge 1972, des « mâts virtuels » où les analyses ont été réalisées sont reprises dans le tableau ci-dessous :

NOM	X (m)	Y (m)
MAT01	195875	149625
MAT02	196875	149875
MAT03	196125	147375
MAT04	197875	148125

### 3.2.1.1 Analyses météo à la position (195875 ; 149625) (« Mât01 »)

Les graphiques suivants donnent respectivement les distributions de vitesses, les roses des vents et les intensités de turbulence pour les 3 hauteurs demandées : 10, 50 et 115 m.

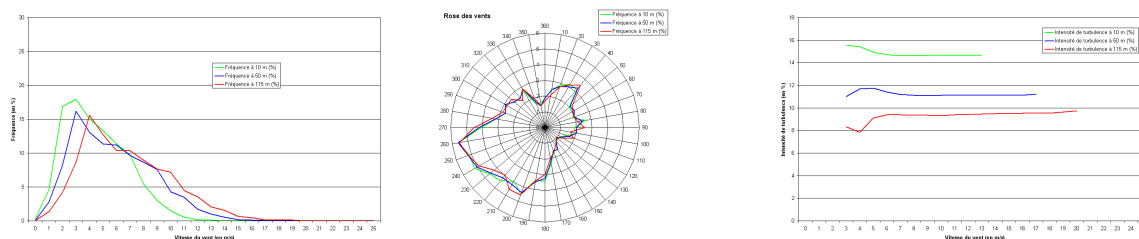


figure 17 : Distribution des vents, Roses des vents et intensités des turbulences à 10, 50 et 115 m (« Mât01 »).

Pour des vitesses comprises entre 3 et 25 m/s, l'intensité de turbulence vaut en moyenne 15.05, 11.30 et 9.00 %, respectivement pour les niveaux 10, 50 et 115 m.

### 3.2.1.2 Analyses météo à la position (196875 ; 149875) (« Mât02 »)

Les graphiques suivants donnent respectivement les distributions de vitesses, les roses des vents et les intensités de turbulence pour les 3 hauteurs demandées : 10, 50 et 115 m.

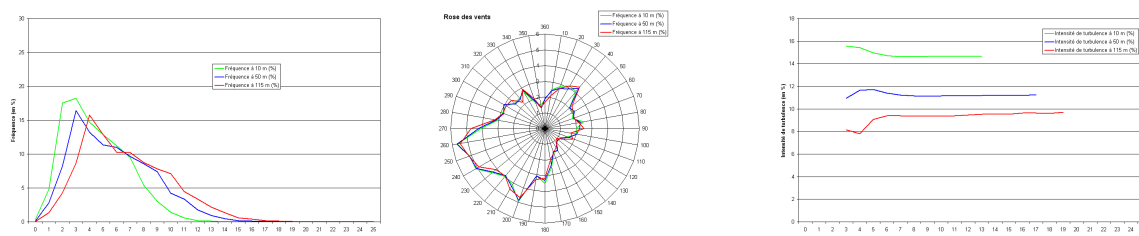


figure 18 : Distribution des vents, Roses des vents et intensités des turbulences à 10, 50 et 115 m (« Mât02 »).

Pour des vitesses comprises entre 3 et 25 m/s, l'intensité de turbulence vaut en moyenne 15.07, 11.29 et 8.97 %, respectivement pour les niveaux 10, 50 et 115 m.

### 3.2.1.3 Analyses météo à la position (196125 ; 147375) (« Mât03 »)

Les graphiques suivants donnent respectivement les distributions de vitesses, les roses des vents et les intensités de turbulence pour les 3 hauteurs demandées : 10, 50 et 115 m.

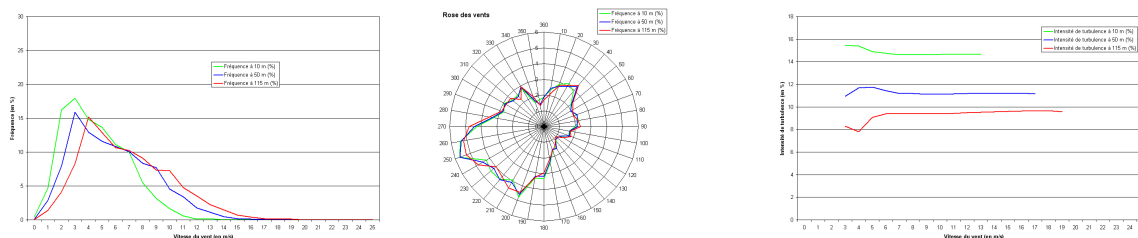


figure 19 : Distribution des vents, Roses des vents et intensités des turbulences à 10, 50 et 115 m (« Mât03 »).

Pour des vitesses comprises entre 3 et 25 m/s, l'intensité de turbulence vaut en moyenne 15.03, 11.31 et 9.01 %, respectivement pour les niveaux 10, 50 et 115 m.

### 3.2.1.4 Analyses météo à la position (197875 ; 148125) (« Mât04 »)

Les graphiques suivants donnent respectivement les distributions de vitesses, les roses des vents et les intensités de turbulence pour les 3 hauteurs demandées : 10, 50 et 115 m.

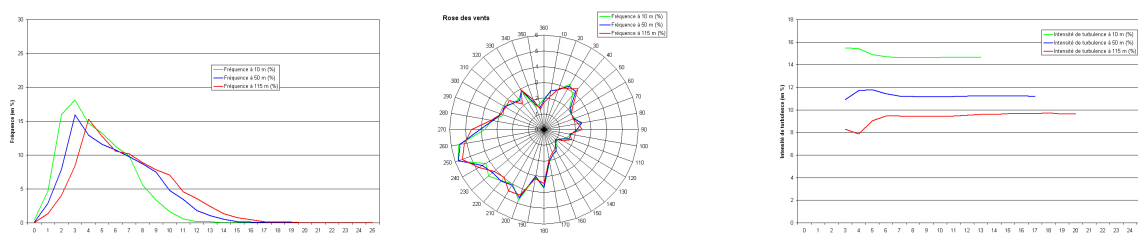


figure 20 : Distribution des vents, Roses des vents et intensités des turbulences à 10, 50 et 115 m (« Mât04 »).

Pour des vitesses comprises entre 3 et 25 m/s, l'intensité de turbulence vaut en moyenne 15.03, 11.33 et 9.05 %, respectivement pour les niveaux 10, 50 et 115 m.

### 3.2.2 « Wind Shear » et « Wind Veer » (« Mât01 »)

Le « Wind Shear » ou « cisaillement du vent » selon la verticale a été analysé à la position (195875, 149625), cf. « Mât01 ». Le graphique suivant montrent les gradients de vitesse de vent (en m/s) entre les niveaux 50 et 180 m en fonction de la vitesse du vent à 115 m.

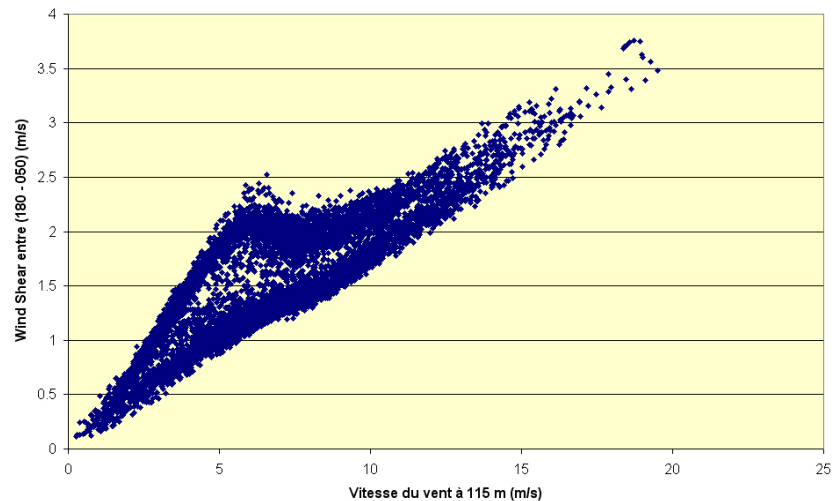


figure 21 : « Wind Shear » (m/s) entre 180 et 50 m en fonction de la vitesse du vent à 115 m (« Mât01 »).

Le « Wind Veer » ou « changement de direction du vent » selon la verticale a été analysé à la position (225250, 136750), cf. « Mât01 ». Le graphique suivant montrent les gradients de direction de vent (en degré) entre les niveaux 50 et 180 m en fonction de la vitesse du vent à 115 m.

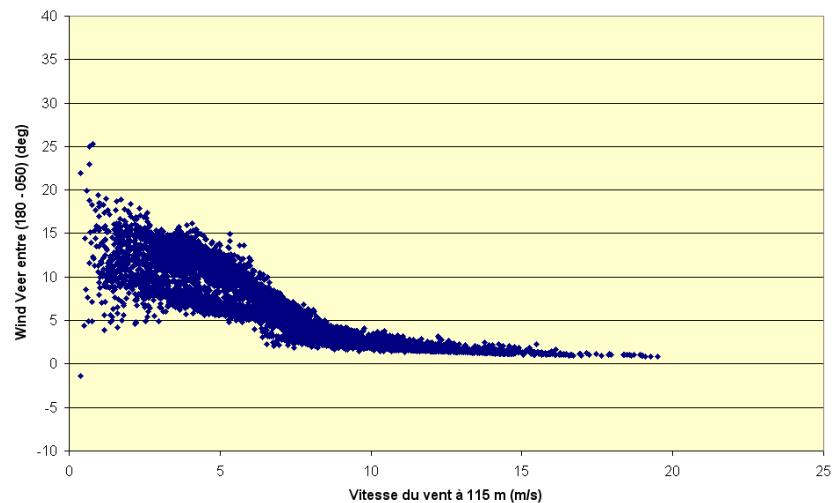


figure 22 : « Wind Veer » (deg) entre 180 et 50 m en fonction de la vitesse du vent à 115 m (« Mât01 »).

### 3.2.3 « Wind Distribution », « Wind Rose » & densité de l'air (« Mât01 »)

La « Wind Distribution » ou « fréquence des vents » selon la vitesse a été analysée à la position centrale du parc, cf. « Mât01 » (195875, 149625), à 115 m. Ces résultats sont donnés dans les graphes et tableau suivants.

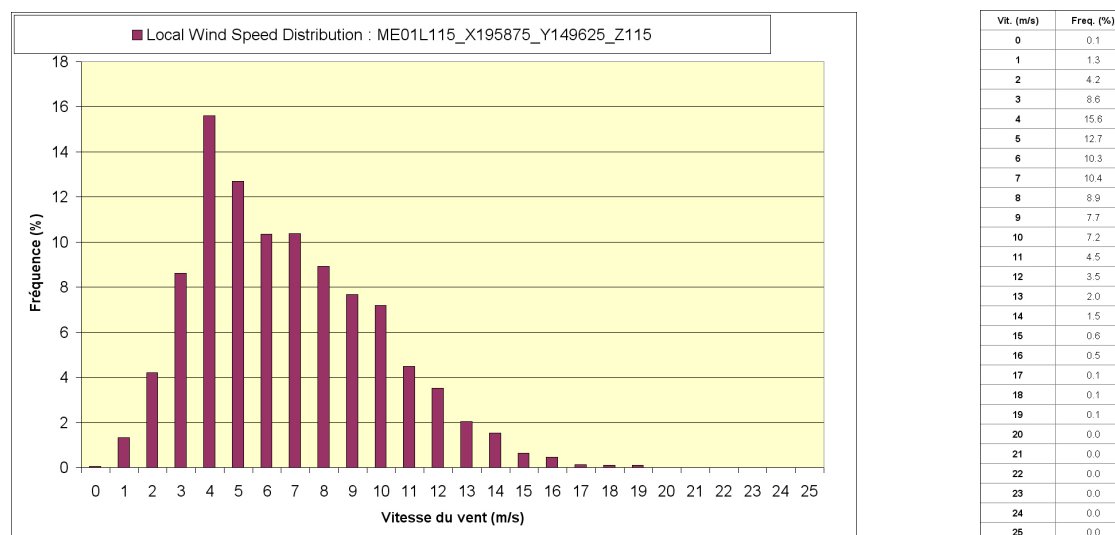


figure 23 : « Wind Distribution » à 115 m (« Mât01 »).

La « Wind Rose » ou « fréquence des vents » selon la direction a été analysée à la position (195875, 149625), cf. « Mât01 », à 115 m. Ces résultats sont donnés dans les graphes et tableau suivants.

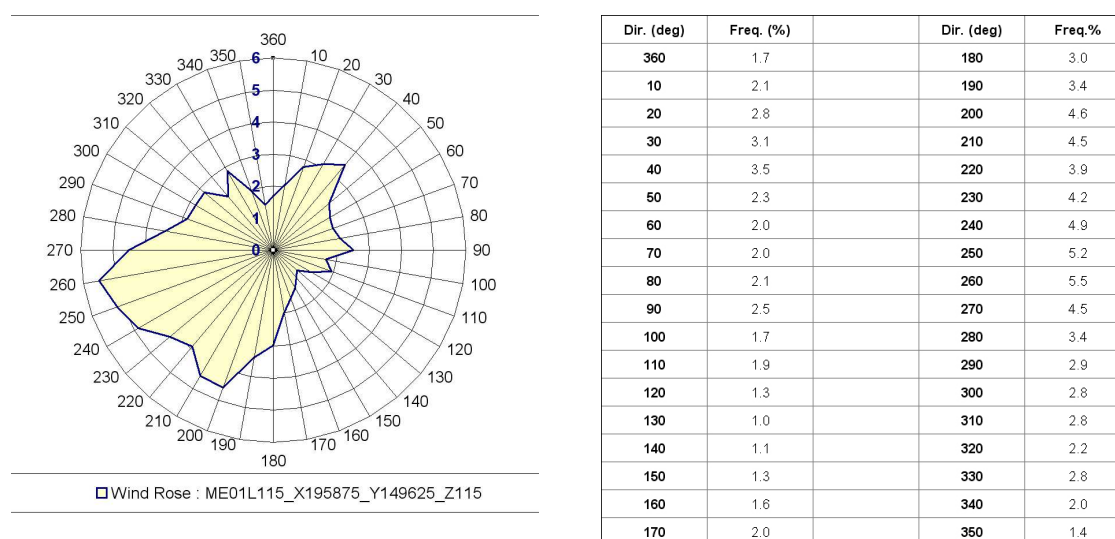


figure 24 : « Wind Rose » à 115 m (« Mât01 »).

La densité de l'air à 115 m du sol est comprise entre 1.121 et 1.311 kg/m<sup>3</sup> avec une moyenne annuelle de 1.213 kg/m<sup>3</sup>. On notera que les variations de densité sont prises en compte dans les calculs de productible ci-après.



### 3.3 Productibles Annuels Moyens à Long Terme

Les productibles estimés ci-après correspondent aux **productibles annuels moyens sur le long terme**, soit sur 30 ans (cf. année moyenne définie précédemment – 1983-2012). Il s'agit de productibles « bruts », c'est-à-dire sans pertes réseaux ni pertes d'indisponibilités.

Toutefois, les pertes liées aux effets de sillages ou d'interactions entre éoliennes du parc ont été calculées. De même, les impacts respectifs des bridages « sonore », « chauves-souris » et « ombrage » requis (voir paragraphe 2.6) ont également été calculés.

Nous aurons donc les estimations suivantes :

- productibles annuels moyens à long terme, bruts, sans bridage, sans et avec effets de parc (§ 3.3.1 et fiches de synthèse en annexe 3)
- productibles annuels moyens à long terme, bruts, avec bridage « sonore » uniquement, sans et avec effets de parc (§3.3.2)
- productibles annuels moyens à long terme, bruts, avec bridage « chauves-souris » uniquement, sans et avec effets de parc (§3.3.3)
- productibles annuels moyens à long terme, bruts, avec bridage « ombrage » uniquement, sans et avec effets de parc (§3.3.4)

Nous donnerons ensuite une synthèse des productibles et des pertes (§3.3.5). En ce qui concerne les pertes, nous donnerons, outre celles calculées dans le cadre des contraintes opérationnelles du parc (rappelées ci-dessus), celles relatives aux indisponibilités des machines (par exemple : arrêt maintenance, pannes, ...), aux pertes électriques / réseaux (par exemple : pertes de câble, transformation, connexion réseau, indisponibilité du réseau, ...), et aux pertes environnementales (par exemple : météo telle qu'elle impose l'arrêt des machines, ...). Ces dernières seront basées sur des hypothèses communément admises par le secteur.

### 3.3.1 Productibles estimés « sans bridages »

Les tableaux ci-dessous reprennent, par éolienne et pour le parc entier, les productibles annuels moyens à long terme « sans effet de parc » (SEP), les pertes liées aux effets de parc en (EP), les productibles annuels moyens à long terme « avec effet de parc » (AEP), ainsi que le nombre d'heures équivalent à pleine puissance ( $H_{eq.}$ ) aussi appelé taux de charge. Ces premiers résultats ne considèrent **aucun bridage**.

Pour la VESTAS V136STE 3450kW dont le rotor est à 112 m du sol, les résultats sont :

VESTAS V136STE 3450kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	$H_{eq.}$ (AEP) (h)
HWS01	12114713	-7.3	11236132	3257
HWS02	12177192	-10.1	10946125	3173
HWS03	12235170	-10.9	10903381	3160
HWS04	12326700	-8.6	11267953	3266
HWS05	12219135	-4.0	11732151	3401
HWS06	12274410	-7.8	11321557	3282
HWS07	12220092	-11.0	10877191	3153
HWS08	12232760	-8.0	11255300	3262
HWS09	12186650	-5.0	11574553	3355
HWS10	12328845	-4.3	11794012	3419
<b>PARC</b>	<b>122315666</b>	<b>-7.7</b>	<b>112908355</b>	<b>3273</b>

Pour la SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW dont le rotor est à 123 m du sol, les résultats sont :

SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	$H_{eq.}$ (AEP) (h)
HWS01	9099992	-5.6	8593541	3274
HWS02	9146713	-7.8	8432453	3212
HWS03	9189915	-8.5	8411623	3204
HWS04	9258034	-6.6	8643078	3293
HWS05	9177131	-3.1	8889577	3387
HWS06	9218195	-6.1	8659359	3299
HWS07	9179407	-8.6	8392740	3197
HWS08	9190243	-6.2	8618010	3283
HWS09	9155651	-4.0	8793320	3350
HWS10	9260234	-3.4	8943578	3407
<b>PARC</b>	<b>91875515</b>	<b>-6.0</b>	<b>86377279</b>	<b>3291</b>

Pour la SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW dont le rotor est à 114 m du sol, les résultats sont :

<b>SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW</b>	<b>SEP (kWh/an)</b>	<b>EP (%)</b>	<b>AEP (kWh/an)</b>	<b>H<sub>éq.</sub> (AEP) (h)</b>
HWS01	11735933	-7.0	10911652	3149
HWS02	11797680	-9.8	10640783	3071
HWS03	11855801	-10.6	10601655	3060
HWS04	11946929	-8.3	10955134	3162
HWS05	11839033	-3.8	11386855	3286
HWS06	11894170	-7.5	11003177	3176
HWS07	11841235	-10.6	10582406	3054
HWS08	11854686	-7.7	10936066	3156
HWS09	11807869	-4.8	11238826	3244
HWS10	11949514	-4.2	11450234	3305
<b>PARC</b>	<b>118522851</b>	<b>-7.4</b>	<b>109706789</b>	<b>3166</b>

### 3.3.2 Productibles estimés « avec bridage sonore »

Les tableaux ci-dessous reprennent, par éolienne et pour le parc entier, les productibles annuels moyens à long terme « sans effet de parc » (SEP), les pertes liées aux effets de parc en (EP), les productibles annuels moyens à long terme « avec effet de parc » (AEP), ainsi que le nombre d'heures équivalent à pleine puissance ( $H_{eq}$ ) aussi appelé taux de charge. Ces résultats considèrent le **bridage « sonore »** dont l'impact est donné en % pour les productibles SEP et AEP. Pour la lisibilité, les tableaux reprennent chaque éolienne étudiée. On notera toutefois que certaines situations sont identiques pour divers scénarii, soit parce que les bridages sont identiques, soit qu'il n'y a pas de bridage requis (voir § 2.6).

#### 3.3.2.1 Scenario « Conditions sectorielles »

Pour la VESTAS V136STE 3450 kW dont le rotor est à 112 m du sol, les résultats sont :

VESTAS V136STE 3450kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	$H_{eq}$ (AEP) (h)
HWS01	12114713	-7.3	11236132	3257
HWS02	12177192	-10.1	10946125	3173
HWS03	12235170	-10.9	10903381	3160
HWS04	12242377	-8.6	11192160	3244
HWS05	12206590	-4.0	11719726	3397
HWS06	12271091	-7.8	11318287	3281
HWS07	12220092	-11.0	10877191	3153
HWS08	12232760	-8.0	11255300	3262
HWS09	12184897	-5.0	11572844	3354
HWS10	12327116	-4.3	11792295	3418
<b>PARC</b>	<b>122211997</b>	<b>-7.7</b>	<b>112813441</b>	<b>3270</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-0.08		-0.08	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW dont le rotor est à 123 m du sol, les résultats sont :

SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	$H_{eq}$ (AEP) (h)
HWS01	9099992	-5.6	8593541	3274
HWS02	9146713	-7.8	8432453	3212
HWS03	9189915	-8.5	8411623	3204
HWS04	9172709	-6.6	8564800	3263
HWS05	9170837	-3.1	8883479	3384
HWS06	9214565	-6.1	8655830	3297
HWS07	9179407	-8.6	8392740	3197
HWS08	9190243	-6.2	8618010	3283
HWS09	9155651	-4.0	8793320	3350
HWS10	9260234	-3.4	8943578	3407
<b>PARC</b>	<b>91780265</b>	<b>-6.0</b>	<b>86289375</b>	<b>3287</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-0.10		-0.10	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW dont le rotor est à 114 m du sol, les résultats sont :

<b>SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW</b>	<b>SEP (kWh/an)</b>	<b>EP (%)</b>	<b>AEP (kWh/an)</b>	<b>H<sub>éq.</sub> (AEP) (h)</b>
HWS01	11721845	-7.0	10899328	3146
HWS02	11797680	-9.8	10640783	3071
HWS03	11855801	-10.6	10601655	3060
HWS04	11622027	-8.3	10659032	3076
HWS05	11808304	-3.8	11357777	3278
HWS06	11870444	-7.5	10980970	3169
HWS07	11841235	-10.6	10582406	3054
HWS08	11854686	-7.7	10936066	3156
HWS09	11807869	-4.8	11238826	3244
HWS10	11930828	-4.2	11432297	3299
<b>PARC</b>	<b>118110720</b>	<b>-7.4</b>	<b>109329142</b>	<b>3155</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-0.35		-0.34	



### 3.3.2.2 Scenario « Conditions générales »

Pour la VESTAS V136STE 3450 kW dont le rotor est à 112 m du sol, les résultats sont :

VESTAS V136STE 3450 kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	H <sub>eq.</sub> (AEP) (h)
HWS01	12114713	-7.3	11236132	3257
HWS02	12177192	-10.1	10946125	3173
HWS03	12188750	-10.9	10864261	3149
HWS04	10854196	-8.4	9944665	2883
HWS05	11906369	-4.0	11431744	3314
HWS06	12190000	-7.7	11247689	3260
HWS07	12220092	-11.0	10877191	3153
HWS08	12149054	-8.0	11178444	3240
HWS09	12140952	-5.0	11529983	3342
HWS10	12328845	-4.3	11794012	3419
<b>PARC</b>	<b>120270162</b>	<b>-7.7</b>	<b>111050247</b>	<b>3219</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-1.67		-1.65	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW dont le rotor est à 123 m du sol, les résultats sont :

SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	H <sub>eq.</sub> (AEP) (h)
HWS01	9099992	-5.6	8593541	3274
HWS02	9146713	-7.8	8432453	3212
HWS03	9105040	-8.4	8337695	3176
HWS04	8505971	-6.5	7951745	3029
HWS05	9093251	-3.1	8808589	3356
HWS06	9133562	-6.0	8582800	3270
HWS07	9179407	-8.6	8392740	3197
HWS08	9105723	-6.2	8539208	3253
HWS09	9155651	-4.0	8793320	3350
HWS10	9260234	-3.4	8943578	3407
<b>PARC</b>	<b>90785544</b>	<b>-6.0</b>	<b>85375669</b>	<b>3252</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-1.19		-1.16	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW dont le rotor est à 114 m du sol, les résultats sont :

SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW	SEP (kWh/an)	EP (%)	AEP (kWh/an)	H <sub>eq.</sub> (AEP) (h)
HWS01	11201779	-6.8	10439357	3013
HWS02	11257252	-9.6	10178882	2938
HWS03	11307804	-10.4	10129704	2923
HWS04	11395991	-8.3	10455538	3017
HWS05	11295276	-3.8	10866108	3136
HWS06	11346670	-7.4	10509459	3033
HWS07	11297242	-10.5	10111547	2918
HWS08	11309042	-7.7	10432973	3011
HWS09	11807869	-4.8	11238826	3244
HWS10	11398869	-4.3	10912760	3149
<b>PARC</b>	<b>113617793</b>	<b>-7.3</b>	<b>105275154</b>	<b>3038</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-4.14		-4.04	

### 3.3.3 Productibles estimés « avec bridage chauves-souris »

Les tableaux ci-dessous reprennent, par éolienne et pour le parc entier, les productibles annuels moyens à long terme « sans effet de parc » (SEP), les pertes liées aux effets de parc en (EP), les productibles annuels moyens à long terme « avec effet de parc » (AEP), ainsi que le nombre d'heures équivalent à pleine puissance ( $H_{eq.}$ ) aussi appelé taux de charge. Ces résultats considèrent le **bridage « chauves-souris »** dont l'impact est donné en % pour les productibles SEP et AEP.

Pour la VESTAS V136STE 3450 kW dont le rotor est à 112 m du sol, les résultats sont :

<b>VESTAS V136STE 3450 kW</b>	<b>SEP (kWh/an)</b>	<b>EP (%)</b>	<b>AEP (kWh/an)</b>	<b><math>H_{eq.}</math> (AEP) (h)</b>
HWS01	11914128	-7.2	11058239	3205
HWS02	11973608	-10.0	10781778	3125
HWS03	12029705	-10.7	10740341	3113
HWS04	12118993	-8.4	11102288	3218
HWS05	12014452	-3.8	11552141	3348
HWS06	12067902	-7.5	11162615	3236
HWS07	12013687	-10.7	10725269	3109
HWS08	12025796	-7.7	11094163	3216
HWS09	11983011	-4.7	11423094	3311
HWS10	12119786	-4.1	11626707	3370
<b>PARC</b>	<b>120261068</b>	<b>-7.5</b>	<b>111266634</b>	<b>3225</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-1.68		-1.45	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW dont le rotor est à 123 m du sol, les résultats sont :

<b>SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW</b>	<b>SEP (kWh/an)</b>	<b>EP (%)</b>	<b>AEP (kWh/an)</b>	<b><math>H_{eq.}</math> (AEP) (h)</b>
HWS01	8950064	-5.5	8457419	3222
HWS02	8995556	-7.7	8304325	3164
HWS03	9039476	-8.3	8286641	3157
HWS04	9106945	-6.5	8517609	3245
HWS05	9026181	-3.0	8753545	3335
HWS06	9065375	-5.8	8535073	3251
HWS07	9027783	-8.4	8273274	3152
HWS08	9041456	-6.0	8496029	3237
HWS09	9002393	-3.7	8671180	3303
HWS10	9112005	-3.2	8818825	3360
<b>PARC</b>	<b>90367233</b>	<b>-5.8</b>	<b>85113918</b>	<b>3242</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-1.64		-1.46	

Pour la SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW dont le rotor est à 114 m du sol, les résultats sont :

<b>SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW</b>	<b>SEP (kWh/an)</b>	<b>EP (%)</b>	<b>AEP (kWh/an)</b>	<b>H<sub>éq.</sub> (AEP) (h)</b>
HWS01	11552527	-7.0	10748798	3102
HWS02	11612296	-9.7	10490678	3028
HWS03	11669477	-10.4	10453704	3017
HWS04	11760135	-8.1	10807010	3119
HWS05	11652770	-3.7	11223061	3239
HWS06	11706834	-7.2	10859460	3134
HWS07	11653431	-10.4	10444008	3014
HWS08	11666769	-7.5	10789827	3114
HWS09	11621957	-4.5	11100586	3204
HWS10	11760891	-3.9	11298839	3261
<b>PARC</b>	<b>116657085</b>	<b>-7.2</b>	<b>108215972</b>	<b>3123</b>
<b>Impact bridage (%)</b>	-1.57		-1.36	

### 3.3.4 Productibles estimés « avec bridage ombrage »

Comme expliqué plus avant, il n'y a pas de bridage requis en ce qui concerne les aspects « ombrages » (voir § 2.6).

### 3.3.5 Synthèse « Productibles » et « pertes »

Les synthèses ci-dessous reprennent les **productibles annuels moyen à long terme** (base 30 ans) du parc pour les différents modèles d'éoliennes et scénarii étudiés.

Les divers tableaux reprennent les pertes calculées et liées aux contraintes d'exploitation du parc, ainsi que les autres pertes liées aux indisponibilités, aux pertes électriques et à la connexion réseau, et aux conditions environnementales. Ces dernières sont basées sur des hypothèses communément admises dans le secteur.

<b>SCENARIO</b> <b>« Conditions sectorielles »</b>	<b>Unités</b>	<b>VESTAS</b> <b>V136 @ 112 m</b> <b>(3450 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG114 @ 123 m</b> <b>(2625 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG132 @ 114m</b> <b>(3465 kW)</b>
<b>PRODUCTIBLE « BRUT »</b>	<b>kWh/an</b>	<b>122315666</b>	<b>91875515</b>	<b>118522851</b>
<b>Pertes d'exploitation (calculées)</b>				
PERTES « EFFET DE PARC »	%	-7.7	-6.0	-7.4
PERTES « BRIDAGE SONORE »	%	-0.08	-0.10	-0.35
PERTES « BRIDAGE CHAUVES-SOURIS »	%	-1.68	-1.64	-1.57
PERTES « BRIDAGE OMBRAGE »	%	0.00	0.00	0.00
PERTES « TOTALES »	%	-9.11	-7.46	-9.00
<b>PRODUCTIBLE AVEC :</b> « EFFET DE PARC » « BRIDAGE SONORE » « BRIDAGE CHAUVES-SOURIS » « BRIDAGE OMBRAGE »	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <b>(Héq.)</b>	<b>111171737</b> <b>(3222)</b>	<b>85026034</b> <b>(3239)</b>	<b>107853088</b> <b>(3113)</b>
<b>Autres pertes (hypothèses)</b>				
PERTES « INDISPONIBILITES »	%	-3.00	-3.00	-3.00
PERTES « ELECTRIQUES/RESEAU »	%	-2.00	-2.00	-2.00
PERTES « ENVIRONNEMENTALES »	%	-0.50	-0.50	-0.50
<b>PRODUCTIBLE « NET »</b>	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <b>(Héq.)</b>	<b>105057291</b> <b>(3045)</b>	<b>80349602</b> <b>(3061)</b>	<b>101921168</b> <b>(2941)</b>



<b>SCENARIO</b> <b>« Conditions générales »</b>	<b>Unités</b>	<b>VESTAS</b> <b>V136 @ 112 m</b> <b>(3450 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG114 @ 123 m</b> <b>(2625 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG132 @ 114m</b> <b>(3465 kW)</b>
<b>PRODUCTIBLE « BRUT »</b>	<b>kWh/an</b>	<b>122315666</b>	<b>91875515</b>	<b>118522851</b>
<b>Pertes d'exploitation (calculées)</b>				
PERTES « <b>EFFET DE PARC</b> »	%	<b>-7.7</b>	<b>-6.0</b>	<b>-7.4</b>
PERTES « <b>BRIDAGE SONORE</b> »	%	-1.67	-1.19	-4.14
PERTES « <b>BRIDAGE CHAUVES-SOURIS</b> »	%	-1.68	-1.64	-1.57
PERTES « <b>BRIDAGE OMBRAGE</b> »	%	0.00	0.00	0.00
PERTES « <b>TOTALES</b> »	%	<b>-10.55</b>	<b>-8.45</b>	<b>-12.38</b>
<b>PRODUCTIBLE AVEC :</b> « <b>EFFET DE PARC</b> » « <b>BRIDAGE SONORE</b> » « <b>BRIDAGE CHAUVES-SOURIS</b> » « <b>BRIDAGE OMBRAGE</b> »	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <i>(Hég.)</i>	<b>109412341</b> <i>(3171)</i>	<b>84114145</b> <i>(3204)</i>	<b>103848398</b> <i>(2997)</i>
<b>Autres pertes (hypothèses)</b>				
PERTES « <b>INDISPONIBILITES</b> »	%	-3.00	-3.00	-3.00
PERTES « <b>ELECTRIQUES/RESEAU</b> »	%	-2.00	-2.00	-2.00
PERTES « <b>ENVIRONNEMENTALES</b> »	%	-0.50	-0.50	-0.50
<b>PRODUCTIBLE « NET »</b>	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <i>(Hég.)</i>	<b>103394662</b> <i>(2997)</i>	<b>79487867</b> <i>(3028)</i>	<b>98136736</b> <i>(2832)</i>



### 3.4 Analyses des interactions avec les parcs voisins

Afin d'analyser l'impact du parc en projet sur les parcs voisins (en exploitation, projeté ou autorisé), plusieurs simulations ont été réalisées :

- 1- parcs projetés (ELICIO & LUMINUS) (résultats pour le parc ELICIO)
- 2- parcs voisins seuls
- 3- parcs projetés (ELICIO & LUMINUS) et parcs voisins

Les parcs voisins du parc en projet sont repris dans la table ci-dessous :

#		Développeur / Exploitant	Statut	Localisation	Nb d'éoliennes	Modèle d'éolienne
1	VLP	Gestamp	autorisé	Villers-le-Peuplier	9	NORDEX N117 2400 kW @ 91.5 m
2	E40A	Greensky	exploité	E40	9	VESTAS V100 2000 kW @ 100 m
3	E40B	Greensky	projet	E40	9	VESTAS V100 2000 kW @ 100 m (hypothèse de travail)
4	E40C	Greensky	exploité	E40	7	VESTAS V100 2000 kW @ 100 m
5	BNF	ENECO	autorisé	Boneffe	9	SENVION M104 2400 kW @ 98 m (hypothèse de travail)

Le graphique ci-dessous montre les positions relatives des divers parcs.

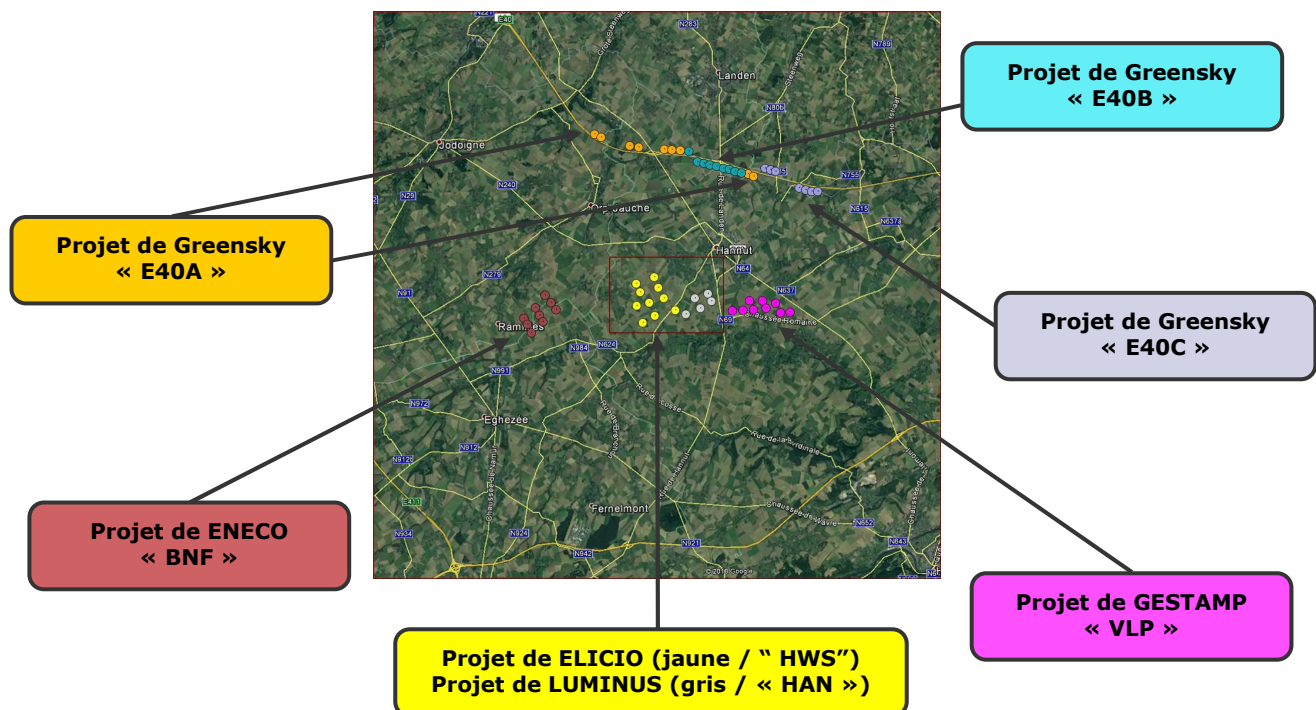


figure 24 : Disposition des parcs voisins du parc projeté. (fond de plan : extrait de Google Earth / 30 x 30 km<sup>2</sup>)

Pour l'évaluation des impacts, il est à noter que seuls les effets de sillage ont été considérés. Les bridages « sonores », « chauves-souris » et « ombrage » n'ont donc pas été considérés dans la présente évaluation. Les évaluations ont été réalisées pour les divers modèles étudiés pour le parc en projet.

<b>Impact des parcs voisins sur le « parc en projet (ELICIO) »</b>	<b>Unités</b>	<b>VESTAS V136 @ 112 m (3450 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA SG114 @ 123 m (2625 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA SG132 @ 114m (3465 kW)</b>
<b>PRODUCTIBLE du parc en projet si « parc seul » (avec prise en compte des effets de parc ELICIO+LUMINUS)</b>	<b>kWh/an</b>	112908355	86377279	109706789
<b>PERTES</b> liées à la « présence des parcs voisins »	<b>%</b>	-1.13	-1.16	-1.16
<b>PRODUCTIBLE du parc en projet si « avec les parcs voisins » (avec prise en compte des effets de parc)</b>	<b>kWh/an</b>	111628016	85371599	108438672

<b>Impact du « parc en projet (ELICIO + LUMINUS) » sur les parcs voisins</b>	<b>Unités</b>	<b>VESTAS V136 @ 112 m (3450 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA SG114 @ 123 m (2625 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA SG132 @ 114m (3465 kW)</b>
<b>PERTES</b> liées à la « présence du parc en projet » (avec prise en compte des effets de parc)				
<b>VLP</b>	<b>%</b>	-2.12	-1.56	-2.02
<b>E40A</b>	<b>%</b>	-0.46	-0.32	-0.43
<b>E40B</b>	<b>%</b>	-0.80	-0.57	-0.76
<b>E40C</b>	<b>%</b>	-0.63	-0.44	-0.59
<b>BNF</b>	<b>%</b>	-0.47	-0.34	-0.44

L'impact des parcs voisins sur le parc en projet est de ~1.2 % quel que soit le modèle utilisé. L'impact du parc en projet sur les parcs voisins reste inférieur au pourcent quel que soit le modèle utilisé pour le parc en projet, sauf pour le parc directement à proximité (VLP) pour lequel il peut atteindre ~ 2.1 %.

## 4 CONCLUSIONS

La société ELICIO a confié à ATM-PRO une étude de potentiel éolien pour son projet de 10 éoliennes à Hannut/Wasseiges. Le présent rapport complète le rapport principal en apportant les éléments d'analyses relatives à la prise en compte de la présence d'un parc voisin de 5 éoliennes (LUMINUS). En particulier, les **contraintes de bridages ont été adaptées** (cf. instructions fournies par le bureau SERTIUS) et les résultats de productibles tenant compte de ceux-ci également.

En ce qui concerne cette mission, nous avons utilisé les données météorologiques provenant des **ré-analyses du centre européen** de prévision à moyen terme (« ERA-Interim »), fournies sur base 3-horaire pour les données de surface, et ce, à la résolution des modèles globaux, soit 0.75 degré, c'est-à-dire à une **échelle compatible avec l'échelle synoptique** et donc avec les stations utilisées habituellement comme référence pour piloter MAESTRO Wind. Les caractéristiques de surface proviennent quant à elles des BDs « Corine Land Cover 2006 » pour ce qui concerne l'occupation des sols et des BDs « SRTM » pour ce qui concerne le relief.

Afin de calculer le productible annuel moyen sur le long terme du parc, nous avons analysé 30 ans de données météorologiques (1983-2012) afin de déterminer une année climatologique moyenne représentative de ces 30 ans. Le modèle météorologique MAESTRO Wind a ensuite calculé sur base horaire, la météorologie 3D locale dans un domaine de calcul englobant le parc projeté.

Les résultats ont été analysés afin d'étudier :

- les aspects météorologiques locaux (distribution des vitesses de vent, rose des vents, intensité des turbulences, « wind shear » et « wind veer »)
- le productible annuel moyen long terme dans la zone du parc (cartographie de productible) pour les différents modèles d'éoliennes envisagés : VESTAS V136STE à 112 m, SIEMENS-GAMESA SG114 à 123 m et SIEMENS-GAMESA SG132 à 114 m.
- les productibles annuels moyens long terme pour chaque éolienne et pour le parc « sans » effets de parc,
- les pertes liées aux effets de parc,
- les pertes liées au bridage « sonore »,
- les pertes liées au bridage « chauves-souris »,
- les pertes liées au bridage « ombrage »,
- les productibles annuels moyens long terme considérant les pertes liées aux effets de parc, au bridage « sonore », au bridage « chauves-souris » et au bridage « ombrage »

Les autres pertes (indisponibilité, électriques/réseaux et environnement) appliquées sont basées sur des hypothèses communément admises par le secteur.

Plusieurs scénarii de bridages « sonore » ont été étudiés. Nous donnons ci-dessous la synthèse reprenant les **productibles annuels moyen à long terme** (base 30 ans) du parc pour les différents modèles d'éoliennes dans le scénario « Conditions sectorielles ».

<b>SCENARIO</b> <b>« Conditions sectorielles »</b>	<b>Unités</b>	<b>VESTAS</b> <b>V136 @ 112 m</b> <b>(3450 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG114 @ 123 m</b> <b>(2625 kW)</b>	<b>SIEMENS-GAMESA</b> <b>SG132 @ 114m</b> <b>(3465 kW)</b>
<b>PRODUCTIBLE « BRUT »</b>	<b>kWh/an</b>	<b>122315666</b>	<b>91875515</b>	<b>118522851</b>
<b>Pertes d'exploitation (calculées)</b>				
PERTES « <b>EFFET DE PARC</b> »	%	<b>-7.7</b>	<b>-6.0</b>	<b>-7.4</b>
PERTES « <b>BRIDAGE SONORE</b> »	%	-0.08	-0.10	-0.35
PERTES « <b>BRIDAGE CHAUVES-SOURIS</b> »	%	-1.68	-1.64	-1.57
PERTES « <b>BRIDAGE OMBRAGE</b> »	%	0.00	0.00	0.00
PERTES « <b>TOTALES</b> »	%	<b>-9.11</b>	<b>-7.46</b>	<b>-9.00</b>
<b>PRODUCTIBLE AVEC :</b> « <b>EFFET DE PARC</b> » « <b>BRIDAGE SONORE</b> » « <b>BRIDAGE CHAUVES-SOURIS</b> » « <b>BRIDAGE OMBRAGE</b> »	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <b>(Héq.)</b>	<b>111171737</b> <b>(3222)</b>	<b>85026034</b> <b>(3239)</b>	<b>107853088</b> <b>(3113)</b>
<b>Autres pertes (hypothèses)</b>				
PERTES « <b>INDISPONIBILITES</b> »	%	-3.00	-3.00	-3.00
PERTES « <b>ELECTRIQUES/RESEAU</b> »	%	-2.00	-2.00	-2.00
PERTES « <b>ENVIRONNEMENTALES</b> »	%	-0.50	-0.50	-0.50
<b>PRODUCTIBLE « NET »</b>	<b>KWh/a</b> <b>n</b> <b>(Héq.)</b>	<b>105057291</b> <b>(3045)</b>	<b>80349602</b> <b>(3061)</b>	<b>101921168</b> <b>(2941)</b>

Enfin, ne considérant que les effets de parc dans les estimations, l'impact des parcs voisins sur le parc en projet est de ~1.2 % quel que soit le modèle utilisé pour le parc en projet. L'impact du parc en projet sur les parcs voisins reste inférieur au pourcent quel que soit le modèle utilisé pour le parc en projet, sauf pour le parc directement à proximité (VLP) pour lequel il peut atteindre ~ 2.1 %.

## 5 ANNEXES

Les annexes comprennent :

- les courbes de puissance des éoliennes étudiées
- les synthèses météorologiques locales
- les résultats de production sans bridage



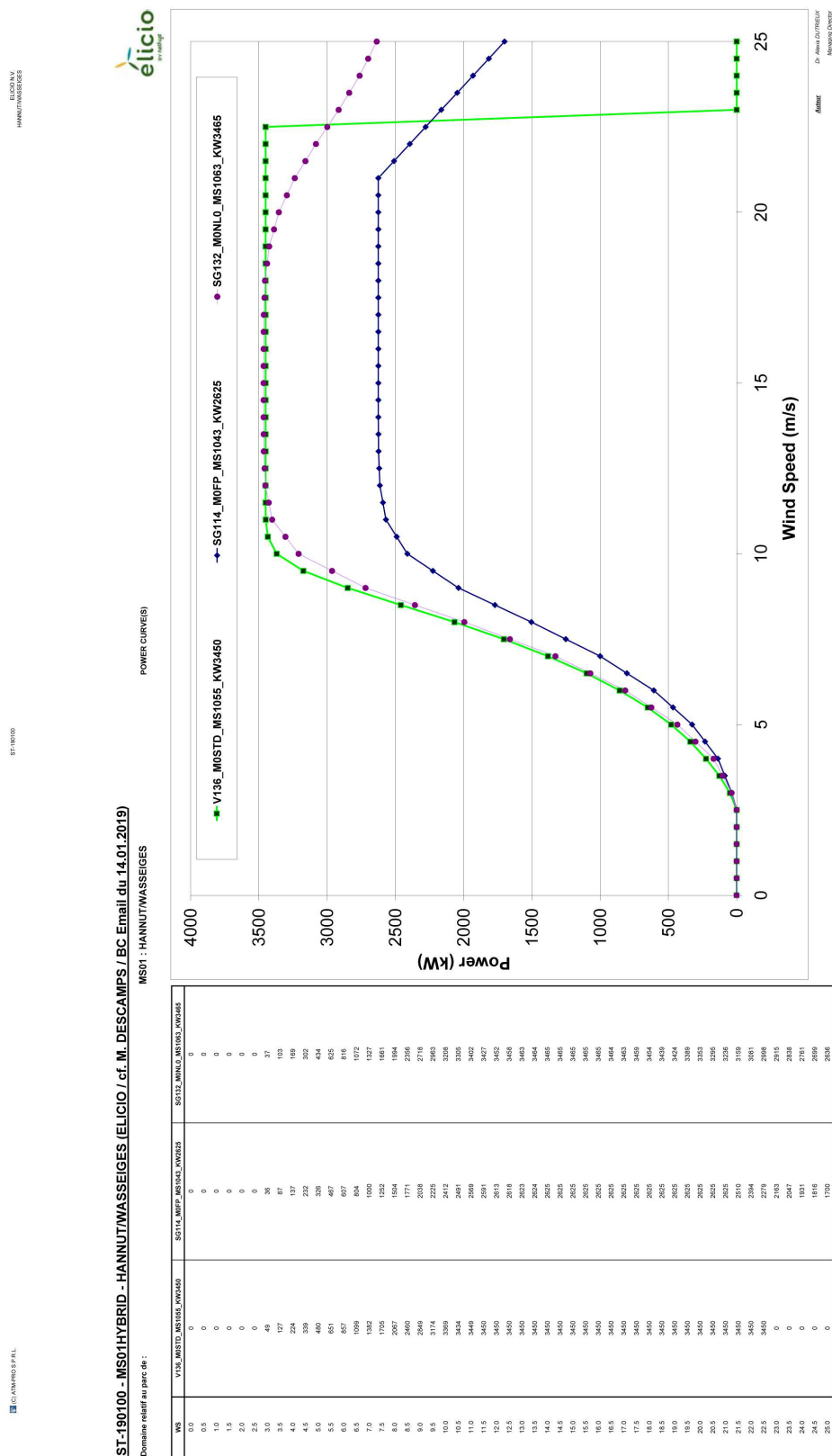
## ***5.1 Annexe 1 : Courbes de puissance des éoliennes***

Les courbes de puissance utilisées dans l'étude sont reprises ci-après :

- 1- courbes de puissances sans bridages
- 2- variantes avec bridage pour l'éolienne VESTAS V136 STE 3450 kW
- 3- variantes avec bridage pour l'éolienne SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW
- 4- variantes avec bridage pour l'éolienne SIEMENS-GAMESA SG132 3465kW

## 5.1.1 Annexe 1.1 : Sans Bridage





## 5.1.2 Annexe 1.2 : VESTAS V136 STE 3450 kW – variantes avec bridage



REDACTED

ST-190100

ST-190100

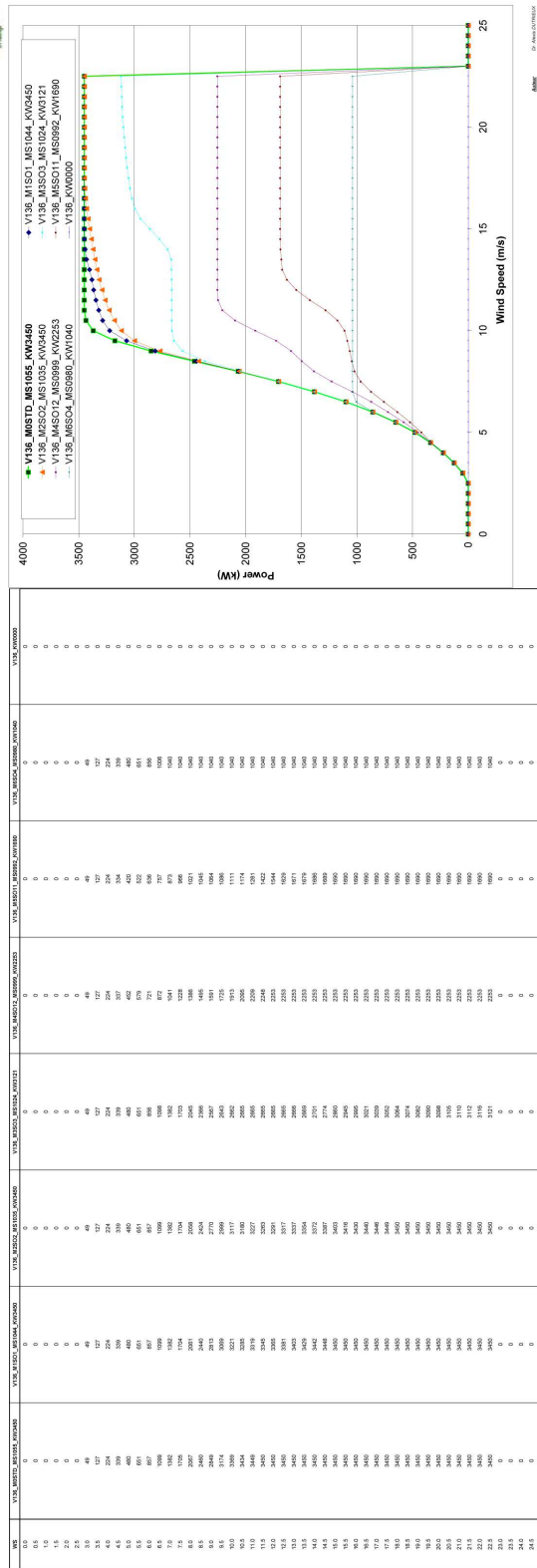


POWER CURVES

MS01 : HANNUT/WASSEIGES

ST-190100 - MS01HYBRID - HANNUT/WASSEIGES (ELICIO / cf. M. DESCAMPS - BC Email du 14.01.2019)

Domaine révisé en part de :



Atmosphere

Boundary Condition

REDACTED

11/08/2019

ATM-PRO s.p.r.l.  
Rue Saint-André, 5-7,  
BE-1400 Nivelles

### 5.1.3 Annexe 1.3 : SIEMENS-GAMESA SG114 2625 kW – variantes avec bridage





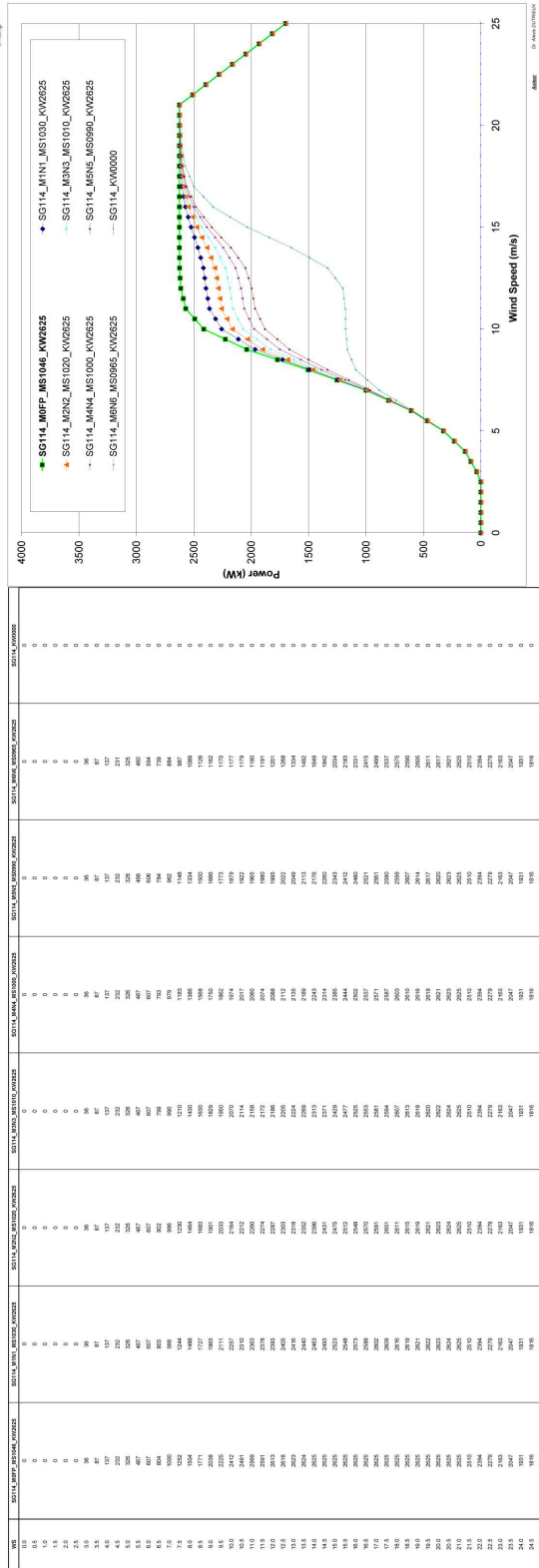
RELATIVES  
HANNUT/WASSEIGESELICIO  
HANNUT/WASSEIGES

ST-190100 - MS01HYBRID - HANNUT/WASSEIGES (ELICIO / cf. M. DESCAMPS - BC Email du 14.01.2019)

Domaine révisé en part de :

MS01 : HANNUT/WASSEIGES

POWER CURVES

elicio  
HANNUT/WASSEIGES

11/08/2018

HANNUT/WASSEIGES - ELICIO (HANNUT/WASSEIGES) - MFP, M22, M3N3, M4N4, M6N6, KW0000, KW02625

## 5.1.4 Annexe 1.4 : SIEMENS-GAMESA SG132 3465 kW – variantes avec bridage



ELICIO V10  
HANNUT/WASSEIGES

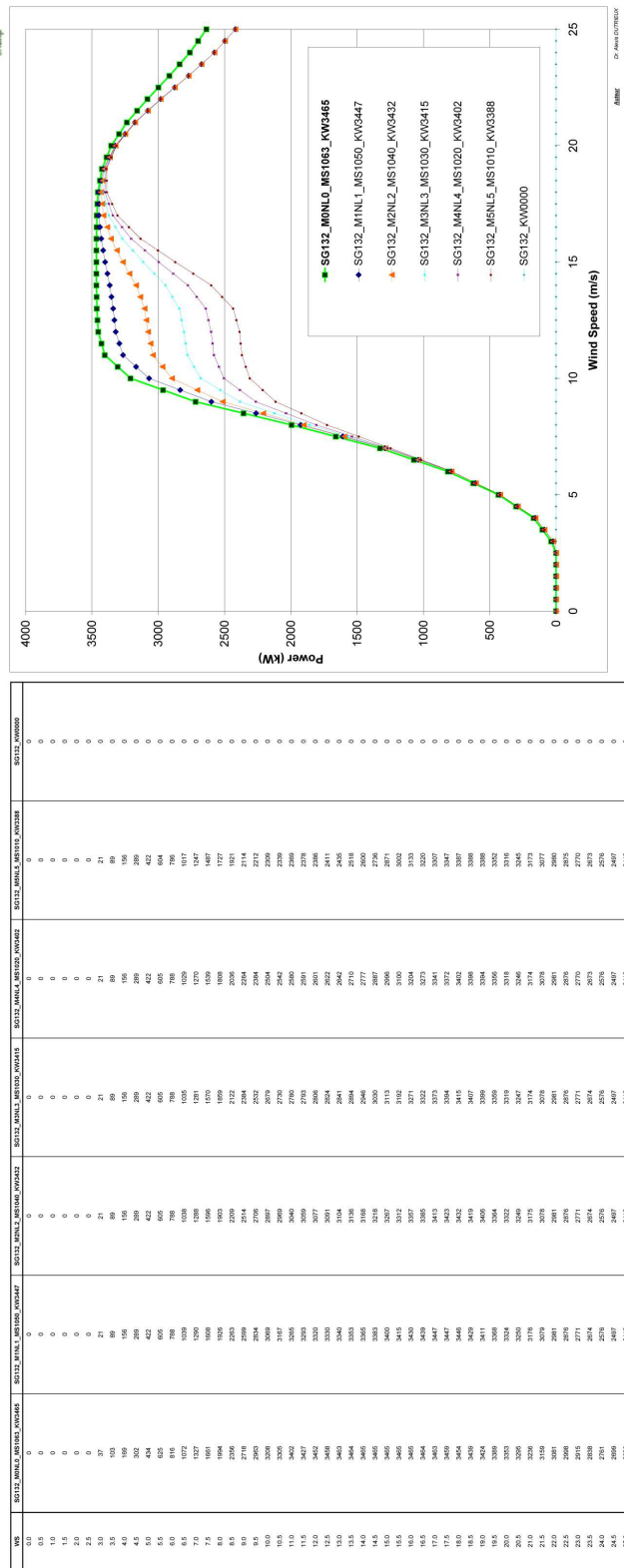
ST 190100

B.C. DES CAMPS S.P.A.

MS01 : HANNUT/WASSEIGES  
POWER CURVES)

ST-190100 - MS01HYBRID - HANNUT/WASSEIGES (ELICIO / cf. M. DESCAMPS / BC Email du 14.01.2019)

Données relatives au parc de :

ELICIO V10  
HANNUT/WASSEIGES  
POWER CURVES (kW)

11/08/2018

ATM-PRO s.p.r.l.  
Rue Saint-André, 5-7,  
BE-1400 Nivelles

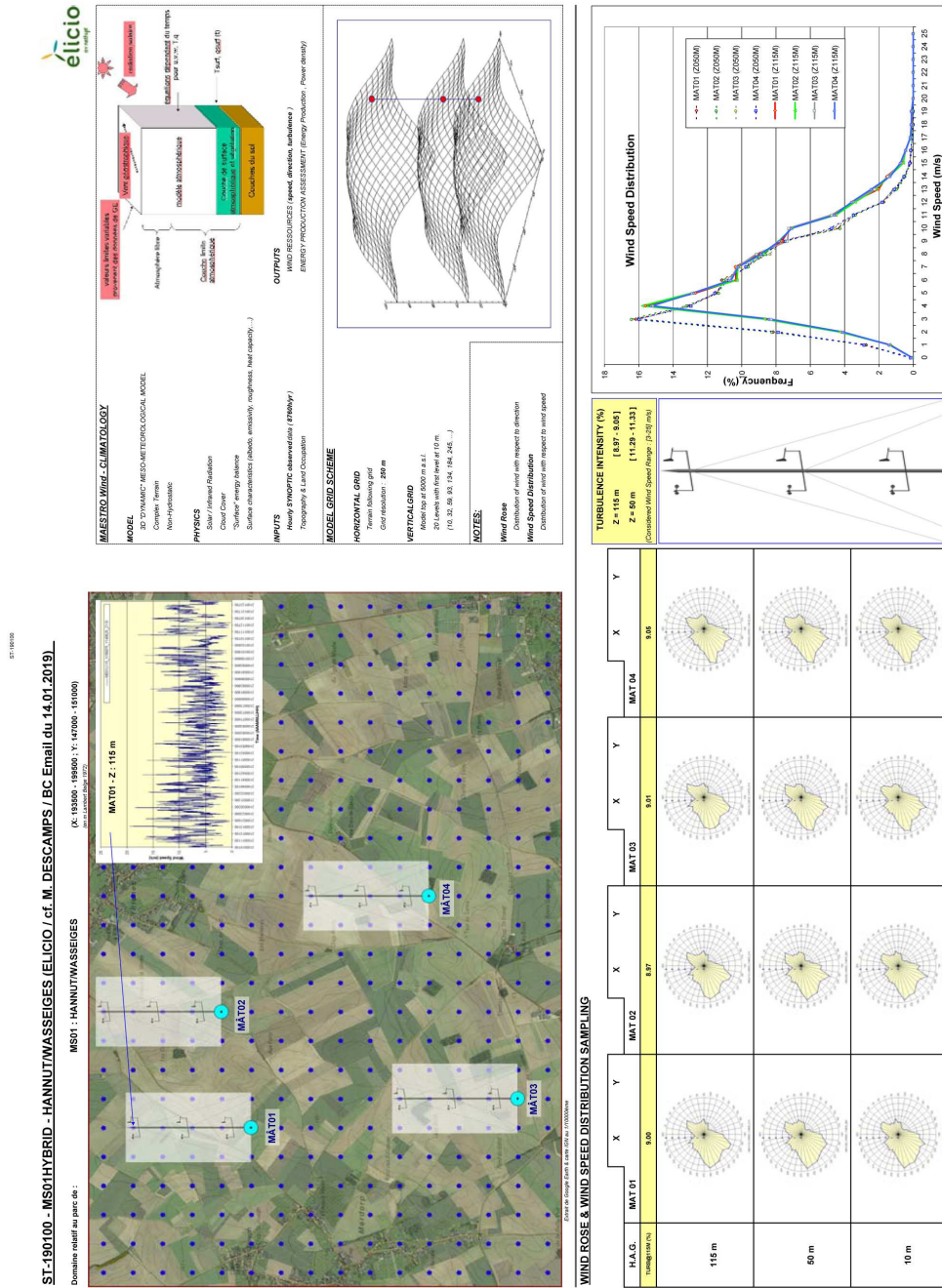
## ***5.2 Annexe 2 : Synthèses météorologiques***

Il s'agit de :

- la synthèse globale donnant les roses des vents, les distributions de vitesses, l'estimation de l'intensité des turbulences en 4 positions et 3 hauteurs,
- la synthèse reprenant en la position centrale du parc (première position dans la synthèse globale) les représentations des « wind shear » et « wind veer » entre les niveaux 50 m et 150 m,
- la synthèse reprenant les roses des vents et distributions des vitesses en la position centrale du parc (première position dans la synthèse globale) à 100 m.

## 5.2.1 Annexe 2.1 : Synthèse météorologique







## 5.2.2 Annexe 2.2 : « Wind Shear » / « Wind Veer » au niveau du « mât 01 »



### Définitions:

## Wind Shear :

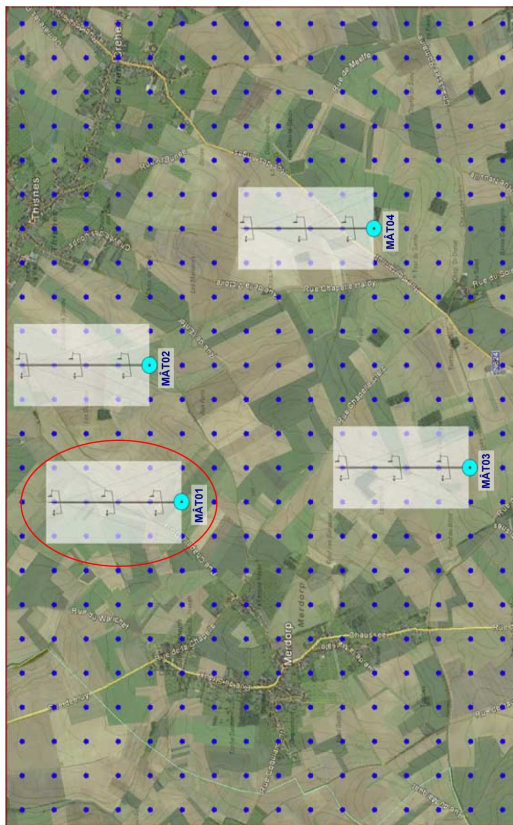
**Wind shear :** Wind speed gradient between top and bottom of the rotor expressed as a function of the wind speed at hub height.

**Wind Veer:**

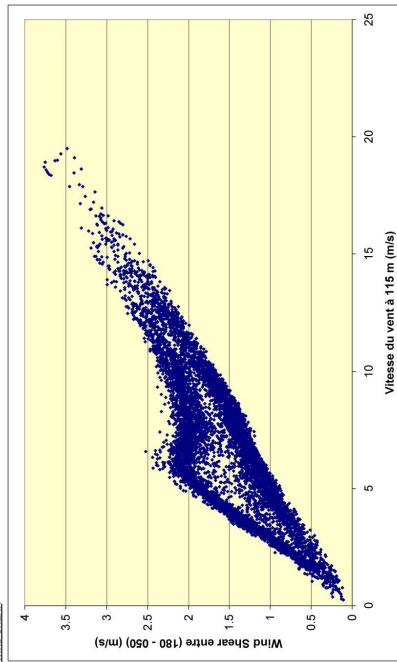
Wind direction gradient between top and bottom of the rotor expressed as a function of the wind speed at hub height.

Note(s):

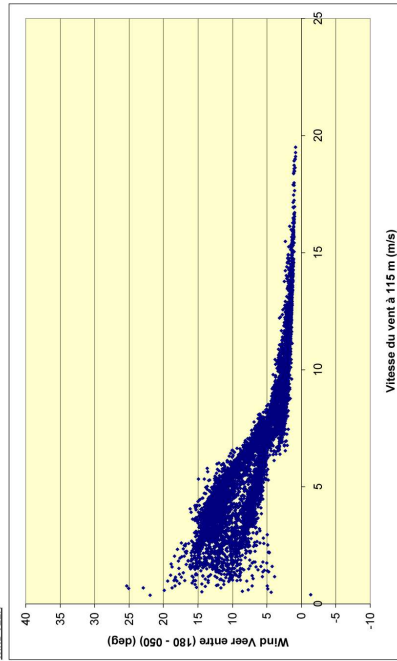
- 1) L'analyse a été réalisée à la position **X : 149275** ; **Y : 149229** en Lambert Belge BE72
- 2) La hauteur de référence est de 115 m
- 3) Les gradients sont calculés entre les niveaux 180 et 50 m, et représentés en fonction de la vitesse à 115 m.
- 4) La densité de l'air à 125 m varie de 1,121 à 1,311, avec une moyenne de 1,213 (en kg/m<sup>3</sup>)



## WIND SHEAR

[illegible]

## WIND VEER



**Author**  
Dr. ANNE DUTREUX  
Managing Director

E:\ATM-PRO - Customer\2019\ST-190100 - ELICO (DESCAMPS - HANNUT)\RESULTS\ST-190100\_190915\_01\_MSD1\_IVV\_ERAZO\_V01.48  
SHEAP\_VEER\_METPOINT

### 5.2.3 Annexe 2.3 : « Wind Distribution / « Wind Rose » (« mât 01 »)



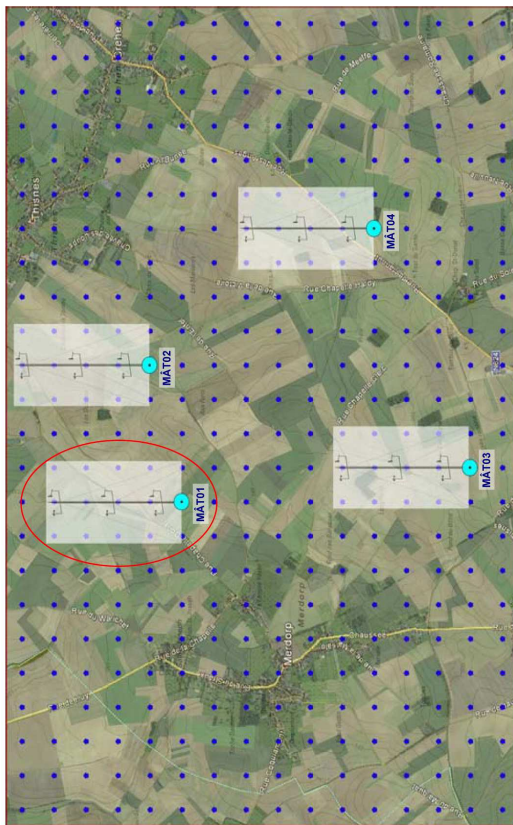
**ST-190100 - MS01HYBRID - HANNUT/WASSEIGES (ELICIO / cf. M. DESCAMPS / BC Email du 14.01.2019)**

Domaine relatif au parc de :

MS01 : HANNUT/WASSEIGES

(X: 193500 - 199500 ; Y: 147000 - 151000)

(en en L'abbé Bédier 1972)



**Notes:**

- Notes:**
- 1) L'analyse a été réalisée à la position : X : 195875 ; Y : 149625 en Lambert Belge BE72
- 2) La hauteur de référence est de 115 m

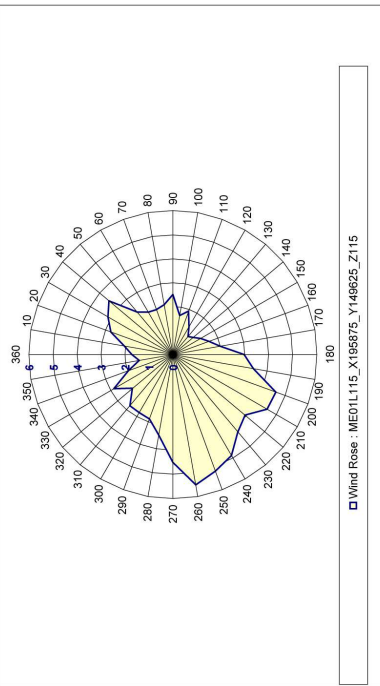
## Wind Rose

Div (deg)	Freq (%)	Div (deg)	Freq (%)
180	1.0	180	1.0
150	2.1	150	3.4
120	2.6	120	4.5
90	3.1	90	4.5
60	3.5	60	3.9
30	2.3	30	4.2
0	2.0	0	2.0
-30	2.1	-30	5.2
-60	2.0	-60	5.5
-90	1.7	-90	4.5
-120	1.5	-120	3.4
-150	1.3	-150	2.9
-180	1.0	-180	2.8
		300	2.8
		330	2.2
		360	2.5
		390	1.4
		420	1.0

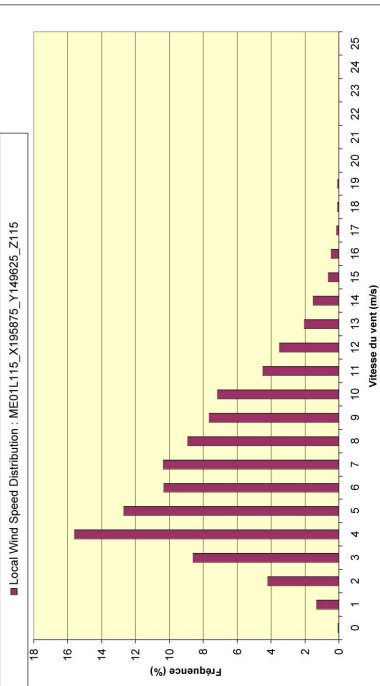
### Wind Distribution

Vic. (m/s)	Freq. (N)
0	0.1
1	1
2	1.3
3	4.2
4	8.6
5	15.0
6	12.7
7	10.3
8	10.4
9	8.9
10	7.7
11	7.2
12	6.5
13	3.5
14	2.0
15	1.5
16	0.6
17	0.1
18	0.1
19	0.1
20	0.0
21	0.0
22	0.0
23	0.0
24	0.0
25	0.0

## WIND ROSE



## WIND DISTRIBUTION

[illegible]

**Author:** Dr. Alain DUTREUX  
Marketing Director

### **5.3 Annexe 3 : Synthèses productibles - éoliennes « non bridées »**

Il s'agit de la synthèse relative à l'estimation du productible annuel moyen sur le long terme pour le parc en considérant ou non les effets de sillages. Les fiches présentées fournissent pour l'essentiel :

- Une cartographie du productible annuel moyen sur le long terme dans la région du parc
- Une table reprenant les productibles estimés sans effets de parc
- Une table reprenant les productibles estimés avec effets de parc
- Une table reprenant l'estimation des pertes liées aux effets de parc
- Une table reprenant le nombre d'heure équivalent à pleine puissance

Ces fiches sont données pour les trois modèles d'éoliennes envisagées ici :

- VESTAS V136STE – 3450 kW @ 112 m
- SIEMENS-GAMESA SG114 – 2625 kW @ 123 m
- SIEMENS-GAMESA SG132 – 3465 kW @ 114 m

### 5.3.1 Annexe 3.1 : Productibles – éoliennes « non bridées » (V136)







### 5.3.2 Annexe 3.2 : Productibles – éoliennes « non bridées » (SG114)





### 5.3.3 Annexe 3.3 : Productibles – éoliennes « non bridées » (SG132)









CONTACT :

Dr. Alexis DUTRIEUX  
**ATM-PRO SPRL**  
Rue Saint-André 5  
BE-1400 NIVELLES

Tél.: + 32 (0)67 84 33 04  
Email: [info@atmpro.be](mailto:info@atmpro.be)

**[www.atmpro.be](http://www.atmpro.be)**