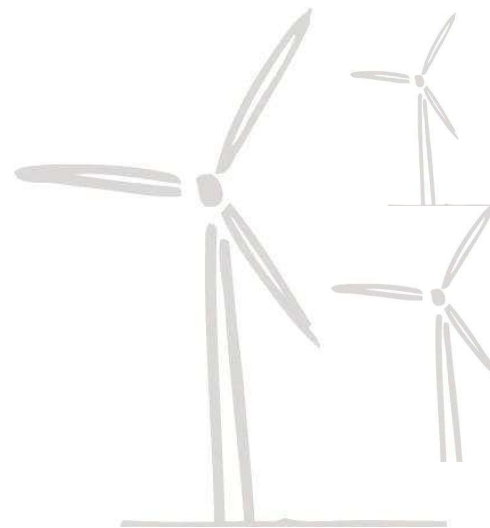


ÉTUDE ANÉMOMÉTRIQUE

EOLTECH Wind resource experts



**Projet de Bordeaux-Auxy
(Département du Loiret)**

Evaluation de potentiel éolien

Juin 2020

Sommaire

CONTEXTE ET PRINCIPAUX RESULTATS 4

CONCLUSIONS GENERALES 5

I PRESENTATION DU PROJET ET OBJET DE L'ETUDE..... 7

II LES MESURES DE VENT SUR SITE 9

II-1 DESCRIPTIF DE L'INSTALLATIONS DU MAT DE MESURES 9

II-2 DESCRIPTIF AU VOISINAGE DU SITE DE BORDEAUX-AUXY..... 9

II-2-1 Orographie 9

II-2-2 Rugosité et obstacles..... 10

II-2-3 Parcs éoliens en activité..... 10

II-3 ANALYSE DE LA QUALITE DES DONNEES RELEVES SUR LA STATION DE MESURE..... 10

II-3-1 Fonctions de transfert 10

II-3-2 Contrôle des données de vitesse..... 11

II-3-3 Contrôle des données de direction 11

II-3-4 Corrélations croisées 11

II-3-5 Taux de recouvrement..... 11

II-3-6 Analyse de la dérive des anémomètres 11

II-4 RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES 12

II-4-1 Vitesse 12

II-4-2 Rose des vents 13

II-4-3 Vitesses maximales observées..... 13

II-4-4 Intensité de turbulence..... 13

II-4-5 Gradients verticaux de vitesse..... 14

II-5 EVALUATION DES EFFETS DE SILLAGE SUR LES MESURES SUR MAT DE MESURE DE BORDEAUX-AUXY 14

II-5-1 Effet de sillage du mât de mesure (tower shading) et du paratonnerre 14

II-5-2 Effet de sillage des turbines voisines en activité..... 14

II-6 CONCLUSIONS SUR LES MESURES 15

III RECALAGE LONG TERME DES DONNEES DE VENT 16

III-1 DONNEES DISPONIBLES 16

III-2 ANALYSE DE COHERENCE DES DONNEES SUR LE LONG TERME 17

III-3 REPRESENTATIVITE DE LA PERIODE DU POINT DE VUE DE LA VITESSE..... 18

III-4 REPRESENTATIVITE DE LA PERIODE DU POINT DE VUE DE LA ROSE DES VENTS ET DE LA DISTRIBUTION ENERGETIQUE PAR SECTEUR... 18

III-5 RECONSTITUTION SUR LE LONG TERME DES DONNEES MESUREES SUR LE SITE DE BORDEAUX/AUXY 19

III-5-1 Approche MCP..... 19

III-5-2 Tests de sensibilité à la méthodologie de recalage LT..... 19

III-5-3 Caractéristiques aérodynamiques long terme..... 19

IV SIMULATION 20

Version	Résumé des modifications	Document	Date
1	Initial	Rapport complet	31/10/2018
2	Prise en compte de 12 mois de mesures sur site	Rapport complet	12/06/2020

Client : SICAP / Imagin'Ere

3, rue du Moulin de la Canne

45300 Pithiviers - France

IV-1 LES ELEMENTS DU MODELE.....	20
IV-1-1 Données de vent.....	20
IV-1-2 Cartographie.....	20
IV-1-3 Le parc éolien.....	20
IV-1-4 Hauteur de déplacement.....	20
IV-1-5 Plan de gestion spécifique (bridage chiroptère).....	20
IV-2 LES CONDITIONS DE SIMULATIONS DE WASP ET PARK.....	21
IV-2-1 Orographie (RIX).....	21
IV-2-2 Tests d'extrapolation verticale sur la station de mesures de 98,5 m de Bordeaux-Auxy.....	21
IV-2-3 Espacement entre turbines.....	21
IV-2-4 Tests de sensibilité.....	21
IV-3 LES RESULTATS.....	22
IV-3-1 Cartographie des vitesses moyennes à 116 m de hauteur (Scénario 2).....	22
IV-3-2 Evaluation de la densité de l'air à hauteur de moyeu.....	22
IV-3-3 Estimation des productibles bruts du parc.....	23
IV-3-4 Estimation de l'impact du plan de gestion spécifique (bridage chiroptère).....	24
IV-3-5 Pertes sur le productible.....	25
IV-3-6 Estimation du productible net.....	26
IV-3-7 Evaluation de l'incertitude sur le productible.....	26
IV-3-8 Estimation des probabilités de dépassement.....	27
V CONCLUSIONS GENERALES.....	28
REFERENCES.....	30
ANNEXE 1 – CARACTERISTIQUES ET IMPLANTATION DES EOLIENNES.....	31
ANNEXE 2 – DETAIL DES CONTRAINTES POUR LE PLAN DE GESTION SPECIFIQUE.....	33
ANNEXE 3 – DETAIL DES PRODUCTIBLES BRUTS PAR TURBINE.....	34
ANNEXE 4 – A ET K PAR EOLIENNE ET POUR LE MAT DE MESURES A HAUTEUR DE MOYEU.....	35
ANNEXE 5 – ROSE DES VENTS AU POINT D'IMPLANTATION DU MAT DE MESURES A 116 M DE HAUTEUR.....	36
ANNEXE 6 – PHOTOGRAPHIES DU SITE DE BORDEAUX-AUXY.....	37
ANNEXE 7 – DETAIL DE L'EVALUATION DE L'INCERTITUDE SUR LE PRODUCTIBLE.....	40
ANNEXE 8 – CERTIFICATS DE CALIBRATION.....	41

Contexte et principaux résultats

Contexte

PROJET : Bordeaux-Auxy		
Communes	Bordeaux-en-Gâtinais	Département Loiret
Mât de mesures	97,5 m	Période 14/01/2019 au 23/01/2020

Principaux résultats

Mesures	Remarques
Période prise en compte	14/01/2019 au 13/01/2020 (12 mois)
V_{moy}	6,74 m/s
Intensité de turbulence	8,36 %
Reconstitution long terme	(reconstitution de type MCP)
V_{moy}	6,49 m/s
	h = 98,5 m
	Taux de recouvrement : 99,4 %
	h = 98,5 m
	Pour $V > 3$ m/s et h = 98,5 m

Période long terme considérée Janvier 2010 - Décembre 2019 (10 cycles de 12 mois)			
	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Modèle d'éoliennes	Enercon E126	Enercon E126	Vestas V126
Puissance unitaire	3,0 MW	3,0 MW	3,0 MW
Hauteur de moyeu	96 m	116 m	117 m
Diamètre de rotor	126 m	126 m	126 m
Nombre d'éoliennes	6	6	6
Puissance totale	18,0 MW	18,0 MW	18,0 MW
Productible brut (MWh/an)	56 453	62 451	64 573
Pertes sillage incluses	± 10,0 %	± 9,0 %	± 9,0 %
Incertitude sur productible	Scé. 1	Scé. 2	Scé. 3
Corrections	99,5 %	99,3 %	99,3 %
Densité de l'air			Cf. § IV-3-2
Pertes électriques		98,5 %	Fournies par le client (- 1,5 %)
Disponibilité garantie		98,0 %	Fournie par le client
Maintenance planifiée constructeur		99,5 %	Estimation Eoltech (par défaut)
Disponibilité réseau		99,5 %	Estimation Eoltech (par défaut)
Givre		99,5 %	Estimation Eoltech
Plan de gestion spécifique	95,9 %	95,8 %	Contraintes chiroptères, cf. IV-3-4
Total	90,7 %	90,5 %	90,6 %

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
	E126 3,0 MW à 96m	E126 3,0 MW à 116m	V126 3,0 MW à 117m
Productible net - P50	51 222 MWh/an	56 492 MWh/an	58 472 MWh/an
	2 846 h. équiv.	3 138 h. équiv.	3 248 h. équiv.
P75	47 768 MWh/an	53 063 MWh/an	54 923 MWh/an
	2 654 h. équiv.	2 948 h. équiv.	3 051 h. équiv.
P90	44 658 MWh/an	49 976 MWh/an	51 728 MWh/an
	2 481 h. équiv.	2 776 h. équiv.	2 874 h. équiv.

Les conclusions générales de ce rapport sont présentées en page suivante.

Conclusions générales

L'objet de cette mise à jour est d'évaluer le potentiel éolien du projet de Bordeaux-Auxy à partir d'une campagne de mesure réalisée sur ce site. On rappellera qu'une précédente étude du projet de Bordeaux-Auxy réalisée en Octobre 2018 s'était appuyée sur un atlas éolien ajusté sur l'historique de production de deux parcs éoliens en activité Pithiviers et Sermaises à respectivement 23 et 29 km du site de Bordeaux-Auxy.

Compte tenu des bonnes conditions de réalisation de cette étude et de la concordance des résultats avec l'étude précédente (résultats issus de deux sources indépendantes), le niveau d'incertitude global de cette étude a été réduit.

Dans le cadre de cette étude, les principaux points à rappeler sont :

- La qualité des données de vent relevées sur le site de Bordeaux-Auxy, 12 mois de mesures disponibles à 98,5 m de hauteur avec un taux de recouvrement > 99 %, anémomètres calibrés, exposition des capteurs satisfaisante et mât contrôlé par Eoltech.
- Les conditions relativement satisfaisantes du recalage sur le long terme de la période de mesure, Période de 12 mois de mesure non représentative de la période de référence long terme 2010-2019 mois reconstruction de type MCP réalisée dans des conditions satisfaisantes (coefficients de corrélations avec source de référence élevés, distribution énergétique représentative du long terme et faible sensibilité des résultats à la méthode de recalage long terme).
- Les conditions pour la réalisation des simulations satisfaisantes pour l'ensemble du parc de Bordeaux-Auxy, Orographie et rugosité peu complexes, mât de mesure représentatif de l'ensemble des turbines, hauteur de mesure proche des hauteurs de moyeu envisagées et tests d'extrapolation satisfaisants.
- La concordance des résultats de cette étude avec ceux issus de l'atlas de vent de l'étude précédente, Atlas entièrement indépendant de celui utilisé dans le cadre de cette étude et écarts sur le productible inférieur à 1,5 %.

Concernant le calcul d'impact des plans de gestion spécifiques, on rappellera que :

- la société Eoltech a pour mission d'estimer l'impact des plans de gestion spécifiques sur le productible et ne peut pas confirmer ou infirmer la pertinence des contraintes proposées,
- il conviendra au client de s'assurer auprès du constructeur de la faisabilité d'application des plans de gestion spécifiques considérés dans cette étude.

Recommandations

- L'accès aux courbes de puissance mesurées aux conditions de ce projet (i.e. à même hauteur de moyeu et environnement similaire), pourrait permettre de diminuer l'incertitude sur la performance associée aux modèles de turbines,
- Les pertes électriques prises en considération ont été fournies par le client (ordre de grandeur usuel), il conviendra de vérifier le niveau de ces pertes par un calcul indépendant,
- Aucun plan de bridage acoustique n'a été considéré quel que soit le modèle de turbine étudié. Il conviendra de faire valider la conformité des scénarios de turbines vis-à-vis des réglementations acoustiques en vigueur.
- A la demande du client, une disponibilité garantie de 98 % a été considérée pour l'ensemble des scénarios de turbines. Il conviendra de s'assurer de la cohérence de cette valeur avec les engagements du constructeur retenu (lecture de contrat).

Remarques générales

L'estimation théorique du potentiel éolien qui a été réalisée, suppose que :

- les courbes de puissance correspondent aux courbes de puissance garanties par le constructeur,
- sur les 10 prochaines années, le gisement devrait être similaire à celui de la période de référence prise en compte (2010-2019),
- sur la durée d'exploitation du parc, aucun changement significatif dans l'environnement du parc n'aura lieu (ex : pas de nouveau parc au voisinage autre que ceux pris en compte dans cette étude),
- les 2 % d'arrêt des turbines (disponibilité garantie) se produisent autant en périodes ventées qu'en périodes non ventées. On soulignera d'autre part que le taux de disponibilité garanti pris en compte dans cette étude a été fourni par le client et devra être confirmé (calcul et lecture de contrat).

I Présentation du projet et objet de l'étude

L'objet de cette étude est d'évaluer le potentiel éolien du projet de Bordeaux-Auxy à partir de 12 mois de données mesurées sur le site. Cette étude est proposée en complément de la précédente évaluation de potentiel éolien réalisée par Eoltech en Octobre 2018. On soulignera que les résultats issus de ces deux études sont indépendants du fait que la première étude s'appuie sur l'historique de production de deux parcs éoliens dans la région (Pithiviers et Sermaises) alors que la présente étude s'appuie sur une campagne de mesure de vent sur le site de Bordeaux-Auxy.

Le projet de Bordeaux-Auxy, développé sur les communes de Bordeaux-en-Gâtinais et Auxy dans le département de Loiret, se situe à environ 50 km au Nord Est de la ville d'Orléans.

La société Imagin'Ere, qui développe ce projet pour le compte de l'investisseur SICAP, prévoit l'implantation de 6 turbines sur le site. Deux modèles de turbines différents sont envisagés dans le cadre de cette étude dont un pour deux hauteurs de moyeux différentes (3 scénarios différents).

Une station de mesure de 97,5 m de hauteur a été installée sur le site de Bordeaux-Auxy au mois de Janvier 2019.

Les éléments mis à notre disposition par le client sont les suivants :

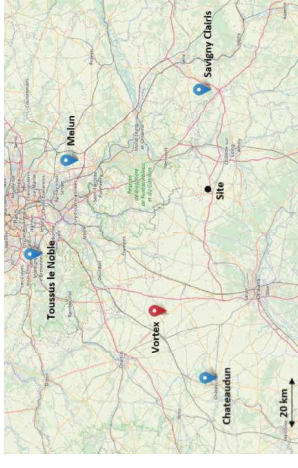
- données de vent relevées au niveau du mât de mesure sur le site de Bordeaux-Auxy (du 14/01/2019 au 23/01/2020),
- descriptif de la station de mesures et rapport d'installation [1],
- caractéristiques des éoliennes et implantations prévues sur ce site,
- caractéristiques du plan de gestion spécifique (chiroptère).

Une visite du site a été réalisée par Eoltech le 14/01/2020.

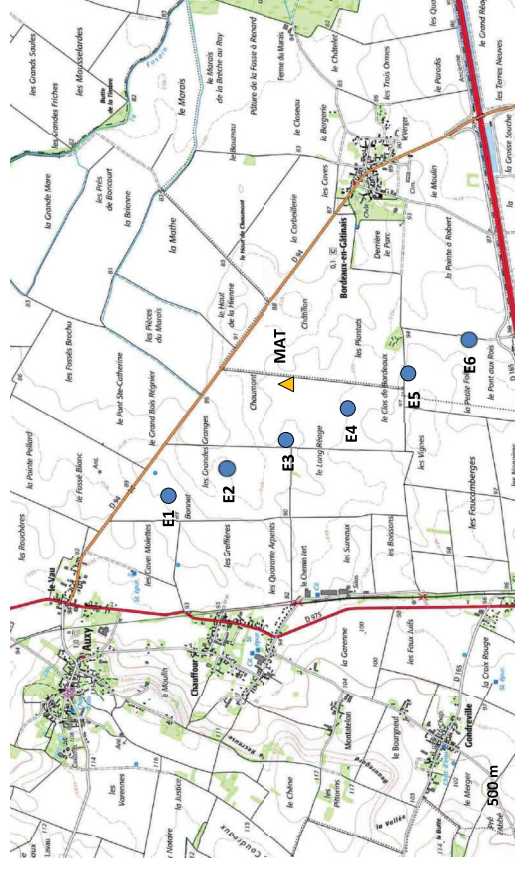
Les objectifs de cette étude sont :

- l'analyse des données de vent mesurées par les anémomètres du mât de mesures de Bordeaux-Auxy,
- l'analyse sur le long terme des données de vent issues de différentes sources de référence dans la région,
- l'évaluation des caractéristiques aérodynamiques sur le long terme sur le site de Bordeaux-Auxy,
- l'estimation du productible long terme du projet de Bordeaux-Auxy développé par la société Imagin'Ere,
- l'estimation de l'impact sur le productible du plan de gestion chiroptère,
- l'évaluation des niveaux d'incertitudes et de probabilités de dépassement correspondantes.

Cartes pour la localisation du site



Graphiques 1 et 2 : Localisation du site de Bordeaux-Auxy et des stations Météo-France voisines



▲ Mât de mesure ● Eoliennes en développement

Graphique 3 : Localisation du projet en développement de Bordeaux-Auxy

II Les mesures de vent sur site

II-1 Descriptif de l'installation du mât de mesures

La station de mesures est une structure de type treillis haubanée d'une hauteur de 97,5 m, équipée des éléments suivants :

Centrale d'acquisition : Kintech Engineering – EOL Zenth

Configuration : pas de temps 10 minutes (unité m/s)

Capturs	Modèles	Hauteur	Orientations	Supports	Calibrés
Anémomètre 1	Thies 1 st Class Adv.	98,5 m	315°	Latéral – 250 cm	Oui
Anémomètre 2	Thies 1 st Class Adv.	98,5 m	135°	Latéral – 250 cm	Oui
Anémomètre 3	Thies 1 st Class Adv.	80 m	315°	Latéral – 250 cm	Oui
Anémomètre 4	Thies 1 st Class Adv.	60 m	315°	Latéral – 250 cm	Oui
Anémomètre 5	Thies 1 st Class Adv.	40 m	315°	Latéral – 250 cm	Oui
Girouette 1	Thies 1 st Class POT	95 m	315°	Latéral – 250 cm	/
Girouette 2	Thies 1 st Class POT	85 m	315°	Latéral – 250 cm	/

Tableau 1 : Descriptif synthétique de la station de mesures de 97,5 m de Bordeaux-Auxy

Coordonnées (UTM 31 WGS84) : X = 463 172 E - Y = 5 327 992 N - Altitude = 90 m

On soulignera que les coordonnées du mât de mesure présentées ci-dessus correspondent à celles relevées et vérifiées par nos soins lors de la visite du site réalisée le 14/01/2020 (photos en Annexe 6). La hauteur des différents capteurs ainsi que les longueurs des supports correspondent aux informations issues de la fiche de montage du mât (1), et ont été contrôlées par nos soins à l'incertitude près sur les outils (inspection visuelle par clinomètre et télécommandée par drone, et analyse des photographies prises sur site).

Positionnement des capteurs

Le niveau d'exposition de l'ensemble des anémomètres est satisfaisant au regard de la longueur et de l'orientation des supports latéraux par rapport à la direction des vents dominants [3]. Si la distance entre la girouette 1 et l'anémomètre 1 n'est pas en accord avec la dernière norme IEC 61400-12-1 2.0 éditée en Mars 2017 [4], on soulignera que les conditions de réalisation de cette campagne de mesures sont considérées comme satisfaisantes.

Calibrage des capteurs

Les capteurs installés sur le mât et utilisés lors de cette campagne de mesures ont tous été calibrés par un organisme certifié Measnet. Les certificats de calibration se trouvent en Annexe 8.

II-2 Descriptif au voisinage du site de Bordeaux-Auxy

II-2-1 Orographie

Le relief au voisinage du site de Bordeaux-Auxy est relativement plat autour du mât de mesure et ce sur des distances significatives.

II-2-2 Rugosité et obstacles

D'une manière générale, le couvert végétal à proximité immédiate du mât de mesure est assimilable à des terrains agricoles d'allures ouverts sur l'ensemble des secteurs.

Le niveau d'exposition du point de mesures est représentatif de celui prévu pour les éoliennes du projet.

II-2-3 Parcs éoliens en activité

D'après les informations fournies par le client ainsi que celles disponibles sur le site de développement de l'éolien terrestre en région Centre Val de Loire consulté en Mars 2020 [5], plusieurs parcs éoliens en activité ont été recensés à proximité du site de Bordeaux-Auxy.

Ainsi, les caractéristiques des parcs susceptibles de générer des pertes par effet de sillage sur le projet de Bordeaux-Auxy et pris en compte dans cette étude sont détaillées dans le tableau ci-après (cf. carte en Annexe 1).

Statut	Parcs éoliens	Nombre de turbines	Turbines	Hmoy	Puissance totale	Mise en service	Distance au site de Bordeaux-Auxy
En activité	Gatinalis	12	Vestas V90 2 MW	80 m	24 MW	07/2015	4 km
	Arville	6	Vestas V90 2 MW	80 m	12 MW	2017	7 km
Autorisés	Terres Chaudes	7	Nordex N117 3,6 MW	91 m + 106 m	25,2 MW	/	5 km
En développement	Beaune-Barville-Batilly	8	/	/	/	/	6 km

Tableau 2 : Descriptif des parcs éoliens voisins du projet de Bordeaux-Auxy

On soulignera que l'impact des deux parcs en activité sur les mesures enregistrées par le mât de Bordeaux/Auxy a été estimé négligeable (cf. § II-5-2).

On notera que le parc éolien de Beaune-Barville-Batilly est actuellement en développement dans les environs du projet de Bordeaux/Auxy. Si ce parc n'a pas été considéré dans les simulations, l'impact de ce parc éolien sur la production de Bordeaux/Auxy a été estimé inférieur à 0,2 %.

II-3 Analyse de la qualité des données relevées sur la station de mesure

La période de mesures disponible et analysée sur le mât de mesure s'étend du 14/01/2019 au 23/01/2020 (soit 12 mois de mesures).

II-3-1 Fonctions de transfert

Tous les capteurs utilisés lors de cette campagne de mesures ont été calibrés par des organismes certifiés Measnet (cf. Annexe 8). Les fonctions de transfert issues de ces certificats ont été appliquées par nos soins aux données de vent issues du logger (données brutes fréquentielles non disponibles).

II-3-2 Contrôle des données de vitesse

On soulignera que l'analyse des données enregistrées a mis en relief quelques anomalies a priori dues au givre. Les mesures ainsi invalidées représentent environ 0,6 % des données enregistrées par chaque anémomètre de la station de mesure.

II-3-3 Contrôle des données de direction

Au regard de l'ensemble des informations disponibles (analyse graphique, compte rendu de la visite du site, comparaison avec des données méso-échelle et analyse du positionnement des capteurs), un offset de direction de +130° a été appliqué aux mesures de direction enregistrées par les deux girouettes.

II-3-4 Corrélations croisées

Le tableau ci-dessous présente les coefficients de corrélations croisées calculés entre les anémomètres de la station de mesures.

	V2 – 98,5 m	V3 – 80 m	V4 – 60 m	V5 – 40 m
V1 – 98,5 m	99,91 %	99,41 %	97,44 %	93,94 %
V2 – 98,5 m	/	99,32 %	97,36 %	93,87 %
V3 – 80 m	/	/	99,04 %	96,25 %
V4 – 60 m	/	/	/	98,68 %

Tableau 3 : Coefficients de corrélations croisées entre les anémomètres du mât de Bordeaux-Auxy (14/01/2019 au 23/01/2020)

II-3-5 Taux de recouvrement

Les taux de recouvrement des informations traitées sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Capturs	Hauteurs	Taux de recouvrement	Remarques
Anémomètre 1	98,5 m	99,4 %	
Anémomètre 2	98,5 m	99,4 %	
Anémomètre 3	80 m	99,4 %	Invalidations ponctuelles a priori dues au givre ($\approx 0,6$ %)
Anémomètre 4	60 m	99,4 %	
Anémomètre 5	40 m	99,4 %	
Girouette 1	95 m	99,4 %	
Girouette 2	85 m	99,4 %	

Tableau 4 : Taux de recouvrement sur le mât de mesure de Bordeaux-Auxy (14/01/2019 au 23/01/2020)

II-3-6 Analyse de la dérive des anémomètres

Cette analyse qui permet le repérage d'une dérive éventuelle dans le comportement des capteurs constitue une information supplémentaire sur la qualité des mesures. Elle s'effectue à partir des ratios calculés entre les vitesses mesurées par deux anémomètres d'une même station de mesures selon les recommandations de la norme IEC 61400-12 (Annexe K – Ed. 2017) [6].

Hypothèses

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour réaliser les tests de dérive entre les capteurs A1 et A2 :

- Classes de vitesses de 4 à 12 m/s centrées sur les nombres entiers et de largeur de 1,0 m/s,

- Echantillonnage minimum de 3 enregistrements par bin de vitesse,
- Secteur de direction de vent dominant non perturbé $210^\circ \pm 15^\circ$,
- Durée de la période de caillibrage : 12 jours (14/01/2019-25/01/2019),
- Période totale d'analyse de dérive : 12 mois (26/01/2019-23/01/2020).

Résultats

Pour chaque bin de vitesse les écarts moyens, incertitudes types et somme quadratique des écarts et incertitudes ont été calculés selon les relations définies dans la norme IEC 61400-12-1 2.0 éditée en Mars 2017.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Classe de vitesse (m/s)	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\bar{v} = Ecart moyen (m/s)	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
σ = Incertitude type (m/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
δ = Somme quadr. (m/s)	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02

Tableau 5 : Test dérive capteurs A1 et A2 (IEC 61400-12, Annexe K-Ed. 2017)

Les résultats obtenus pour chaque classe de vitesse respectant les seuils fixés par la norme IEC ($\delta < 0,1$ m/s), on considère donc qu'aucune dérive dans le comportement de ces deux anémomètres n'est mise en évidence.

II-4 Résultats de la campagne de mesures

Période de mesures prise en compte : 14/01/2019 au 13/01/2020 (12 mois)

II-4-1 Vitesse

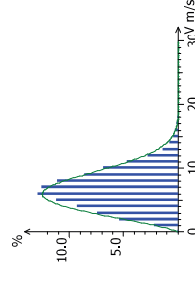
Le tableau ci-dessous présente les vitesses moyennes ainsi que les paramètres de Weibull correspondant aux distributions ajustées relevées sur le mât de mesure de Bordeaux-Auxy.

Capturs	Hauteurs	Taux de recouvrement	Vmoy (m/s)	A (m/s)	k
Anémomètre 1	98,5 m	99,4 %	6,74	7,61	2,33
Anémomètre 2	98,5 m	99,4 %	6,74	7,60	2,33
Anémomètre 3	80 m	99,4 %	6,42	7,25	2,31
Anémomètre 4	60 m	99,4 %	5,98	6,76	2,25
Anémomètre 5	40 m	99,4 %	5,45	6,15	2,11

Tableau 6 : Vitesses relevées sur le mât de mesure de Bordeaux-Auxy (14/01/2019 au 13/01/2020 – 12 mois)

L'anémomètre 1 à 98,5 m sera considéré comme l'anémomètre principal pour établir l'Atlas éolien du site.

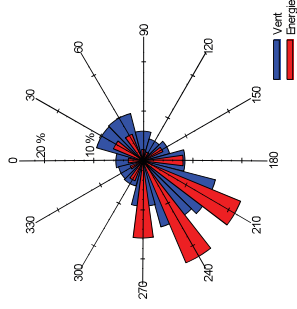
Le graphique ci-dessous présente les distributions brutes et ajustée par classe de vitesses mesurées à 98,5 m de hauteur sur la station de mesures.



Graphique 4 : Distributions brutes et ajustées à 98,5 m (A1) sur la période du 14/01/2019 au 13/01/2020

II-4-2 Rose des vents

Le graphique ci-dessous présente la rose des vents et la répartition énergétique par secteur relevées par l'anémomètre 1 à 98,5 m et la girouette 1 située à 95 m de hauteur.



Graphique 5 : Rose des vents et distribution énergétique sur la période du 14/01/2019 au 13/01/2020

II-4-3 Vitesses maximales observées

Le tableau ci-dessous présente les vitesses extrêmes relevées sur la période de mesures (moyenne 10 min et rafale).

Vitesse	Hauteur	Date	Vitesse maxi (m/s)
Moyenne 10 min			
Anémomètre 1	98,5 m	10/03/2019 10:40	21,85
Anémomètre 2	98,5 m	10/03/2019 10:40	22,03
Anémomètre 3	80 m	10/03/2019 10:40	21,49
Anémomètre 4	60 m	10/03/2019 10:40	20,98
Anémomètre 5	40 m	10/03/2019 10:40	20,27
Rafale			
Anémomètre 1	98,5 m	10/02/2019 14:50	30,53
Anémomètre 2	98,5 m	10/02/2019 14:50	30,48
Anémomètre 3	80 m	10/02/2019 14:50	29,02
Anémomètre 4	60 m	04/03/2019 07:50	27,60
Anémomètre 5	40 m	10/02/2019 14:50	27,72

Tableau 7 : Vitesses extrêmes relevées sur la période du 14/01/2019 au 13/01/2020

II-4-4 Intensité de turbulence

Le tableau ci-dessous présente pour chaque hauteur les intensités de turbulence relevées sur le site pendant la période de mesures.

Capteurs	Hauteurs	Intensités de turbulence moyenne (V > 3m/s)	Intensités de turbulence moyenne (V = 12 m/s)
Anémomètre 1	98,5 m	8,36 %	9,10 %
Anémomètre 2	98,5 m	8,42 %	9,14 %
Anémomètre 3	80 m	8,75 %	10,09 %
Anémomètre 4	60 m	9,27 %	10,89 %
Anémomètre 5	40 m	10,06 %	11,54 %

Tableau 8 : Intensités de turbulence relevées sur la station de mesures du 14/01/2019 au 13/01/2020

II-4-5 Gradients verticaux de vitesse

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs de α moyen correspondant à la relation suivante : $V_{h1} / V_{h2} = (h_1/h_2)^\alpha$

Pour $V_{h1} > 3m/s$	Global	Jour (08h00 – 18h00)	Nuit (18h00 – 08h00)
Anémomètres orientés à 315°			
Coefficient alpha (α) 98,5 m (A2) – 80 m (A3)	0,24	0,12	0,32
Coefficient alpha (α) 98,5 m (A2) – 60 m (A4)	0,26	0,13	0,35
Coefficient alpha (α) 98,5 m (A2) – 40 m (A5)	0,27	0,13	0,36

Tableau 9 : Coefficients alpha moyen sur le mât de mesure de Bordeaux-Auxy (14/01/2019 au 13/01/2020)

II-5 Evaluation des effets de sillage sur les mesures sur mât de mesure de Bordeaux-Auxy

II-5-1 Effet de sillage du mât de mesure (tower shading) et du paratonnerre

Les deux capteurs culminants à 98,5 m (anémomètres 1 et 2) sont soumis à des effets de sillage dus au paratonnerre et à l'anémomètre opposé. Leurs impacts sur les mesures ont été estimés en reconstituant des données de vitesse sur les secteurs de vent perturbés (respectivement [120° ; 150°] et [300° ; 330°] pour les anémomètres 1 et 2) et en comparant ces données reconstituées aux données brutes mesurées. On soulignera que la reconstitution des données perturbées a été effectuée à partir d'une corrélation préalablement établie entre les mesures des deux capteurs sur les secteurs de vent dominants non perturbés.

Les vitesses moyennes obtenues avec et sans correction sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Capteurs	Hauteurs	Secteur corrigé	Vmoy brute (m/s) sans correction	Vmoy corrigée (m/s) avec correction	Ecart
Anémomètre 1	98,5 m	[120° ; 150°]	6,74	6,75	<0,2 %
Anémomètre 2	98,5 m	[300° ; 330°]	6,74	6,75	<0,2 %

Tableau 10 : Vitesses moyennes avec et sans correction des effets de sillage du mât (14/01/2019 au 13/01/2020)

Au regard des écarts présentés ci-dessus (inférieurs à 0,2 %), aucune correction des effets de sillage n'a été prise en compte dans la suite de l'étude.

II-5-2 Effet de sillage des turbines voisines en activité

Les impacts des parcs éoliens voisins en activité de Gatinais (4 km) et d'Arville (7 km) sur la mesure de Bordeaux/Auxy ont été calculés et leurs impacts ont été considérés négligeables ($\approx 0,1$ %).

Ainsi, aucune correction sur la vitesse liée aux effets de sillage des turbines voisines en activité n'a été appliquée aux données mesurées.

II-6 Conclusions sur les mesures

On soulignera principalement que sur le site de Bordeaux-Auxy :

- le mât de mesure a été contrôlé par Eoltech le 14/01/2020,
- la période prise en compte (du 14/01/2019 au 13/01/2019) est significative puisque représentative de 12 mois de mesures pour un taux de recouvrement satisfaisant (> 99 % pour tous les anémomètres),
- la qualité des mesures de vitesses enregistrées par les anémomètres principaux est satisfaisante (anémomètres calibrés, longueurs et orientations des supports satisfaisantes),
- le niveau d'exposition du mât de mesure de Bordeaux-Auxy est représentatif de l'exposition de l'ensemble des turbines du projet.

Les mesures de vent relevées par l'anémomètre 1 à 98,5 m et la girouette 1 à 95 m ont été privilégiées pour la génération de l'atlas éolien.

III Recalage long terme des données de vent

III-1 Données disponibles

Dans le but de disposer de données de référence sur le long terme, des données issues de différentes sources ont été analysées dans le cadre de cette étude : des mesures de vent relevées par les stations météorologiques au sol (réseau Météo France) et des données simulées à méso-échelle par la société Vortex.

Données des stations Météo France au sol

Les données relevées par des stations météorologiques au sol disponibles via Météo France ont été analysées sur la période de Janvier 2010 à Décembre 2019 (période long terme) et de Janvier 2019 à Janvier 2020 (période commune de 12 mois). Les données des stations de Chateaudun, Melun, Savigny-Clairis et Toussus le Noble ont été prises en compte.

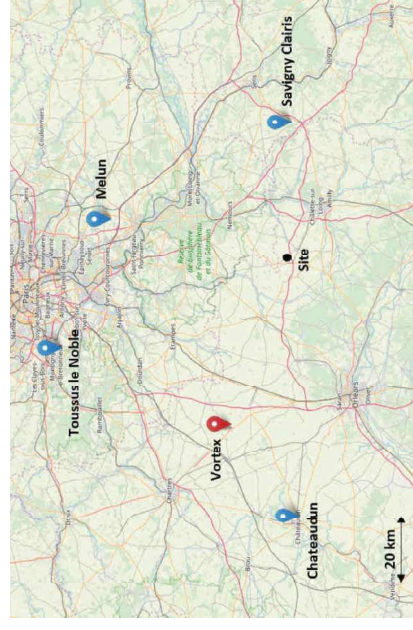
Données Vortex

Les séries de données de vent "virtuelles", proposées par la société Vortex, sont le résultat de simulations à méso-échelle du modèle climatique régional WRF (Weather Research and Forecasting). On soulignera que Vortex propose différentes sources de données pour la simulation comme ERA-5, MERRA-2 ou CFSR, cette dernière ayant été retenue dans le cadre de cette étude.

Les coordonnées du point considéré sont les suivantes : Lat. = 48,3366°, Lon. = 1,7831°. Il se situe à environ 59 km du site de Bordeaux-Auxy. Les données ont été simulées à 80 m de hauteur en pas de temps horaire.

D'expérience, ces séries de données représentent une information fiable concernant la rose des vents et la distribution énergétique par secteur. Dans le cas présent, puisque l'homogénéité dans le temps des données Vortex sur la période considérée a été contrôlée, ces données ont été utilisées autant pour l'analyse de la représentativité des niveaux de vitesse que pour celle de la distribution énergétique par secteur.

Les stations Météo France et le point de simulation Vortex sont localisés sur la carte ci-dessous :



Graphique 6 : Localisation des stations Météo France et du point de simulation Vortex

III-2 Analyse de cohérence des données sur le long terme

La période de Janvier 2010 à Décembre 2019 (10 ans) a été considérée comme période de référence pour le recalage des données sur le long terme.

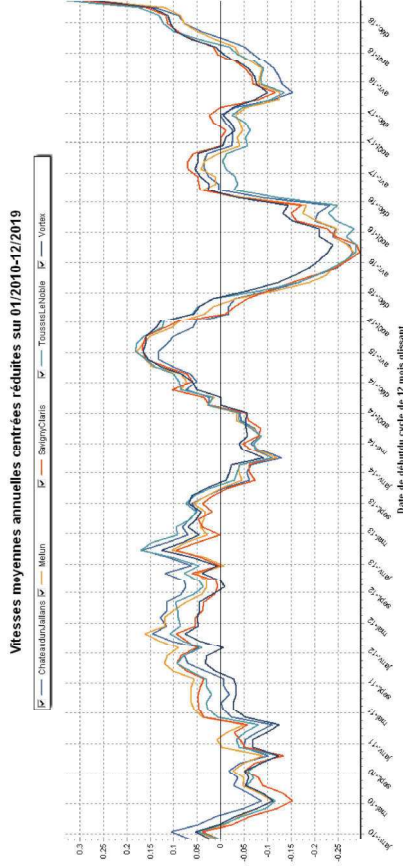
Le tableau ci-dessous présente le niveau de corrélation entre les vitesses de vent mesurées par les différentes sources de données de référence considérées et celles mesurées par le mâât installé sur site (moyennes journalières).

A noter que les données journalières des stations Météo-France ont été synchronisées avec les données de vent mesurées sur site.

	Chateaudun	Melun	Savigny-Clairis	Toussus le Noble	Vortex
CC journalier sur période commune (14/01/2019 - 23/01/2020)	94,5 %	92,7 %	94,7 %	92,2 %	94,1 %
Distance au site	84 km	58 km	44 km	77 km	59 km

Tableau 11 : Coefficient de corrélation entre les vitesses mesurées sur site et celles des stations Météo France

Le graphique ci-dessous présente les vitesses moyennes annuelles glissées centrées réduites sur la période 2010-2019 pour les stations Météo France considérées et le point de simulation Vortex.



Graphique 7 : Vitesses moyennes annuelles glissées centrées réduites sur le long terme 2010-2019

L'analyse de l'évolution des vitesses moyennes annuelles des stations Météo-France et des données modélisées par la société Vortex, met en évidence un niveau de cohérence élevé entre les différentes sources de référence sur l'ensemble de la période de référence long terme. A noter que si certaines nuances peuvent être observées ponctuellement, celles-ci ne traduisent pas nécessairement un problème d'homogénéité du fait de leurs caractères ponctuels mais pourraient être liées à des spécificités locales du gisement.

Par conséquent les conditions de mesures des différentes stations et des données simulées par Vortex prises en compte dans cette analyse ont été considérées comme homogènes sur l'ensemble de la période de référence long terme (01/2010-12/2019).

III-3 Représentativité de la période du point de vue de la vitesse

Le tableau ci-dessous illustre le niveau de représentativité de la période de mesures sur site par rapport au long terme du point de vue de la vitesse de vent :

	Chateaudun	Melun	Savigny-Clairis	Toussus le Noble	Vortex
Période de référence long terme 01/01/2010 au 31/12/2019	3,82 m/s	3,58 m/s	3,18 m/s	3,54 m/s	6,63 m/s
Période commune retenue 14/01/2019 au 13/01/2020	4,01 m/s	3,75 m/s	3,38 m/s	3,77 m/s	6,92 m/s
Ecart de vitesse brut	+ 5,0 %	+ 4,7 %	+ 6,5 %	+ 6,5 %	+ 4,4 %
Ecart de vitesse (corrégés des amplitudes de variation*)	+ 4,0 %	+ 3,4 %	+ 5,0 %	+ 5,0 %	+ 4,3 %

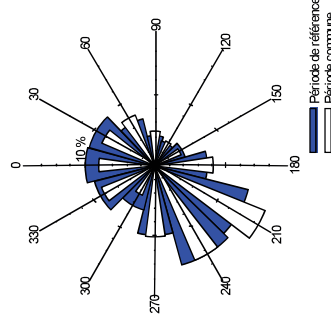
(*) Ajustement du aux écarts d'amplitude de variation entre les mesures de référence et les mesures sur site

Tableau 12 : Niveau de représentativité de la période commune par rapport au long terme du gisement éolien

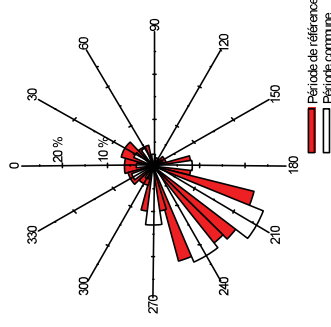
D'après le tableau ci-dessus, l'ensemble des stations de références conduisent à des écarts de vitesses compris entre + 3,4 % et + 5,0 % selon les différentes sources considérées. Aussi, au regard de l'amplitude des écarts de ressource constaté entre la période de mesures et la période long terme, une reconstruction de type MCP a été privilégiée.

III-4 Représentativité de la période du point de vue de la rose des vents et de la distribution énergétique par secteur

Les données de vent utilisées sur chaque station météorologique étant des moyennes journalières, l'analyse de la représentativité de la période de mesures par rapport au long terme du point de vue des distributions énergétiques par secteur s'est appuyée sur la série virtuelle de données de vent générées par la société Vortex (pas de temps horaire).



Graphique 8 : Vortex – roses des vents sur la période de référence et la période commune



Graphique 9 : Vortex – distributions énergétiques sur la période de référence et la période commune
 Au vu des graphiques ci-dessus, on considérera que la rose des vents et la distribution énergétique relevée sur la période commune sont représentatives de celles relevées sur la période de référence long terme 2010-2019.

III-5-Reconstitution sur le long terme des données mesurées sur le site de Bordeaux/Auxy

III-5-1. Approche MCP

Au regard de l'amplitude des écarts de ressource à prendre en compte entre la période de mesures et la période long terme, une reconstruction de type MCP a été privilégiée. La reconstitution sur le long terme des données de vent mesurées sur le site de Bordeaux/Auxy par la méthode MCP (*New Matrix Method of Predicting long-term wind roses with MCP – Journal of Wind engineering and Industrial Aerodynamics 99*) s'est appuyée sur :

- les données de vitesse 10 min à 98,5 m et de direction à 95 m enregistrées par le mât de mesure sur le site de Bordeaux/Auxy (période du 14/01/2019 au 13/01/2020),
- les données de vent horaires réanalysées modélisées à mésoéchelle par Vortex sur la période commune du 14/01/2019 au 13/01/2020 ainsi que sur la période long terme (01/01/2010 – 31/12/2019).

Coefficient de corrélation entre les données de vitesses modélisées par Vortex et les données de l'anémomètre 1 de Bordeaux/Auxy : 83,20 %.

III-5-2. Tests de sensibilité à la méthodologie de recalage LT

- Approche MCP avec des données météorologiques**

L'approche MCP réalisée avec les données Vortex a aussi été testée avec des données météorologiques issues de la base de données NOAA pour la station de Toussus le Noble. Si les coefficients de corrélation entre ces données et les données mesurées par le mât de Bordeaux/Auxy étaient plus faibles qu'avec les données Vortex (de l'ordre de 68 %), les résultats confortent ceux présentés par l'approche principale (écart sur la production du parc de 0,2 %).

- Correction moyenne sur la vitesse (scaling factor)**

Compte tenu de la représentativité satisfaisante de la distribution énergétique par secteur sur la période commune par rapport à la période de référence long terme, un test de sensibilité a été effectué en appliquant un facteur correctif moyen de -4,3 % sur la vitesse moyenne (écart moyen observé par toutes les sources de données, cf. III-3). Ce test a montré un écart sur le productible du parc de Bordeaux/Auxy de 0,4 %.

III-5-3 Caractéristiques aérodynamiques long terme

Les caractéristiques aérodynamiques à 98,5 m de hauteur sur le site de Bordeaux-Auxy ainsi reconstituées sur le long terme et utilisées par la suite dans le logiciel WASP sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Secteurs	Occurrences	Vmoy (m/s)	A (m/s)	k
N-15°/15°	6,7 %	5,76	6,50	2,30
15°/45°	11,8 %	6,27	7,07	2,45
45°/75°	9,7 %	6,02	6,78	2,52
E-75°/105°	5,2 %	5,30	5,98	2,44
105°/135°	4,2 %	5,39	6,09	2,27
135°/165°	4,6 %	5,97	6,74	2,17
S-165°/195°	7,3 %	6,69	7,55	2,22
195°/225°	14,4 %	7,28	8,21	2,40
225°/255°	14,0 %	7,44	8,38	2,49
O-255°/285°	10,0 %	7,02	7,92	2,36
285°/315°	6,3 %	6,30	7,11	2,29
315°/345°	5,8 %	5,66	6,39	2,35
Total	100,0 %	6,49	7,33	2,28

Tableau 13 : Caractéristiques aérodynamiques long terme au point du mât de mesures à 98,5 m (01/01/2010 au 31/12/2019)

IV Simulation

Les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel WASP développé par le laboratoire danois Risoe.

IV-1 Les éléments du modèle

Ces calculs nécessitent l'utilisation des éléments suivants :

IV-1-1 Données de vent

Les données de vent relevées sur le mât de Bordeaux-Auxy à 98,5 m de hauteur (A1) ajustées sur le long terme ont été utilisées pour générer l'atlas éolien (cf. § III-5-3).

IV-1-2 Cartographie

La topographie digitalisée (orographie et rugosité) représente une surface d'environ 60 km x 60 km, centrée sur le point de mesures.

IV-1-3 Le parc éolien

Le calcul de productible du parc de Bordeaux-Auxy a été réalisé pour les 3 scénarios suivants :

Scénario	1	2	3
Type de turbine	Enercon E126-EP3 3,0 MW	Enercon E126-EP3 3,0 MW	Vestas V126 3,0 MW
Puissance unitaire	3,0 MW	3,0 MW	3,0 MW
Diamètre de rotor	126 m	126 m	126 m
Hauteur de moyeu	96 m	116 m	117 m
Nombre de turbines	6	6	6
Puissance totale	18,0 MW	18,0 MW	18,0 MW

Tableau 14 : Synthèse des scénarios de turbines

On notera que le modèle de turbines Vestas V126 3,0 MW correspond à un mode réduit du modèle de turbine Vestas V126 3,45 MW (mode L02).

Le détail des coordonnées des points d'implantation des éoliennes ainsi que les courbes de puissance des turbines sont présentés en Annexe 1.

IV-1-4 Hauteur de déplacement

Aucune hauteur de déplacement n'a été considérée dans le cadre de ce projet.

IV-1-5 Plan de gestion spécifique (bridage chiroptère)

Un plan de gestion spécifique de type chiroptère établi par le bureau d'études Ecosphère [2] a été pris en compte dans cette étude. Ce plan, détaillé en Annexe 2, prévoit l'arrêt des turbines selon la période de l'année, l'heure, la température et le niveau de vent.

Aucun plan de gestion de type acoustique n'a été considéré dans le cadre de cette étude. Il conviendra au client de vérifier que le projet respecte bien les normes acoustiques en vigueur.

On rappellera qu'Eoltech a pour mission d'estimer l'impact de ce plan de gestion spécifique sur la production et ne peut pas confirmer ou infirmer la pertinence de ce plan de gestion.

IV-2 Les conditions de simulations de WASP et PARK

IV-2-1 Orographie (RIX)

Au voisinage du point de mesures et des points d'implantation des éoliennes, les valeurs de RIX et de ΔRIX sont nulles (0 %). On peut donc considérer, du point de vue orographique, que les conditions d'utilisation du logiciel WASP sont satisfaisantes.

IV-2-2 Tests d'extrapolation verticale sur la station de mesures de 98.5 m de Bordeaux-Auxy

Afin de prendre en compte les capteurs dont les expositions sont similaires (anémomètres orientés à 315°), des comparaisons mesures/simulations sur les vitesses obtenues en période synchrone à partir de l'atlas généré à 98,5 m (A1) et les mesures ajustées par WASP à 98,5 m (A1), 80 m (A3), 60 m (A4) et 40 m (A5) ont été réalisées sur l'ensemble des secteurs ainsi que sur un secteur de vent dominant non perturbé (210°). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Atlas généré à partir de Bordeaux-Auxy à 98,5 m				
Hauteur	Tous secteurs		Secteur Sud-Sud-Ouest (210°)	
	V Ajustées*	V Simulées	V Ajustées*	V Simulées
A1 – 98,5 m	6,82 m/s	6,82 m/s	8,01 m/s	8,01 m/s
A3 – 80 m	6,48 m/s	6,51 m/s	7,63 m/s	7,63 m/s
A4 – 60 m	6,02 m/s	6,08 m/s	7,11 m/s	7,12 m/s
A5 – 40 m	5,45 m/s	5,56 m/s	6,53 m/s	6,49 m/s
α 98,5m-80m	0,25	0,22	0,23	0,23
α 98,5m-60m	0,25	0,23	0,24	0,24
α 98,5m-40m	0,25	0,23	0,23	0,23

* les vitesses ajustées correspondent aux vitesses mesurées ajustées selon une distribution de Weibull par WASP

Tableau 15 : Comparaisons simulations / mesures aux différentes hauteurs mesurées

On notera que les résultats des tests d'extrapolation verticale sont satisfaisants tous secteurs confondus ainsi que sur le secteur dominant non perturbé.

IV-2-3 Espacement entre turbines

Les espacements entre les turbines, proches de 4 diamètres de rotor (> 3,8 diamètres de rotor pour tous les scénarios) conduisent à considérer des conditions d'utilisation satisfaisantes du logiciel PARK pour l'estimation des pertes par effets de sillage.

IV-2-4 Tests de sensibilité

Sensibilité à la rugosité

Les tests de sensibilité à la rugosité ont montré une faible sensibilité des résultats avec des écarts inférieurs à 0,2 %.

Sensibilité à l'offset de direction

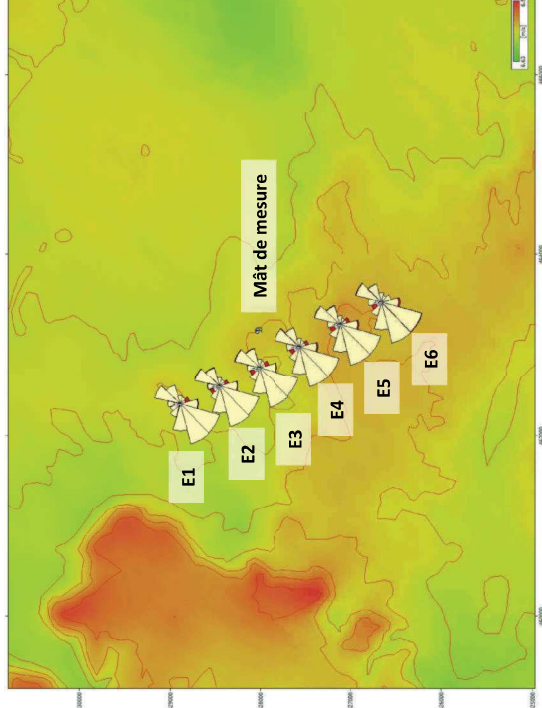
Des tests de sensibilité au calage de la direction ont été réalisés. Les écarts observés sur les productibles sont inférieurs à 1,2 % pour des offsets variant de -20° à +20°.

Sensibilité au wake decay factor

Des tests de sensibilité au paramètre de « wake decay factor » ont été réalisés pour tenir compte de l'incertitude sur l'estimation du niveau des pertes de sillage liées à l'intensité de turbulence sur site. Les résultats diffèrent de moins de 0,5 % sur le productible net.

IV-3 Les résultats

IV-3-1 Cartographie des vitesses moyennes à 116 m de hauteur (Scénario 2)



Graphique 10 : Cartographie des vitesses moyennes sur le site de Bordeaux-Auxy à 116 m de hauteur et roses des vents énergétiques calculées aux points d'implantation des turbines

IV-3-2 Evaluation de la densité de l'air à hauteur de moyeu

La station Météo-France de Chateaudun, située à environ 84 km du site, a été utilisée comme référence pour l'estimation de la densité de l'air à hauteur de moyeu sur le site.

- Densité de l'air sur la station de Chateaudun : 1,226 kg/m³
- Altitude moyenne de la station Météo France : 126 m
- Altitude moyenne du site (tenant compte de la hauteur de moyeu) : entre 188 m et 209 m selon les scénarios

Ainsi, la densité de l'air à hauteur de moyeu a été estimée à 1,219 kg/m³ pour le scénario 1 (Enercon E126 3.0MW à 96 m de hauteur de moyeu) et à 1,216 kg/m³ pour les scénarios 2 et 3 (Enercon E126 3.0 MW à 116 m de hauteur de moyeu et Vestas V126 3.0 MW à 117 m de hauteur de moyeu).

Les courbes de puissance étant fournies à une densité de l'air de 1,225 kg/m³, une correction de - 0,5 % pour le scénario 1 et une correction de - 0,7 % pour les scénarios 2 et 3 seront appliquées aux productibles bruts du projet pour prendre en compte la densité de l'air à hauteur de moyen (cf. IV-3-5).

IV-3-3 Estimation des productibles bruts du parc

Les tableaux ci-dessous présentent les productibles bruts et nets de sillage pour les différents scénarios prévus pour le projet de Bordeaux-Auxy.

Modèle de turbines	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Vmoy (m/s)	Prod. brut (MWh/an) Hors sillage	Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	Pertes sillage (%)
Scénario 1 Enercon E126 3,0 MW	18,0 MW	96 m	6,44	58 662	56 453	3,8 %
Scénario 2 Enercon E126 3,0 MW	18,0 MW	116 m	6,81	64 743	62 451	3,5 %
Scénario 3 Vestas V126 3,0 MW	18,0 MW	117 m	6,83	66 956	64 573	3,6 %

Tableau 16 : Productibles bruts du parc de Bordeaux-Auxy

La disponibilité garantie, la correction liée à la densité de l'air à hauteur de moyen ainsi que les pertes électriques ne sont pas prises en compte dans les résultats présentés ci-dessus. Le détail des productibles bruts par turbine est présenté en Annexe 3.

Comparaison avec les résultats issus de l'étude précédente

Pour rappel, une précédente étude de potentiel éolien du site de Bordeaux-Auxy avait été réalisée en Octobre 2018 en s'appuyant sur l'historique de production de deux parcs éoliens de la région, Pithiviers et Sermaises, à respectivement 23 km et 29 km du projet. L'atlas éolien généré pour cette précédente étude est donc entièrement indépendant de ce nouvel atlas issu des données de vent mesurées sur le site.

Le tableau ci-après présente les productibles estimés à partir de ces deux atlas de vent indépendants, pour le modèle de turbine Enercon E126 3 MW à 96 m de hauteur de moyeu (scénario 1). On soulignera que puisque les implantations des turbines sont différentes entre les deux études, ces comparaisons ont été effectuées pour une même implantation à savoir celle considérée pour la nouvelle étude (voir coordonnées en Annexe 1).

Période long terme	Atlas 1 (étude d'Octobre 2018)	Atlas 2 (étude en cours)	Ecart avec nouvel atlas
Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	57 410 MWh/an	/	/
Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	57 124 MWh/an	56 453 MWh/an	+ 1,2 %

Tableau 17 : Productibles bruts du parc de Bordeaux-Auxy

Ainsi, les productibles estimés à partir de ces deux atlas indépendants concordent et participent à renforcer le degré de confiance du productible estimé dans cette étude. **Ainsi, en tenant compte de ces résultats, le niveau d'incertitude associé à cette étude a été réduit (cf. § IV-3-7).**

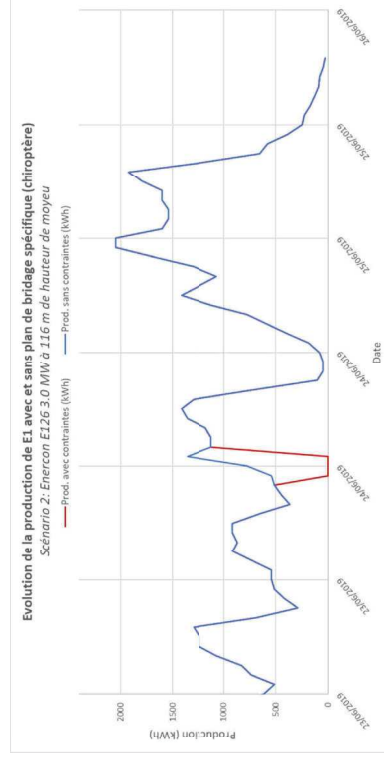
IV-3-4 Estimation de l'impact du plan de gestion spécifique (bridage chiroptère)

Méthodologie générale

Un plan de gestion de type chiroptère, établi par le bureau d'étude Ecosphère, a été considéré pour les 3 scénarios de turbines étudiés. Les contraintes liées aux plans de gestion spécifiques simulées par la suite sont présentées en Annexe 2.

L'impact en production de ce plan de gestion spécifique a été estimé à partir de l'analyse de la différence de production totale entre deux modélisations de série chronologiques de production pour chaque turbine (avec et sans contraintes). **On notera que compte tenu de l'absence de capteur de température sur le mât de mesure (critère de bridage chiroptère, cf. Annexe 2), la modélisation de série de production a été réalisée à partir de données Vortex issues de simulation à méso-échelle sur un pas de temps horaire.**

Le graphique ci-dessous illustre pour la turbine E1 la modélisation des contraintes du plan de gestion pour le scénario 2 (Enercon E126 3,0 MW à 116m de hauteur de moyeu).



Graphique 11 : Influence du bridage chiroptère sur la production de E1

Résultats

Le tableau ci-dessous présente l'impact du plan de gestion spécifique (bridage chiroptère) sur le productible du parc de Bordeaux-Auxy pour les trois scénarios de turbines.

Turbines	Scénario 1 Enercon E126 3,0 MW à 96m	Scénario 2 Enercon E126 3,0 MW à 116m	Scénario 3 Vestas V126 3,0 MW à 117m
E1	4,1 %	4,3 %	4,1 %
E2	4,2 %	4,3 %	4,1 %
E3	4,1 %	4,3 %	4,2 %
E4	4,1 %	4,3 %	4,0 %
E5	4,0 %	4,2 %	4,1 %
E6	4,1 %	4,1 %	4,0 %
Total	4,1 %	4,2 %	4,1 %

Tableau 18 : Pertes de production liées au plan de gestion spécifique de type chiroptère

On rappellera qu'Eoltech a pour mission d'estimer l'impact de ce plan de gestion spécifique sur la production et ne peut pas confirmer ou infirmer la pertinence de ce plan de gestion.

IV-3-5 Pertes sur le productible

Le tableau ci-après présente une synthèse des corrections à appliquer aux productibles bruts calculés précédemment.

Désignations	Corrections	Remarques
(1) Pertes par effet de sillage	/	Incluses
(2) Densité de l'air	99,5 % 99,3 %	Scénario 1 Scénarios 2 & 3 Cf. § IV-3-2
(3) Pertes électriques	98,5 %	Fournies par le client (- 1,5 %)
(4) Disponibilité garantie	98,0 %	Fournie par le client
(5) Maintenance planifiée constructeur	99,5 %	Estimation Eoltech (par défaut)
(6) Disponibilité réseau	99,5 %	Estimation Eoltech (par défaut)
(7) Givre	99,5 %	Estimation Eoltech
(8) Arrêt rafale (hystérésis)	/	Considérée négligeable
(9) Usure	/	Considérée négligeable
(10) Performance réelle des turbines	/	Incertitude majorée (cf. Annexe 7)
(11) Mode fonctionnement particulier et/ou bridage	95,9 % 95,8 % 95,9 %	Scénario 1 Scénario 2 Scénario 3 Bridage chiroptère, cf. § IV-3-4
(12) Autres	/	Aucun
Total	90,7 % 90,5 % 90,6 %	

Tableau 19 : Synthèse des corrections appliquées aux productibles bruts

- Parcs éoliens voisins pris en compte : Parc du Gatinais, Arvilles et Ferme Eolienne des Terres Chaudes, cf. § II-2-3
- Cf. § IV-3-2
- Pertes électriques fournies par le client, à confirmer par des calculs pour ce projet.
- Disponibilité garantie par le constructeur fournie par le client (à confirmer dans le cadre des revues de contrats)
- En l'absence d'informations complémentaires, Eoltech considère que la disponibilité garantie ne prend pas en compte l'indisponibilité associée à la maintenance préventive des machines (valeur usuelle)
- Estimation s'appuyant sur l'expérience d'exploitants (à confirmer dans le cadre des revues de contrats)
- L'estimation des pertes givre s'appuie sur le recoupement de données climatologiques générales (températures moyennes, nombre moyen de jours de gel...), et sur notre connaissance de la région (statistiques de givre sur plusieurs stations de mesures de vent de la région)
- Compte tenu de la faible occurrence de vitesses pouvant impliquer des arrêts rafale, les pertes dues à l'effet d'hystérésis lié au « cut-out effect » ont été considérées négligeables
- Eoltech considère qu'une usure prématurée des pales due à une sollicitation importante des machines ou un encrassement des pales est peu probable pour ce projet.

(10) Usuellement, l'intensité de turbulence, le gradient vertical de vitesse, la complexité du relief et/ou du couvert végétal mais également la hauteur de moyeu au regard du diamètre de rotor participent à apprécier la capacité des turbines à respecter la performance annoncée (courbe de puissance garantie par le constructeur). Dans le cas présent, en l'absence de courbes de puissance mesurées, l'incertitude associée aux performances des turbines a été majorée pour tous les scénarios et d'une manière plus importante pour le scénario 1 où le risque de sous-performance est plus important au regard de la faible hauteur de bas de pale.

(11) Les impacts en production de contraintes chiroptère ont été estimés par Eoltech. Les résultats de ces estimations se trouvent au § IV-3-4 et le détail des contraintes appliquées sont présentées en Annexe 2.

(12) Aucune correction liée à de l'indisponibilité additionnelle due à des conditions de site spécifiques (foudre, températures extrêmes, difficulté d'accès...)

IV-3-6 Estimation du productible net

Le tableau ci-dessous présente le productible net calculé pour le parc de Bordeaux-Auxy.

Modèle de turbines	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Prod. Net P50 (MWh/an)	Prod. Net P50 (heures)
Scénario 1	Enercon E126 3,0 MW	96 m	51 222	2 846
Scénario 2	Enercon E126 3,0 MW	116 m	56 492	3 138
Scénario 3	Vestas V126 3,0 MW	117 m	58 472	3 248

Tableau 20 : Synthèse des productibles nets du parc éolien de Bordeaux-Auxy

IV-3-7 Evaluation de l'incertitude sur le productible

Les incertitudes globales estimées et retenues pour les scénarios de turbines simulés pour le parc de Bordeaux-Auxy sont présentées dans le tableau ci-dessous (cf. détails en Annexe 7). **On soulignera que compte tenu de la convergence des résultats entre cette étude et la précédente (Octobre 2018), estimés chacun à partir de données sources entièrement indépendantes l'une de l'autre (cf. §IV-3-3), les niveaux d'incertitude ont été réduits.**

Modèle de turbines	Hauteur de moyeu	Incertitude estimée sur le productible (à partir des mesures sur site)	Incertitude retenue (minoration au regard de la concordance des sources)
Scénario 1	Enercon E126 3,0 MW	96 m	± 12,0 % ± 10,0 %
Scénario 2	Enercon E126 3,0 MW	116 m	± 11,0 % ± 9,0 %
Scénario 3	Vestas V126 3,0 MW	117 m	± 11,0 % ± 9,0 %

Tableau 21 : Synthèse des incertitudes à appliquer sur le productible du parc éolien de Bordeaux-Auxy

IV-3-8 Estimation des probabilités de dépassement

Les valeurs de probabilité de dépassement ont été estimées à partir d'une distribution normale de Gauss centrée sur le nombre d'heures moyen (P50), pour un écart-type correspondant à l'incertitude estimée.

	Modèle de turbine	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Prod. net P50	Ecart type	Prod. net P75	Prod. net P90
Scénario 1	Enercon E126 3,0 MW	18,0 MW	96 m	51 222 MWh/an 2 846 h. équiv.	5 122 MWh/an 285 h. équiv.	47 768 MWh/an 2 654 h. équiv.	44 658 MWh/an 2 481 h. équiv.
Scénario 2	Enercon E126 3,0 MW	18,0 MW	116 m	56 492 MWh/an 3 138 h. équiv.	5 084 MWh/an 282 h. équiv.	53 063 MWh/an 2 948 h. équiv.	49 976 MWh/an 2 776 h. équiv.
Scénario 3	Vestas V126 3,0 MW	18,0 MW	117 m	58 472 MWh/an 3 248 h. équiv.	5 263 MWh/an 292 h. équiv.	54 923 MWh/an 3 051 h. équiv.	51 728 MWh/an 2 874 h. équiv.

Tableau 22 : Synthèse des probabilités de dépassement pour le parc éolien de Bordeaux-Auxy

P90 signifie qu'il y a 90 % de chance qu'en moyenne sur le long terme (i.e. sur les 10 prochaines années), le productible soit supérieur à celui présenté dans le tableau ci-dessus.

V Conclusions Générales

L'objet de cette mise à jour est d'évaluer le potentiel éolien du projet de Bordeaux-Auxy à partir d'une campagne de mesure réalisée sur ce site. On rappellera qu'une précédente étude du projet de Bordeaux-Auxy réalisée en Octobre 2018 s'était appuyée sur un atlas éolien ajusté sur l'historique de production de deux parcs éoliens en activité Pithiviers et Sermaises à respectivement 23 et 29 km du site de Bordeaux-Auxy.

Compte tenu des bonnes conditions de réalisation de cette étude et de la concordance des résultats avec l'étude précédente (résultats issus de deux sources indépendantes), le niveau d'incertitude global de cette étude a été réduit.

Dans le cadre de cette étude, les principaux points à rappeler sont :

- La qualité des données de vent relevées sur le site de Bordeaux-Auxy, 12 mois de mesures disponibles à 98,5 m de hauteur avec un taux de recouvrement > 99 %, anémomètres calibrés, exposition des capteurs satisfaisante et mât contrôlé par Eoltech.
- Les conditions relativement satisfaisantes du recalage sur le long terme de la période de mesure, Période de 12 mois de mesure non représentative de la période de référence long terme 2010-2019 mais reconstitution de type MCP réalisée dans des conditions satisfaisantes (coefficients de corrélations avec source de référence élevée, distribution énergétique représentative du long terme et faible sensibilité des résultats à la méthode de recalage long terme).
- Les conditions pour la réalisation des simulations satisfaisantes pour l'ensemble du parc de Bordeaux-Auxy, Orographie et rugosité peu complexes, mât de mesure représentatif de l'ensemble des turbines, hauteur de mesure proche des hauteurs de moyeu envisagées et tests d'extrapolation satisfaisants.
- La concordance des résultats de cette étude avec ceux issus de l'atlas de vent de l'étude précédente, Atlas entièrement indépendant de celui utilisé dans le cadre de cette étude et écarts sur le productible inférieur à 1,5 %.

Concernant le calcul d'impact des plans de gestion spécifiques, on rappellera que :

- la société Eoltech a pour mission d'estimer l'impact des plans de gestion spécifiques sur le productible et ne peut pas confirmer ou infirmer la pertinence des contraintes proposées,
- il conviendra au client de s'assurer auprès du constructeur de la faisabilité d'application des plans de gestion spécifiques considérés dans cette étude.

Recommandations

- L'accès aux courbes de puissance mesurées aux conditions de ce projet (i.e. à même hauteur de moyeu et environnement similaire), pourrait permettre de diminuer l'incertitude sur la performance associée aux modèles de turbines,
- Les pertes électriques prises en considération ont été fournies par le client (ordre de grandeur usuel). Il conviendra de vérifier le niveau de ces pertes par un calcul indépendant,
- Aucun plan de bridage acoustique n'a été considéré quel que soit le modèle de turbine étudié. Il conviendra de faire valider la conformité des scénarios de turbines vis-à-vis des réglementations acoustiques en vigueur.
- A la demande du client, une disponibilité garantie de 98 % a été considérée pour l'ensemble des scénarios de turbines. Il conviendra de s'assurer de la cohérence de cette valeur avec les engagements du constructeur retenu (lecture de contrat).

Remarques générales

L'estimation théorique du potentiel éolien qui a été réalisée, suppose que :

- les courbes de puissance correspondent aux courbes de puissance garanties par le constructeur,
- sur les 10 prochaines années, le gisement devrait être similaire à celui de la période de référence prise en compte (2010-2019),
- sur la durée d'exploitation du parc, aucun changement significatif dans l'environnement du parc n'aura lieu (ex : pas de nouveau parc au voisinage autre que ceux pris en compte dans cette étude),
- les 2 % d'arrêt des turbines (disponibilité garantie) se produisent autant en périodes ventées qu'en périodes non ventées. On soulignera d'autre part que le taux de disponibilité garanti pris en compte dans cette étude a été fourni par le client et devra être confirmé (calcul et lecture de contrat).

Références

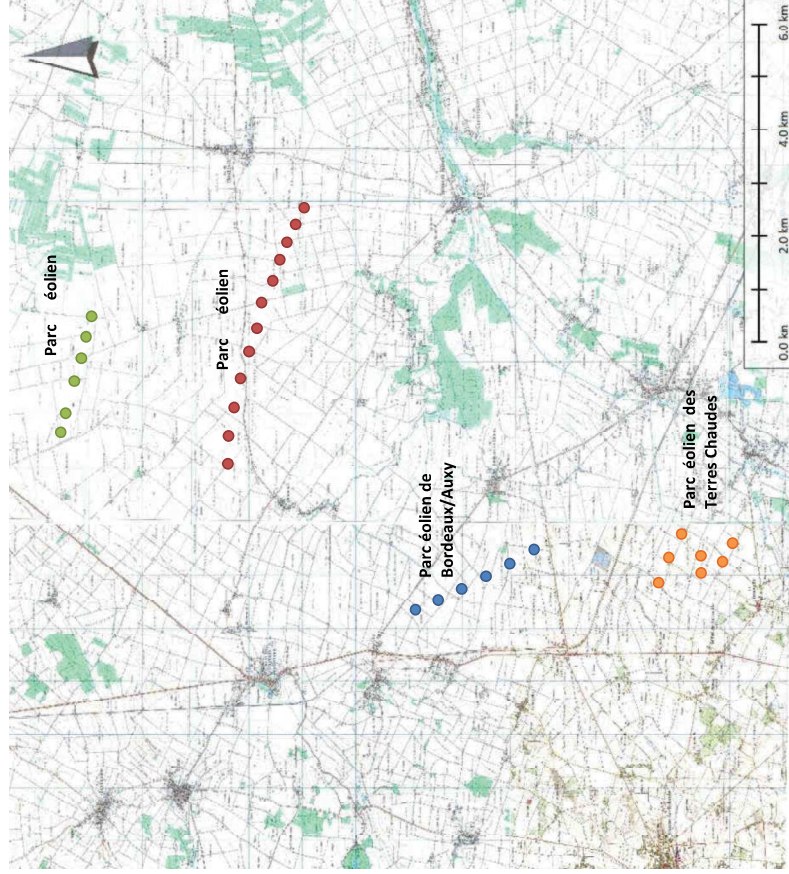
- [1] – Voeral : " 20190114_Rapport d'installation (Location)_LT+100W24120_Loiret (45) .pdf", Janvier 2019
- [2] – Ecosphère : " rapport_final_Auxy_Ecosphere_20200609.pdf", Janvier 2020
- [3] – "Expert Group study on recommended practices for wind turbine testing and Evaluation – 11. Wind speed measurement and use of cup anemometry ", Ed. 1999, second print 2003
- [4] – "International Standard IEC 61400-12-1 Edition 2.0", 03/2017
- [5] – SIG Eolien : "http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/11/eolien2.map ", 03/2020
- [6] – "IEC 61400-12-1 – Annexe K, Edition 2.0 03/2017"
- [7] – Enercon : " D0685316_2_#_en_#_Data Sheet Operating Modes E-126 EP3_3000 kW with TES.pdf", 20/08/2018
- [8] – Vestas : "0056-6303_V06 - Performance Specification V126-3.45MW HTq.pdf", 08/03/2019

Annexe 1 – Caractéristiques et implantation des éoliennes

Implantation des éoliennes du parc éolien de Bordeaux-Auxy

Eoliennes	Lambert 93		Altitudes (m)
	X (m)	Y (m)	
E1	662 356	6 779 205	90,0
E2	662 552	6 778 769	87,5
E3	662 765	6 778 326	90,0
E4	662 993	6 777 875	92,5
E5	663 238	6 777 426	95,7
E6	663 482	6 776 975	94,3

Implantation des parcs éoliens voisins



Courbes de puissance et coefficients de poussée

Enercon E126				Vestas V126			
V (m/s)	EP3 3,0 MW [7] 1.225 kg/m³	P (kW)	Ct	V (m/s)	3,0 MW [8] 1.225 kg/m³	P (kW)	Ct
2,0	12	1,30		3,0	36	0,883	
2,5	36	1,11		3,5	102	0,845	
3,0	73	0,99		4,0	183	0,814	
3,5	124	0,91		4,5	281	0,831	
4,0	193	0,85		5,0	401	0,831	
4,5	287	0,81		5,5	546	0,825	
5,0	401	0,78		6,0	722	0,817	
5,5	543	0,79		6,5	928	0,809	
6,0	715	0,79		7,0	1 170	0,806	
6,5	921	0,79		7,5	1 441	0,793	
7,0	1 160	0,79		8,0	1 755	0,780	
7,5	1 429	0,79		8,5	2 103	0,779	
8,0	1 719	0,79		9,0	2 467	0,758	
8,5	2 010	0,79		9,5	2 747	0,680	
9,0	2 281	0,78		10,0	2 912	0,579	
9,5	2 509	0,75		10,5	2 977	0,484	
10,0	2 687	0,66		11,0	2 997	0,407	
10,5	2 813	0,53		11,5	3 000	0,346	
11,0	2 895	0,44		12,0	3 000	0,299	
11,5	2 945	0,37		12,5	3 000	0,261	
12,0	2 973	0,32		13,0	3 000	0,230	
12,5	2 988	0,28		13,5	3 000	0,206	
13,0	2 996	0,25		14,0	3 000	0,184	
13,5	2 999	0,22		14,5	3 000	0,165	
14,0	3 000	0,20		15,0	3 000	0,148	
14,5	3 000	0,18		15,5	3 000	0,135	
15,0	3 000	0,16		16,0	3 000	0,123	
15,5	3 000	0,14		16,5	3 000	0,112	
16,0	3 000	0,13		17,0	3 000	0,103	
16,5	3 000	0,12		17,5	3 000	0,095	
17,0	3 000	0,11		18,0	3 000	0,087	
17,5	3 000	0,10		18,5	3 000	0,081	
18,0	3 000	0,09		19,0	3 000	0,075	
18,5	3 000	0,09		19,5	3 000	0,070	
19,0	3 000	0,08		20,0	3 000	0,065	
19,5	3 000	0,07		20,5	3 000	0,061	
20,0	3 000	0,07		21,0	3 000	0,057	
20,5	3 000	0,06		21,5	3 000	0,054	
21,0	2 998	0,06		22,0	3 000	0,051	
21,5	2 994	0,06		22,5	3 000	0,048	
22,0	2 985	0,05					
22,5	2 969	0,05					
23,0	2 943	0,05					
23,5	2 901	0,04					
24,0	2 847	0,04					
24,5	2 777	0,04					
25,0	2 692	0,04					

Annexe 2 – Détail des contraintes pour le plan de gestion spécifique

Le plan de bridage chiroptère suivant a été modélisé par le bureau d'études Ecosphère [2]. Ce plan préconise l'arrêt de toutes les turbines en fonction du mois de l'année pour les conditions suivantes :

	Régulation préconisée (Vent à 80m)
Janvier	/
Février	/
Mars	/
Avril	Vitesse ≤ 5 m/s toute la nuit T > 10°C
Mai	Vitesse ≤ 4,5 m/s toute la nuit T > 13°C
Juin	Vitesse ≤ 5,5 m/s toute la nuit T > 18°C
Juillet	Vitesse ≤ 7,5 m/s toute la nuit T > 18°C
Août	Vitesse ≤ 8 m/s toute la nuit T > 15°C
Septembre	Vitesse ≤ 7 m/s toute la nuit T > 15°C
Octobre	Vitesse ≤ 6,5 m/s toute la nuit T > 11°C
Novembre	/
Décembre	/

Compte tenu de l'absence de capteur de température sur le mât de mesure, l'impact de ce plan de gestion a été réalisé à partir de données réanalysées simulées à méso-échelle par Vortex en pas de temps horaire.

Hypothèses considérées par Eoltech :

- heure de la nuit pendant la période Avril : 20h – 7h
- heure de la nuit pendant la période Mai-Juin-Juillet : 21h – 6h
- heure de la nuit au mois d'Août : 20h – 6h
- heure de la nuit au mois de Septembre : 19h – 7h
- heure de la nuit en Octobre : 18h – 7h

On notera que les hypothèses sur l'heure du coucher du Soleil ont été considérées après analyse du calendrier solaire de la ville d'Orléans sur le site www.ephemeride.com. Conformément aux recommandations d'Ecosphère [2], la période nuit commence 30min avant le coucher du Soleil et se termine au lever du Soleil.

On rappellera qu'Eoltech a pour mission d'estimer l'impact de ce plan de gestion sur la production du parc de Bordeaux/Auxy et ne peut pas confirmer ou infirmer la pertinence de ce plan de gestion.

Annexe 3 – Détail des productibles bruts par turbine

- Scénario 1 : Enercon E126 3,0 MW à 96 m de hauteur de moyeu

	Modèle de turbines	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Vmoy (m/s)	Prod. Brut (MWh/an) Hors sillage	Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	Pertes sillage %
E1				6,42	9 713	9 471	2,5 %
E2				6,41	9 697	9 311	4,0 %
E3	Enercon E126	18,0 MW	96 m	6,43	9 750	9 331	4,3 %
E4	3,0 MW			6,45	9 782	9 359	4,3 %
E5				6,48	9 880	9 472	4,1 %
E6				6,47	9 840	9 509	3,4 %
Total				6,44	58 662	56 453	3,8 %

- Scénario 2 : Enercon E126 3,0 MW à 116 m de hauteur de moyeu

	Modèle de turbines	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Vmoy (m/s)	Prod. Brut (MWh/an) Hors sillage	Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	Pertes sillage %
E1				6,78	10 729	10 479	2,3 %
E2				6,78	10 714	10 311	3,8 %
E3	Enercon E126	18,0 MW	116 m	6,80	10 765	10 328	4,1 %
E4	3,0 MW			6,81	10 796	10 355	4,1 %
E5				6,84	10 887	10 466	3,9 %
E6				6,83	10 852	10 512	3,1 %
Total				6,81	64 743	62 451	3,5 %

- Scénario 3 : Vestas V126 3,0 MW à 117 m de hauteur de moyeu

	Modèle de turbines	Puissance totale	Hauteur de moyeu	Vmoy (m/s)	Prod. Brut (MWh/an) Hors sillage	Prod. brut (MWh/an) Pertes sillage incluses	Pertes sillage %
E1				6,80	11 096	10 836	2,3 %
E2				6,80	11 081	10 663	3,8 %
E3	Vestas V126	18,0 MW	117 m	6,81	11 133	10 678	4,1 %
E4	3,0 MW			6,83	11 165	10 706	4,1 %
E5				6,86	11 259	10 822	3,9 %
E6				6,85	11 222	10 868	3,2 %
Total				6,83	66 956	64 573	3,6 %

Annexe 4 – A et k par éolienne et pour le mât de mesures à hauteur de moyen

- Scénario 1 : Enercon E126 3.0 MW à 96 m de hauteur de moyen

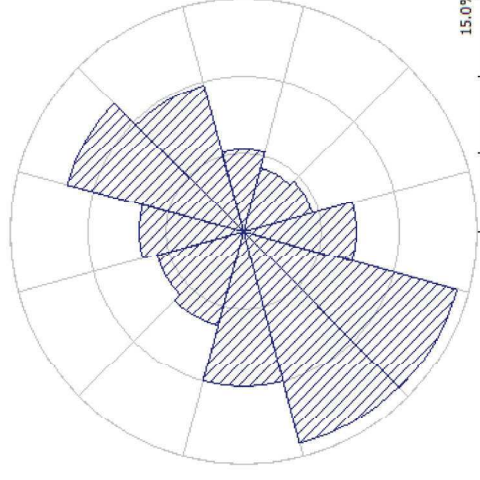
Emplacement	H (m)	V (m/s)	A (m/s)	k
Mât de mesures	96 m	6,44	7,3	2,3
E1	96 m	6,42	7,2	2,3
E2	96 m	6,41	7,2	2,3
E3	96 m	6,43	7,3	2,3
E4	96 m	6,45	7,3	2,3
E5	96 m	6,48	7,3	2,3
E6	96 m	6,47	7,3	2,3

- Scénario 2 : Enercon E126 3.0 MW à 116 m de hauteur de moyen

Emplacement	H (m)	V (m/s)	A (m/s)	k
Mât de mesures	116 m	6,81	7,7	2,3
E1	116 m	6,78	7,7	2,3
E2	116 m	6,78	7,7	2,3
E3	116 m	6,80	7,7	2,3
E4	116 m	6,81	7,7	2,3
E5	116 m	6,84	7,7	2,3
E6	116 m	6,83	7,7	2,3

- Scénario 3 : Vestas V126 3.0 MW à 117 m de hauteur de moyen

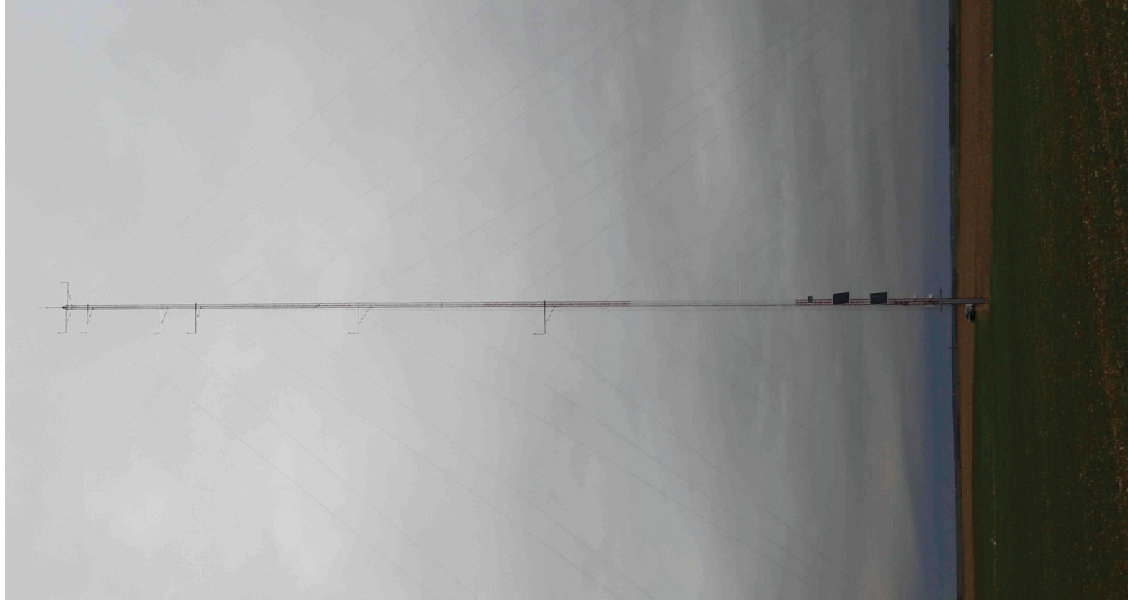
Emplacement	H (m)	V (m/s)	A (m/s)	k
Mât de mesures	117 m	6,82	7,7	2,3
E1	117 m	6,80	7,7	2,3
E2	117 m	6,80	7,7	2,3
E3	117 m	6,81	7,7	2,3
E4	117 m	6,83	7,7	2,3
E5	117 m	6,86	7,7	2,3
E6	117 m	6,85	7,7	2,3

Annexe 5 – Rose des vents au point d'implantation du mât de mesures à 116 m de hauteur


Rose des vents au point d'implantation du mât à 116 m de hauteur

Annexe 6 – Photographies du site de Bordeaux-Auxy

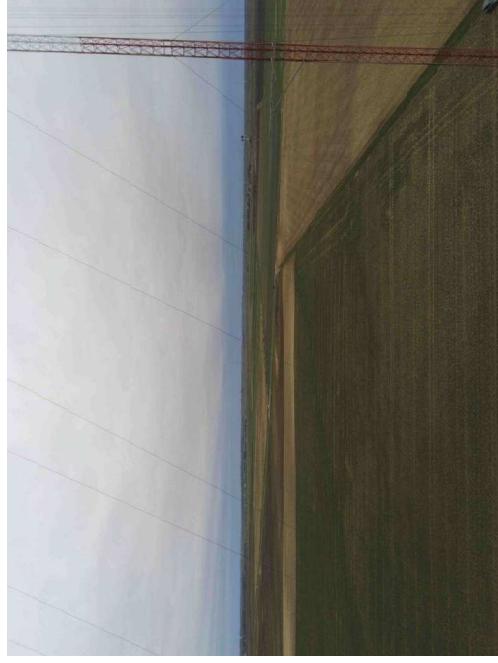
Photographies du mât de mesure prise lors de la visite du site (source Eoltech)



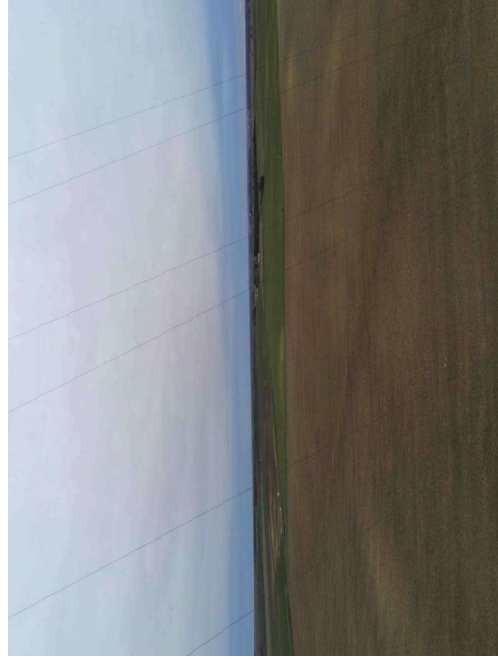
37/53

12/06/2020

Photographie du site à 40m de hauteur (source Eoltech)



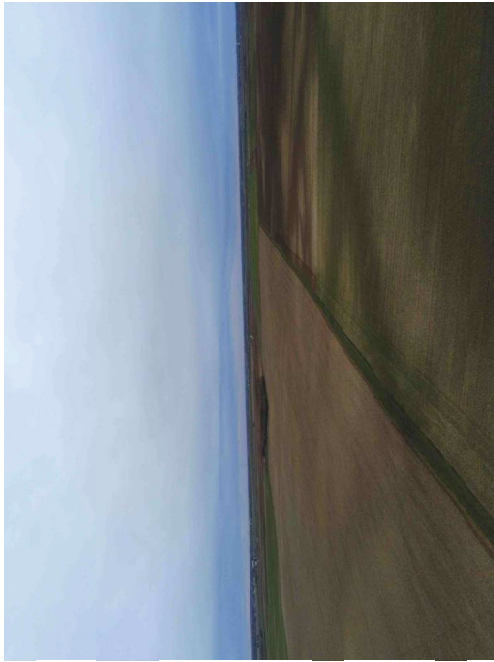
Nord du site de Bordeaux-Auxy



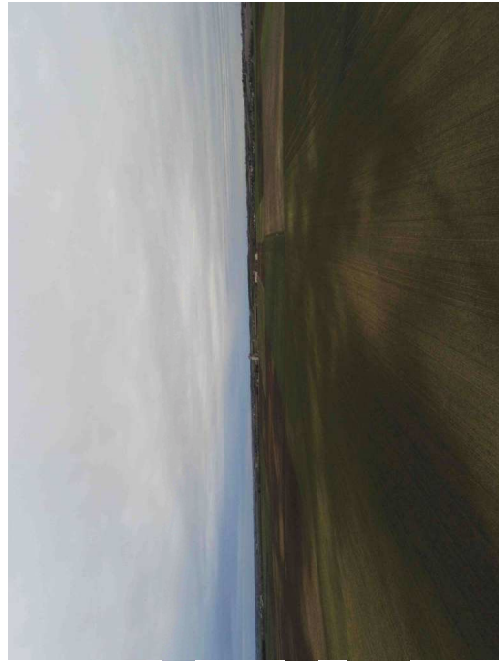
Est du site de Bordeaux-Auxy

38/53

12/06/2020



Sud du site de Bordeaux-Auxy



Ouest du site de Bordeaux-Auxy

Annexe 7 – Détail de l'évaluation de l'incertitude sur le productible

INCERTITUDES		Remarques
Incertitudes sur la vitesse du vent	± 2,0 %	Anémomètres calibrés, mât contrôle par Eoltech, exposition des capteurs satisfaisante
Incertitude sur le long terme	± 3,5 %	Période de 12 mois non représentative du long terme 2010-2019. Reconstitution de type MCP réalisée dans des conditions satisfaisantes (coefficients de corrélation satisfaisants, distribution énergétique représentative du long terme et faible sensibilité des résultats à la méthode d'ajustement)
Incertitude liée à la simulation (estimation)	± 2,0 %	Orographie et rugosité peu complexes, mât de mesure représentatif de l'ensemble des turbines, hauteur de mesure très proche des hauteurs de moyen envisagés et tests d'extrapolation satisfaisants
Incertitude globale sur la vitesse	± 4,5 %	
Incertitude sur le productible		
Incertitude sur la vitesse	Scénario 1 Scénario 2 & 3	± 9,0 % ± 8,0 % ± 8,5 %
Garantie sur les courbes de puissance	Scénario 1 Scénario 2 & 3	± 12,0 % ± 7,0 %
Incertitude globale sur le productible	Scénario 1 Scénario 2 Scénario 3	± 11,0 % ± 11,0 % ± 11,0 %

On soulignera que les niveaux d'incertitudes ci-dessus correspondent à ceux estimés uniquement à partir des informations sur le mât de mesure. Compte tenu de la cohérence des résultats avec la précédente étude, ces niveaux d'incertitude ont été légèrement minorés (cf. § IV-3-7).

Facteurs de conversion vitesse/énergie selon les modèles de turbines :

- Scénario 1 – Enercon E126 3,0 MW à 96 m : 1,9
- Scénario 2 – Enercon E126 3,0 MW à 116 m : 1,7
- Scénario 3 – Vestas V126 3,0 MW à 117 m : 1,7

L'appréciation de l'incertitude étant qualitative, ce tableau est fourni à titre indicatif. Il permet cependant de situer le niveau d'incertitude que l'on peut affecter à l'évaluation du gisement éolien proposée dans cette étude.

Annexe 8 – Certificats de calibration

Anémomètre à 98,5 m

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Centro de Calibración
Número 28407 AC
Página 1 de 5 páginas
Fecha: 23/11/2018

E.T.S. Aerometría y del Espacio
Plaza de Cardenal Cisneros, 3, E-28040 Madrid
Tel: +34 91 523 7347 Fax: +34 91 523 7348
Email: info@upm.es

Modelo: OBLT0
Marca: MARCH
Modelo: THES CLIMA
Modelo: 4.35E11.0.000

Identificación: 11818744

Solicitante: KINTECH INGENIERIA, S.L.
Avda. Arsenio Chaves, nº 37-45, local bajo
50004 Zaragoza

Fecha de Calibración: November 26, 2018

Explicaciones autorizadas
Fecha de emisión: November 27, 2018

Fecha: 2018.11.27 11:21:27 +0100

Director Técnico
Sello Sinal



Este certificado se emite de acuerdo con las condiciones de acreditación concedidas por ENAC, que ha comprobado las condiciones de funcionamiento y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.

Este certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio que lo emite.

ENAC y el International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) han acordado que el presente certificado es válido para el territorio de la Unión Europea y el territorio de los Estados Unidos.

Este certificado es válido para el territorio de la Unión Europea y el territorio de los Estados Unidos.

ENAC y el International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) han acordado que el presente certificado es válido para el territorio de la Unión Europea y el territorio de los Estados Unidos.

Este certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio que lo emite.

ENAC y el International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) han acordado que el presente certificado es válido para el territorio de la Unión Europea y el territorio de los Estados Unidos.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Centro de Calibración
Número 28407 AC
Página 1 de 5 páginas
Fecha: 23/11/2018

E.T.S. Aerometría y del Espacio
Plaza de Cardenal Cisneros, 3, E-28040 Madrid
Tel: +34 91 523 7347 Fax: +34 91 523 7348
Email: info@upm.es

Modelo: OBLT0
Marca: MARCH
Modelo: THES CLIMA
Modelo: 4.35E11.0.000

Identificación: 11818744

Solicitante: KINTECH INGENIERIA, S.L.
Avda. Arsenio Chaves, nº 37-45, local bajo
50004 Zaragoza

Fecha de Calibración: November 26, 2018

Explicaciones autorizadas
Fecha de emisión: November 27, 2018

Fecha: 2018.11.27 11:21:27 +0100

Director Técnico
Sello Sinal

1. ORDER IDENTIFICATION

Order reference number: 201809404
Arrival date: 23/11/2018

2. MEASUREMENTS

DRP/UPM, according to the guidelines set by the MEASNET network.

The measurement was performed using a Fluke 1523B66.

The anemometer was placed on the measuring table of the wind tunnel test section which is rectangular in height and 0 m in width. Before calibration, the anemometer was run at a steady wind tunnel velocity of 10 m/s for 5 minutes in order to avoid the effect that the temperature variations may have on the mechanical friction of the anemometer bearings. Calibration was performed under both ratings and a rating wind speed in the range of 4 to 10 m/s. Before collecting data at each wind speed, 1 minute delay was allowed for stable conditions to become established.

CAMPAIGN 2000".

The calibration campaign is described in Report "ANEMOMETER CALIBRATION REPORT".

3. LIST OF EQUIPMENT ITEM

Instrument	Manufacturer	Type	Serial Number	Code	Date	Calibration
Pressure	MMS	120A-2139	017688068	7111099	18/04/2018	ELRCP/ASCALS S 8767
Digital	KEITHLEY	2000	0653686	1011002	05/04/2017	ENAC 1250-307082366
Transmitter	VANALM	PT1200	Z1110002	64992017	28/08/2017	ESTEM-AMAD-C-17012216
Receiver	HP	53131A	3736A22513	2011002	03/04/2017	ENAC 1250-307082368

LABORATORIO DE CALIBRACION EN TIPOLOGIA DE ANEMOMETROS, LAC, DRP/UPM

Figura 4 de 5
28407AC

Table 1. Linear Regression Results

The statistical uncertainty is given by

$$\sigma(x_0) = \sqrt{\sigma^2 \frac{1}{n} + \sigma^2 \frac{x_0^2}{\sum x_i^2} + 2x_0 \text{COV}(A, B) / \sqrt{1}}$$

For 10 m/s wind speed the statistical uncertainty $\sigma(x_0)$ is 0.0033 [m/s].

Table 2. Linear Regression Results

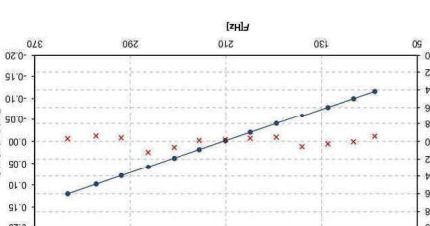
Parameter	Value	sd	Comments
A	0.04606	0.00004	Slope
B	0.24300	0.00918	Offset
r	1.00000		Regression Coefficient
sd(F)	0.01177		Standard Deviation

$F[m/s] = A(m/s) [Hz] + B[m/s]$

The linear regression has been carried out by using a least squares fitting.

LABORATORIO DE CALIBRACION EN TIPOLOGIA DE ANEMOMETROS, LAC, DRP/UPM

Figura 3 de 5
28407AC



4. AMBIENT CONDITIONS

Parameter	Value	sd	Comments
Temperature	23.02	24.89	25.19
Humidity	33.6	33.3	33.9

Table 1. Calibration Results

Parameter	Value	sd	Comments
Temperature	23.02	24.89	25.19
Humidity	33.6	33.3	33.9

LABORATORIO DE CALIBRACION EN TIPOLOGIA DE ANEMOMETROS, LAC, DRP/UPM

Figura 2 de 5
28407AC

5. RESULTS

The results included in this certificate are only applicable to the calibrated instrument and to the instrument and conditions at which the calibration was carried out.

Table 1. Calibration Results

Parameter	Value	sd	Comments
Temperature	23.02	24.89	25.19
Humidity	33.6	33.3	33.9

4. AMBIENT CONDITIONS

Max.	Min.	Mean
23.80	23.29	23.54
938.00	937.06	937.52
33.0	34.2	34.0

Air temperature: [°C]
Air pressure: [hPa]
Air humidity: [%]

5. RESULTS

The results included in this certificate are only applicable to the calibrated instrument and to the instant and conditions at which the calibration was carried out.

* Residuals: difference between the anemometer output and the linear regression result.
The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EAL Publication EA-4/02.

Table 1. Calibration Results

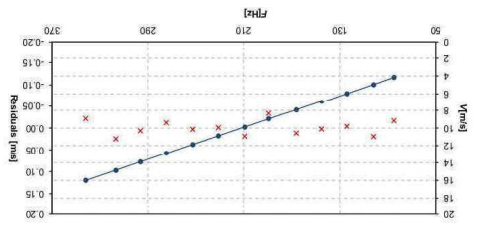
Anemometer Output [m/s]	Reference Wind Speed v_r [m/s]	Linearity [m/s]	Residuals*
84.833	4.15	0.10	-0.0166
124.146	5.97	0.10	-0.0037
166.444	7.93	0.10	-0.0119
208.929	9.90	0.10	0.0188
252.419	11.88	0.12	0.0032
296.855	13.89	0.14	0.0063
341.897	15.98	0.16	-0.0214
316.613	14.86	0.15	0.0250
274.455	12.88	0.13	-0.0121
230.088	10.89	0.11	-0.0007
189.116	8.93	0.10	-0.0332
145.352	6.95	0.10	0.0026
101.877	4.97	0.10	0.0197

Table 2. Linear Regression Results

For 10 m/s wind speed the statistical uncertainty $\sigma(v_r)$ is 0.0050 [m/s].
The statistical uncertainty is given by $\sigma(v_r) = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{r,i}^2 - \bar{v}_r^2 \right) + 2v_r \text{COV}(v_r, \bar{v}_r)}$

Parameter	Value	Std	Comments
A	0.04048	0.00006	Linearity
B	0.25745	0.01398	Offset
r	0.99999		Regression Coefficient
$sdf(r)$	0.01799		Standard Deviation

The linear regression has been carried out by using a least squares fitting.



Remarks:
The photo does not correspond to the actual calibration but shows a representative arrangement of the mounting of that type of anemometers.
Max Diameter: 35 mm

References:
Nikolai A. Bezdenykh, "Anemometer Calibration Campaign 2000", Ref. T/CC/C0011



CERTIFICADO DE CALIBRACION
Número 28344AC
Página 4 de 5
Página 1 of 5 pages

OBJETO Cup Anemometer
MARCA THIES CLIMA
MODELO 4.3351.10.000
IDENTIFICACION 11183634
SOLICITANTE KINTECH INGENIERIA, S.L
5004 Zaragoza
Fecha de emisión: November 14, 2018
Firmado digitalmente por VCSA RAMIRO ENRIQUE - 02042109F
Fecha: 2018.11.14 16:09:20 +01'00'

FECHA DE CALIBRACION November 14, 2018
Signatures autorizadas
Authorized signatories
Date of issue: November 14, 2018
Técnico Director
Sello/Seal
IDR UPM

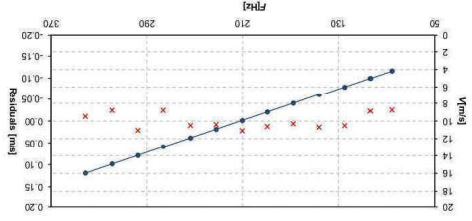
Este certificado es emitido en las condiciones de acreditación concedidas por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida de laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales. ENAC es miembro de Acordo de Reconocimiento Mutuo (MRA) de celebración de European Cooperation for Accreditation (ECA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC, which has assessed the metrological capability of the laboratory and its traceability to national and international standards. ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of Recognition of Accredited Laboratories (MRA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

References
Nikolai A. Bezdenykh, "Anemometer Calibration Report Campaign 2000", Ref. T/CC/C0011

Remarks:
The photo does not correspond to the actual calibration but shows a representative arrangement of the mounting of that type of anemometers.
Mast Diameter: 35 mm



Photo of the Anemometer in the Wind Tunnel
Laboratorio de Calibración en Túnel Aerodinámico, LAC, IDR/UPM
Instituto Universitario de Investigación Tecnológica Da River
Página 5 de 5
28344C



Parameter	Value	sd	Comments
f	0.04600	0.00007	Slope
b	0.26041	0.01503	Offset
r	0.99999		Regression Coefficient
$sd(f)$	0.01926		Standard Deviation

The linear regression has been carried out by using a least squares fitting.

$$f \text{ [m/s]} = f \text{ [(m/s)/(Hz)]} \cdot f \text{ [Hz]} + b \text{ [m/s]}$$

Table 2. Linear Regression Results

For 10 m/s wind speed the statistical uncertainty $\sigma(x_0)$ is 0.0053 [m/s]

$$\sigma(x_0) = \left(\frac{\sigma_f}{f} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b} \right)^2 + 2 \cdot r_{fb} \cdot \text{COV}(f, b) \cdot \left(\frac{f}{b} \right)^2$$

The statistical uncertainty is given by

Linear Regression Results
Laboratorio de Calibración en Túnel Aerodinámico, LAC, IDR/UPM
Instituto Universitario de Investigación Tecnológica Da River
Página 4 de 5
28344C

Table 1. Calibration Results

* Residuals: difference between the anemometer output and the linear regression result.

Anemometer Component	Reference Wind Speed [m/s]	Linearity of f (± 2) [m/s]	Residuals* [m/s]
85.628	4.17	0.10	-0.0299
124.990	6.00	0.10	-0.0105
167.992	7.98	0.10	0.0065
210.119	9.95	0.10	0.0224
255.461	11.93	0.12	0.0104
297.401	13.96	0.14	0.0216
341.284	15.95	0.16	-0.0105
318.920	14.91	0.15	-0.0245
276.273	12.95	0.13	-0.0243
231.980	10.94	0.11	0.0044
189.260	8.98	0.10	0.0127
145.994	6.99	0.10	0.0142
103.492	5.00	0.10	-0.0224

5. RESULTS

The results included in this certificate are only applicable to the calibrated instrument and to the time instant and conditions at which the calibration was carried out.

Max.	Min.
25.08	24.64
948.25	947.53
38.3	37.0

4. AMBIENT CONDITIONS
Laboratorio de Calibración en Túnel Aerodinámico, LAC, IDR/UPM
Instituto Universitario de Investigación Tecnológica Da River
Página 3 de 5
28344C

Instrument	Manufacturer	Type	Serial Number	Code	Traceability
Probe Tube	AIRFLOW	0.48	N.A.	9410009	PTB-14-407947
Pressure Transducer	MKS	120A-2319	017688088	711009	EA.BOPVSCALS.8767
Signal Processor	KETHLEY	2000	0653686	101002	ENAC.1250-307083248
Reference Transducer	ESTEM-MAD-C1	1701281	Z1110003	04/09/2017	ESTEM-MAD-C1-1701281
Reference Transducer	ESTEM-MAD-C1	1701216	Z1110022	26/08/2017	ESTEM-MAD-C1-1701216
Sensor	Temp-Board	PTL200	Z1110022	911001	26/08/2017
Connector	HP	5131A	3736A2513	301002	03/04/2017
Connector	Universal	ENAC	1250-307083248		

3. LIST OF EQUIPMENT USED

Measurements were made at the Wind Tunnel of LAC, IDR/UPM following procedure PE-02 of LAC, IDR/UPM, according to the guidelines set by the MESA/NET network.
The reference velocity was measured using a Pitot tube ISO3966.
The anemometer was placed on the mounting prior of the wind tunnel test section which is rectangular of 0.9 m height and 0.9 m width. Before calibration, the anemometer was run at a steady wind tunnel velocity of 10 m/s for 5 minutes in order to avoid the effect that the temperature variations may have on the mechanical friction of the anemometer bearings. Calibration was performed under both ranging and the sampling frequency was 10 Hz and the sampling interval was 30 s. Before collecting data at each wind speed, 1 minute delay was allowed for stable conditions to become established.
The calibration campaign is described in Report "ANEMOMETER CALIBRATION REPORT", CAMPAIGN 2000.

2. MEASUREMENTS

Order reference number: 2018090381
Arrival date: 31/10/2018

1. ORDER IDENTIFICATION

Página 2 de 5
Laboratorio de Calibración en Túnel Aerodinámico, LAC, IDR/UPM
Instituto Universitario de Investigación Tecnológica Da River
Página 2 de 5
28344C



Photo of the Anemometer in the Wind Tunnel

Remarks: The photo does not correspond to the actual calibration but shows a representative arrangement of the mounting of that type of anemometers.

Mast Diameter: 35 mm

References
 Nikolai A. Bezdeknykh, "Anemometer Calibration Report Campaign 2000", Ref. T/ICC/C0011



