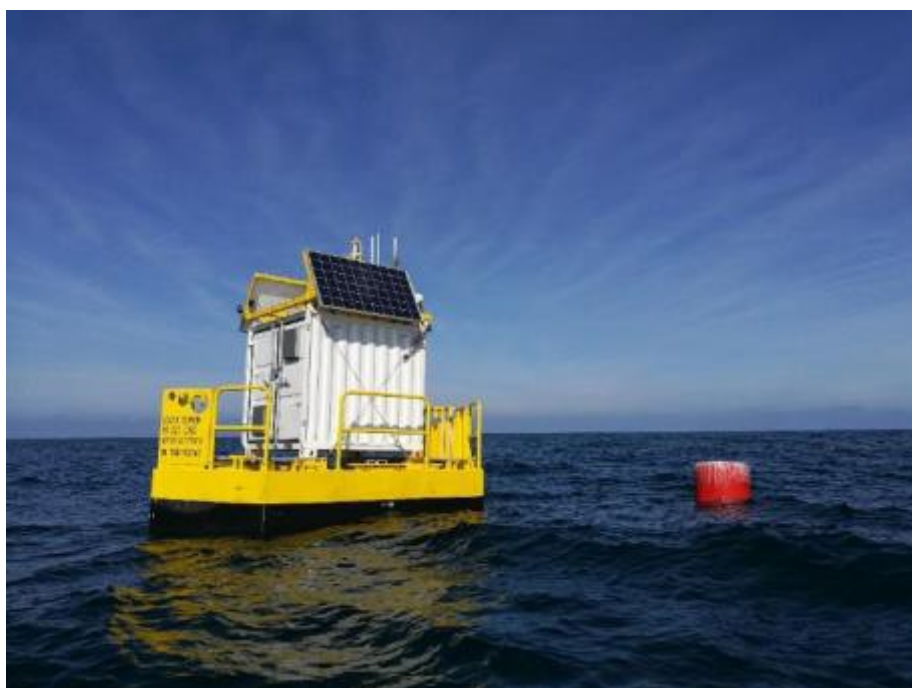
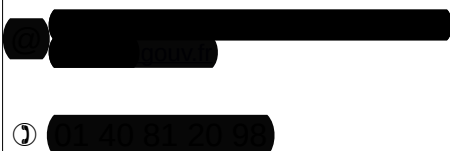


Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud



Version 1 du 13/01/22

Client : Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Écologique		
Responsable commercial : Météo-France D2C Toulouse		
Responsable technique : Météo France DSM/CS/DC		

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	Référence	Date	Version
DR1	Projet de parc éolien off-shore au large de Dunkerque	Rapport_final_DGEC_Dunkerque	09/02/2018	V6
DR2	Projet de parc éolien off-shore au large de l'île d'Oléron	Rapport_final_12mois_DGEC_Oleron	04/12/2018	V2

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
AO5_BretagneSud_Lot4_Rapport-final_V2_20220126	24/01/2022	V1	Première version

Signatures

	Nom	Service
Rédacteurs	Nicolas Guérin Michel Aidonidis Éric Balcon	DSM/CS/ÉNERGIE DIRO/CM/BREST DIRO/CM/BREST
Relecteurs	Raphaël Legrand Sébastien Delecay Gérard Doligez	DSM/CS/DC DSM/CS/ÉNERGIE DIROP/MAR
Approbateur	Raphaël Legrand	DSM/CS/DC

Table des matières

1	Contexte	1
1.1	Zone d'étude	1
1.2	Descriptif de la solution retenue pour l'acquisition des mesures sur site	4
2	Méthodologie appliquée	6
2.1	Présentation du modèle AROME	6
2.2	Type de données fournies par les LiDARs	7
2.3	Les outils statistiques	8
2.3.1	Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI	8
2.3.1.1	Seuils de référence	8
2.3.1.2	Détermination des seuils adaptés au LiDAR	9
2.3.1.3	Codes qualité	9
2.3.2	Statistiques de contrôle de la mesure	10
3	Analyse des données de vent mesuré par les LiDARs	12
3.1	Méthodologie du suivi des données	12
3.1.1	Disponibilité des données brutes	12
3.1.2	Monitoring des données FF brutes	15
3.1.3	Monitoring des erreurs	16
3.2	Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses	17
3.3	Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure	19
3.3.1	Statistiques de contrôle de la mesure	19
3.3.1.1	LiDAR Nord	19
3.3.1.2	LiDAR Sud	22
3.3.2	Statistiques descriptives du vent mesuré	25
3.3.2.1	Vent moyen horizontal à 100 m des LiDARs	25
3.3.2.2	Distributions	27
3.3.2.3	Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires)	28
3.3.2.4	Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires)	29
3.3.2.5	Roses des vents (données horaires)	31
3.3.2.6	Profils verticaux de vent (données horaires)	32
3.3.2.7	Cisaillement du vent (données 10 minutes)	33
3.3.2.8	Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m	35
3.3.2.9	Séries horaires FF et FXI à 100 m	36
4	Analyse des données de vent mesuré par les anémomètres	37
4.1.1.1	Anémomètre Site Nord	37
4.1.1.2	Anémomètre Site Sud	39
5	Conclusions	40
	Annexes	41

Liste des illustrations

Illustration 1 : Situation géographique des îles (source www.geoportail.gouv.fr)	1
Illustration 2 : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station du Talut - 56009001 (Belle-île)	2
Illustration 3 : Carte marine du large de Belle-île et de Groix (source portail Data - SHOM)	3
Illustration 4 : Emplacement des bouées de la zone d'étude de l'AO5 (source openStreetMap)	3
Illustration 5 : Photo de la plateforme de mesure	4
Illustration 6 : Photo du modèle de LiDAR utilisé pour la campagne de mesure	5
Illustration 7 : Localisation des points AROME les plus proches des LiDARs (source OpenStreetMap)	7
Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données	13
Illustration 9 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite). Situation du 28/09/20 au 04/10/20.	15
Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge) pour le mois de septembre 2020.	16
Illustration 11 : Données FXI aberrantes du LiDAR Nord	18
Illustration 12 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR Nord avec le modèle	19
Illustration 13 : Diagramme « quantile-quantile » du LiDAR Nord	19
Illustration 14 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR Nord en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)	20
Illustration 15 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR Nord	21
Illustration 16 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR Sud avec le modèle	22
Illustration 17 : Diagramme « quantile-quantile » du LiDAR Sud	22
Illustration 18 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR Sud en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)	23
Illustration 19 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR Sud	24
Illustration 20 : Distributions des vents horaires du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite) sur l'intégralité de la campagne de mesure.	27
Illustration 21 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)	28
Illustration 22 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite) ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données	29
Illustration 23 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Nord	31
Illustration 24 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Sud	31
Illustration 25 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Nord	33
Illustration 26 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)	34
Illustration 27 : Turbulence du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)	35
Illustration 28 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR Nord	36
Illustration 29 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR Sud	36

Illustration 30 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre Nord avec le modèle	37
Illustration 31 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre Nord (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)	38
Illustration 32 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre Nord	38
Illustration 33 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre Sud avec le modèle	39
Illustration 34 : Distribution des vents horaires (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » de l'anémomètre Sud (à droite)	39
Illustration 35 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre Sud	40
Illustration 36 : Analyse ISOFRONT du 2 octobre à 00h UTC	42
Illustration 37 : Pmer et vent 100m (1er octobre 2020) – Assimilation Arpège	42
Illustration 38 : Pmer et vent 100m (2 octobre 2020) – Assimilation Arpège	43
Illustration 39 : Comparaison du vent à 100 m entre le LiDAR Nord et le modèle AROME	43
Illustration 40 : Hauteurs de vagues enregistrées	44
Illustration 41 : ANASYG du mardi 6 juillet 2021 à 00h UTC	45
Illustration 42 : Comparaison des mesures Lidar à 100 mètres avec le modèle AROME pour le site Bretagne Nord (à gauche) et Bretagne Sud (à droite) du 5 au 6 juillet 2021	45
Illustration 43 : ANASYG du samedi 25 septembre 2021 à 12h UTC	46
Illustration 44 : Comparaison des mesures Lidar à 100 mètres avec le modèle AROME (à gauche) et visualisation des vents mesurés par le Lidar entre 40 et 200 mètres (à droite) pour le site Bretagne Nord le 25 septembre 2021	47
Illustration 45 : Roses des vents de l'été 2020 de la station du Talut (Belle-île)	49
Illustration 46 : Roses des vents de l'automne 2020 de la station du Talut (Belle-île)	50
Illustration 47 : Roses des vents de l'hiver 2020-2021 de la station du Talut (Belle-île)	51
Illustration 48 : Roses des vents du printemps 2021 de la station du Talut (Belle-île)	52
Illustration 49 : Roses des vents de l'été 2021 de la station du Talut (Belle-île)	53
Illustration 50 : Roses des vents de l'automne 2021 de la station du Talut (Belle-île)	54
Illustration 51 : Anomalies mensuelles de températures minimales et maximales de juillet à décembre 2020 à la station du Talut (Belle-île) - Période de référence : 1981 - 2010	57
Illustration 52 : Cumuls mensuels de précipitations de juillet 2020 à octobre 2021 à la station du Talut (Belle-île) (histogrammes en bleu) et normale de précipitations (segments en vert) - Période de référence : 1981 - 2010	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR Nord. Deux seuils sont surveillés (Key Performance Indicators (KPI): taux mensuel de disponibilité des données > 80 % et taux de disponibilité sur l'ensemble de la campagne > 85 %. Les cases colorées en vert (rose) mettent en avant la validité (invalidité) par rapport à ces deux KPI.	13
Tableau 2 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR Sud. Deux seuils sont surveillés (KPI): taux mensuel de disponibilité des données > 80 % et taux de disponibilité sur l'ensemble de la campagne > 85 %. Les cases colorées en vert (rose) mettent en avant la validité (invalidité) par rapport à ces deux KPI.	14
Tableau 3 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur les LiDARs	17
Tableau 4 : Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR Nord	26
Tableau 5 : Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR Sud	27
Tableau 6 : Statistiques 1981-2010 (en gras, en %) et valeurs 2020 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Belle-île Le Talut ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale	30
Tableau 7: Valeurs théoriques de l'exposant α en fonction de la nature du terrain (source http://eolienne.f4jr.org/vent)	34
Tableau 8 : Liste des épisodes venteux enregistrés à la station du Talut (Belle-île)	55

Glossaire

Abréviation	Signification
OLidar	Données d'observation au point Lidar
MLidar	Données modèle au point Lidar
FF	Vent moyenné sur 10 minutes (en m/s et 1/10)
DD	Direction du vent moyenné sur 10 minutes (en °)
FXI	Maximum du vent instantané sur 10 minutes, également nommé rafale (en m/s)

1 Contexte

La Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) a sollicité Météo-France pour la réalisation d'études de vent dans la zone d'implantation d'éoliennes en mer au large de Belle-île-en-Mer et de Groix. Le but est d'identifier et de lever les risques susceptibles de se présenter dans la zone retenue comme favorable au développement de l'éolien off-shore.

Ces études sont le préalable au lancement d'un appel d'offres éolien en mer conduit par la DGEC.

L'objet de ce rapport consiste au suivi/contrôle de la mesure sur site à partir de deux appareils de type LiDAR durant une campagne de mesures initialement fixée à 12 mois et ce pour différentes hauteurs d'intérêt dont la hauteur 100 m revêtant un caractère important pour la production éolienne. Ce rapport traite des seize mois effectifs de la campagne.

1.1 Zone d'étude

Le futur parc éolien se situe sur une zone au large des îles de Belle-île-en-Mer et de Groix, îles situées dans le golfe de Gascogne, plus précisément au large de la côte sud de la Bretagne (Morbihan).

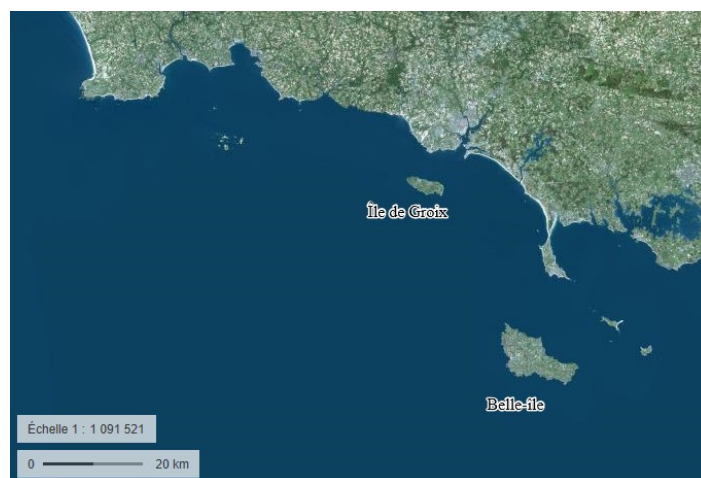


Illustration 1 : Situation géographique des îles (source www.geoportail.gouv.fr)

La zone qui se trouve au large de Lorient, entre Belle-île et l'île de Groix est caractérisée d'un point de vue météorologique par :

- un rapide flux d'Ouest-Sud-Ouest généré par la circulation de nombreuses dépressions sur l'Atlantique Nord. Les tempêtes hivernales y sont fréquentes ;
- un flux modéré d'Est-Nord-Est se mettant en place lors de l'établissement d'un anticyclone puissant sur les îles britanniques ou la Scandinavie. Cette situation peut être observée en toute saison ;
- le faible impact du continent compte tenu de sa distance avec la zone d'étude, cependant une légère influence de la brise thermique n'est pas à exclure en partie nord-est de la zone.

La distance à la côte et la géographie physique libèrent la majeure partie de la zone de toute influence continentale (excepté une petite partie Nord-Est avec la proximité de Belle-Ile). L'alternance de régimes d'Ouest perturbés réguliers et de régimes anticycloniques d'Est font de cette zone un secteur bien venté.

Météo-France dispose de deux stations de mesure, l'une sur l'île de Groix, l'autre à Belle-île. Dans cette étude, nous retiendrons le poste du Talut à Belle-île qui est le plus représentatif de la zone d'étude. A noter que des résultats complémentaires de comparaison avec d'autres stations alentour sont disponibles dans le rapport du lot1 de cet appel d'offre.

Le point de mesure du Talut se trouve à 34 mètres d'altitude, à la pointe Ouest de Belle-île. Cette station nous permet d'avoir une information sur le vent dans le secteur de la zone d'étude (cf. Annexe 5 p49).

Par ailleurs, Météo-France dispose d'un Centre spécialisé Marine & Offshore à Brest au sein duquel travaillent des experts de la prévision et de la climatologie dans le milieu maritime. Il se dégage de leur expertise terrain, les caractéristiques suivantes pour le vent au Talut observé sur la période 2001-2020 :

- les périodes de vent calme ($< 1,5\text{m/s}$) sont très rares sur l'année ($< 2.8\%$). Les allures générales des roses de vent sont proches tout au long de l'année même si la rose d'été montre une prédominance relative des vents des secteurs Ouest et Nord-Nord-Est ;
- les vents les plus forts viennent du secteur Ouest au printemps et en été, du secteur Sud-Ouest en automne et en hiver ; leur intensité est bien plus notable en hiver et plus faible en été ;
- les vents de Nord-Ouest sont peu fréquents, ceux du secteur Sud-Est sont rares voire très rares en été ;
- si les vents les plus forts sont observés venant du secteur Ouest à Ouest-Sud-Ouest, leur force peut également être soutenue quand ils soufflent du Nord-Est.

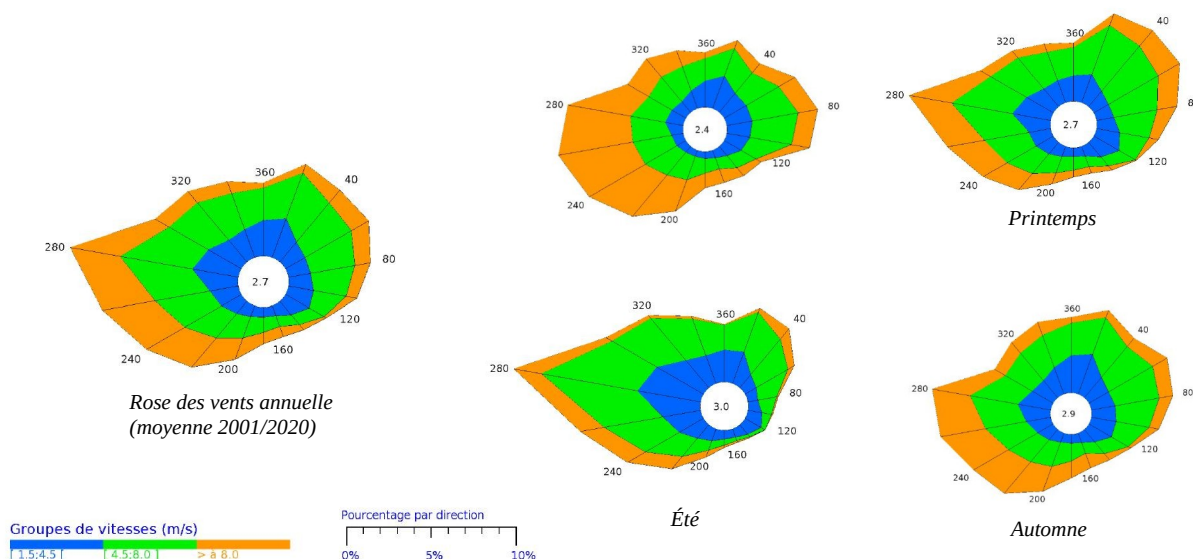


Illustration 2 : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station du Talut - 56009001 (Belle-île)

D'un point de vue de la géographie marine, la zone d'étude se situe au niveau du plateau continental de faible pente vers le large et d'une profondeur variant entre 50 et 100 mètres. Les fonds sont réguliers.

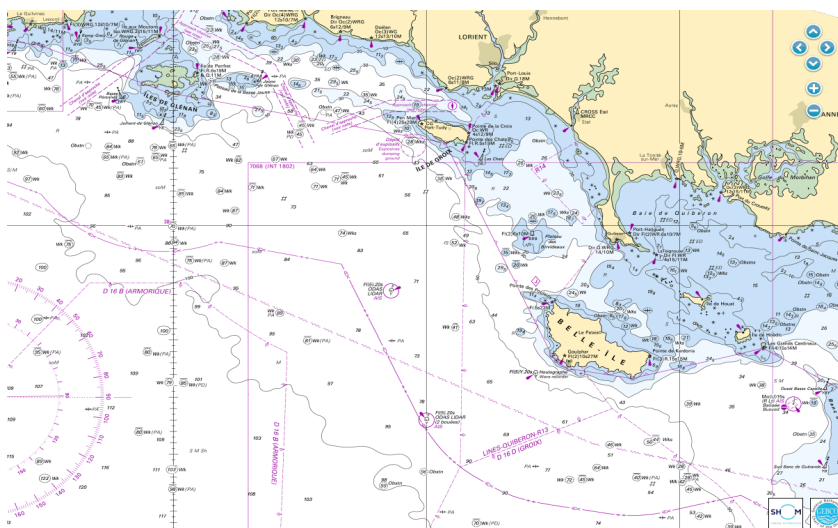


Illustration 3 : Carte marine du large de Belle-île et de Groix (source portail Data - SHOM)

Afin d'assurer l'acquisition et le suivi des mesures sur site, Météo-France a retenu un prestataire assurant la fourniture de données relatives à l'observation Des conditions atmosphériques et océaniques au moyen de deux systèmes flottants. La campagne de mesures est réalisée à proximité des points de coordonnées WGS84 Lon : -3,570° Lat : 47,405° (LiDAR Nord) et Lon : -3,500° Lat 47,220° (LiDAR Sud). Elle se déroule à compter du 1er juillet 2020 et pour une durée de 12 mois minimum. Les coordonnées exactes du point de mesure sont disponibles dans les données brutes produites. La bouée a un rayon théorique maximal de 80



Illustration 4 : Emplacement des bouées de la zone d'étude de l'AO5 (source openStreetMap)

m de déplacement autour de son point d'ancrage. La bouée est équipée d'un LiDAR, d'une station météorologique ainsi que de capteurs océanographiques.

1.2 Descriptif de la solution retenue pour l'acquisition des mesures sur site

Cette section décrit plus précisément les équipements déployés aux points de mesure.

La solution retenue par Météo-France est une plateforme flottante permettant une complète autonomie offshore grâce aux énergies renouvelables (houle + soleil) et une grande stabilité pour la précision de mesure de vent. Elle est supervisée et bénéficie des ressources techniques et humaines pour mener à bien l'ensemble des opérations nécessaires garantissant la meilleure disponibilité des données enregistrées.



Illustration 5 : Photo de la plateforme de mesure

La plateforme flottante embarque des instruments pour effectuer différentes mesures :

- de vent en altitude ;
- de paramètres atmosphériques au niveau au niveau de la plateforme (vent, température, pression, humidité) ;
- de paramètres océanographiques (états de mer, courants marins, hauteurs d'eau).

La mesure de vent en altitude est réalisée à l'aide d'un LiDAR de chez LEOSPHERE : Windcube V2 Offshore 8.66 pour bouée, modèle WLS866-4 (les caractéristiques techniques de l'appareil sont décrites dans le document « WindCube_WLS866_Specification.pdf » faisant partie du livrable dont Météo-France a

la charge). Ce LiDAR (Light Detection And Ranging) envoie une impulsion laser infrarouge vers l'atmosphère. Quatre faisceaux sont envoyés successivement dans les quatre directions cardinales formant un cône de 28°. Un cinquième faisceau vertical permet de vérifier et préciser les mesures. Les impulsions laser sont rétrodiffusées par les particules (poussières, gouttes d'eau, aérosol...) circulant selon la vitesse du vent. Ces impulsions permettent de calculer la vitesse et la direction du vent sur la base du décalage de leur longueur d'onde dû à l'effet Doppler. Ces mesures peuvent être réalisées sur 11 hauteurs différentes, de 40 à 200 mètres.

Dans le cadre de l'acquisition et du suivi de la mesure durant cette campagne, les hauteurs considérées sont les suivantes : 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180 et 200 m.



Illustration 6 : Photo du modèle de LiDAR utilisé pour la campagne de mesure

Le système a été conçu pour fonctionner dans des conditions de mer difficiles. Les limites de performance du LiDAR en termes de correction du mouvement sont d'une inclinaison maximale de $\pm 25^\circ$ (limite de la technologie développée par LEOSPHERE). Compte tenu de ses dimensions, les mesures de gîtes maximales observées sur la plateforme n'ont jamais dépassé 18° et garantissent donc une plage de fonctionnement optimale et complète du LiDAR.

Les paramètres atmosphériques au niveau de la bouée sont mesurés à l'aide d'une station météo multi-capteurs « MaxiMet GMX500 » (les caractéristiques techniques de l'appareil sont décrites dans le document « [Maximet_GMX500_Specification.pdf](#) » faisant partie du livrable dont Météo-France a la charge). La vitesse et la direction du vent sont en particulier mesurées par un anémomètre à ultrasons. A noter que la mesure de vent se fait au point le plus haut de la bouée (environ 4m au-dessus du niveau de la mer) sans toutefois pouvoir être réalisée à 10m (norme de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM)¹) : le haubannage d'un mat à vent n'étant techniquement pas réalisable sur la bouée sans interférer avec les faisceaux lidar. Le positionnement de l'anémomètre a donc été pensé pour obtenir le meilleur compromis entre la qualité des différentes mesures et les contraintes techniques.

Enfin, la plateforme est également équipée d'un houlographe (les caractéristiques techniques de l'appareil sont décrites dans le document « [AANDERAA_Motus_Wave_Sensor_5729_Specification.pdf](#) »), d'un courantomètre fournissant des informations à différents niveaux de profondeurs (caractéristiques

1 Norme OMM pour le vent : le vent est mesuré à 10 m de hauteur car la rugosité du sol provoque de fortes turbulences, ce qui peut se traduire par une erreur en terme de vitesse et de direction

techniques décrites dans le document « ADCP_Nortek_Signature250.pdf ») et d'un profondimètre (caractéristiques techniques décrites dans le document « EchorangeSS510_Specification.pdf ». L'analyse de ces différents paramètres océanographiques fait l'objet d'un rapport spécifique rédigé par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM)

2 Méthodologie appliquée

Ce chapitre expose la méthodologie utilisée par Météo-France pour établir les éléments du suivi et contrôle des données fournies par le LiDAR.

Météo-France réalise un contrôle approfondi des données fournies par le LiDAR avec :

- un suivi au fil de l'eau de la disponibilité des données,
- un contrôle consistant à vérifier les valeurs mesurées au regard de données fournies par des sites voisins ou par le modèle météorologique AROME (au pas de temps horaire) de Météo-France.

A l'issue de ce contrôle approfondi, Météo-France délivrera un code qualité associé aux données fournies par le LiDAR.

Afin de pouvoir valider les données fournies par le LiDAR, Météo-France s'appuiera sur son modèle météorologique à maille fine AROME sur les hauteurs suivantes en termes de données de vent moyen assimilées : 10, 20, 50, 75, 100, 150 et 200 m. Ces données assimilées, disponibles au pas de temps horaire, sont la meilleure représentation de l'état de l'atmosphère à un instant donné car elles combinent une prévision récente (qui donne une première ébauche du vent qu'il fait) avec toutes les observations du même instant. C'est à partir de cet état initial « le plus parfait » que le modèle va calculer l'évolution des paramètres météorologiques sur la grille en 3D qui représente l'atmosphère, en s'appuyant sur les lois physiques qui régissent son comportement.

Seules les données de vent moyen aux différentes hauteurs seront analysées dans ce rapport.

Nous allons décrire dans un premier temps le modèle de prévision numérique AROME, puis les différents types de données LiDAR et enfin une présentation des outils statistiques sera effectuée.

2.1 Présentation du modèle AROME

Le modèle AROME de Météo-France est décrit dans [Chatel et al., V1, 2021]

2.2 Type de données fournies par les LiDARs

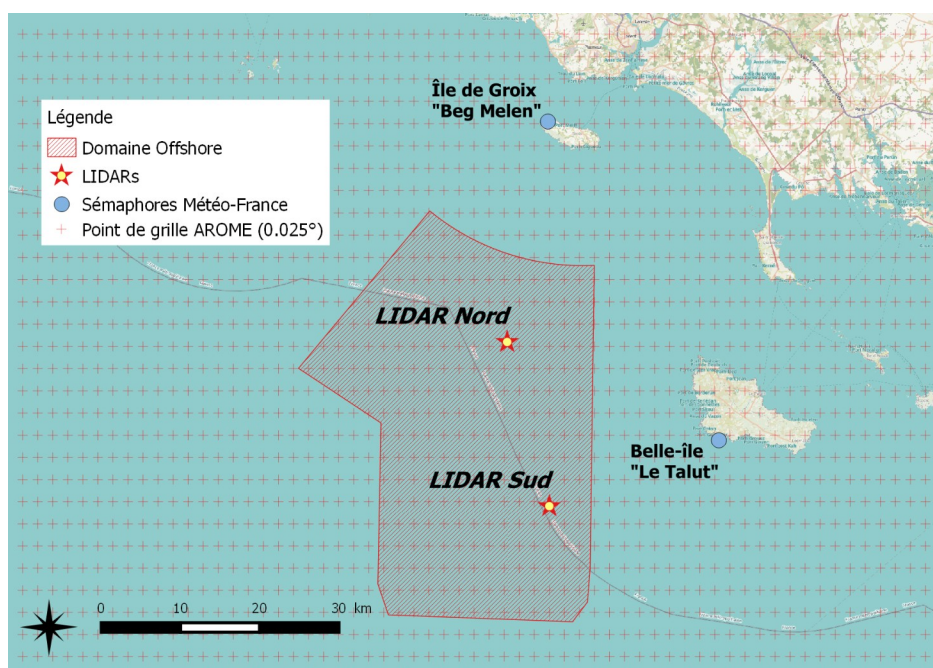


Illustration 7 : Localisation des points AROME les plus proches des LiDARs (source OpenStreetMap)

Pour chaque hauteur de mesures, en heure UTC, les LiDARs fournissent 2 types de données au format ASCII :

- Les données **reconstituées**
 - Données moyennées sur 10 minutes non corrigées (fichiers *.stdsta pour le LiDAR Nord et *.sta pour le LiDAR Sud) et corrigées par la prise en compte du mouvement du LiDAR (fichiers *.csv). Ces données incluent :
 - Vitesse en m/s et direction du vent horizontal moyennées sur 10 minutes, minimum, maximum, et écart type,
 - Vitesse verticale en m/s du vent moyennée sur 10 minutes, minimum, maximum, écart type,
- Les données **brutes** (1 seconde)
 - Données brutes non corrigées (fichiers *.stdrtd pour le LiDAR Nord et *.rtd pour le LiDAR Sud),
 - Données de mouvement du LiDAR Nord (fichiers *.gyro contenant le roulis, le tangage, le lacet et le cap). Données de mouvement du LiDAR Sud (fichiers *.trimble contenant uniquement le cap). La position en x,y,z du LiDAR est disponible à l'aide du système GPS.

Les autres données présentes dans ces trames sont :

- Nombre de mises en route automatiques du balai d'essuie-glace indiquant le nettoyage du capteur,

- Signal sur bruit (CNR) du LiDAR : valeur minimale et moyenne (pour les données reconstituées et les données brutes). Cette mesure permet de quantifier la qualité du signal et de la mesure,
- Disponibilité des mesures des données reconstituées : Cette valeur est donnée en pourcentage, et indique le taux de données brutes utilisé pour l'élaboration de la donnée reconstituée (moyennée sur 10 minutes). Pour Météo-France, la donnée reconstituée est dite fiable lorsqu'au moins 30% des données brutes sont présentes pour élaborer la donnée reconstituée. Les fichiers *.stdsta, *.sta et *.csv présentent cette valeur permettant de juger directement de la fiabilité de la mesure.

Pour plus de détail sur les formats de données, se référer à la notice du livrable des données brutes.

2.3 Les outils statistiques

Le contrôle et l'analyse des mesures de vent des LiDARs et des anémomètres ont été menés grâce à l'utilisation de statistiques descriptives permettant de rendre compte d'un volume relativement important de données.

2.3.1 Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI

Afin de caractériser au mieux les mesures du vent à 100 m au regard de la modélisation AROME, des codes qualité ont été affectés aux paramètres DD, FF et FXI.

2.3.1.1 Seuils de référence

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) est une institution spécialisée des Nations Unies dont un des principaux rôles est la standardisation des mesures météorologiques.

L'OMM a défini des seuils au-delà desquels une série mensuelle de valeurs quotidiennes observées est qualifiée de douteuse par rapport au modèle. Il faut au moins 20 observations quotidiennes dans le mois où les erreurs de forces et de directions suivent respectivement les conditions :

$$|FF_{\text{observation}} - FF_{\text{modèle}}| > 5 \text{ m/s} \quad \text{et} \quad |DD_{\text{observation}} - DD_{\text{modèle}}| > 50^\circ$$

Au sein de Météo-France, la division COMPAS (CONtrôle et Monitoring, Prévisibilité, Adaptation Statistique, Gestion des Cycles Opérationnels et Support Informatique) a défini des critères plus stricts en considérant i) une période de seulement 15 jours et ii) que la série de données quotidiennes soit qualifiée de douteuse, si au moins 10 observations quotidiennes arrivées à temps dans le cycle d'assimilation du modèle respectent les conditions suivantes:

$$|FF_{\text{observation}} - FF_{\text{modèle}}| > 4 \text{ m/s} \quad \text{et} \quad |DD_{\text{observation}} - DD_{\text{modèle}}| > 30^\circ$$

2.3.1.2 Détermination des seuils adaptés au LiDAR

Nous avons souhaité utiliser des critères plus ou moins semblables afin de contrôler les données du LiDAR.

Cependant, nous faisons le choix de considérer toutes les données horaires disponibles et **nous partons de l'hypothèse très stricte qu'une donnée horaire FF ou DD d'observation à 10 m est qualifiée de douteuse si respectivement :**

$$|FF_{\text{observation}} - FF_{\text{modèle}}| > 3 \text{ m/s} \quad \text{ou} \quad |DD_{\text{observation}} - DD_{\text{modèle}}| > 30^\circ$$

Afin d'extrapoler la condition sur la force à la hauteur 100 m du LiDAR, nous nous appuyons sur notre expérience acquise lors de précédentes campagnes de mesures d'un appareil de type LiDAR auxquelles Météo-France a participé (cf. « Documents de référence antérieurs » mentionnés p3).

Une donnée horaire FF ou DD d'observation à 100 m sera donc qualifiée de douteuse si respectivement :

$$|FF_{\text{observation}} - FF_{\text{modèle}}| > 5 \text{ m/s} \quad \text{ou} \quad |DD_{\text{observation}} - DD_{\text{modèle}}| > 30^\circ$$

2.3.1.3 Codes qualité

Dans un premier temps, pour toutes les hauteurs, on affecte automatiquement un code qualité à chaque donnée DD, FF et FXI du LiDAR.

- '0' : la donnée est manquante.
- '1' : la donnée est présente.

Séries DD, FF :

Afin de disposer de séries DD et FF horaires complètes au niveau 100 m, toute donnée manquante devra être estimée. Si le manque est ponctuel (une seule échéance manquante), on effectuera une simple moyenne des mesures précédente et suivante à laquelle on donnera le code qualité '2'. Pour des périodes plus importantes, on remplacera par les données du modèle AROME en donnant aux nouvelles valeurs, le code qualité '2'.

Pour une donnée dite douteuse (cf. §2.3.1.2), on affectera le code qualité '3'.

Après expertise, les séries DD et FF horaires du LiDAR à 100 m disposeront donc du code qualité suivant :

- '1' : la donnée est validée.
- '2' : la donnée est estimée par interpolation linéaire.
- '21' : la donnée est estimée par une donnée modèle.
- '3' : la donnée est douteuse (car elle s'écarte des seuils fixés).

Météo-France fait le choix lors de la constitution de la série 100 m de conserver la donnée brute dite « douteuse » .

Série FXI :

La série FXI horaire à 100 m sera déterminée à partir du maximum des six données FXI 10 min. En cas de manque, les données FXI ne seront pas estimées. La série disposera du code qualité suivant :

- '0' : la donnée est absente (car toutes les données 10 min sont absentes).
- '1' : la donnée est présente (car toutes les données 10 min sont présentes).
- '3' : la donnée est douteuse (car au moins une des six données 10 min de l'heure précédente est absente).

On notera que le code qualité '3' douteux, ne prend pas le même sens que pour les séries DD et FF. Il signifie ici que la donnée est potentiellement sous-estimée.

Les codes qualités définis plus haut sont fournis dans les fichiers « SerieLidarH100_Nord_20200701-20211007.csv » et « SerieLidarH100_Sud_20200701-20211008.csv ».

2.3.2 Statistiques de contrôle de la mesure

Afin de contrôler la qualité des données du LiDAR, Météo-France effectue une comparaison des statistiques des données LiDAR avec le point le plus proche du modèle AROME.

Les statistiques étudiées sont maintenant décrites.

Sur un échantillon de taille N , afin de comparer les données d'observation O_i aux données modèle M_i , nous utilisons les scores couramment utilisés par COMPAS.

- **L'erreur moyenne, ou biais** caractérise l'erreur systématique du modèle :

$$Biais = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

Plus il est proche de 0, plus le modèle est proche « en moyenne » des observations.

- **L'erreur quadratique moyenne** mesure la distance entre le modèle et la référence :

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$$

Plus elle est proche de 0, plus le modèle est proche de la référence.

- **L'écart-type** caractérise la précision du modèle :

$$ECT = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) \right)^2}$$

Plus il est proche de 0, meilleur est le modèle. À noter que les 3 scores précédemment définis vérifient l'équation suivante : $ECT^2 = EQM^2 - Biais^2$

- **Le coefficient de corrélation linéaire de Pearson** permettant de rendre compte de la relation linéaire qui lie les deux variables :

$$Cor = \frac{N(\sum_{i=1}^N M_i O_i) - (\sum_{i=1}^N M_i)(\sum_{i=1}^N O_i)}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N M_i^2 - (\sum_{i=1}^N M_i)^2][N \sum_{i=1}^N O_i^2 - (\sum_{i=1}^N O_i)^2]}}$$

Plus il est proche de 1, meilleure est la corrélation.

3 Analyse des données de vent mesuré par les LiDARs

Les différentes statistiques traitées dans cette partie, se font uniquement à partir des données brutes des LiDARs (**excepté lorsqu'il en est fait mention, les données estimées ne sont pas prises en compte**). Les heures sont toujours exprimées en UTC.

Dans la suite du rapport, afin de faciliter la dénomination des données nous utiliserons le code suivant :

- OLidar : Données d'observation au point Lidar ;
- MLidar : Données modèle au point de grille le plus proche du lidar ;
- FF : Vent moyenné sur 10 minutes (en m/s et 1/10) ;
- DD : Direction du vent moyenné sur 10 minutes (en °) ;
- FXI : Maximum du vent instantané sur 10 minutes, également nommé rafale (en m/s).

Les paramètres FF et DD dits « horaires » correspondent aux valeurs calculées sur les 10 dernières minutes précédant l'heure ronde. Le paramètre FXI « horaire » correspond au maximum des FXI de l'heure.

À noter que le paramètre DXI (direction du vent instantané) n'est pas traité. C'est un paramètre non mesuré par le LiDAR et non disponible via le modèle AROME de Météo-France.

3.1 Méthodologie du suivi des données

3.1.1 Disponibilité des données brutes

Nous ne présentons dans ce rapport que le contrôle des séries FF et DD moyennées sur 10 minutes, représentatives, d'un point de vue météorologique, du vent « moyen ». La série de vent instantané FXI fait l'objet d'un simple contrôle de présence des données et n'est donc pas monitorée de façon plus approfondie.

Dans le cadre de la comparaison avec le modèle au pas de temps horaire, nous nous intéresserons plus particulièrement à la série des 10 dernières minutes de l'heure ronde, représentative du vent moyen horaire.

La présence des données de chaque LiDAR est rapidement vérifiée aux différents niveaux à l'aide de tableaux mensuels indiquant le nombre de données 10 minutes disponibles par heure (cf. Illustration 8). La valeur parfaite est donc 6. Une donnée absente (force et/ou direction) induisant une valeur inférieure à 6 sur les 10 minutes précédant l'heure ronde est signalée par un astérisque. Pour le niveau 100 m, elle devra faire l'objet d'une estimation.

3 Analyse des données de vent mesuré par les LiDARs

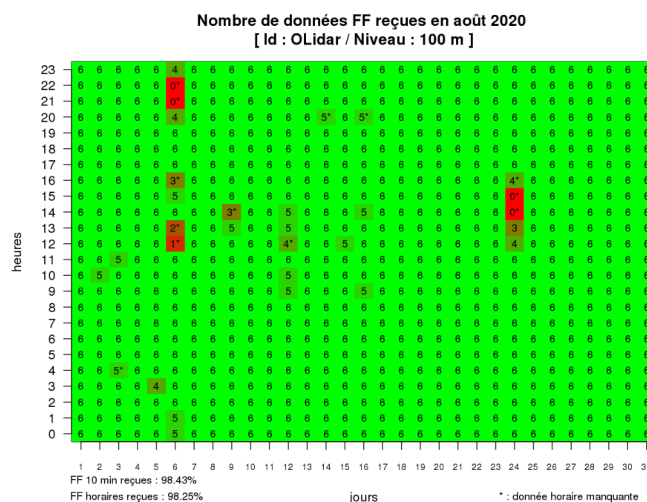


Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données

Le taux de présence des données des LiDARs décroît naturellement légèrement avec l'altitude, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Il reste cependant encore très bon à 200 m, où l'on comptabilise moins de 5 % de données manquantes (cf. Tableaux 1 et 2).

La réception des données du LiDAR Nord débute le 8 juillet 2020. Mais en raison d'un problème technique rencontré par le prestataire de la mesure, le niveau 150 m n'est alors pas disponible. Il faut attendre le 24 juillet 2020 pour recevoir les 11 niveaux de mesure. De janvier à mars 2021, de nombreuses données sont manquantes en raison d'un problème d'alimentation lié au défaut de la pile à combustible.

	2020						2021										MOY (457j)
	7 (24j)	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (7j)	
200m	96.06	98.45	98.73	99.62	98.52	99.53	62.81	0	72.11	99.72	98.23	94.68	99.44	95.7	96.97	99.80	87.89
180m	97.74	98.81	99.44	99.78	99.58	99.57	63.22	0	72.18	99.77	99.22	97.59	99.64	96.3	98.24	99.80	88.56
160m	98.76	98.92	99.77	99.96	99.81	99.57	63.26	0	72.18	99.77	99.64	98.96	99.75	96.53	98.66	100	88.85
150m	31.16	98.92	99.84	99.98	99.86	99.57	63.26	0	72.18	99.77	99.84	99.38	99.75	96.53	99.05	100	85.37
140m	99.51	98.95	99.91	99.98	99.98	99.6	63.26	0	72.18	99.77	99.91	99.49	99.78	96.53	99.33	100	89.01
120m	99.16	99.6	99.91	99.98	99.98	99.6	63.26	0	72.18	99.75	99.96	99.77	99.87	96.62	99.68	100	89.09
100m	99.71	99.8	99.81	99.96	99.98	99.62	63.26	0	72.18	99.77	99.96	99.88	99.84	96.86	99.72	100	89.15
80m	99.86	99.84	99.91	99.96	99.95	99.62	63.26	0	72.13	99.77	99.96	99.86	99.93	97.31	99.77	100	89.21
60m	99.97	99.89	99.93	99.98	99.98	99.62	63.26	0	72.18	99.77	99.96	99.79	99.93	98.3	99.81	100	89.29
50m	99.97	99.89	99.98	99.98	99.98	99.62	63.26	0	72.18	99.77	99.96	99.77	99.93	98.84	99.81	100	89.33
40m	99.97	99.75	100	99.98	99.98	99.62	63.26	0	72.18	99.77	99.96	99.77	99.93	99.1	99.81	100	89.34
MOY	92.9	99.35	99.75	99.92	99.78	99.59	63.22	0	72.17	99.76	99.69	98.99	99.8	97.15	99.17	99.96	88.64

Tableau 1 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR Nord. Deux seuils sont surveillés (Key Performance Indicators (KPI): taux mensuel de disponibilité des données > 80 % et taux de disponibilité sur l'ensemble de la campagne > 85 %. Les cases colorées en vert (rose) mettent en avant la validité (invalidité) par rapport à ces deux KPI.

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

La durée de la campagne de mesures initialement de 12 mois, a été prolongée jusqu'au **7 octobre 2021** pour le site nord afin de permettre d'atteindre l'objectif fixé d'un taux de disponibilité de 85 % aux niveaux 60, 100 et 160 m. (seuil préconisé pour les campagnes de mesure par le Carbon Trust « Offshore Wind Accelerator Roadmap for the Commercial Acceptance of Floating LiDAR Technology »)

Pour le LiDAR Sud, la réception des données débute le 9 juillet 2020 mais, comme pour le LiDAR Nord, le niveau 150 m est absent. Ces données sont reçues à partir du 23 juillet 2020.

En octobre 2020, une panne sur la pile à combustible a provoqué une coupure du LiDAR avec un bilan mensuel de 20 jours de données manquantes. Le LiDAR a par la suite dû être remplacé. Le 29 janvier 2021, plusieurs redémarrages ont lourdement impacté le LiDAR qui n'a enregistré aucune donnée en février. Enfin, en août 2021, une défaillance du logiciel a provoqué plusieurs coupures de l'application LiDAR et la perte de données. Une mise à jour du logiciel a été effectuée le 19 août 2021.

	2020						2021										MOY (457j)
	7 (23j)	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 (8j)	
200m	95.68	94.87	96.48	32.26	99.12	99.91	91.26	0	88.46	97.87	98.1	96.06	99.15	72.89	98.5	100	84.52
180m	97.13	96.06	97.8	32.26	99.54	99.96	91.47	0	88.62	97.94	98.86	97.62	99.31	73.57	98.96	100	85.06
160m	98.19	97.4	98.38	32.26	99.75	99.96	91.67	0	88.69	97.94	98.88	98.8	99.4	73.84	99.26	100	85.40
150m	36.75	97.63	98.61	32.26	99.75	99.96	91.71	0	88.69	97.92	98.92	99.1	99.51	73.92	99.35	100	82.38
140m	98.58	97.85	98.89	32.26	99.79	99.96	91.71	0	88.78	97.92	98.92	99.21	99.57	73.97	99.38	100	85.55
120m	98.91	98.28	99.17	32.26	99.86	99.96	91.71	0	88.82	97.92	98.97	99.49	99.64	73.97	99.84	100	85.68
100m	99.21	98.32	99.19	32.26	99.93	99.96	91.71	0	88.82	97.96	98.99	99.54	99.69	74.01	99.93	100	85.72
80m	99.21	98.07	99.31	32.26	99.95	99.96	91.71	0	88.82	97.94	98.99	99.56	99.71	74.08	99.93	100	85.72
60m	99.21	97.69	99.14	32.26	99.95	99.96	91.71	0	88.78	97.96	98.97	99.63	99.71	74.08	99.93	100	85.69
50m	99.21	97.6	99.07	32.26	99.95	99.96	91.71	0	88.82	97.96	98.95	99.68	99.69	74.1	99.93	100	85.68
40m	99.21	97.78	99.24	32.26	99.95	99.96	91.71	0	88.82	97.94	98.95	99.77	99.69	74.1	99.93	100	85.71
MOY	92.85	97.41	98.66	32.26	99.78	99.95	91.64	0	88.74	97.93	98.86	98.95	99.55	73.87	99.54	100	85.19

Tableau 2 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR Sud. Deux seuils sont surveillés (KPI): taux mensuel de disponibilité des données > 80 % et taux de disponibilité sur l'ensemble de la campagne > 85 %. Les cases colorées en vert (rose) mettent en avant la validité (invalidité) par rapport à ces deux KPI.

La campagne de mesures du LiDAR Sud a été prolongée jusqu'au **8 octobre 2021** afin d'atteindre les objectifs fixés décrits ci-dessus.

3.1.2 Monitoring des données FF brutes

Un suivi de l'ensemble des données des LiDARs et du modèle a été effectuée au fil de l'eau grâce à la production de graphiques de monitoring. Ils permettent de rapidement vérifier la cohérence des données avec la situation synoptique.

Les graphiques ci-dessous présentent, en exemple, les relevés du vent moyen du LiDAR Sud au cours de la dernière semaine de septembre 2020. Ils montrent le passage de la tempête « Alex » dans la nuit du 1er au 2 octobre 2020, puis la panne du LiDAR Sud survenue le 3 octobre 2020. Au plus fort de la tempête, le modèle AROME estime le vent moyen à presque 30 m/s. Ce qui est tout à fait cohérent avec la mesure du LiDAR.

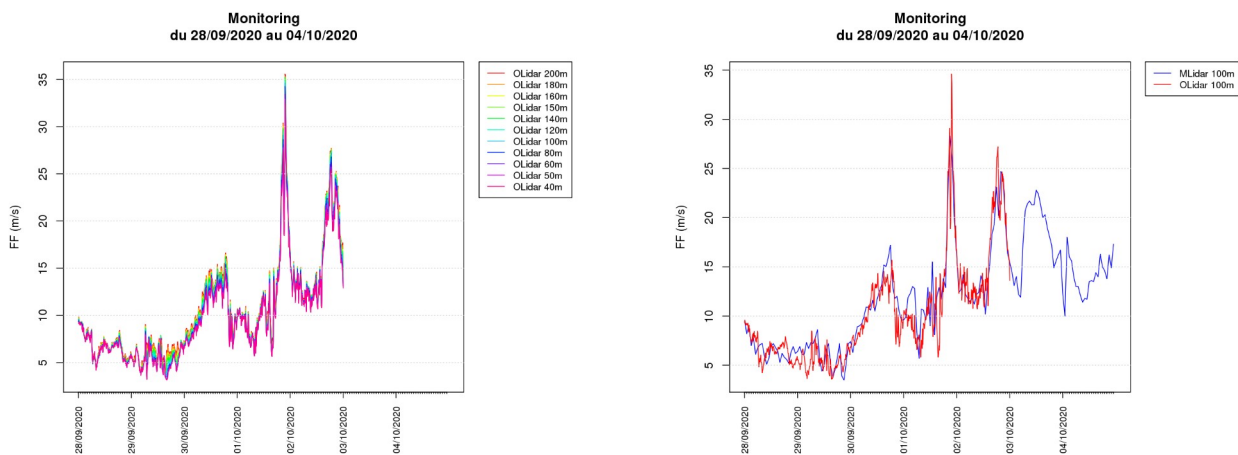


Illustration 9 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite). Situation du 28/09/20 au 04/10/20.

3.1.3 Monitoring des erreurs

Les précédentes campagnes de mesures d'un appareil de type LiDAR auxquelles Météo-France a participé ont montré que le LiDAR et le modèle AROME ne représentent pas de façon très fiable les faibles forces de vent (valeurs inférieures à 3 m/s). Dans la suite de l'étude, nous ne travaillerons donc que sur les forces supérieures ou égales à 3 m/s (à la fois pour les données modèle et les données d'observation).

Nous effectuons un suivi mensuel des moyennes glissantes sur 24 heures, des erreurs sur les forces FF et les directions DD afin de détecter d'éventuelles dérives. Les résultats restent souvent en dessous de 2 m/s et de 20°, et sont donc très inférieurs aux seuils fixés. L'exemple du mois de septembre 2020 est illustrée ci dessous avec l'illustration 10.

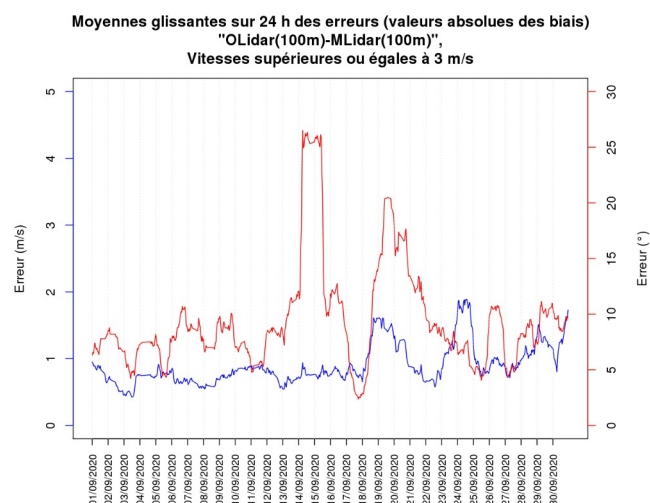


Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge) pour le mois de septembre 2020.

3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses

Le LiDAR fournit naturellement moins de données d'observations plus le niveau augmente, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Au-dessus de 140 m, les manques deviennent plus nombreux.

Dans le cadre de notre étude nous effectuons un suivi plus précis des données qui posent problème et de leur cause (technique ou météorologique), pour les niveaux inférieurs à 100 m.

	Incidents techniques impactant la mesure des LiDARs	
	LiDAR Nord	LiDAR Sud
Juillet 2020	Réception des données à compter du 08/07. Problème de réglage du LiDAR : le niveau 150 m n'est reçu qu'à partir du 24/07.	Réception des données à compter du 09/07. Problème de réglage du LiDAR : le niveau 150 m n'est reçu qu'à partir du 23/07.
Août 2020	RAS	RAS
Septembre 2020	RAS	RAS
Octobre 2020	RAS	Panne sur la pile à combustible nécessitant le remplacement du LiDAR : arrêt des mesures du 03/10 00h00 au 23/10 08h00. Suite au changement de LiDAR, intervention à distance : données absentes du 26/10 18h00 au 27/10 08h00.
Novembre 2020	RAS	RAS
Décembre 2020	RAS	RAS
Janvier 2021	Problème d'alimentation lié au défaut de la pile à combustible. Manques ponctuels à partir du 16/01. Données totalement absentes à partir du 21/01.	Données absentes à partir du 29/01 13h
Février 2021	Données absentes.	Données absentes.
Mars 2021	Données absentes du 01/03 au 09/03.	Données absentes du 01/03 au 04/03 08h.
Avril 2021	RAS	RAS
Mai 2021	RAS	RAS
Juin 2021	RAS	RAS
Juillet 2021	RAS	RAS
Août 2021	Manques du 20/08 07h au 21/08 06h liés à une mauvaise reconstruction des données de vent. Défaillance du logiciel. Le problème a été réglé.	Manques du 07/08 00h au 11/08 09h et du 16/08 00h au 19/08 10h en raison de coupures du LiDAR liées à des défaillances du logiciel. Le problème a été réglé.
Septembre 2021	RAS	RAS
Octobre 2021	RAS. Fin de la campagne le 07/10	RAS. Fin de la campagne le 08/10

Tableau 3 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur les LiDARs

L'analyse de plusieurs situations météorologiques ayant pu impacter les mesures horaires du LiDAR (notamment le passage de la tempête « Alex ») figurent dans les annexes 1, 2 et 3.

Sur le LiDAR Nord, des données FXI aberrantes ont été constatées au cours de la campagne de mesures (cf. Illustration 11). Il s'agissait de FXI dont les valeurs s'écartaient fortement des FF (plus de 15 m/s), sans que l'on puisse y associer de manière satisfaisante à une cause météorologique.

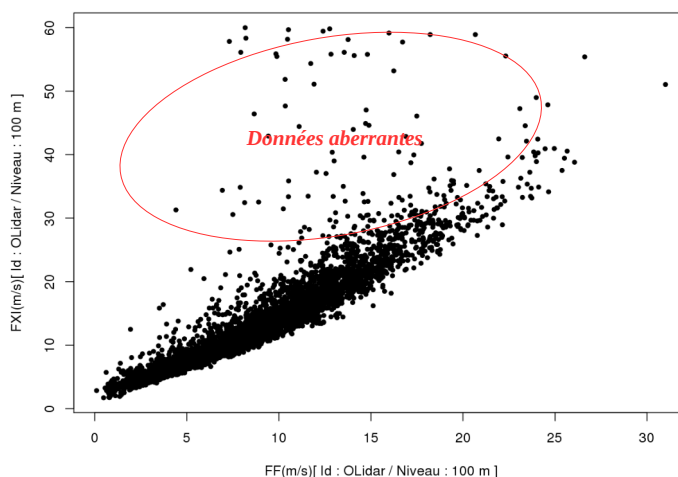


Illustration 11 : Données FXI aberrantes du LiDAR Nord

Ce problème étant très probablement dû à une erreur de mesure, nous avons décidé de retirer les données de FXI de la série. Les périodes retirées figurent dans l'annexe 4.

Le système de mesures du LiDAR Nord intègre un gyroscope qui permet de corriger les valeurs brutes du Nord géographique et des mouvements du LiDAR. Lors de mouvements brusques de la bouée, nous avons constaté que ce système avait tendance à dégrader les valeurs maximales.

Pour le LiDAR Sud, uniquement corrigé du Nord géographique et n'embarquant pas de gyroscope, aucun problème sur les FXI n'a été observé. En effet, la correction des directions de vent par rapport au mouvement de la bouée n'apportant pas de gain significatif en qualité, la nouvelle version de lidar du fabricant léosphère n'intègre plus automatiquement ce capteur.

3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure

3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure

Dans cette partie, nous réalisons la comparaison des mesures horaires du LiDAR avec le point de grille le plus proche du modèle AROME.

3.3.1.1 LiDAR Nord

Moins de 4 % des valeurs enregistrées par le LiDAR sortent des seuils fixés (cf. Illustration 12). L'essentiel des dépassements de seuil concerne le critère de direction pour des forces inférieures à 10 m/s.

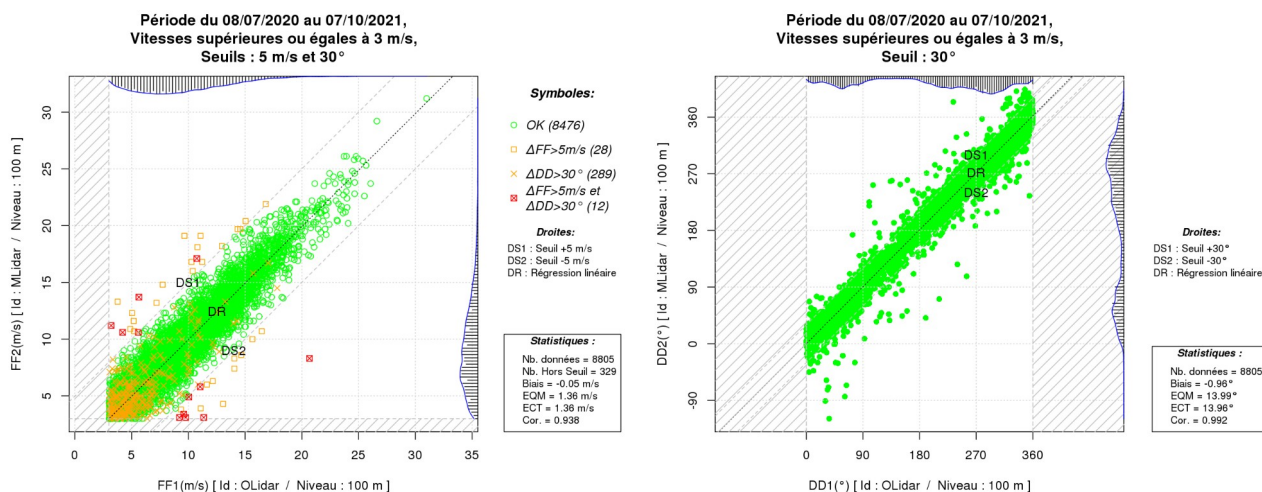


Illustration 12 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR Nord avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent du LiDAR Nord ci-dessous présente des points parfaitement alignés sur la première bissectrice. Ceci est également valable pour la valeur maximale.

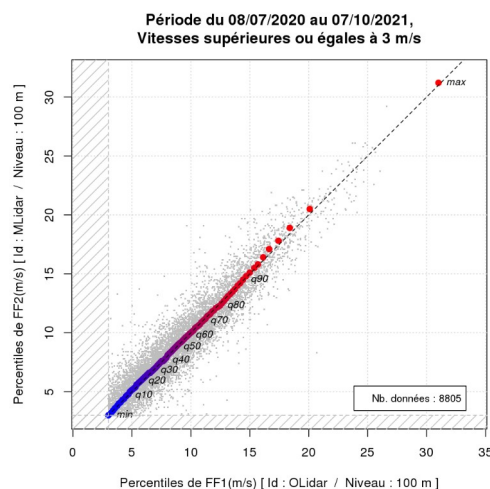


Illustration 13 : Diagramme « quantile-quantile » du LiDAR Nord

Quelle que soit l'heure, l'observation présente un très faible biais non systématique sur les directions, de moins de 5° par rapport au modèle. Suivant la direction considérée, on note la même tendance avec un biais quasi-nul (cf. Illustration 14).

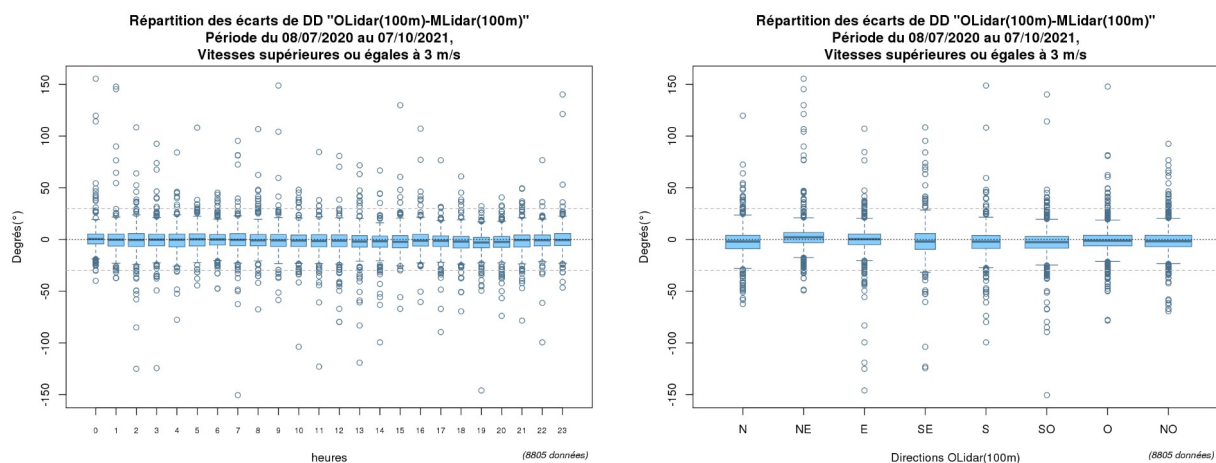


Illustration 14 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR Nord en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

3 Analyse des données de vent mesuré par les LiDARs



Les dépassements du seuil de qualité pour la vitesse concernent globalement tous les secteurs de vent mais leur nombre reste très faible. Ils représentent moins de 1 % des cas suivant les directions (cf. Illustration 15 à gauche).

Pour des vitesses supérieures à 5 m/s, on enregistre des dépassements du seuil de direction dans moins de 6 % des cas (cf. Illustration 15 à droite).

Au dessus de chaque histogramme de cette illustration sont indiqués deux nombres : le nombre de cas franchissant le seuil pour la gamme de force de vent indiquée en abscisse, puis en dessous le nombre total de mesures pour cette même force de vent. Ainsi l'histogramme le plus à droite doit être interprété avec précaution : lors des 16 mois de mesure, un seul franchissement de seuil a été observé pour des forces de vent supérieures à 20m/s. La barre de l'histogramme se distingue en raison du nombre bien plus restreint de situations (22) que pour des forces de vent moindre.

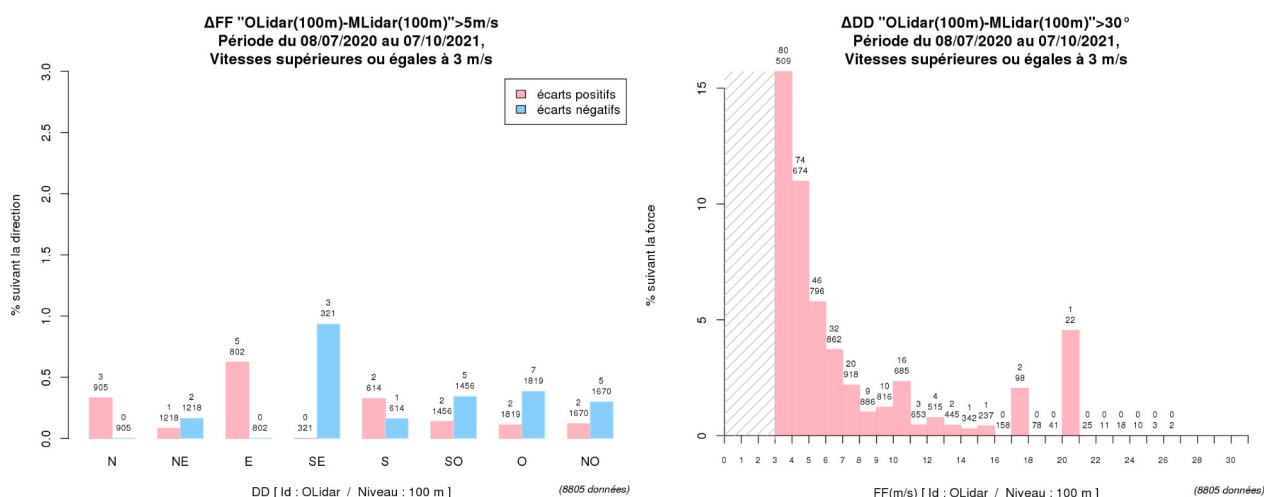


Illustration 15 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR Nord

3.3.1.2 LiDAR Sud

Moins de 6 % des valeurs enregistrées par le LiDAR Sud sortent des seuils fixés. L'essentiel des dépassements de seuil concerne le critère de direction pour des forces inférieures à 10 m/s (cf. Illustration 16).

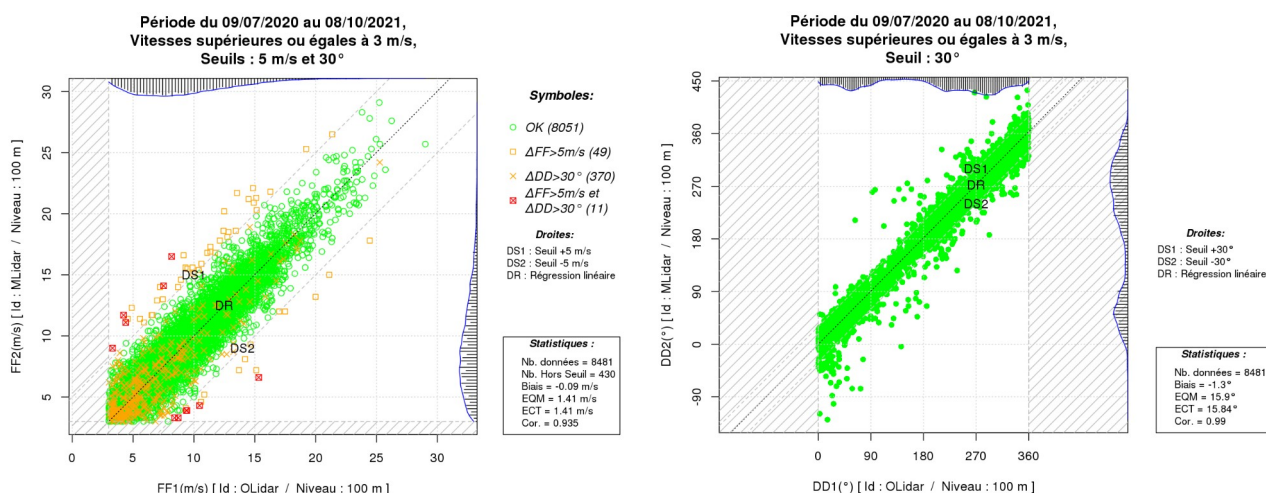


Illustration 16 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR Sud avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent du LiDAR Sud ci-dessous présente des points parfaitement alignés sur la première bissectrice.

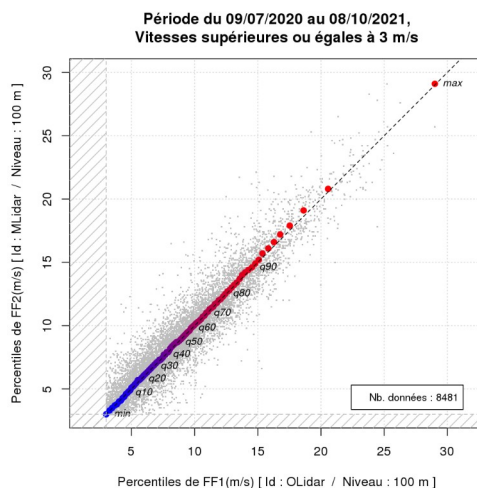


Illustration 17 : Diagramme « quantile-quantile » du LiDAR Sud

Quelle que soit l'heure de la journée, le biais sur les directions est faible, voire nul (cf. Illustration 18 à droite). Toutefois, en fin de journée (entre 17 et 19h), on observe un léger biais de moins de 5°. On note aussi un léger biais de moins de 10° pour les secteurs d'est (cf. Illustration 18 à gauche) qui n'est pas présent sur l'autre LiDAR.

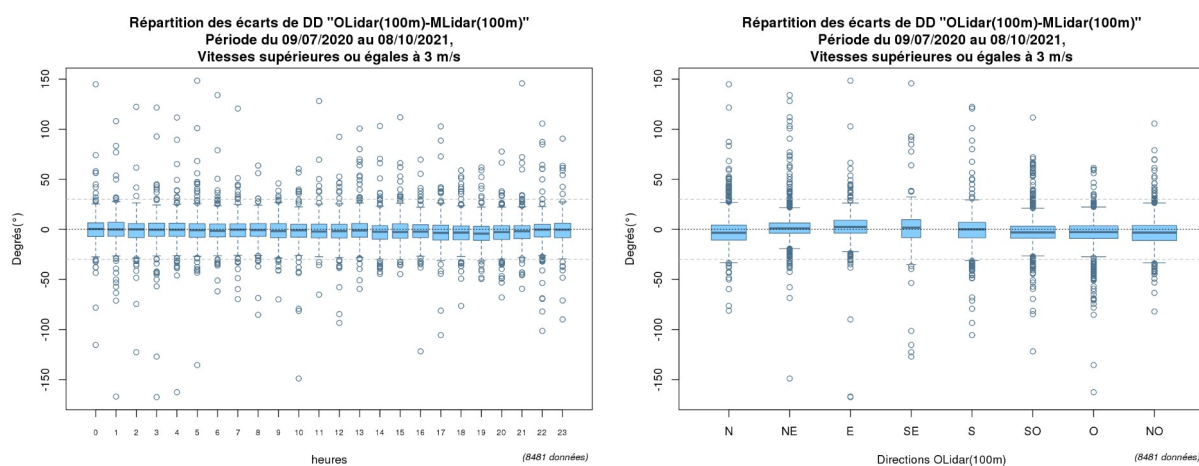


Illustration 18 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR Sud en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

Les dépassements du seuil de vitesse concernent globalement tous les secteurs de vent mais leur nombre reste très faible. Ils représentent moins de 1 % des cas suivant les directions (cf. Illustration 19 à gauche).

Pour des vitesses supérieures à 5 m/s, on enregistre des dépassements du seuil de direction dans moins de 8 % des cas (cf. Illustration 19 à droite), soit un peu plus que pour le LiDAR Nord.

Au dessus de chaque histogramme de cette illustration sont indiqués deux nombres : le nombre de cas franchissant le seuil pour la gamme de force de vent indiquée en abscisse, puis en dessous le nombre total de mesures pour cette même force de vent. Ainsi l'histogramme le plus à droite doit être interprété avec précaution : lors des 16 mois de mesure, un seul franchissement de seuil a été observé pour des forces de vent supérieures à 20m/s. La barre de l'histogramme se distingue en raison du nombre très restreint de situations (4) : échantillon trop faible pour interpréter un résultat statistique.

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

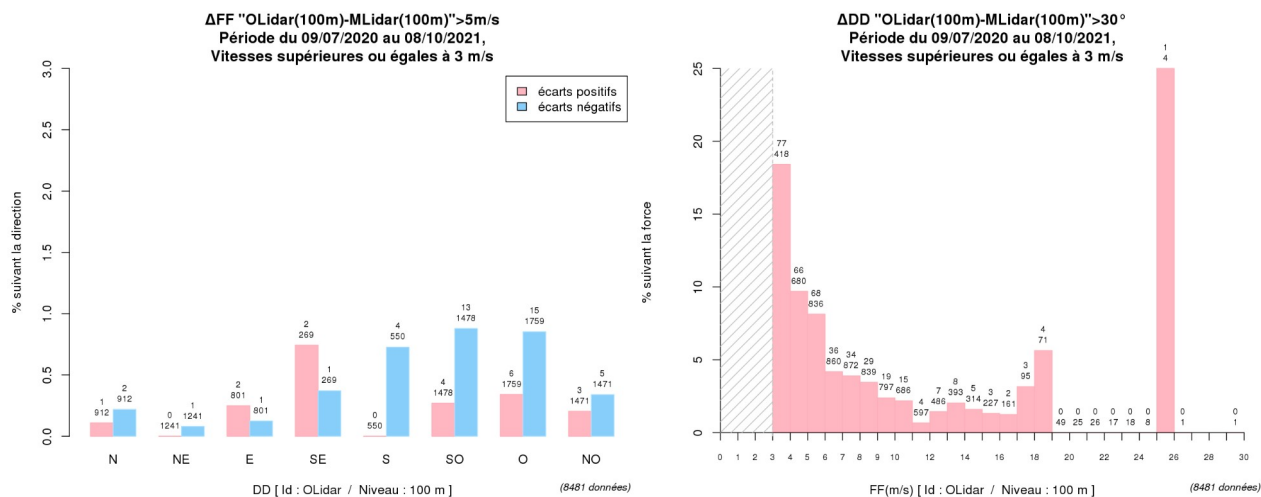


Illustration 19 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR Sud

3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré

En préambule, afin de se faire une idée plus précise des conditions météorologiques rencontrées durant les seize mois de mesure, une description détaillée de la climatologie saisonnière de la zone figure en annexe 5.

3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m des LiDARs

Dans les tableaux qui suivent, le taux « brut » correspond à l'ensemble des données 10 minutes du LiDAR et le taux « reconstitué », aux données horaires de la série reconstituée.

Les premières données du LiDAR Nord sont reçues le 8 juillet. Ce qui explique en juillet, les différences sur certaines classes de vitesse entre les taux bruts et reconstitués.

Pour les mois suivants, quelle que soit la classe de vitesse, ces taux ne diffèrent que de 1 à 4%. Sauf pour les mois de janvier 2021 et février 2021 où en raison du manque important de données, les taux bruts et reconstitués sont sensiblement différents.

Année	Mois	Nombre de cas	0 à 3 m/s	3 à 5 m/s	5 à 10 m/s	10 à 15 m/s	15 à 20 m/s	20 à 25 m/s	25 à 30 m/s	30 à 35 m/s
2020	7	3446	6.2%	17.8%	58.6%	17.4%	.	.	.	.
		743	5.5%	13.7%	59.2%	21.5%	.	.	.	.
	8	4455	10.2%	21.1%	44.8%	20.6%	3.2%	.	.	.
		744	10.3%	20.8%	44.9%	20.8%	3.1%	.	.	.
	9	4312	11.9%	22.8%	43.7%	16.4%	4.6%	0.5%	0%	.
		720	12.1%	22.4%	44.7%	15.6%	4.9%	0.4%	.	.
	10	4462	1.6%	5.1%	35.3%	46.7%	8.2%	2.9%	0.2%	0%
		744	1.7%	4.7%	35.8%	46.8%	7.8%	3%	0.1%	0.1%
	11	4319	6.6%	11.6%	37.9%	32%	11.3%	0.6%	.	.
		720	6.2%	11.5%	38.5%	32.1%	11.2%	0.4%	.	.
	12	4447	0.9%	3.4%	27.6%	40.6%	22.2%	4.8%	0.4%	0%
		744	0.9%	3.4%	27.4%	40.5%	22.4%	4.8%	0.5%	.
2021	1	2824	5.2%	15%	40.2%	33.3%	5.8%	0.5%	.	.
		744	5.4%	11.6%	32.5%	33.7%	14.8%	1.7%	0.3%	.
	2	0	.	.	.	.	.	.	.	.
		672	1.5%	6%	30.7%	46.4%	14.3%	1.2%	.	.
	3	3222	3.7%	12.1%	43.2%	28.1%	11.9%	1%	.	.
		744	3.4%	14%	46.5%	26.6%	8.5%	1.1%	.	.
	4	4310	10.7%	11.6%	42.1%	30.5%	5.1%	.	.	.
		720	10.3%	12.2%	41.5%	30.7%	5.3%	.	.	.
	5	4462	5.5%	8%	35.7%	39.9%	10.7%	0.1%	.	.
		744	5.4%	8.7%	35.5%	39.5%	10.8%	0.1%	.	.
	6	4315	14.3%	25.6%	51.9%	8.2%	0%	.	.	.
		720	14%	25.7%	51.8%	8.5%	.	.	.	.
	7	4457	4.4%	12.4%	56.5%	24.5%	1.6%	0.6%	.	.

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

		744	4.6%	12.6%	56%	24.2%	2%	0.5%	.	.
	8	4324	7.4%	14.9%	50.5%	25.9%	1.3%	.	.	.
		744	8.5%	15.5%	50.3%	24.7%	1.1%	.	.	.
	9	4308	13.2%	15.3%	52.6%	16.7%	2.1%	0.1%	.	.
		720	14%	14.2%	53.3%	16.2%	2.1%	0.1%	.	.
	10	1008	2.8%	21%	31.3%	32.8%	8.7%	3.3%	.	.
		168	3.6%	20.8%	31.5%	32.1%	8.3%	3.6%	.	.
Total		58671	7.3%	14.1%	44.0%	27.4%	6.4%	0.9%	0.0%	0.0%
		11135	6.9%	13.3%	43.1%	28.5%	7.2%	0.9%	0.1%	0.0%

Tableau 4 : Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR Nord

Les premières données du LiDAR Sud sont reçues le 9 juillet. Ce qui explique en juillet, les différences sur certaines classes de vitesse entre les taux bruts et reconstitués.

Pour la quasi-totalité des mois suivants, ils ne diffèrent que de 1 à 3 %. Sauf pour les mois d'octobre 2020 et février 2021 où en raison du manque important de données, les taux bruts et reconstitués sont sensiblement différents.

Année	Mois	Nombre de cas	0 à 3 m/s	3 à 5 m/s	5 à 10 m/s	10 à 15 m/s	15 à 20 m/s	20 à 25 m/s	25 à 30 m/s	30 à 35 m/s
2020	7	3286	5.4%	15.2%	61.5%	18%	.	.	.	.
		743	5.5%	12.7%	60.4%	21.4%	.	.	.	.
	8	4394	11.7%	19%	45.7%	21.4%	2.3%	.	.	.
		744	12%	19%	45.7%	20.7%	2.7%	.	.	.
	9	4309	9.6%	21.1%	48.6%	14.4%	5.7%	0.6%	.	.
		720	9.4%	21%	49.3%	14.2%	5.6%	0.6%	.	.
	10	1567	.	0.2%	19.1%	57.8%	14.1%	8.1%	0.6%	0.1%
		744	0.8%	5.6%	36%	45.6%	8.7%	3.1%	0.1%	.
	11	4317	7.2%	11.7%	38.3%	31.9%	10.6%	0.3%	.	.
		720	6.8%	12.2%	37.8%	32.5%	10.4%	0.3%	.	.
	12	4462	0.9%	3.7%	27.8%	41.5%	20.4%	4.9%	0.8%	.
		744	0.8%	3.6%	27.8%	41.4%	20.8%	4.8%	0.7%	.
2021	1	4094	5.1%	11.5%	34.9%	38.1%	8.5%	1.9%	0.1%	.
		744	5.1%	10.8%	33.2%	37.1%	11.7%	2.2%	.	.
	2	0	.	.	.	.	.	.	.	.
		672	1.8%	6.4%	32.3%	46%	12.6%	0.9%	.	.
	3	3970	3.5%	14.5%	46.6%	25.1%	9.3%	0.9%	.	.
		744	4.4%	14.1%	48.1%	24.1%	8.3%	0.9%	.	.
	4	4296	10.8%	12.5%	41.4%	30.7%	4.6%	.	.	.
		720	10.7%	12.8%	41.5%	30.7%	4.3%	.	.	.

5	4458	4.8%	8.2%	39.2%	38.3%	9.5%	.	.	.
	744	4.7%	7.8%	39.2%	38.6%	9.7%	.	.	.
6	4300	12.6%	23%	55.4%	9%	0.1%	.	.	.
	720	12.4%	22.9%	55.7%	9%	.	.	.	.
7	4450	3.4%	13.1%	58.3%	22.8%	2.2%	0.3%	.	.
	744	3.8%	12.9%	57.8%	23.1%	2%	0.4%	.	.
8	3304	9.9%	17.9%	50.8%	19.7%	1.7%	.	.	.
	744	8.2%	17.1%	51.7%	21.5%	1.5%	.	.	.
9	4317	11.6%	16.7%	54%	14.7%	2.8%	0.1%	.	.
	720	11.9%	16.7%	53.8%	14.9%	2.6%	0.1%	.	.
10	1152	4.1%	19.6%	37%	30.3%	6.2%	2.9%	.	.
	192	3.6%	20.3%	36.5%	29.7%	7.3%	2.6%	.	.
Total	56676	7.2%	14.1%	45.2%	26.3%	6.4%	0.9%	0.1%	0.0%
	11159	6.5%	13.2%	44.6%	28.1%	6.7%	0.9%	0.1%	.

Tableau 5 : Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR Sud

3.3.2.2 Distributions

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 100 m sont très proches (cf. Illustration 20). Les quantiles apparaissant ci-dessous dans l'encart ne diffèrent que de 0,2 à 0,4 m/s.

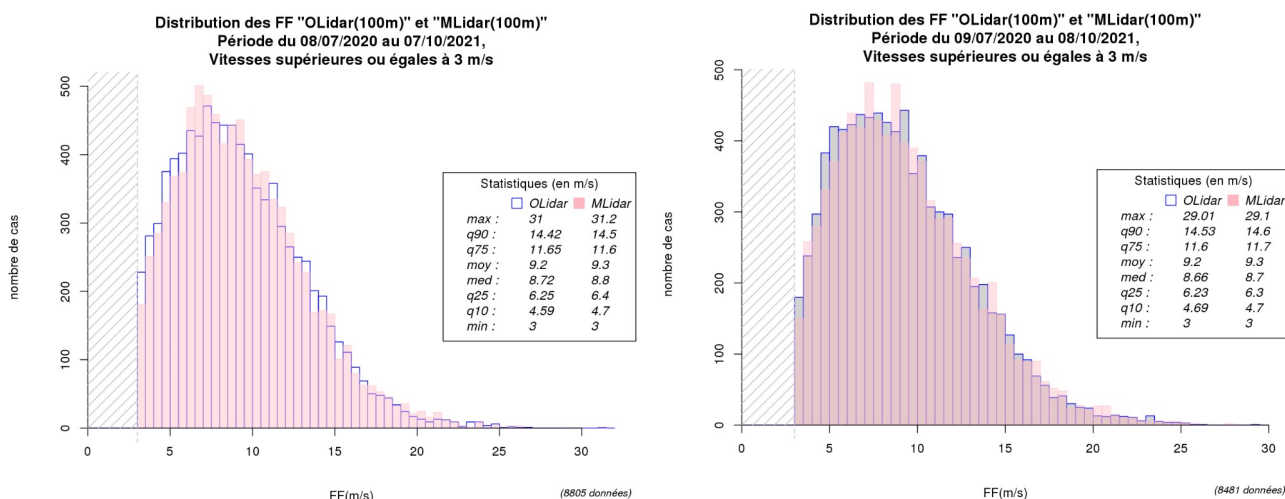


Illustration 20 : Distributions des vents horaires du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite) sur l'intégralité de la campagne de mesure.

Les distributions mensuelles des forces de vent des LiDARs à 100 m figurent en annexes 6 et 7.

3.3.2.3 Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires)

On constate sur la figure 21 un léger cycle diurne pour les deux LiDARs. En journée (globalement de 8h à 13h UTC), les médianes horaires des observations sont légèrement inférieures à la médiane de la période totale (d'environ 0,5 m/s). En soirée et au cours de la nuit, on observe l'effet inverse.

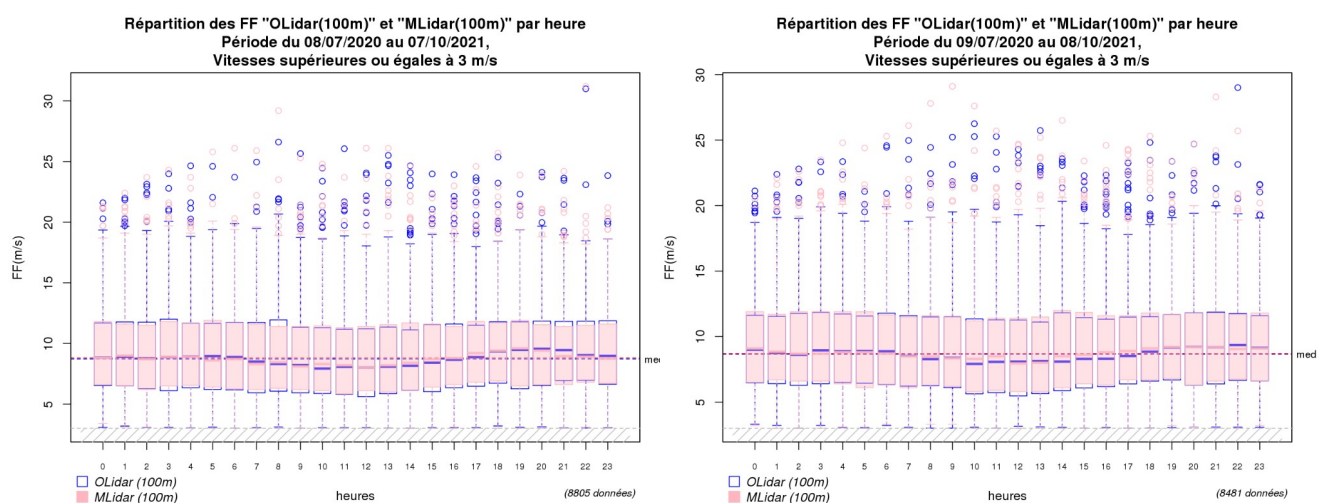


Illustration 21 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)

Les répartitions horaires, par mois, des forces de vent du LiDAR à 100 m figurent en annexes 8 et 9.

3.3.2.4 Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires)

On observe quelques disparités sur les répartitions mensuelles (cf. Illustration 22) qui s'expliquent par la climatologie mais aussi par les nombreux manques de données du mois d'octobre pour le LiDAR Sud.

Au regard de la période étudiée, les mois de juillet à septembre 2020 et de juin à septembre 2021 ont été des mois plutôt calmes tandis que les autres mois de la campagne ont été conformes voire venteux.

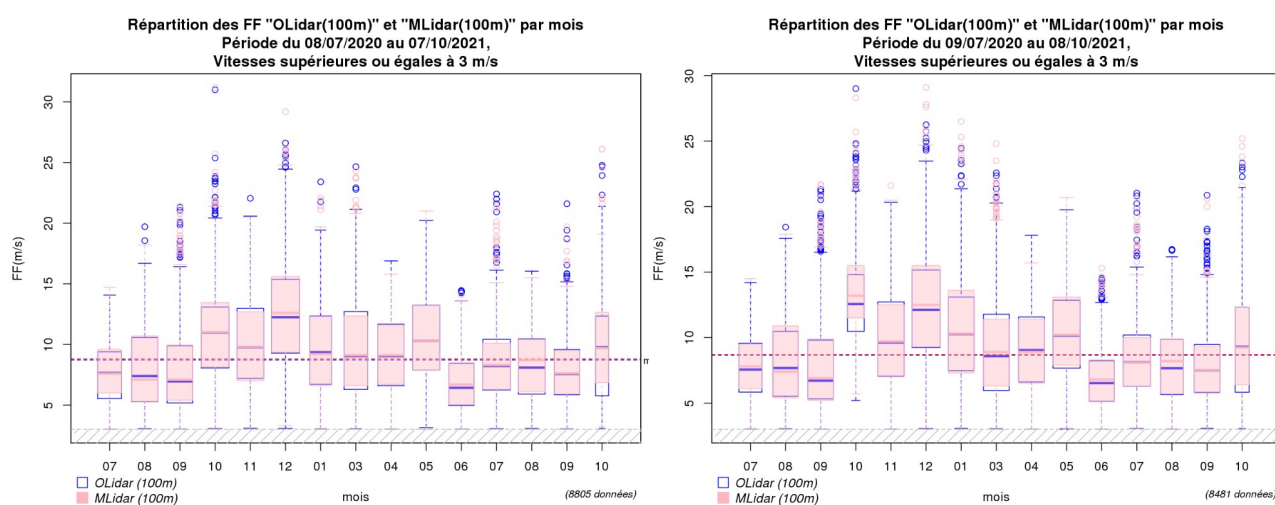


Illustration 22 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite) ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

Afin de comparer de manière plus générale la période de la campagne de mesure à la climatologie, nous avons effectué une analyse fréquentielle mensuelle de la vitesse du vent horaire au sémaphore de Belle-île Le Talut (station de référence la plus proche des LiDARs).

Au regard de la climatologie, les mois de l'été 2020 ont été globalement assez venteux. En juillet, on enregistre un peu plus de vents modérés que la normale. En août, la tendance se confirme avec plus de vents forts et moins de vents modérés. Les mois d'automne sont assez contrastés : le temps est plutôt calme en septembre, agité en octobre et conforme à la normale en novembre. L'hiver a été agité avec beaucoup de vent fort en décembre et février. Le printemps, l'été et le début de l'automne 2021 ont été globalement calmes ou conformes à la normale, excepté en mai où l'on a enregistré deux fois plus de vent fort que la normale.

Vitesses en m/s	juil	août	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	août	sep	oct	Total
> 8	9,6	9,6	14,1	28,2	33,6	36,4	35,5	28,0	23,4	23,3	18,1	13,1	9,6	9,6	14,1	28,2	20,9
	9,1	18,5	17,1	44,8	32,5	58,1	37,1	42,5	18,2	21,9	41,8	3,2	12,8	13,3	12,1	23,1	25,4
[4.5, 8.0[	52,4	46,6	48,3	42,0	40,9	39,6	41,7	44,4	46,9	48,1	49,6	49,8	52,4	46,6	48,3	42,0	46,2
	57,4	35,9	30,9	36,0	42,4	31,6	35,3	40,4	45,9	45,1	38,8	42,6	61,3	48,0	45,7	43,5	42,6
[1.5, 4.5[	35,6	40,0	33,8	27,1	23,2	21,8	21,1	24,9	26,8	26,2	29,7	34,5	35,6	40,0	33,8	27,1	30,1
	32,3	41,8	48,1	18,0	23,7	9,9	26,2	15,8	34,9	31,0	18,5	51,0	24,5	36,2	39,4	32,5	30,2
[0, 1.5[	2,4	3,8	3,8	2,7	2,3	2,2	1,7	2,7	2,9	2,4	2,6	2,6	2,4	3,8	3,8	2,7	2,8
	1,2	3,8	3,9	1,2	1,4	0,4	1,4	1,3	1,0	2,0	0,9	3,2	1,4	2,5	2,8	0,9	1,8

Tableau 6 : Statistiques 1981-2010 (en gras, en %) et valeurs 2020 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Belle-île Le Talut ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale

Rappel : Une analyse détaillée de la climatologie saisonnière, présentant les différences de vents par secteurs, figure en annexe 5.

3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)

Pour une meilleure lisibilité, nous faisons le choix de représenter ci-dessous les roses des vents à 100 m en seulement 4 classes de vents. À noter que la rose des vents observés est réalisée ici à partir de toutes les données brutes **horaires** disponibles (**données inférieures à 3 m/s comprises**).

Les roses des vents du LiDAR Nord présentent quelques petites différences (notamment une composante ouest-nord-ouest plus marquée pour l'observation) qui s'expliquent par la période de données manquantes de fin janvier à début mars 2021.

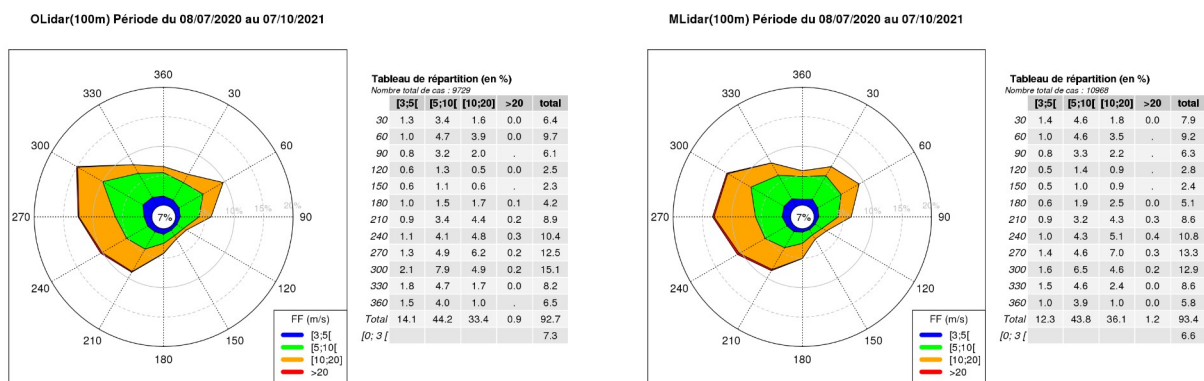


Illustration 23 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Nord

Les roses des vents du LiDAR Sud présentent des différences un peu plus sensibles (notamment des composantes sud-sud-ouest et ouest-nord-ouest plus marquées pour l'observation). Elles s'expliquent par les données manquantes sur une majeure partie du mois d'octobre 2020 et comme pour le LiDAR Nord autour du mois de février.

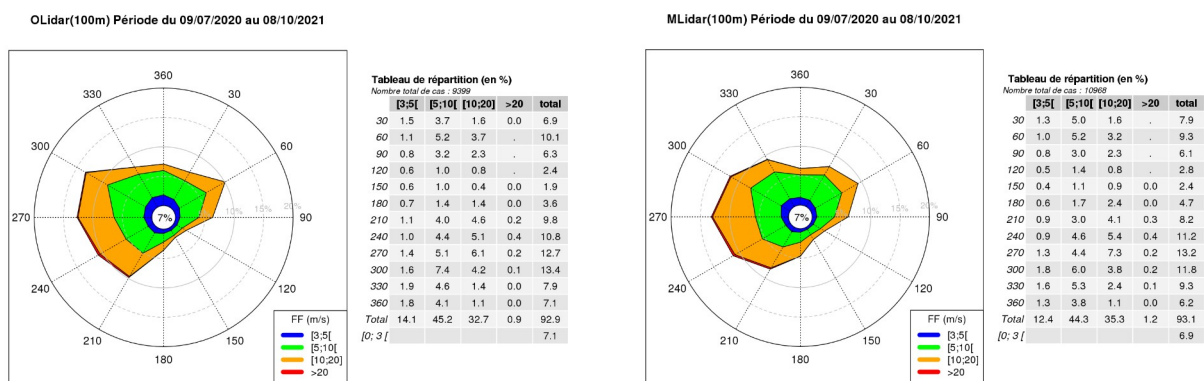


Illustration 24 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Sud

Les tableaux de contingence détaillés, présentant les forces de vents des LiDARs par classes de 1 m/s et par secteur de 30° figurent en annexes 10 et 11.

Les roses des vents mensuelles élaborées à partir de toutes les données brutes **10 minutes** figurent en annexes 12 et 13.

3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires)

Comme pour les roses des vents, **nous avons ici fait le choix de considérer toutes les données horaires des LiDARs**. Les profils horaires observés sur la couche allant de 40 m à 200 m sont parfaitement cohérents avec les profils modélisés. Pour les deux LiDARs, les quantiles sont très proches.

Par ailleurs, on constate que durant la période de la campagne de mesure, les vitesses des profils moyens observés (profils bleus en pointillés) ont été légèrement supérieures à celles des profils du vent moyen issu de la climatologie AROME sur 20 ans (profils verts en pointillés).

Les profils, par mois, des forces de vent des LiDARs figurent en annexes 14 et 15.

3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, on observe un cisaillement de vent du LiDAR Nord assez net d'environ 1 m/s pour les directions de sud à sud-ouest (cf. Illustration 25). Ces directions témoignent du passage des fronts des perturbations océaniques qui créent du cisaillement en altitude. Nous avons décidé de représenter le cisaillement de vent du modèle entre les niveaux disponibles les plus proches, 50 m et 150 m. Sans grande surprise, on constate que les caractéristiques sont comparables avec toutefois un cisaillement légèrement plus faible (autour de 0,8 m/s) pour les directions de sud à sud-ouest.

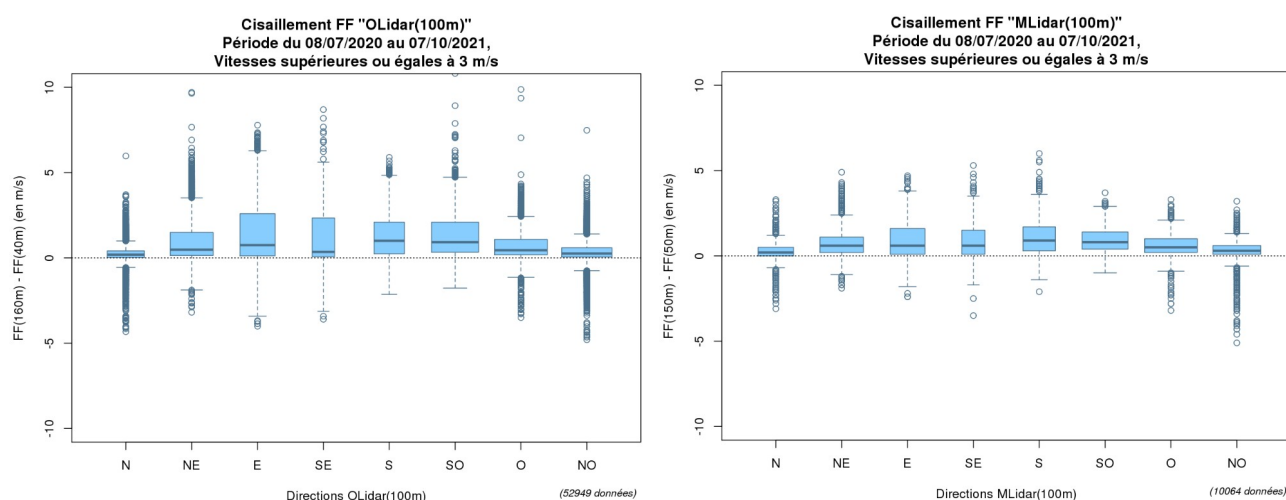


Illustration 25 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) du LiDAR Nord

Pour le LiDAR Sud, malgré un peu plus de données manquantes, le constat est globalement identique.

Afin de se faire une idée plus précise de la situation, nous avons décidé de travailler avec le **coefficient α** « **exposant du cisaillement de vent (wind shear exponent)** » :

$$\alpha = \frac{\ln(FF_2/FF_1)}{\ln(Z_2/Z_1)}$$

où FF1 est la force du vent en m/s au niveau 1 (niveau bas), FF2 la force du vent en m/s au niveau 2 (niveau haut), Z1 l'altitude en m au niveau 1 (niveau bas), Z2 l'altitude en m au niveau 2 (niveau haut).

Le coefficient α de cisaillement vertical de vent **dépend de la rugosité du sol**. C'est un nombre sans dimension qui varie selon la nature du terrain. Dans la littérature, des valeurs standards du coefficient α sont proposées (voir tableau ci-dessous) mais sans que soit précisée la couche verticale associée.

Nature du terrain	Exposant α
Plat : neige, glace, mer, marécages, herbes courtes	0.08 à 0.12
Mer formée	0.13

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

Peu accidenté : champs et pâturages, cultures	0.13 à 0.16
Rivage	0.16
Plaine	0.20
Accidenté : bois, zones peu habitées	0.20 à 0.23
Plaine boisée	0.24
Très accidenté : villes	0.25 à 0.4

Tableau 7: Valeurs théoriques de l'exposant α en fonction de la nature du terrain (source <http://eolienne.f4jr.org/vent>)

Les sites les plus intéressants pour la production éolienne sont ceux pour lesquels l'exposant α est faible : cela correspond à des sites peu ou pas accidentés. Dans de tels lieux, les forces du vent près du sol sont élevées et la variation de la vitesse de vent avec l'altitude est faible (les forces de vent en haut et en bas des éoliennes diffèrent peu) ; ainsi, les contraintes mécaniques sur les pales des éoliennes sont moins fortes.

Nous calculons et représentons sur l'illustration 26 le coefficient α de cisaillement par secteur de 30° pour la couche [40 m - 160 m] en faisant une distinction entre le jour (7h à 18h UTC) et la nuit (19h à 6h UTC). Les valeurs les plus faibles de l'indicateur α (inférieures à 0,05) correspondent aux situations non perturbées. On constate qu'en journée et pour des vents de secteur nord-est à sud-est, α est souvent un peu plus faible que durant la nuit.

Ce phénomène de cisaillement (quand il existe) est globalement un peu plus fort la nuit que le jour.

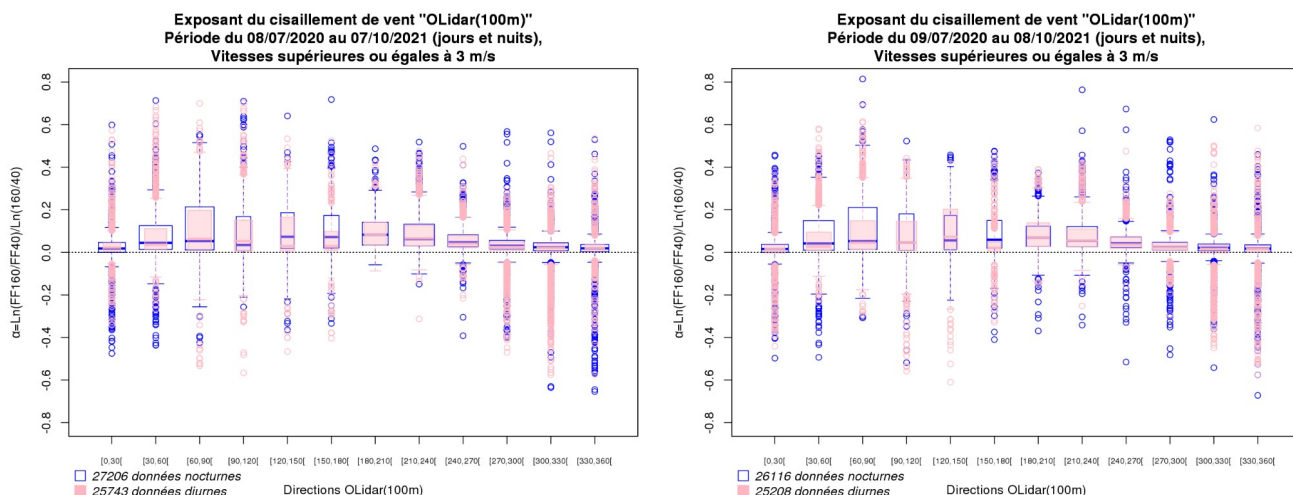


Illustration 26 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)

Les figures de l'exposant du cisaillement sur les périodes mensuelles se trouvent en annexes 16 et 17.

3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m

L'intensité de turbulence est égale au rapport de l'écart type du vent sur 10 minutes sur le vent moyen de ces 10 minutes :

$$IT = \frac{\sigma_{FF}}{FF}$$

Sur la période de la campagne de mesures, on constate que pour le LiDAR Nord, les vents de secteur nord-est à sud-est présentent une intensité de turbulence plus faible que pour les autres directions. Ce constat est moins net pour le LiDAR Sud (cf. Illustration 27)

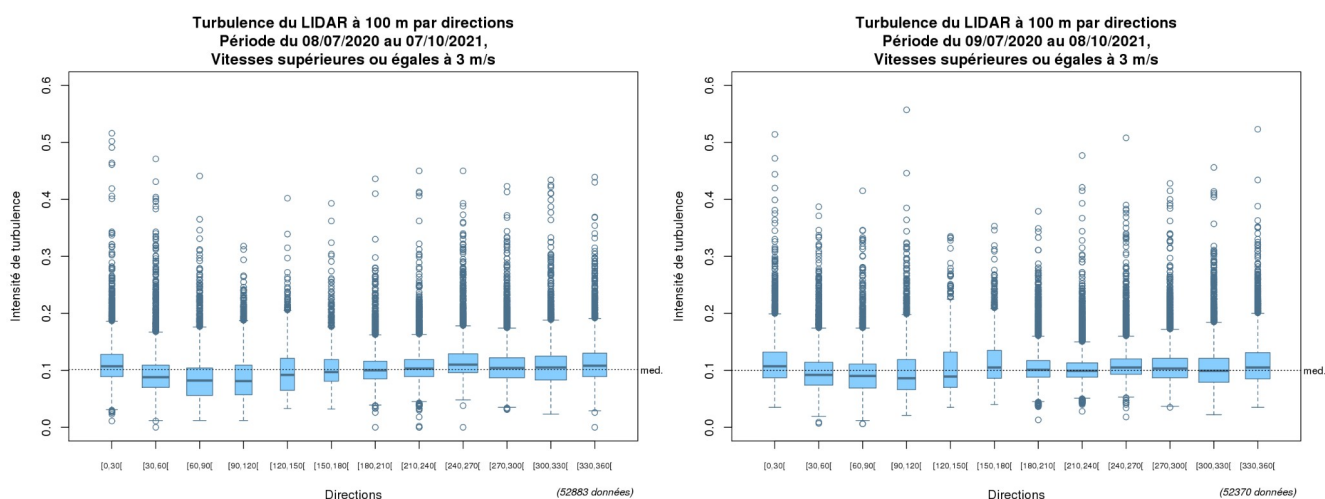


Illustration 27 : Turbulence du LiDAR Nord (à gauche) et du LiDAR Sud (à droite)

Les boîtes à moustaches mensuelles suivant les directions, de l'intensité de turbulence du vent du LiDAR à 100 m figurent en annexes 18 et 19.

3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI à 100 m

Les séries horaires FF (vent moyen observé **ou estimé**) et FXI (vent maximal calculé) sont très cohérentes. Nous rappelons toutefois que dans un souci de clarté, nous avons retiré de la série FXI du LiDAR Nord plusieurs courtes périodes (cf §3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses).

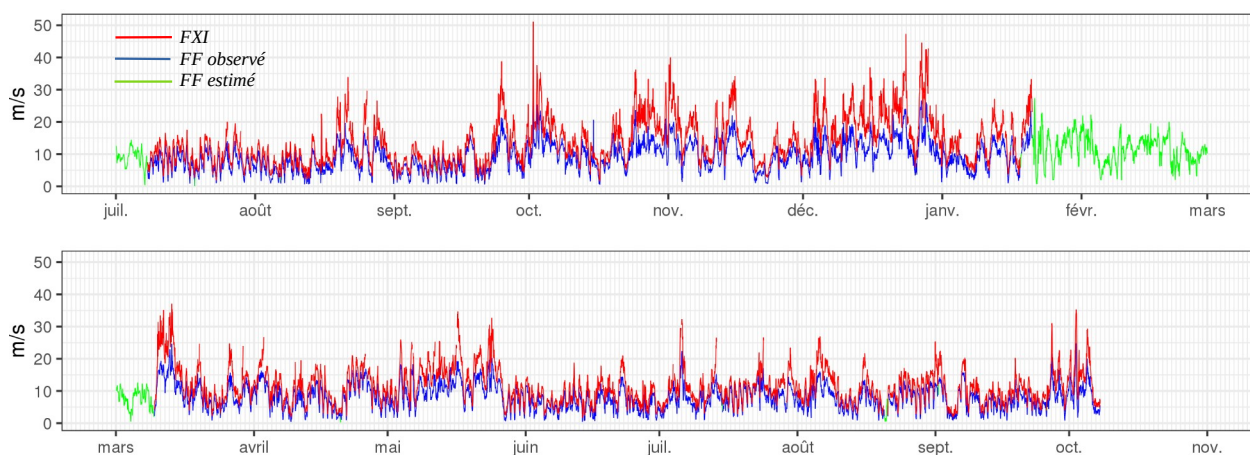


Illustration 28 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR Nord

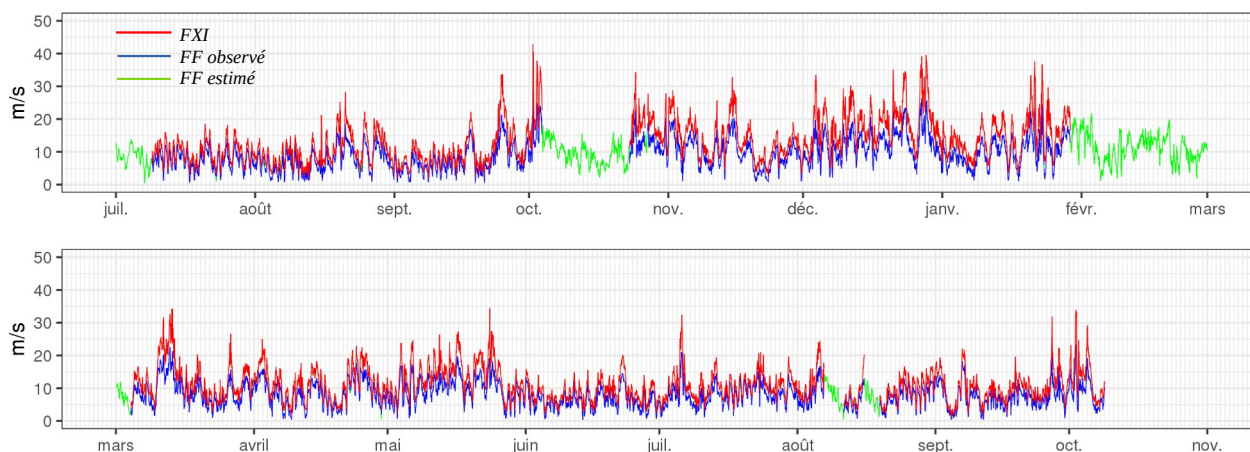


Illustration 29 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR Sud

Météo-France fournit au travers des fichiers « SerieLidarH100_Nord_20200701-20211007.csv » et « SerieLidarH100_Sud_20200701-20211008.csv » les séries de données horaires de vent à 100 m comportant le vent moyen (FF et DD) et la vitesse du vent maximal (FXI). Ces paramètres sont accompagnés des codes qualité QFF, QDD et QFXI (cf §2.3.1.3 Codes qualité).

4 Analyse des données de vent mesuré par les anémomètres

Nous effectuons des contrôles semblables à ceux des LiDARS sur la présence et la cohérence des données de vent de surface mesuré par les anémomètres en considérant les seuils d'erreurs de forces et de directions respectivement de 3 m/s et 30° (cf §2.3.1.2 p9).

En raison d'un problème lié à l'installation des anémomètres, les données enregistrées en début de campagne sur les deux sites sont erronées. Il s'avère que les panneaux solaires de la bouée formaient un obstacle au vent perturbaient fortement la mesure. **Le 16 octobre 2020, au cours d'une intervention de maintenance, les anémomètres ont donc été rehaussés de 80 cm, ce qui a sensiblement amélioré la qualité de la mesure.**

4.1.1.1 Anémomètre Site Nord

Environ 3 % des valeurs enregistrées par l'anémomètre Nord sort des seuils de force. Ce qui est nettement plus important que pour le LiDAR Nord. Mais ce constat peut s'expliquer par le fait que l'anémomètre ne dispose pas d'un environnement de mesures parfaitement optimal. Par ailleurs, le seuil considéré (3 m/s) est aussi plus strict que celui du LiDAR (5 m/s).

Les dépassements du seuil de direction sont assez nombreux. Mais les trois quarts de ces dépassements correspondent à des forces plutôt faibles, inférieures à 5 m/s.

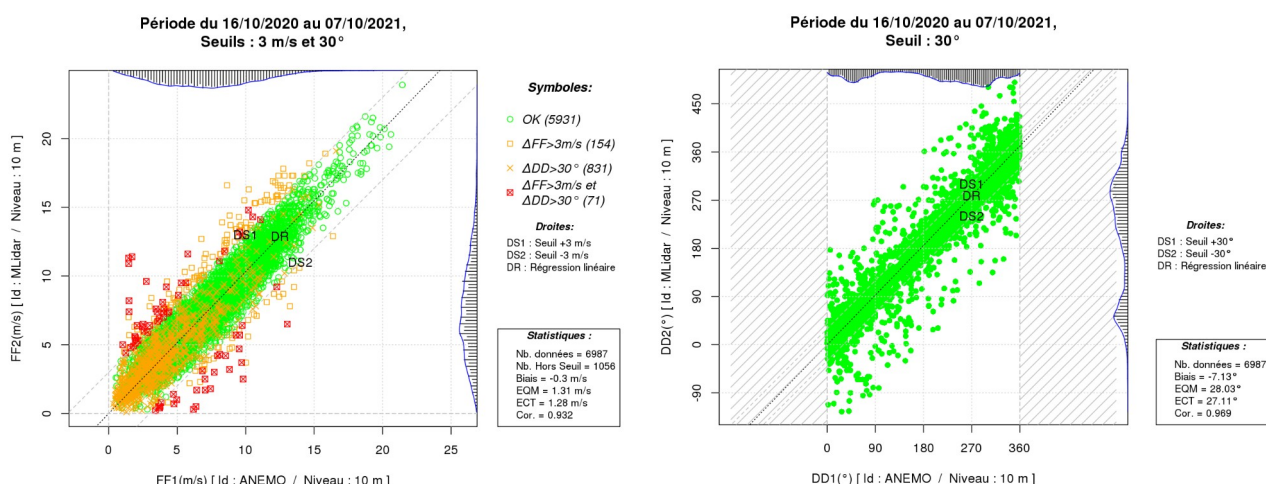


Illustration 30 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre Nord avec le modèle

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 10 m sont très proches. Les quantiles apparaissant ci-dessous ne diffèrent que de 0,2 à 0,7 m/s pour l'anémomètre Nord. Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent de l'anémomètre Nord présente des points bien alignés sur la première bissectrice jusqu'à q80. Les résultats de l'anémomètre Nord sont donc tout à fait corrects.

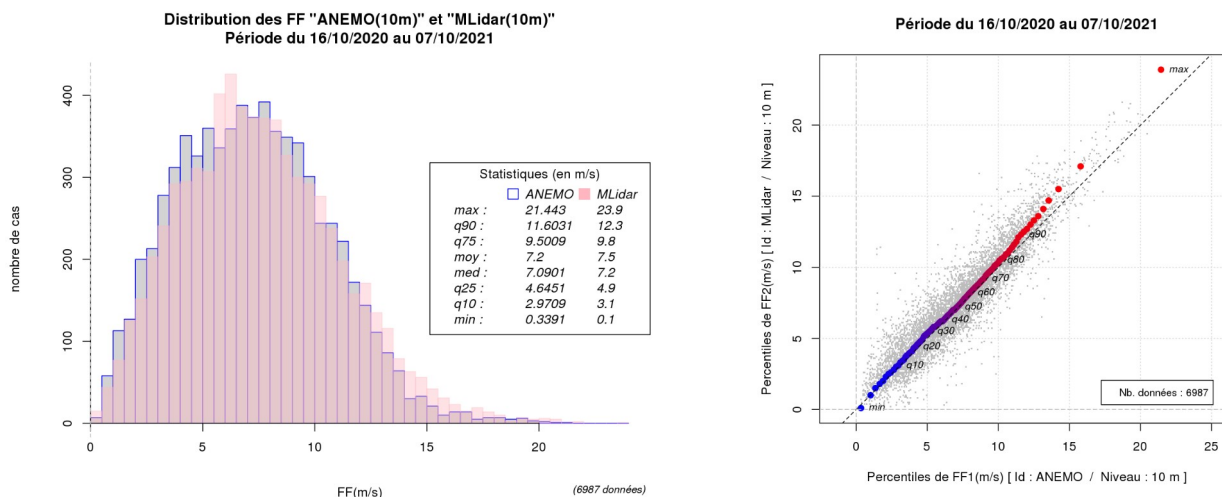


Illustration 31 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre Nord (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)

La rose des vents de l'anémomètre Nord est quasi identique à celle du modèle AROME à 10 m. Elle présente toutefois quelques petites différences, notamment une composante ouest-nord-ouest légèrement plus marquée que le modèle et un peu plus de vent nul.

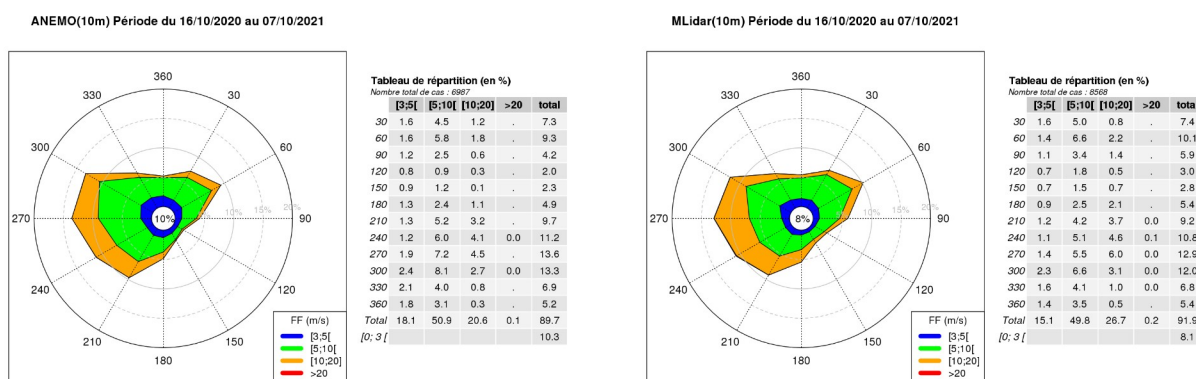


Illustration 32 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre Nord

4.1.1.2 Anémomètre Site Sud

Environ 4 % des valeurs enregistrées par l'anémomètre Sud sort des seuils de force. Là encore, c'est plus important que pour le LiDAR Sud. Mais, comme mentionné précédemment, ce constat s'explique par un environnement de mesures non optimal et un seuil de détection plus strict que pour les données de vent à 100 m.

Les trois quarts des dépassements de seuil de direction correspondent à des forces inférieures à 6 m/s.

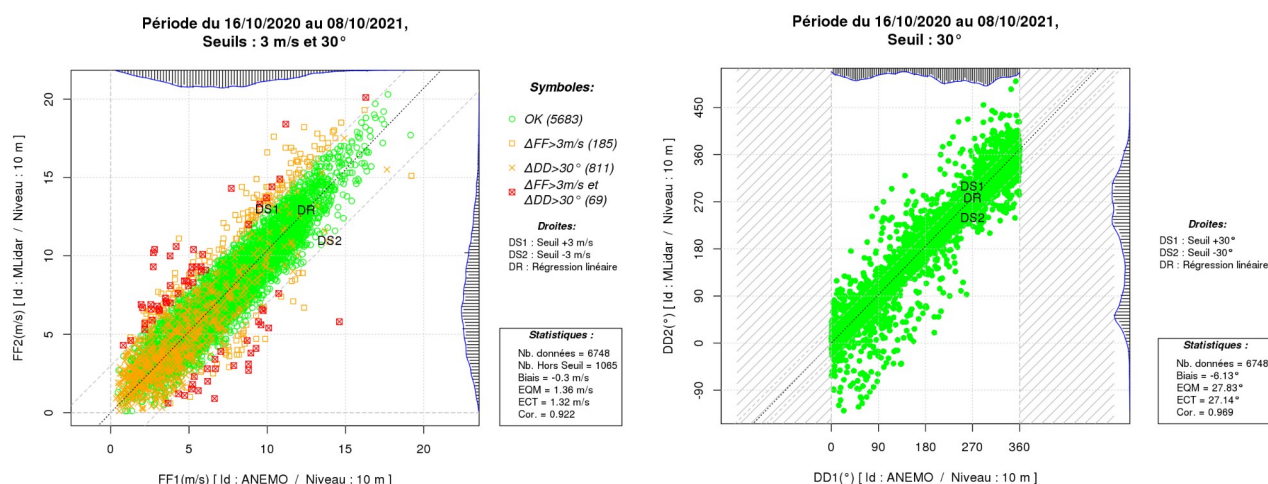


Illustration 33 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre Sud avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent de l'anémomètre Sud présente une légère dissymétrie (visible à partir de q70). Les résultats de l'anémomètre Sud sont assez bons mais un peu moins que ceux de l'anémomètre Nord.

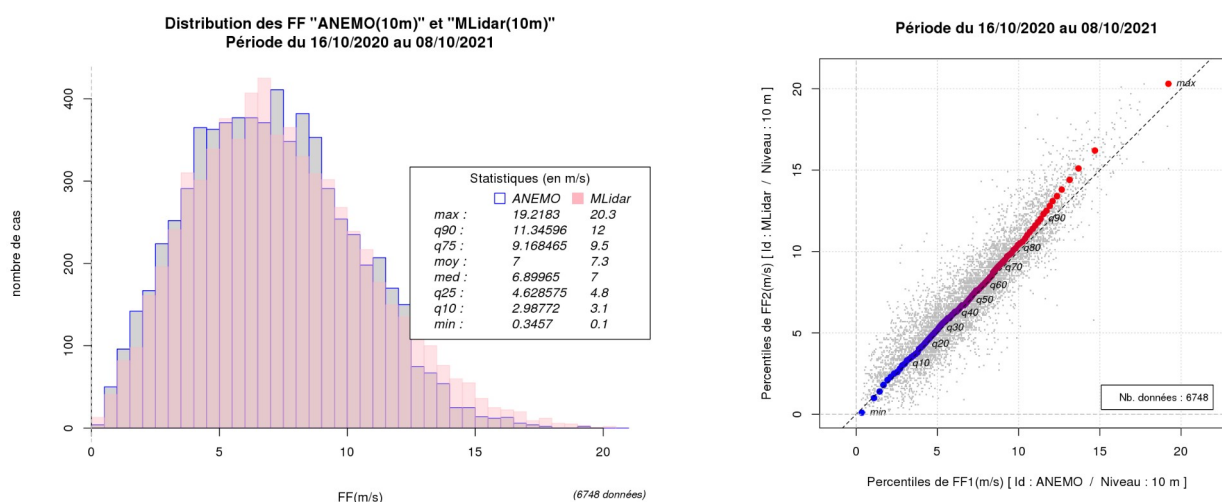


Illustration 34 : Distribution des vents horaires (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » de l'anémomètre Sud (à droite)

La rose des vents de l'anémomètre Sud est très comparable à celle du modèle AROME à 10 m. Elle présente toutefois quelques petites différences, notamment une composante ouest moins marquée que le modèle et en revanche des composantes sud-ouest et ouest-nord-ouest légèrement plus fortes. Enfin comme pour l'anémomètre Nord, elle présente un peu plus de vent nul.

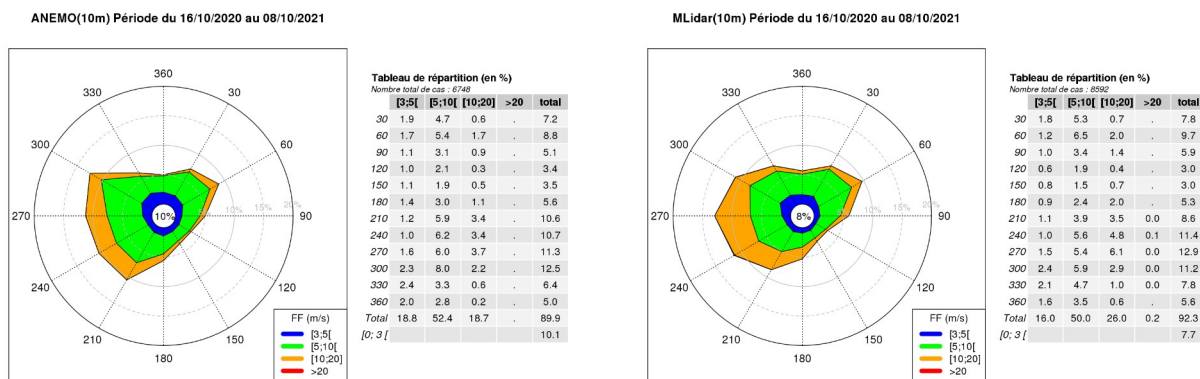


Illustration 35 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre Sud

5 Conclusions

Durant la période des seize mois de campagne, nous avons pu établir que les mesures de vent de surface et d'altitude, effectuées sur la zone d'étude au large des îles de Belle-île-en-Mer et de Groix, étaient parfaitement cohérentes avec les données du modèle AROME.

Le monitoring des LiDARs Nord et Sud a permis de contrôler la présence des données sur les 11 niveaux de mesure et plus précisément, de vérifier à l'aide de statistiques descriptives, la cohérence des observations de force et de direction à 100 m.

Suite à ce contrôle, des séries complètes de vent horaires à 100 m ont pu être créées, corrigées de certaines valeurs aberrantes (problème ponctuel sur le vent maximal du LiDAR Nord) et estimées sur quelques périodes manquantes (notamment en octobre 2020 pour le LiDAR Sud et de fin janvier à début mars pour les deux LiDARs).

Bibliographie

Chatel, V., Dalphinnet, A., Merle, R., Mezdoor, A., Rouchy, N., Roule, O., Joly B., Pouponneau B. et Legrand R. : Projet de parc éolien off-shore, Note technique Lots 1, 2 et 3, V1, 2021

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Situation du 1er au 2 octobre 2020 (tempête « Alex »).....	42
Annexe 2 : Situation météorologique des 5 et 6 juillet 2021.....	45
Annexe 3 : Situation météorologique 25 septembre 2021.....	46
Annexe 4 : Périodes de FXI retirées de la série du LiDAR Nord.....	47
Annexe 5 : Climatologie du 1er juillet 2020 au 31 octobre 2021.....	48
Annexe 6 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	57
Annexe 7 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	60
Annexe 8 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	63
Annexe 9 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	66
Annexe 10 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR Nord.....	69
Annexe 11 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR Sud.....	70
Annexe 12 : Roses des vents mensuelles du LiDAR Nord à 100m (données brutes).....	71
Annexe 13 : Roses des vents mensuelles du LiDAR Sud à 100m (données brutes).....	74
Annexe 14 : Profils de vent du LiDAR Nord.....	77
Annexe 15 : Profils de vent du LiDAR Sud.....	80
Annexe 16 : Cisaillement du vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	83
Annexe 17 : Cisaillement du vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	86
Annexe 18 : Turbulence du vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	89
Annexe 19 : Turbulence du vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	92

Annexe 1 : Situation du 1^{er} au 2 octobre 2020 (tempête « Alex »)

Situation générale :

La dépression « Alex » se creuse dans l'après-midi du jeudi 1er octobre au sud-ouest immédiat de la pointe Finistère. Le Morbihan est placé en vigilance rouge vent violent. Cette dépression circule rapidement d'Ouest en Est, se creusant très rapidement pour atteindre une pression minimale de 970 hPa environ.

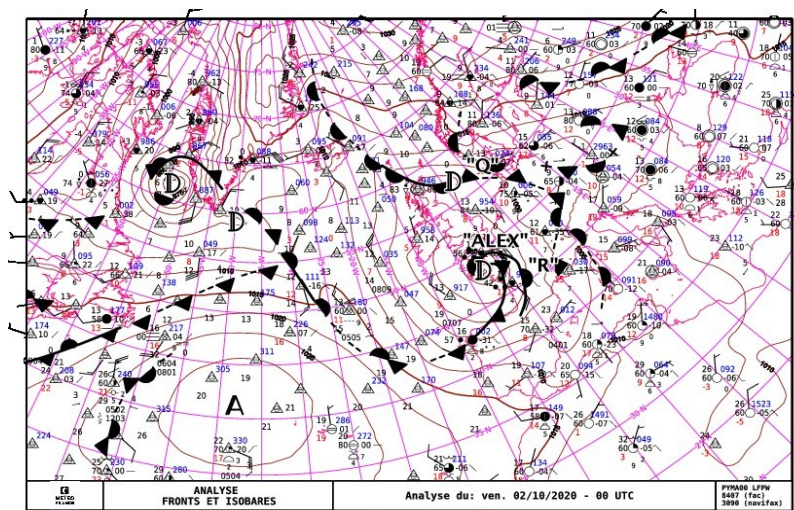


Illustration 36 : Analyse ISOFRONT du 2 octobre à 00h UTC

« Alex » vient frapper la côte sud de la Bretagne, avec un centre dépressionnaire qui passe sur les LiDARs entre 21h et 22h UTC. La dépression circule ensuite rapidement vers le Nord-Est de la Bretagne.

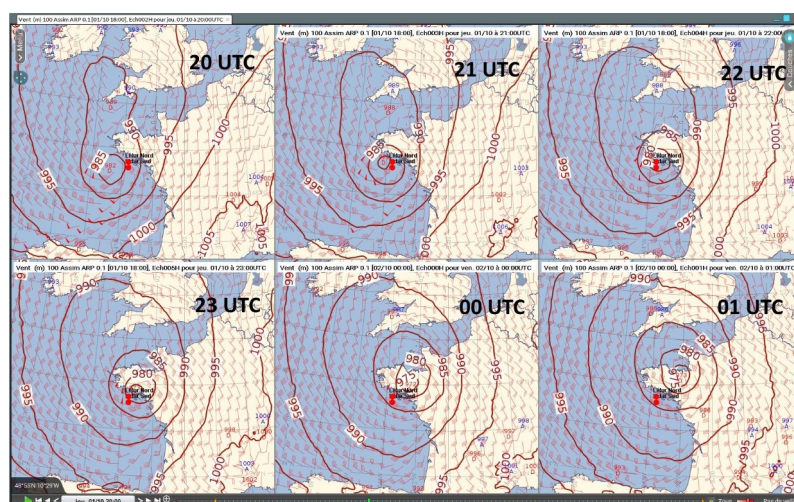


Illustration 37 : Pmer et vent 100m (1er octobre 2020) – Assimilation Arpège

Le lendemain, vendredi 2 octobre, le centre de la dépression, toujours voisin de 970 hPa, se retrouve sur l'ouest de la Manche, se dirigeant vers le Finistère qu'elle traverse de nouveau l'après-midi avant de s'évacuer dans la nuit vers la Vendée.

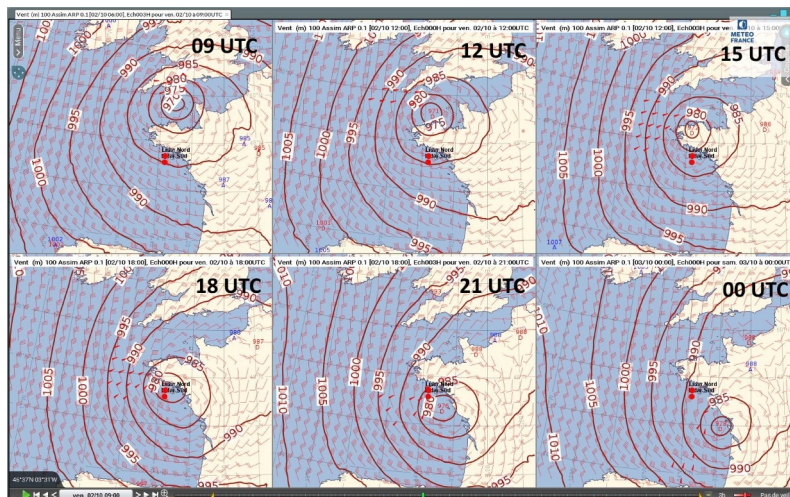


Illustration 38 : Pmer et vent 100m (2 octobre 2020) – Assimilation Arpège

Mesures des LiDARS :

La comparaison entre l'enregistrement du LiDAR Nord et le modèle ne montre pas d'anomalie particulière. Le LiDAR enregistre une baisse temporaire de vent le 1er octobre entre 21h et 22h UTC, correspondant au passage du centre dépressionnaire. Le pas horaire du modèle n'a sans doute pas permis à AROME de voir cette brève période de calme, mais la progression globale de la force du vent avec une valeur de pic identique au LiDAR (un peu plus de 60 nœuds), ainsi que la rotation de la direction du vent lors du passage de la dépression attestent d'une très bonne corrélation entre le modèle et l'enregistrement.

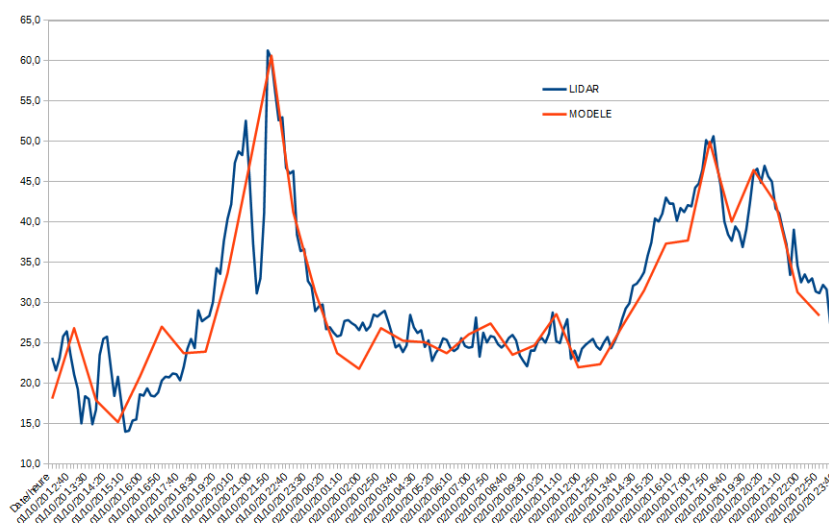


Illustration 39 : Comparaison du vent à 100 m entre le LiDAR Nord et le modèle AROME

Notons que le LiDAR Sud a également observé un calme relatif le 1er octobre entre 21h et 22h au passage du cœur de la dépression. Par ailleurs le LiDAR Sud a enregistré un pic à 67 nœuds, supérieur de 12 nœuds au maxi du modèle (55 nœuds). La dépression étant à la fois très mobile et très creuse, cet écart sur un seul pas horaire du modèle ne semble pas suffisamment significatif pour mettre en cause la pertinence de la mesure du Lidar.

Cette possible surestimation de la mesure au Lidar Sud devra cependant être surveillée lors d'évènements météorologiques analogues.

Conditions de mer : enregistrement de la bouée houlographe « Belle-île » :

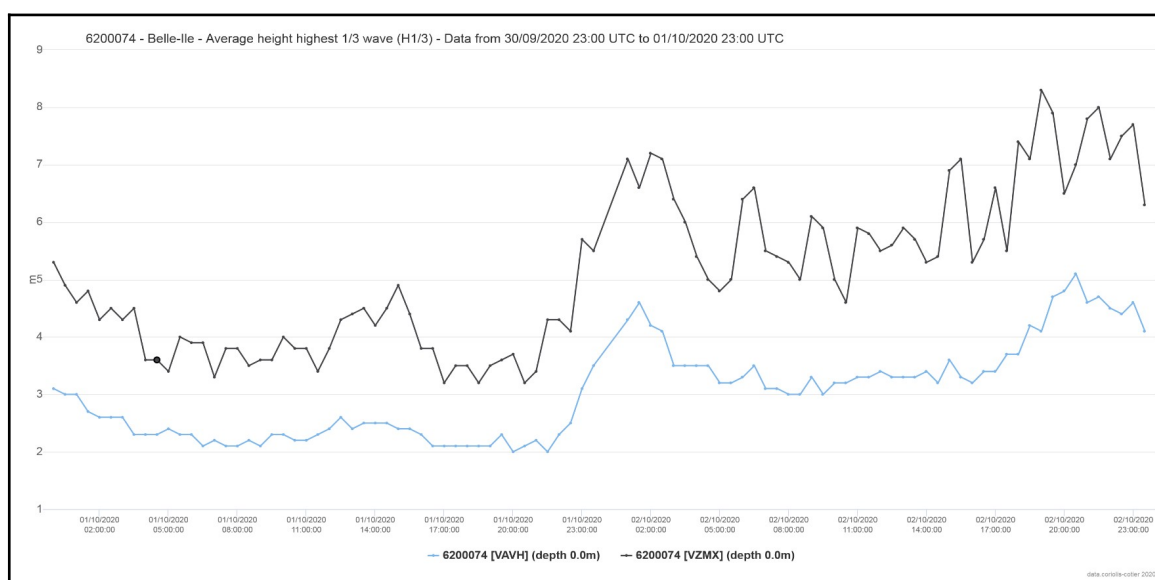


Illustration 40 : Hauteurs de vagues enregistrées

Lors de la tempête, la bouée a enregistré des H1/3 de 3 à 4 m avec des Hmax jusqu'à 7 m dans la nuit du 1er au 2 et un peu plus de 8 m le 2 en soirée. Les périodes moyennes étaient de 7 à 8s avec des Tpeak 10 ou 11s.

Au vu des différents éléments analysés, les vents enregistrés par les LiDAR Nord et Sud semblent tout à fait cohérents. Une possible surestimation de la force du vent au Lidar Sud est cependant à surveiller en conditions tempétueuses.

Annexe 2 : Situation météorologique des 5 et 6 juillet 2021

Une petite dépression à 995hPa très mobile et de petite dimension circule sur l'Ouest de la France entre le lundi 5 juillet après-midi et le mardi 6 juillet dans la matinée accompagnée d'une perturbation active.

Le vent va souffler en tempête au cours de la nuit du 5 au 6 juillet avec des valeurs particulièrement élevées pour la saison avec un pic de 33.1 m/s à Groix, 28.3 m/s à Belle-Île et même 25.5 m/s à Lorient.

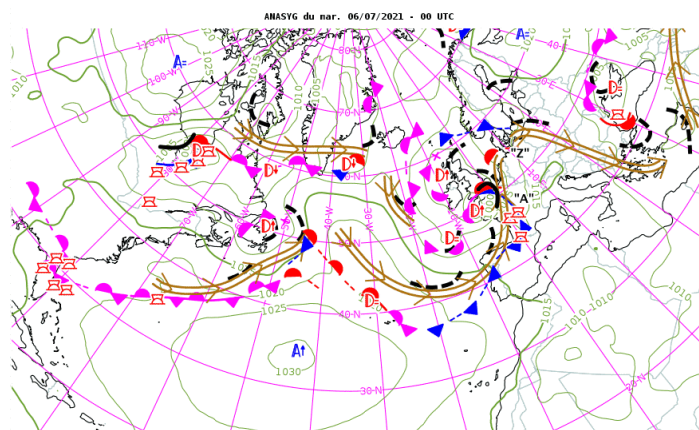


Illustration 41 : ANASYG du mardi 6 juillet 2021 à 00h UTC

Les deux bouées Lidar du sud-Bretagne sont affectées de la même façon par cette perturbation tempétueuse de grande échelle. Les intensités maximales mesurées sont similaires. Il en est de même avec le tempo de l'accélération du vent puis de sa décroissance après le passage du corps perturbé avant une reprise modérée très provisoire dans la traîne le 6 en journée.

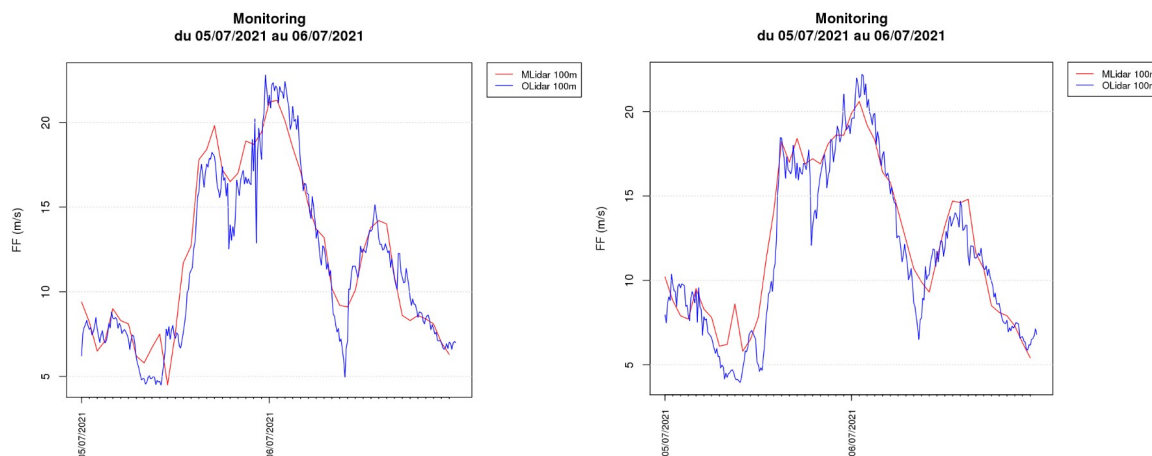


Illustration 42 : Comparaison des mesures Lidar à 100 mètres avec le modèle AROME pour le site Bretagne Nord (à gauche) et Bretagne Sud (à droite) du 5 au 6 juillet 2021

On notera lors de cette situation très perturbée une excellente corrélation entre les observations et les sorties du modèle AROME sur ces deux journées tant en termes d'intensité que de période.

Annexe 3 : Situation météorologique 25 septembre 2021

Une zone à très faible gradient de pression concerne l'Ouest de la France ainsi que l'ensemble du Golfe de Gascogne. Celle-ci est le siège de nombreux cumulonimbus très actifs donnant localement des averses et orages violents.

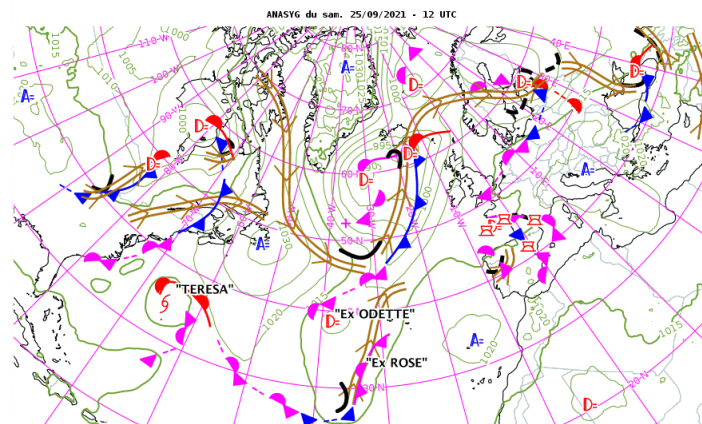


Illustration 43 : ANASYG du samedi 25 septembre 2021 à 12h UTC

Les bouées Lidar du sud-Bretagne sont plus ou moins affectées par les intempéries orageuses. Mais c'est celle située au Nord de la zone qui a observé les conséquences les plus notables du passage d'une des cellules orageuses. Cela concerne notamment la force du vent qui augmente très brutalement avec une pointe dépassant les 15 m/s à 10 mètres de hauteur, les rafales dépassent même 25 m/s à 200 mètres de hauteur. Néanmoins, le caractère très instable de la situation est bien visualisé par le pic de vent très bref, ne durant que quelques minutes. La situation se normalise ensuite rapidement après le passage de la zone pluvio-orageuse. Confirmant cet aspect très localisé, le modèle AROME ne montre aucun signal instable et la bouée Sud n'a pas indiqué de perturbation particulière.

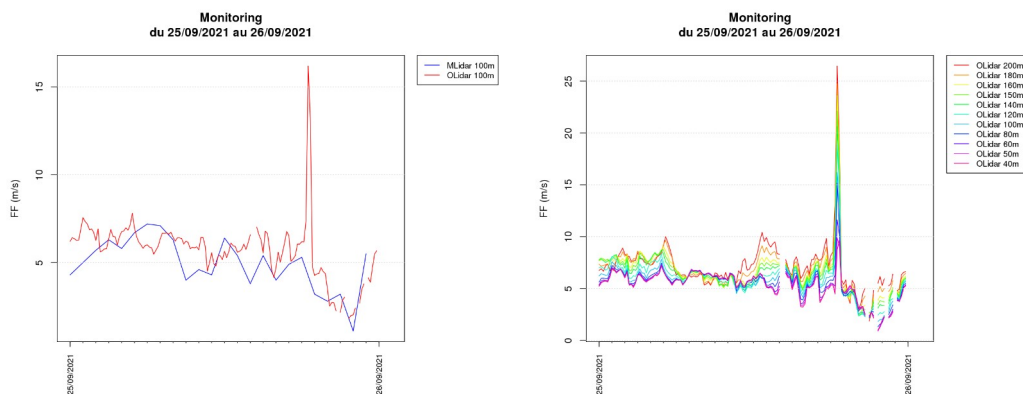


Illustration 44 : Comparaison des mesures Lidar à 100 mètres avec le modèle AROME (à gauche) et visualisation des vents mesurés par le Lidar entre 40 et 200 mètres (à droite) pour le site Bretagne Nord le 25 septembre 2021

On notera une bonne corrélation entre les observations et les sorties du modèle AROME sur l'ensemble de la période en-dehors du pic mesuré par Lidar lors du passage de la cellule pluvio-orageuse.

Annexe 4 : Périodes de FXI retirées de la série du LiDAR Nord

25/07/2020 20:10 au 25/07/2020 21:50	28/07/2020 19:10 au 28/07/2020 21:50	21/08/2020 19:10 au 21/08/2020 21:50
25/08/2020 22:10 au 25/08/2020 23:50	20/09/2020 19:10 au 20/09/2020 21:50	15/10/2020 07:10 au 15/10/2020 09:50
20/10/2020 15:10 au 20/10/2020 17:50	24/10/2020 04:10 au 24/10/2020 07:50	28/10/2020 18:10 au 28/10/2020 19:50
01/11/2020 12:10 au 01/11/2020 15:50	06/11/2020 16:10 au 06/11/2020 19:50	11/11/2020 13:10 au 11/11/2020 17:50
14/11/2020 23:10 au 15/11/2020 00:50	25/11/2020 01:10 au 25/11/2020 05:50	30/11/2020 19:10 au 01/12/2020 06:50
09/11/2020 17:10 au 09/12/2020 19:50	13/12/2020 02:10 au 13/12/2020 04:50	16/12/2020 17:10 au 16/12/2020 18:50
18/12/2020 02:10 au 18/12/2020 05:50	23/12/2020 14:10 au 23/12/2020 19:50	24/12/2020 10:10 au 24/12/2020 12:50
27/12/2020 04:10 au 27/12/2020 08:50	28/12/2020 22:10 au 29/12/2020 01:50	02/01/2021 07:10 au 02/01/2021 11:50
05/01/2021 05:10 au 06/01/2021 02:50	09/01/2021 01:10 au 09/01/2021 02:50	10/01/2021 06:10 au 10/01/2021 07:50
14/01/2021 16:10 au 15/01/2021 00:50	20/01/2021 15:10 au 20/01/2021 18:50	19/03/2021 18:10 au 19/03/2021 21:50
29/03/2021 13:10 au 29/03/2021 14:50	03/04/2021 05:10 au 03/04/2021 11:50	14/04/2021 02:10 au 14/04/2021 08:50
26/04/2021 01:10 au 26/04/2021 11:50	06/05/2021 12:10 au 06/05/2021 16:50	11/05/2021 10:10 au 11/05/2021 11:50
11/05/2021 16:10 au 11/05/2021 21:50	14/05/2021 21:10 au 15/05/2021 04:50	16/05/2021 12:10 au 16/05/2021 14:50
04/07/2021 02:10 au 04/07/2021 08:50	05/07/2021 17:10 au 05/07/2021 18:50	05/07/2021 21:10 au 05/07/2021 23:50
13/07/2021 20:10 au 13/07/2021 23:50	24/07/2021 10:10 au 24/07/2021 14:50	29/07/2021 05:10 au 29/07/2021 12:50
04/08/2021 14:10 au 04/08/2021 15:50	06/08/2021 21:10 au 07/08/2021 03:50	16/08/2021 00:10 au 16/08/2021 01:50
16/08/2021 06:10 au 16/08/2021 08:50	31/08/2021 13:10 au 31/08/2021 16:50	25/09/2021 18:10 au 25/09/2021 19:50

Annexe 5 : Climatologie du 1^{er} juillet 2020 au 31 octobre 2021

La station météorologique de référence pour qualifier la climatologie de la zone étudiée est située au Talut à Belle-île. La période sur laquelle portent les statistiques s'étend de 2001 à 2020.

1) Le vent

a) Analyse de l'été 2020 (mois de juillet et août)

Les roses de vent observé durant l'été 2020 et celles des périodes estivales 2001-2020 sont parfaitement similaires. Tout juste si, en termes de direction, on peut observer une très légère rotation des vents de 20° dans le sens des aiguilles d'une montre entre l'été 2020 et la moyenne des étés entre 2001 et 2020.

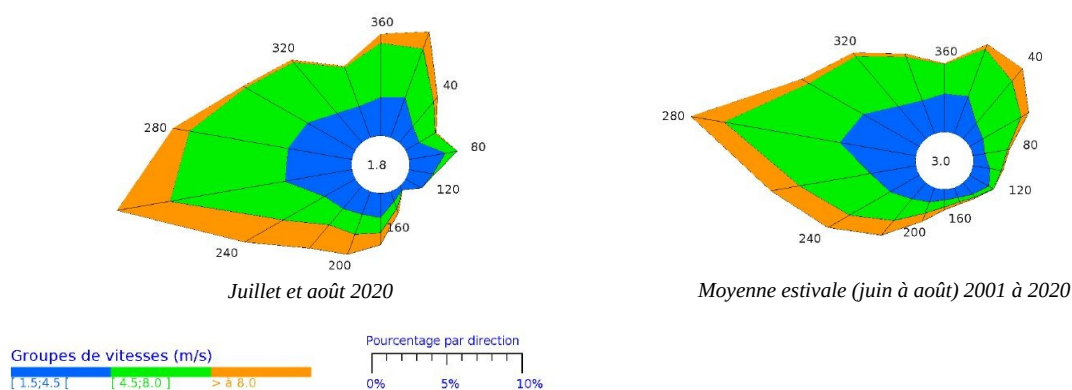


Illustration 45 : Roses des vents de l'été 2020 de la station du Talut (Belle-île)

b) Analyse de l'automne 2020 (septembre à novembre)

Comme pour la période précédente, les deux roses de vent sont très similaires en forme même si celle de l'automne 2020 apparaît moins lissée. Cette observation est néanmoins à relativiser en raison de la courte période de calculs (3 mois) par rapport à la rose établie sur 20 ans.

Par contre, si on rentre dans le détail, la fréquence des vents de Sud-Ouest (du 240 au 280°) s'élève à 28.8% en 2020 au lieu de 23.5% sur la période de référence. Dans la direction opposée (du 020 au 080°), cette fréquence s'établit à 19.0% en 2020 contre une moyenne statistique de 24.7% sur 20 ans. On observe donc une surreprésentation des vents de Sud-Ouest au cours de l'été 2020 par rapport à une situation climatologique plus orientée Nord-Est en cette saison.

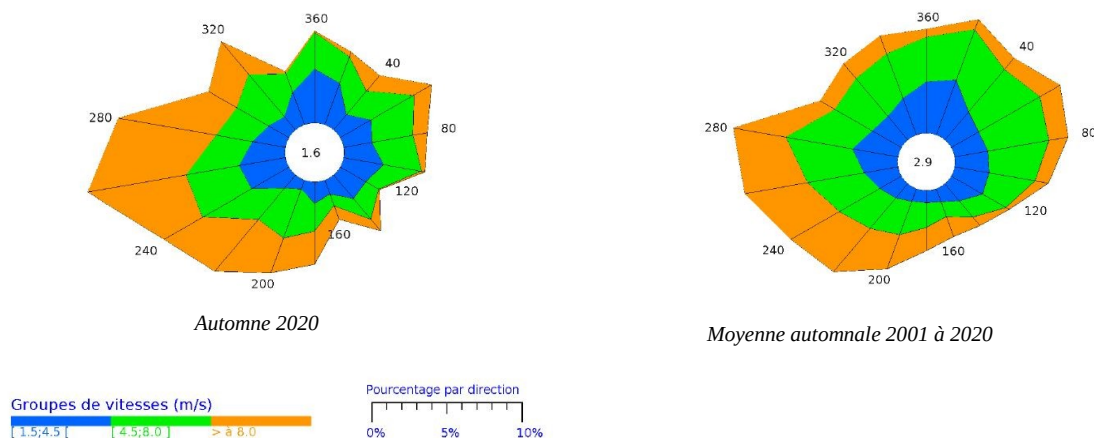


Illustration 46 : Roses des vents de l'automne 2020 de la station du Talut (Belle-île)

c) Analyse de l'hiver 2020-2021 (décembre à février)

La rose de vent de l'hiver indique une nette prédominance de direction de vent du 240-260° par rapport à la normale. En effet, l'hiver 2020-2021 a vu sa fréquence d'observation monter à 25.5 % alors que statistiquement cette valeur n'est que de 17.8 % (+7.7%). Cette augmentation s'est faite au détriment de la deuxième direction climatologiquement la plus fréquente, à savoir du 060° au 100°, passant de 19.3 % sur 20 ans à 12.4 % pendant l'hiver 2020-2021 (-6.9%).

Autre élément notable, cette prédominance des vents de sud-ouest se caractérise également par une augmentation de la force des vents observés puisque les vents supérieurs à 8.0 m/s augmentent de 13.7 % (49.9 % pendant l'hiver 2020-2021 au lieu de 36.2 % au cours des 20 années précédentes).

Sur les trois mois, la période a donc été caractérisée par des coups de vent de secteur Sud-Ouest plus fréquents qu'à l'accoutumée.

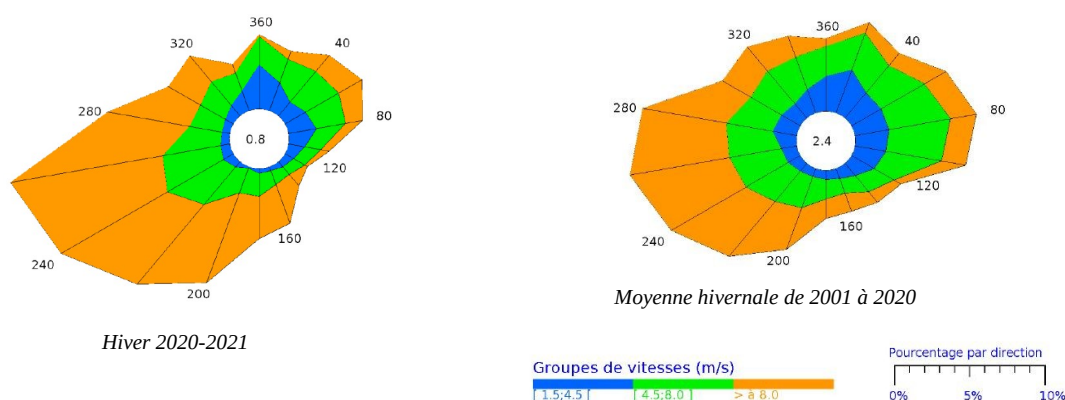


Illustration 47 : Roses des vents de l'hiver 2020-2021 de la station du Talut (Belle-île)

d) Analyse du printemps 2021 (mars à mai)

Pour ce printemps 2021, on remarque que les deux directions privilégiées, à savoir Ouest et Nord-Est sont bien présentes mais de façon encore plus fréquente que d'habitude. Ainsi, pour un vent soufflant du 040° à 060° ; la fréquence d'occurrence a été de 19.8 % cette année pour des valeurs moyennes de 15.0 % (+4.8%). De même, pour des directions venant du 260 au 280°, la fréquence d'observation cette année a été de 23.4 % au lieu de 18.7 % sur la période 2001-2020 (+4.7%). Cette sur-représentation se fait au détriment de toutes les autres directions.

Par ailleurs, au cours du printemps 2021, le vent a soufflé plus fort que d'habitude. Ce sont les intensités fortes (supérieures à 8.0 m/s) qui sont plus fréquentes, notamment du secteur 260° à 7.4 % au lieu de 2.9 % (+4.5%) ; c'est également le cas du 040° observé dans 3.3 % des cas au lieu de 1.5 % (+1.8%).

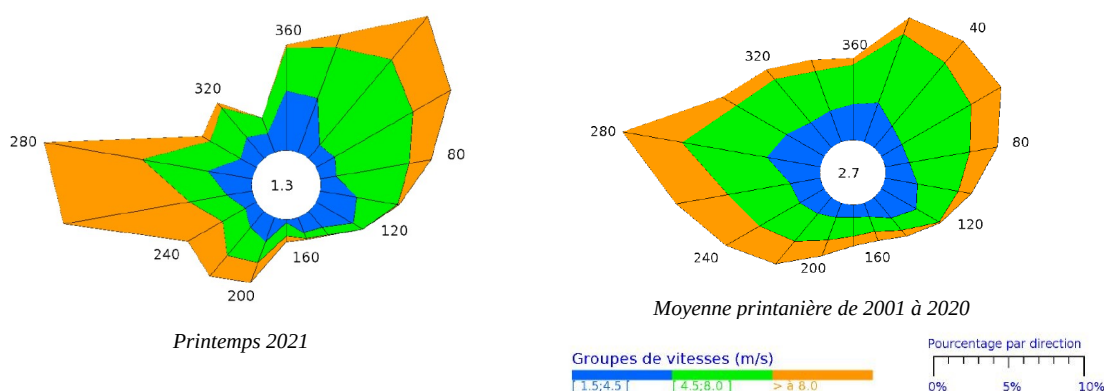


Illustration 48 : Roses des vents du printemps 2021 de la station du Talut (Belle-île)

e) Analyse de l'été 2021 (juin à août)

Pendant cette période, on trouve une grande similitude entre le vent observé lors de l'été 2021 avec la situation moyennée sur 20 ans. Les valeurs chiffrées confirment cette observation avec, cependant, une accentuation de la présence des deux directions dominantes, à savoir 040-060° enregistrés dans 15.5 % des cas en 2021 par rapport à une climatologie de 11.1 % (soit +4.4%). Il en est de même pour la direction 280°, mais dans une moindre mesure (17.9 % en 2021 au lieu de 15.8 % en 2001-2020 (soit +2.1%)). Pour les autres directions ainsi que les intensités, la concordance entre les deux roses est très forte.

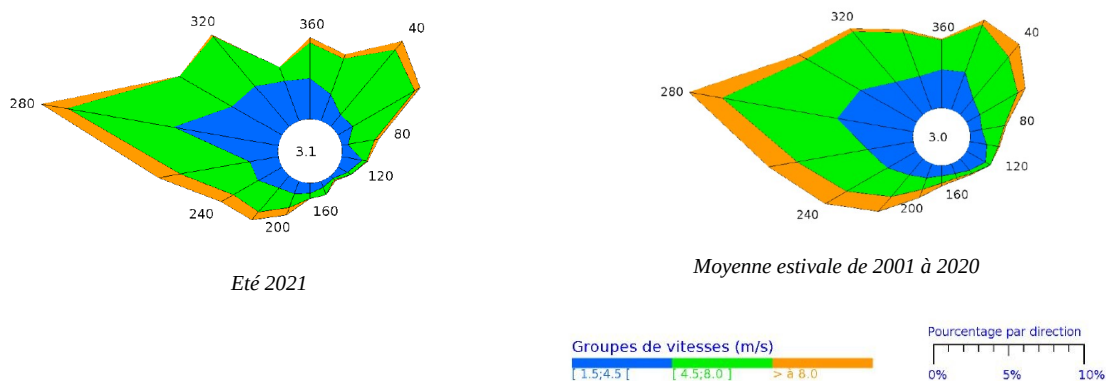


Illustration 49 : Roses des vents de l'été 2021 de la station du Talut (Belle-île)

f) Analyse du début de l'automne 2021 (septembre et octobre)

Pendant cette période, on trouve une grande similitude entre le vent observé lors de l'été 2021 avec la situation moyennée sur 20 ans. Les valeurs chiffrées confirment cette observation avec, cependant, une accentuation de la présence des deux directions dominantes, à savoir 040-060° enregistrés dans 15.5 % des cas en 2021 par rapport à une climatologie de 11.1 % (soit +4.4%). Il en est de même pour la direction 280°, mais dans une moindre mesure (17.9 % en 2021 au lieu de 15.8 % en 2001-2020 (soit +2.1%)). Pour les autres directions ainsi que les intensités, la concordance entre les deux roses est très forte.

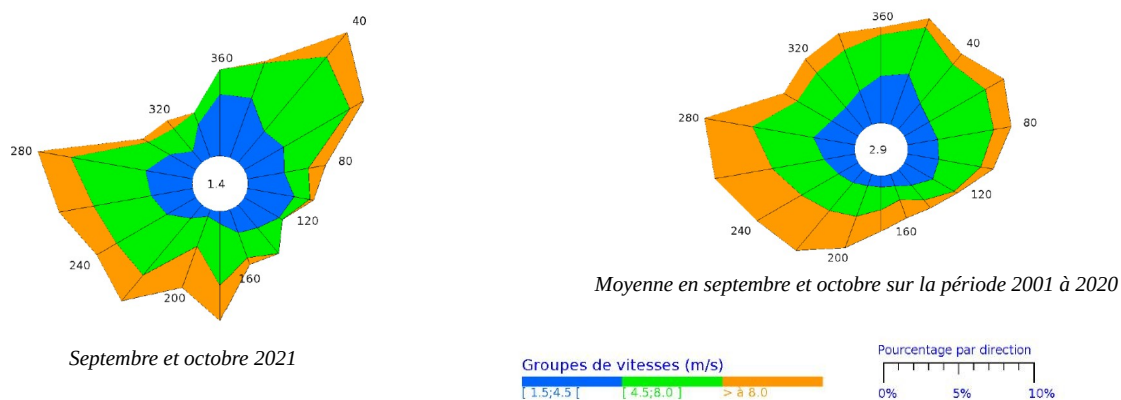


Illustration 50 : Roses des vents de l'automne 2021 de la station du Talut (Belle-île)

g) Tempêtes

Sur la période d'étude, les vents forts (supérieurs ou égaux à 28 m/s) sont restés dans la moyenne, à savoir 19 cas selon la répartition temporelle suivante, par ordre d'intensité décroissante :

Date	Forces de vent
1 ^{er} octobre 2020	51.7 m/s
28 décembre 2020	35.1 m/s
27 décembre 2020	34.8 m/s
23 janvier 2021	32.7 m/s
23 décembre 2020	32.2 m/s
21 janvier 2021	31.9 m/s
13 mars 2021	31.4 m/s
24 octobre 2020	30.9 m/s
24 septembre 2020	30.6 m/s
27 septembre 2021	30.4 m/s
3 février 2021	30.1 m/s
3 décembre 2020	29.9 m/s
2 octobre 2021	29.9 m/s
1 ^{er} février 2021	29.5 m/s
20 janvier 2021	29.4 m/s
2 octobre 2020	29.2 m/s
15 novembre 2020	29.0 m/s
21 décembre 2020	28.9 m/s
6 juillet 2021	28.3 m/s

Tableau 8 : Liste des épisodes venteux enregistrés à la station du Talut (Belle-île)

La journée du 1^{er} octobre 2020 sort des normes avec une intensité extrême mesurée à 51.7 m/s. Il s'agit de la tempête Alex, la plus violente observée à Belle-île depuis l'ouverture du poste en 1930 (hors quelques années manquantes entre 1938 et 1946) pour un deuxième semestre ! Sinon, en valeur absolue sur une année calendaire, il faut remonter au 11 mars 1963 pour trouver une valeur très légèrement supérieure de 52.0 m/s. Cette situation exceptionnelle est détaillée en annexe 1.

La journée du 6 juillet 2021 est également remarquable. Si la valeur maximale observée de 28.3 m/s n'a, en soi, rien d'exceptionnel, la survenance du phénomène tempétueux au début d'un mois de juillet est

relativement atypique (une dizaine de fois en 50 ans). La dernière tempête a ainsi été observée les 7 et 8 juillet 2004 avec des rafales maximales atteignant successivement les 32.0 puis 33.0 m/s.

2) Les températures

En 2020, en dehors du mois de juillet dont les températures sont proches des normales (+/- 0.3°C) et octobre avec des valeurs un peu fraîches pour la période (-0.8°C pour les maximales), les 4 autres mois de la campagne sont très nettement plus doux que la normale. Novembre a ainsi vu ses températures minimales être plus de 2°C au-dessus des normales, ce qui est considérable pour un site maritime. On notera que la prédominance du flux d'Ouest en cette fin d'année explique cette anomalie positive. Août et décembre ont des anomalies positives très proches, tournant autour des 1.5°C tant pour les températures minimales que maximales. Enfin, septembre reste toujours doux, avec des températures maximales supérieures de plus de 1°C en moyenne.

En 2021, les températures minimales du mois d'avril puis les températures maximales du mois de mai sont nettement en dessous des normales de saison. Elles contrastent nettement avec toutes les autres valeurs enregistrées sur la période avec des anomalies positives parfois de façon spectaculaire. C'est notable pour les températures minimales, par exemple, en février puis en septembre (proche de +1.5°C) alors que les maximales sont également excédentaires, jusqu'à près de +2.0°C en septembre.

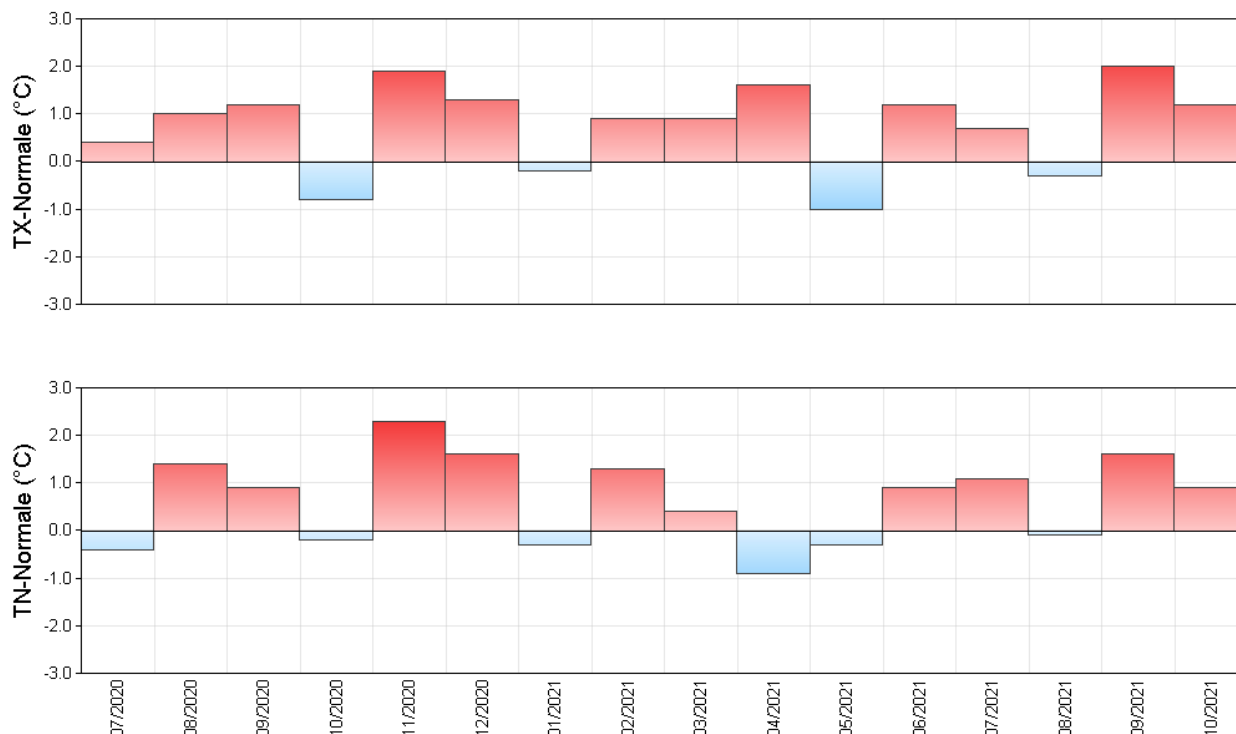


Illustration 51 : Anomalies mensuelles de températures minimales et maximales de juillet à décembre 2020 à la station du Talut (Belle-île) - Période de référence : 1981 - 2010

3) Les précipitations

Le deuxième semestre 2020 a vu une alternance spectaculaire de mois secs à très secs avec des mois arrosés. Les mois de juillet puis août sont particulièrement significatifs, en effet, juillet n'a enregistré que 1.6 mm sur tout le mois... et encore s'agit-il simplement de rosée ou de rares crachins ! Par contre, au mois d'août, les précipitations orageuses ont contribué à atteindre près du double des normales du mois, notamment avec une perturbation active le 18 du mois (19.0 mm), puis dans une moindre mesure le 15 août (15.0 mm) et le lendemain (9.1 mm).

En octobre, les valeurs quotidiennes les plus importantes sont enregistrées les 24 octobre (20.1 mm), le 1er octobre (17.1 mm), le 2 octobre (13.9 mm) puis le 20 octobre (12.9 mm).

En décembre, on observe à nouveau 4 journées particulièrement arrosées : le 9 du mois à 17.9 mm, le 3 décembre à 17.8 mm, puis les 22 et 27 décembre avec 14.3 mm chaque jour.

Les neuf premiers mois de l'année 2021 ont été plutôt secs sur la durée notamment en mars (14.0 mm) et avril (4.2 mm) alors que durant le début de l'été, les mois de juin (46.4 mm) et juillet (58.0), d'une part, puis octobre (94.3 mm), d'autre part, ont été plus arrosés que la normale.

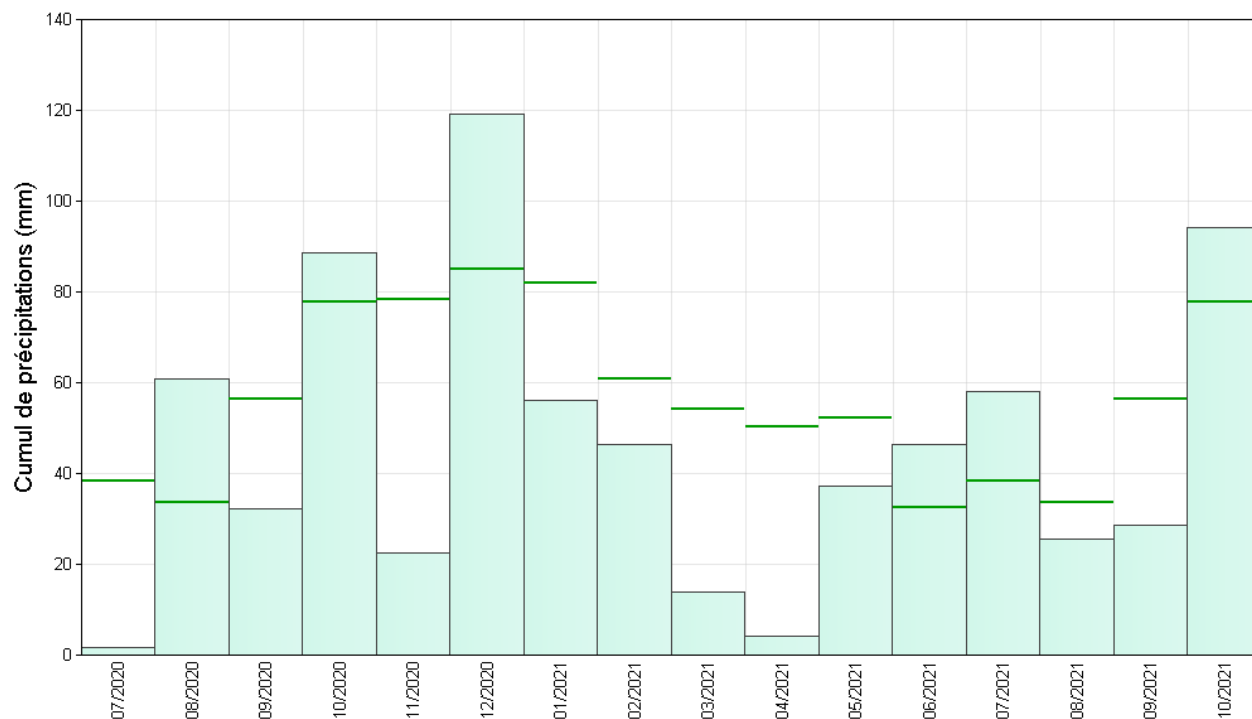
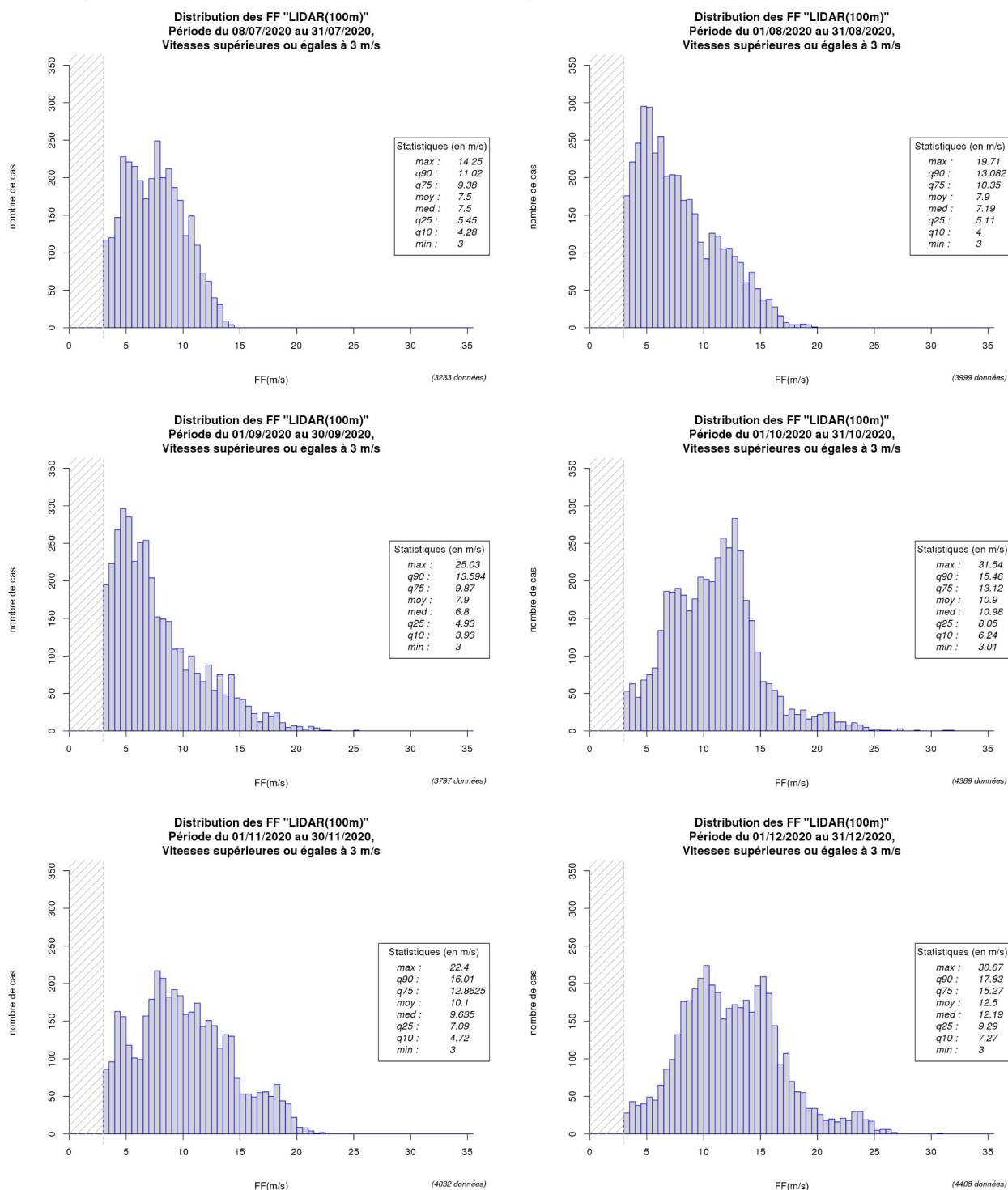


Illustration 52 : Cumuls mensuels de précipitations de juillet 2020 à octobre 2021 à la station du Talut (Belle-île) (histogrammes en bleu) et normale de précipitations (segments en vert) - Période de référence : 1981 - 2010

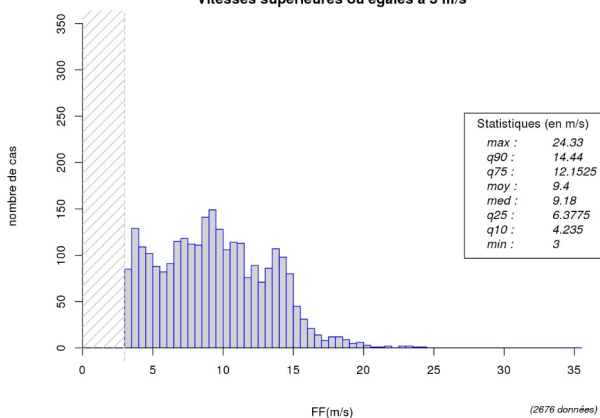
Annexe 6 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

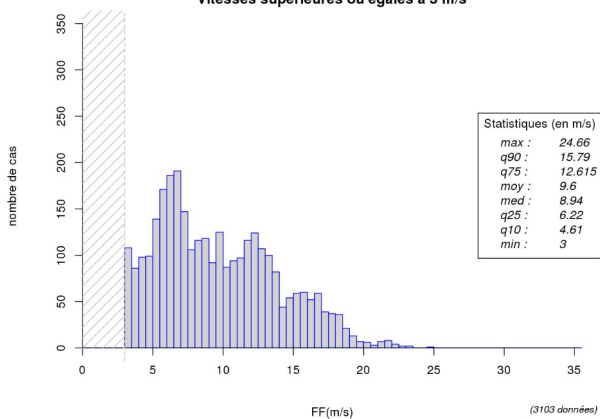
Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

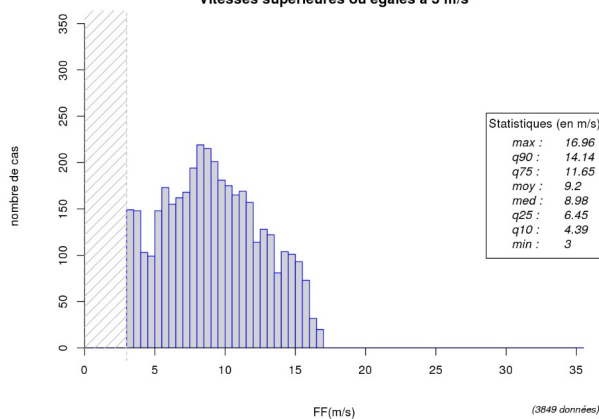


Données absentes en février 2021

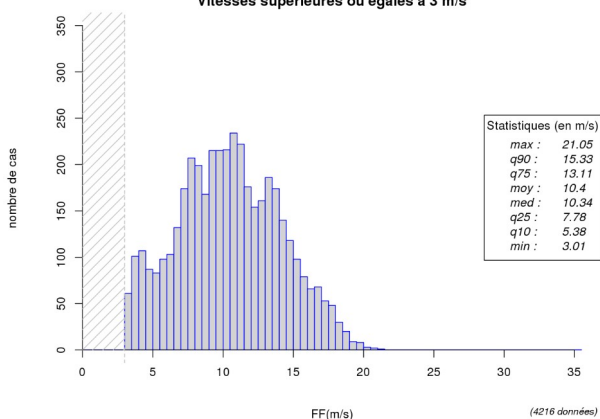
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



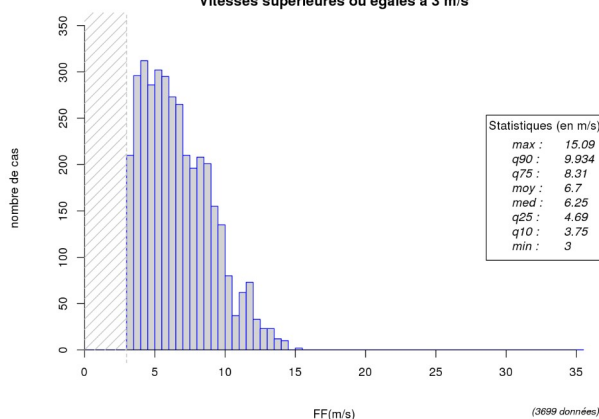
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

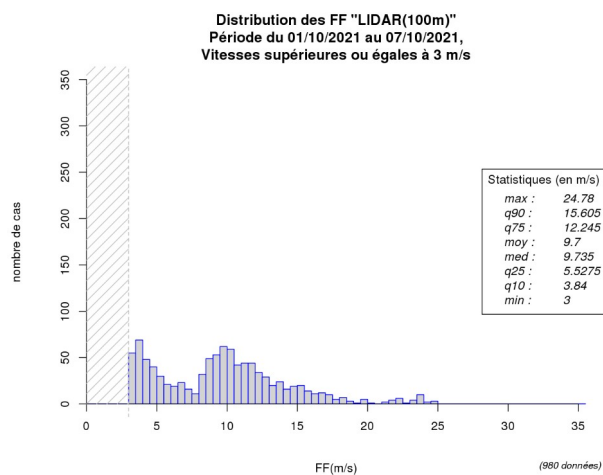
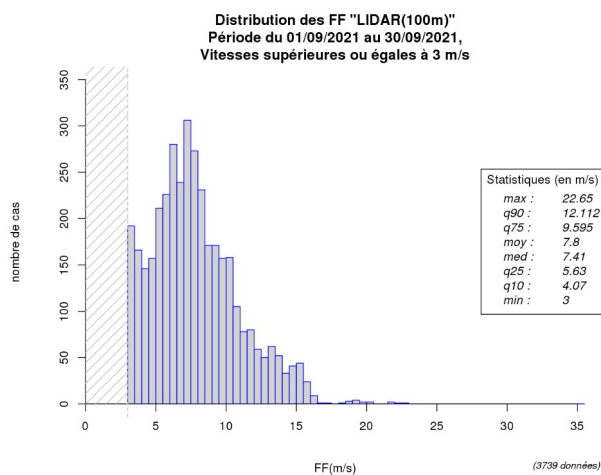
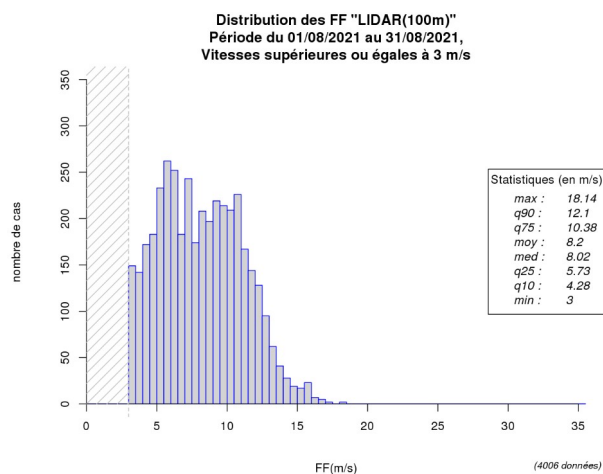
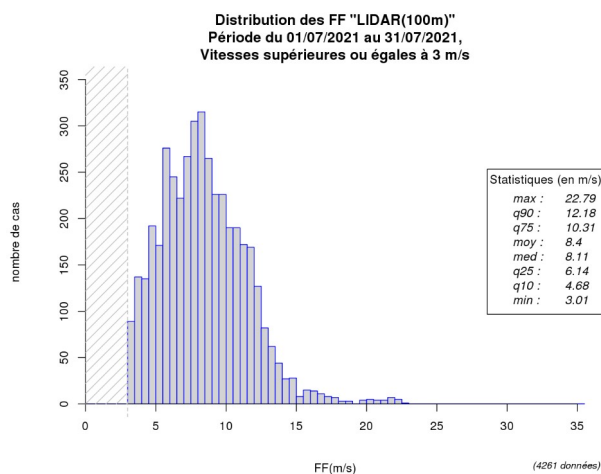


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

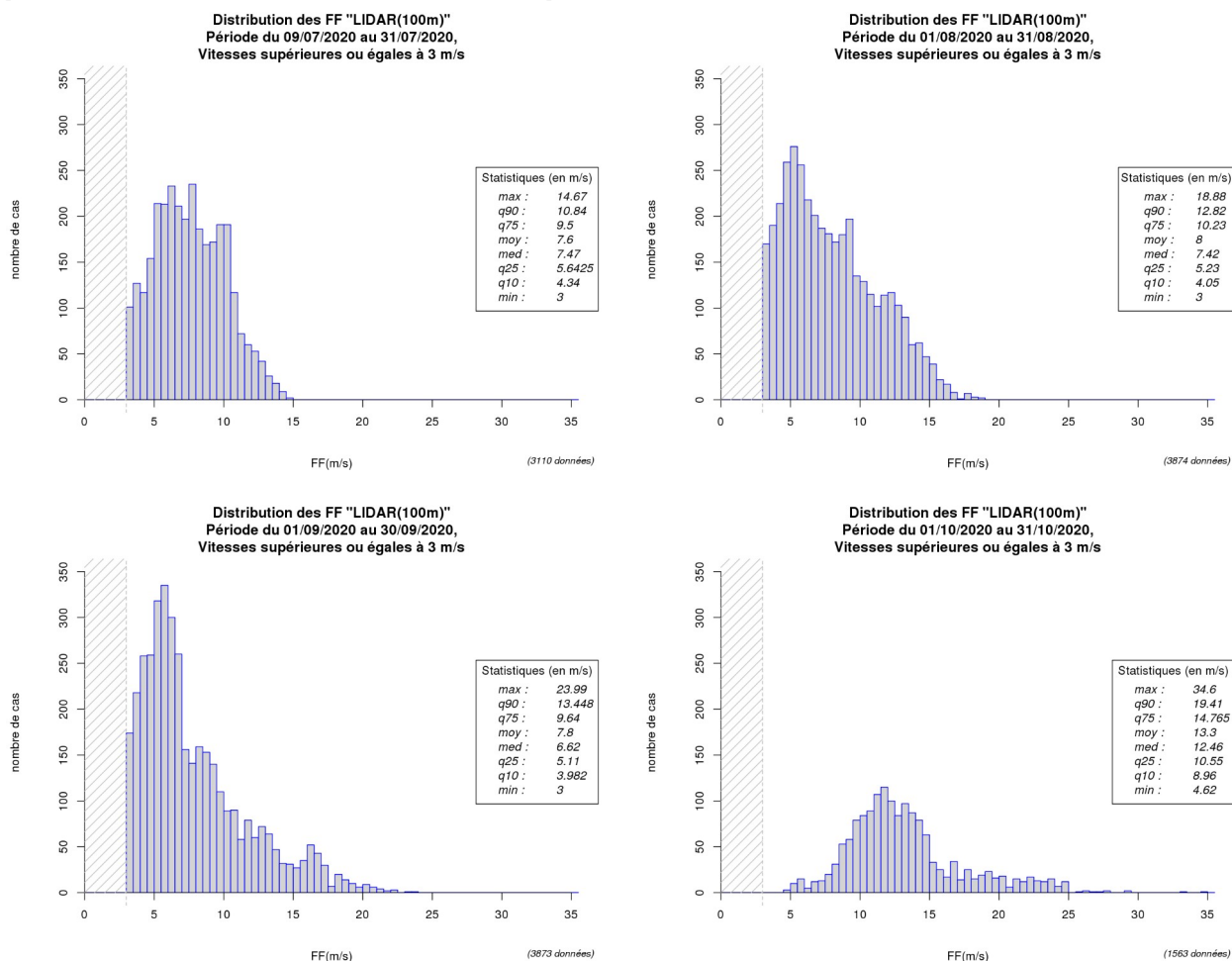


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

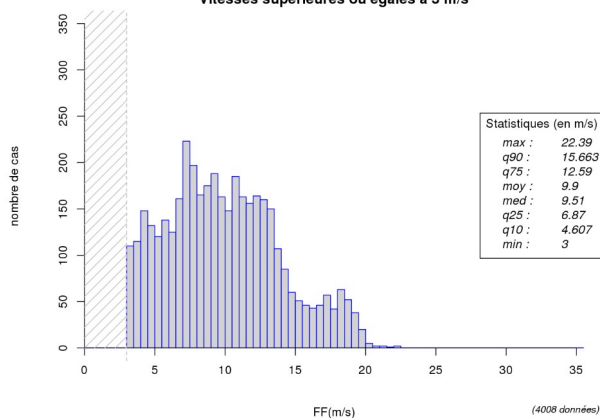




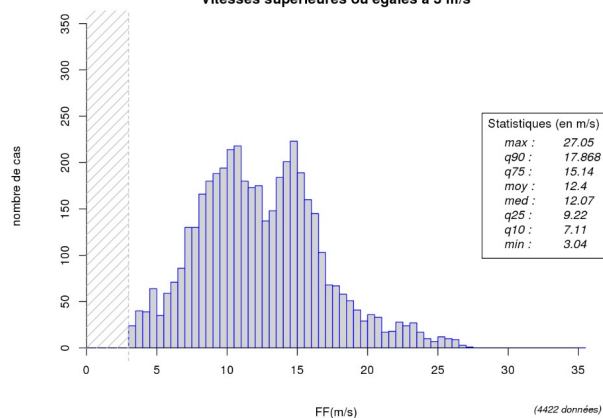
Annexe 7 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



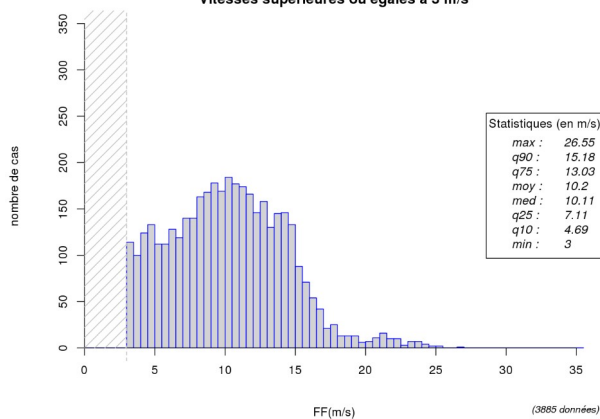
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/11/2020 au 30/11/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/12/2020 au 31/12/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

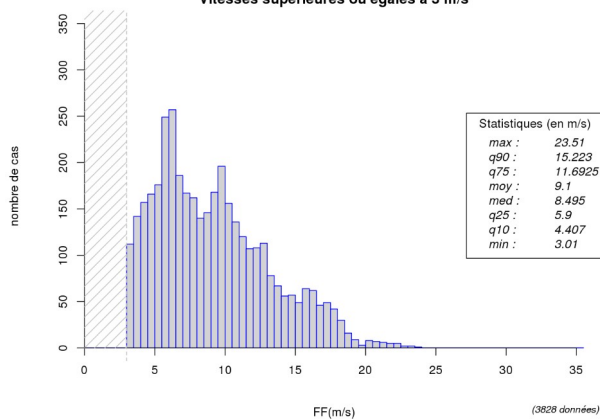


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

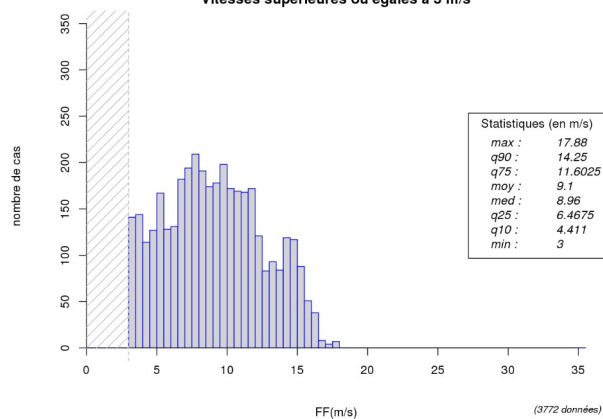


Données absentes en février 2021

Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



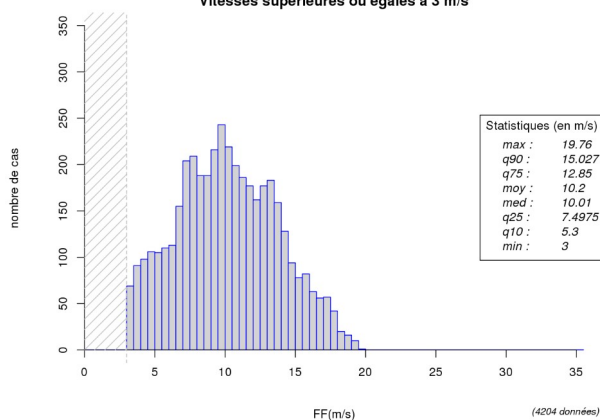
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



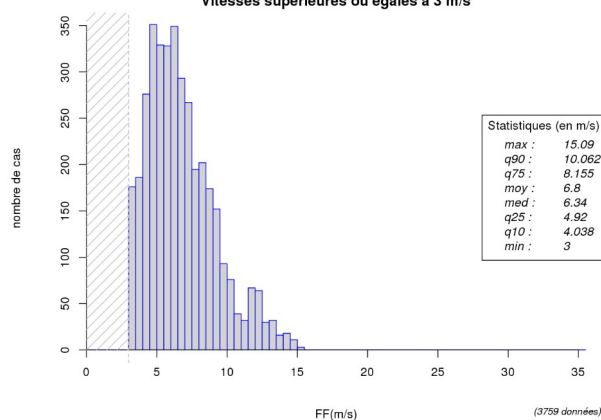
Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

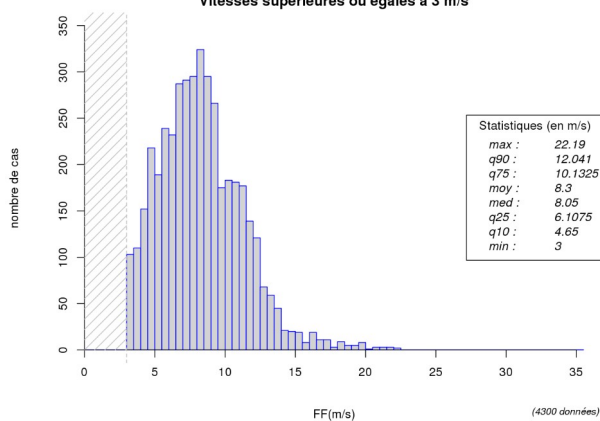
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



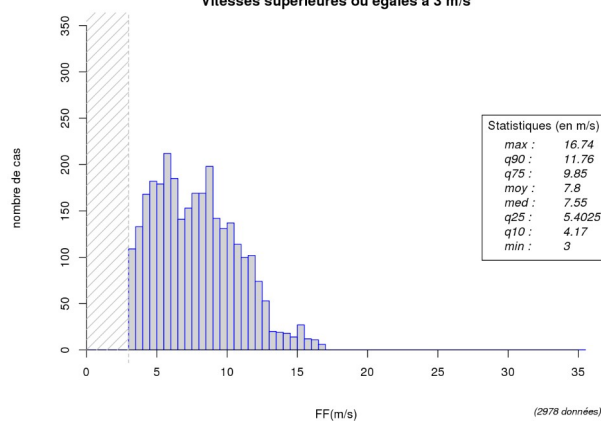
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



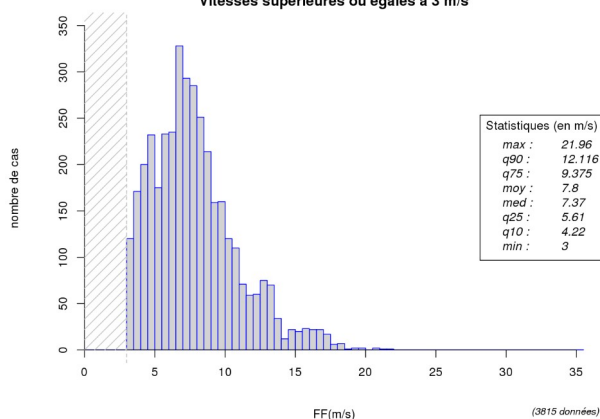
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



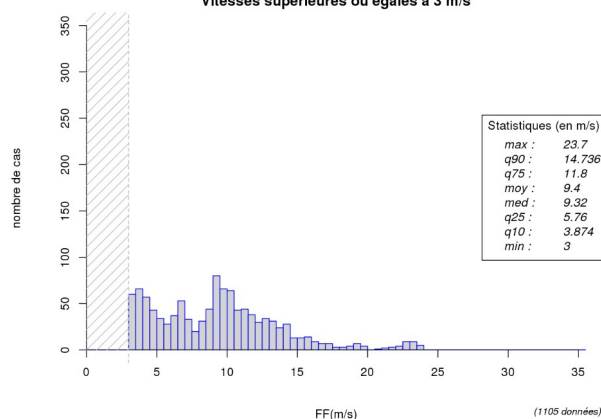
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

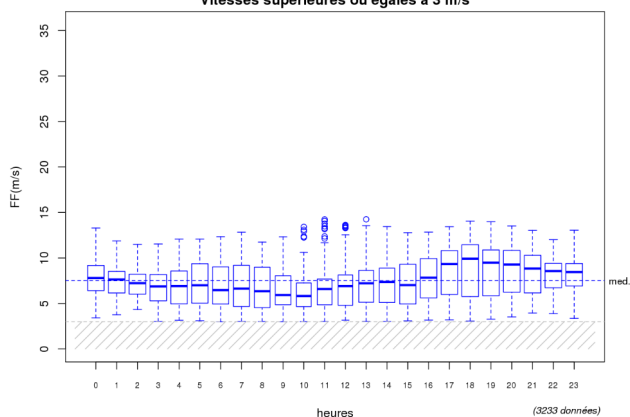


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/10/2021 au 08/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

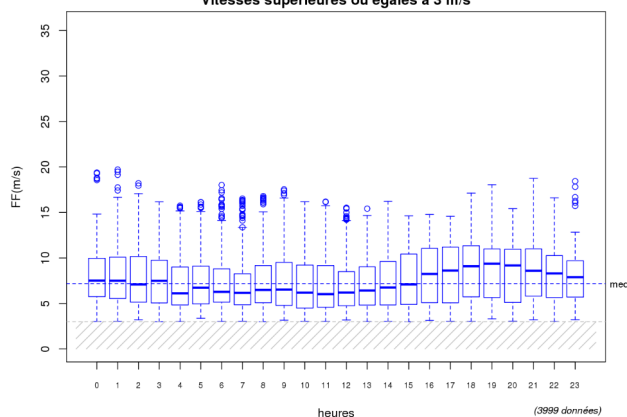


Annexe 8 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

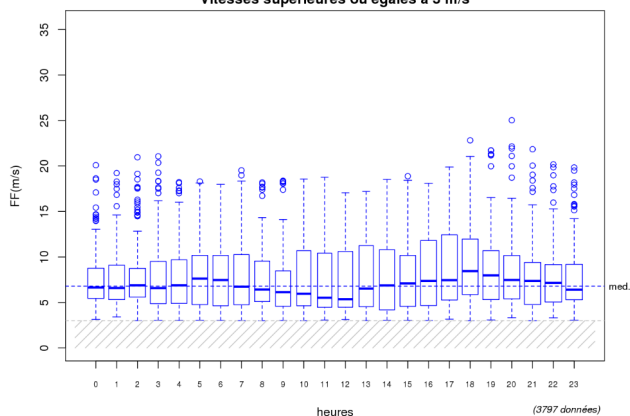
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 08/07/2020 au 31/07/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



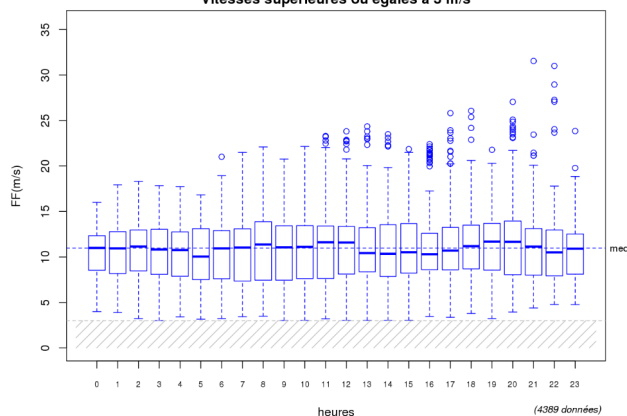
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2020 au 31/08/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



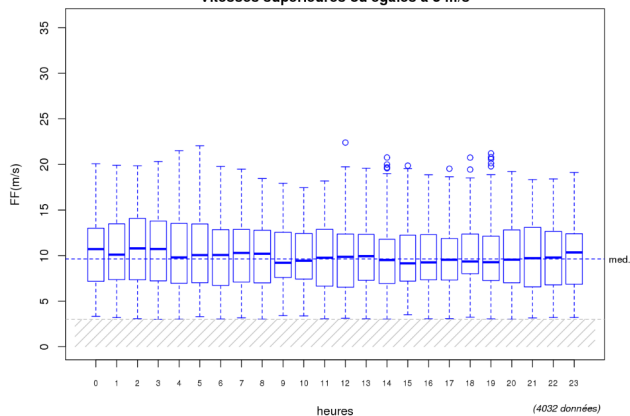
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2020 au 30/09/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



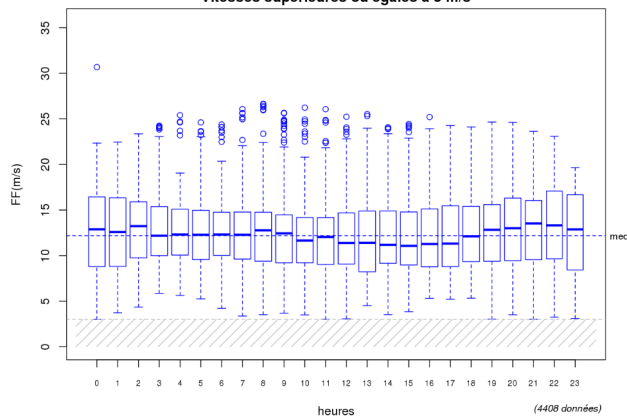
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2020 au 31/10/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2020 au 30/11/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



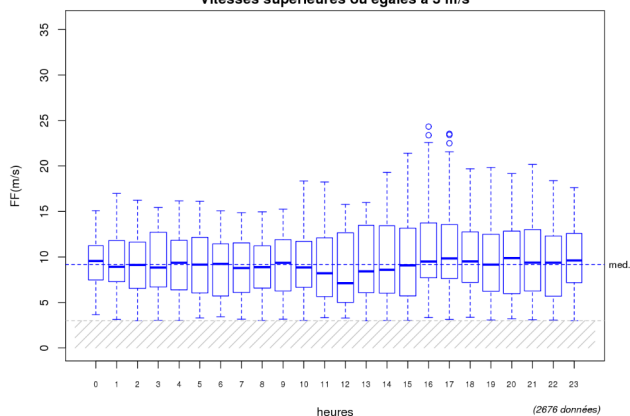
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2020 au 31/12/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

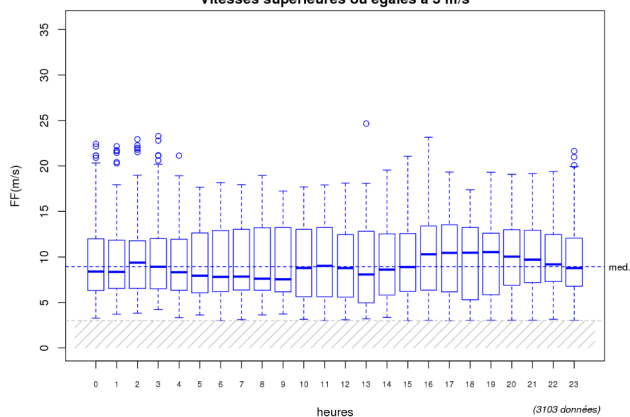
Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

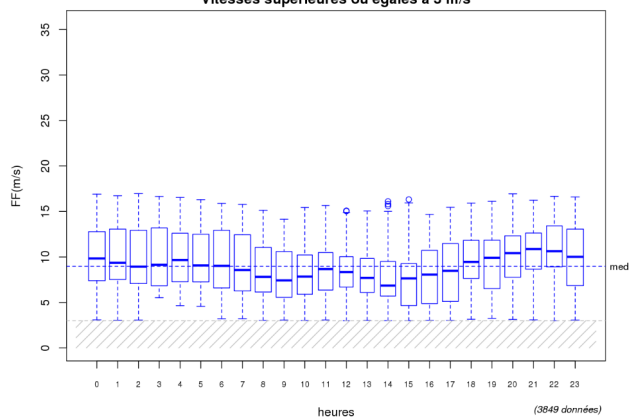


Données absentes en février 2021

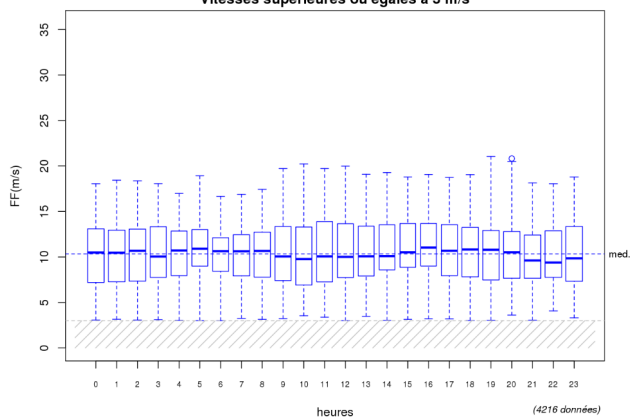
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



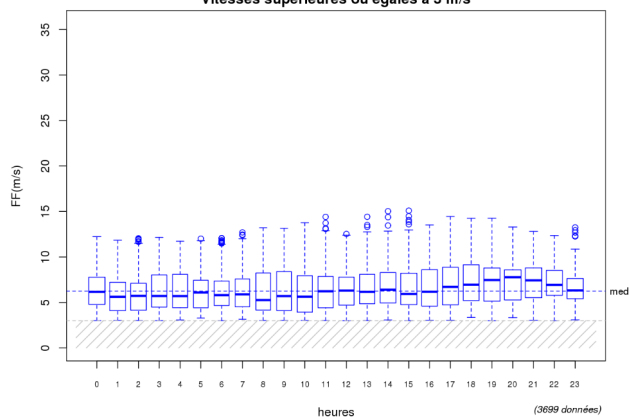
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



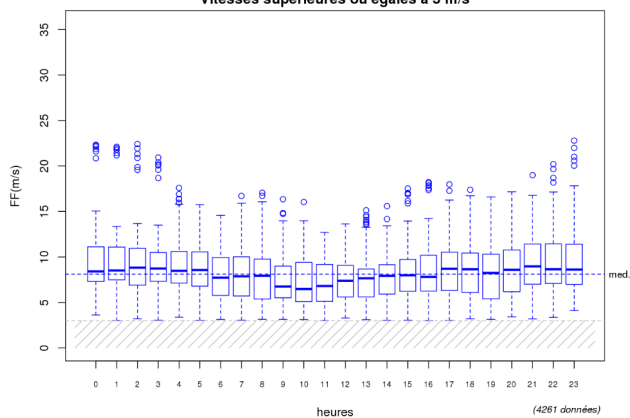
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



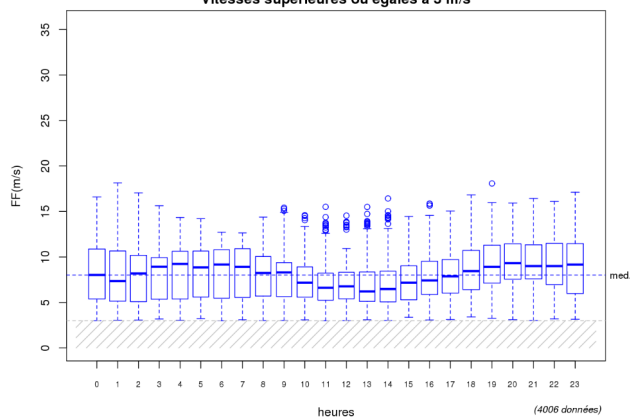
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



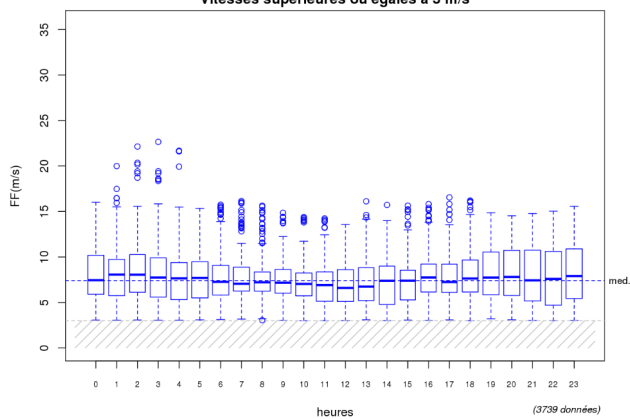
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



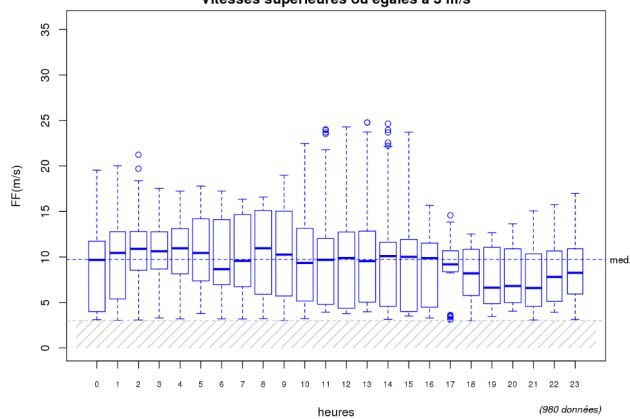
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

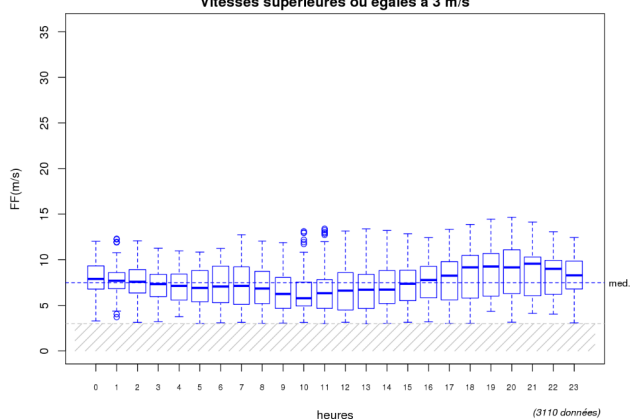


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2021 au 07/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

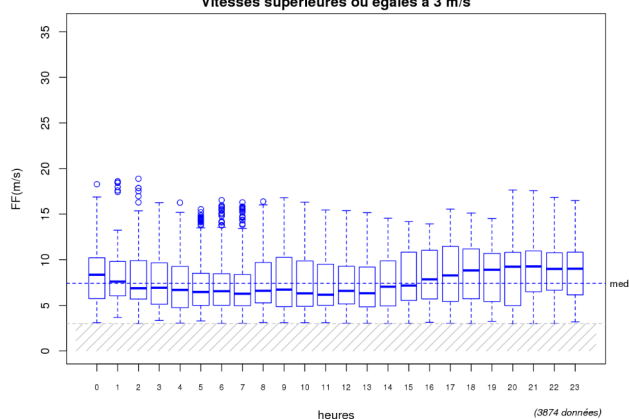


Annexe 9 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

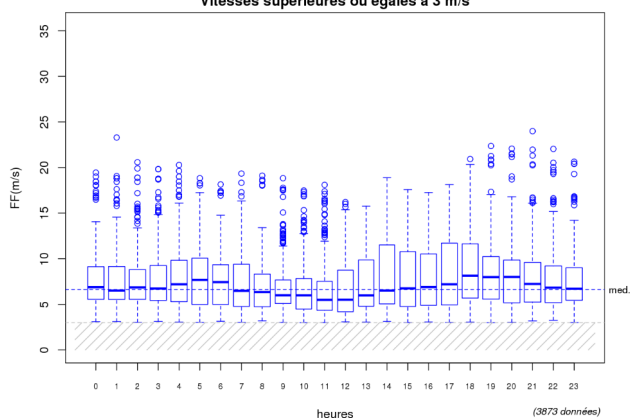
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 09/07/2020 au 31/07/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



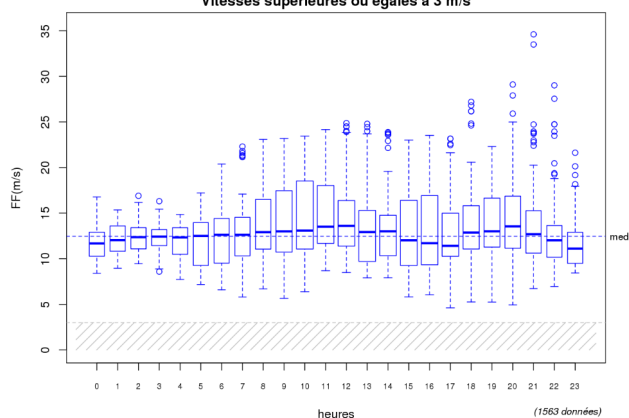
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2020 au 31/08/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



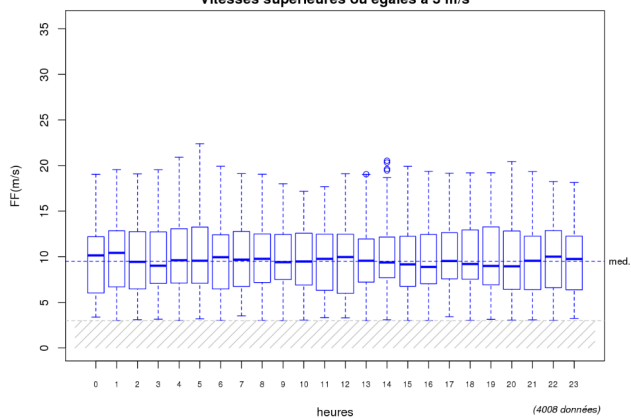
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2020 au 30/09/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



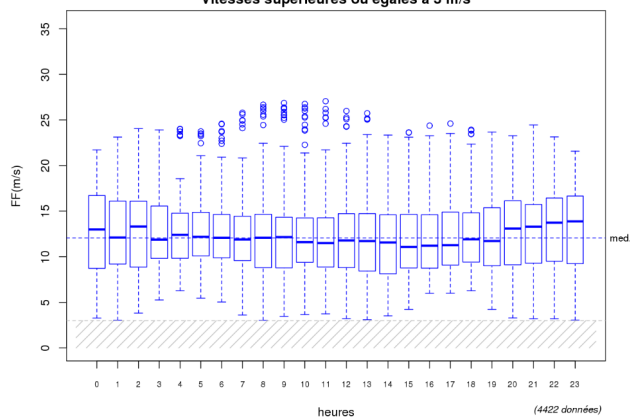
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2020 au 31/10/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



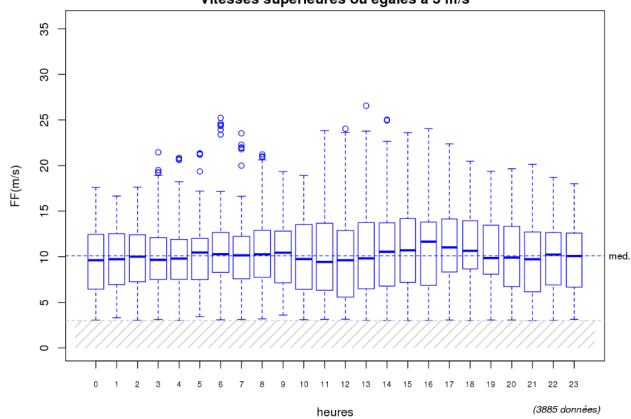
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2020 au 30/11/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2020 au 31/12/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

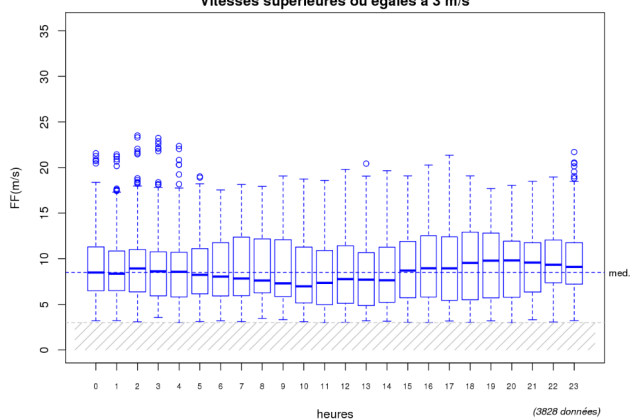


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

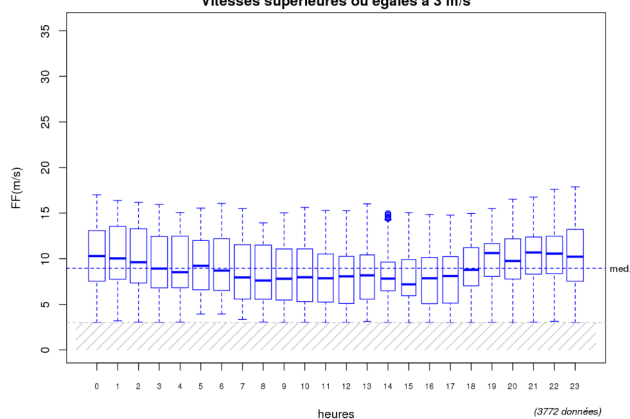


Données absentes en février 2021

Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



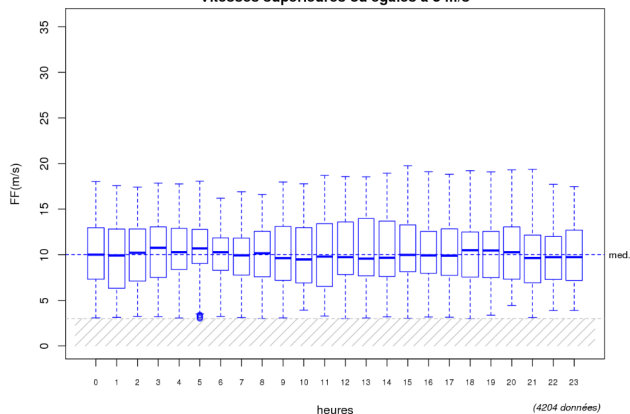
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



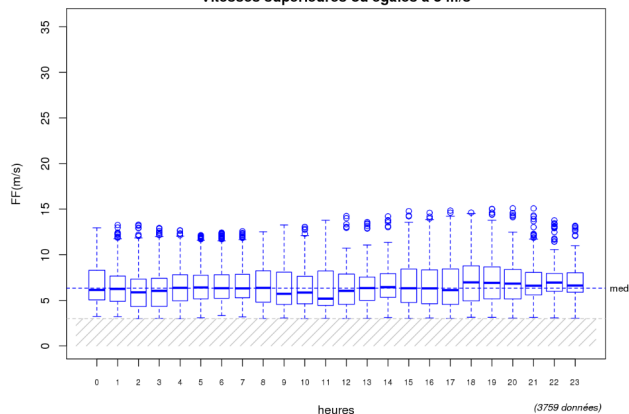
Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

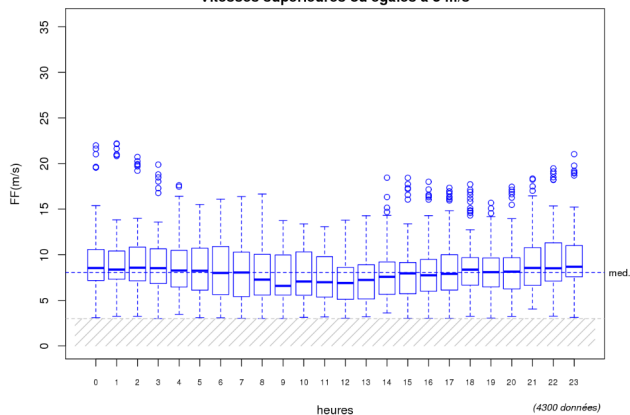
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



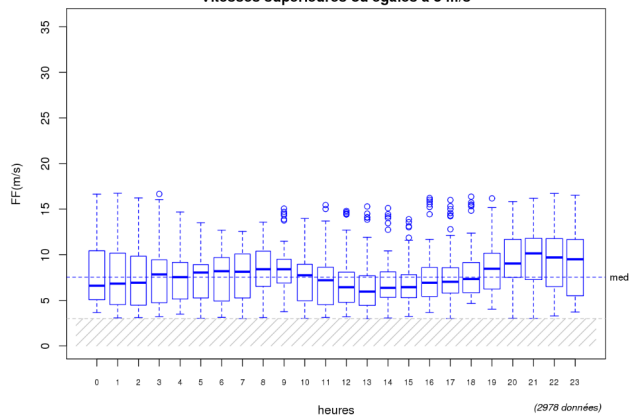
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



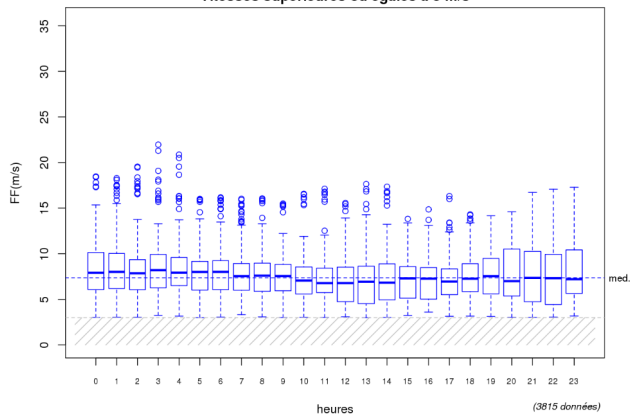
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



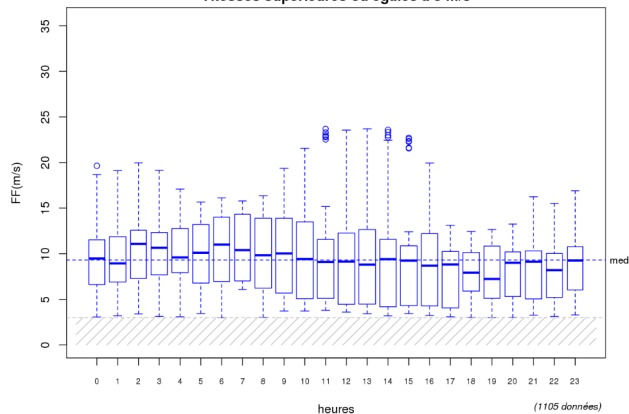
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2021 au 08/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Annexe 10 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR Nord

	Directions en degrés												Total
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[29,30[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[28,29[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[27,28[	.	.	.	.	0,0	.	.	.	.	0,0	0,0	.	0,1
[26,27[	.	.	.	.	.	.	.	0,1	.	0,1	.	.	0,2
[25,26[	.	.	.	0,0	.	.	.	0,1	0,0	0,1	.	.	0,3
[24,25[	.	.	.	.	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	.	0,0	0,8
[23,24[	0,1	.	.	.	.	0,0	0,3	0,6	0,3	0,4	.	.	1,7
[22,23[	0,0	.	.	.	.	0,1	0,2	0,6	0,2	0,4	0,0	.	1,5
[21,22[	0,0	.	.	0,0	.	0,1	0,4	0,6	0,4	0,5	0,1	0,0	2,1
[20,21[	0,0	0,0	.	0,0	.	0,2	0,7	0,4	0,4	0,7	0,0	0,1	2,5
[19,20[	.	.	.	.	0,1	0,4	1,5	0,6	0,8	0,6	0,1	0,1	4,2
[18,19[	0,0	.	.	.	0,2	0,5	2,4	1,5	1,6	1,3	0,4	0,0	7,9
[17,18[	.	.	.	0,1	0,2	0,5	1,9	2,6	2,4	2,4	0,4	0,1	10,5
[16,17[	0,1	0,4	0,6	0,1	0,3	1,0	3,4	3,0	3,8	2,4	0,5	0,1	15,7
[15,16[	0,6	2,0	1,9	0,4	0,2	2,3	4,0	4,3	5,7	2,9	1,0	0,0	25,3
[14,15[	0,9	3,5	2,3	0,7	0,3	3,0	4,7	5,6	7,8	4,3	1,2	0,4	34,5
[13,14[	1,5	5,6	2,5	0,9	0,3	2,4	5,5	6,8	10,3	5,9	2,4	1,1	45,3
[12,13[	3,7	7,1	2,6	1,4	1,1	2,3	7,0	7,6	10,4	7,0	2,6	1,8	54,8
[11,12[	4,7	9,9	5,6	1,1	2,1	1,8	6,6	8,5	9,6	9,5	3,4	3,1	65,7
[10,11[	4,7	10,2	4,9	1,8	1,9	2,5	7,1	8,0	10,5	12,0	5,6	4,1	73,3
[9,10[	3,8	9,5	5,6	2,4	2,5	3,1	7,8	8,5	9,1	13,8	10,4	7,5	83,9
[8,9[	5,3	10,4	7,4	2,7	1,5	2,7	7,6	8,8	9,2	16,5	10,6	7,5	90,2
[7,8[	7,5	11,6	7,1	3,3	2,5	2,9	6,3	7,5	11,3	16,2	9,1	7,3	92,7
[6,7[	8,3	9,3	5,6	3,2	1,9	3,3	7,0	8,2	8,6	16,3	9,0	7,9	88,5
[5,6[	8,9	6,5	5,4	2,6	2,7	3,3	5,4	7,2	9,1	16,0	8,7	8,5	84,5
[4,5[	7,2	5,7	4,1	3,0	3,4	4,2	5,9	6,3	8,0	11,4	8,7	8,2	76,1
[3,4[	5,8	4,9	4,2	3,0	2,5	3,8	4,7	4,8	6,3	9,3	8,7	6,6	64,6
[0,3[	8,4	6,7	6,1	5,3	4,4	3,9	5,0	4,1	5,7	7,9	7,9	7,8	73,0
Total	71,4	103,4	66,0	32,0	27,9	44,2	95,4	106,8	131,6	158,1	90,8	72,3	1000,0

Nombre de cas : 58671

Analyse de répartition du vent LiDAR Nord observé à 100 m sur la période du 8 juillet 2020 au 7 octobre 2021 (en pour mille)

Les vents inférieurs à 3 m/s (non comptabilisés dans les statistiques) apparaissent ici en surligné dans le tableau. Ils représentent seulement 7 % des cas.

Annexe 11 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR Sud

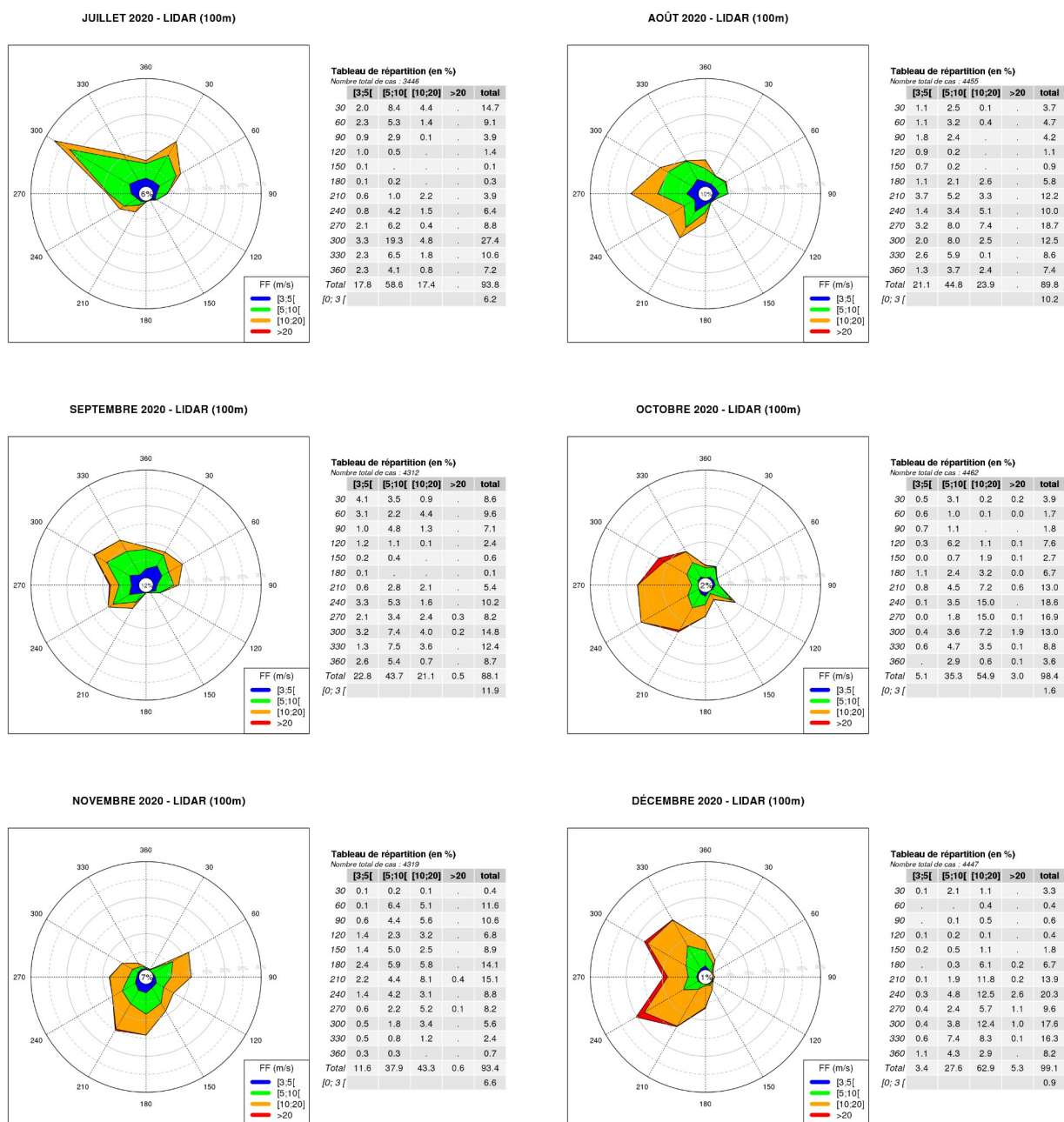
	Directions en degrés												
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	Total
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[29,30[	.	.	.	.	.	0,0	.	.	.	0,0	.	.	0,0
[28,29[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[27,28[	.	.	.	.	.	0,0	.	.	.	0,1	.	.	0,1
[26,27[	.	.	.	.	.	.	.	0,2	.	0,1	.	.	0,3
[25,26[	.	.	.	.	0,0	.	.	0,1	0,1	0,2	.	.	0,4
[24,25[	.	.	.	.	0,1	.	0,0	0,2	0,1	0,3	.	0,0	0,7
[23,24[	0,0	.	.	.	.	.	0,5	0,7	0,2	0,5	.	0,0	1,8
[22,23[	.	.	.	.	0,0	.	0,5	0,7	0,4	0,5	0,0	0,1	2,2
[21,22[	.	.	.	.	.	.	0,4	0,8	0,4	0,4	.	0,1	2,1
[20,21[	.	.	.	.	.	0,1	0,5	0,7	0,6	0,7	0,0	0,1	2,7
[19,20[	.	.	.	.	.	0,2	1,7	0,7	0,8	0,8	0,1	0,1	4,5
[18,19[	.	.	0,1	.	0,0	0,4	2,7	1,5	1,5	1,2	0,2	0,0	7,7
[17,18[	.	0,1	0,5	0,1	.	0,5	1,8	3,1	2,7	1,6	0,4	0,0	10,8
[16,17[	0,1	1,0	1,2	0,2	0,1	0,8	3,6	3,9	3,9	1,8	1,0	0,1	17,4
[15,16[	0,4	2,3	1,4	0,5	0,1	1,1	3,9	4,9	5,5	2,6	0,8	0,2	23,6
[14,15[	1,1	3,9	1,4	0,4	0,1	1,8	5,1	6,7	7,8	3,9	0,8	0,8	34,0
[13,14[	1,7	4,1	2,9	0,6	0,3	2,4	6,2	6,5	8,6	5,7	1,5	1,3	41,9
[12,13[	3,0	6,5	4,3	1,6	0,8	2,4	6,6	6,6	10,1	6,7	1,7	1,9	52,1
[11,12[	4,4	9,1	5,1	1,5	1,4	1,9	7,0	7,8	10,3	7,8	2,9	2,3	61,5
[10,11[	5,3	10,0	6,2	2,6	1,5	2,3	7,2	8,3	10,3	10,2	5,2	4,1	73,4
[9,10[	5,5	11,9	5,2	2,1	1,8	2,8	8,9	9,1	9,9	14,0	7,3	6,2	84,6
[8,9[	5,8	12,0	5,4	2,0	1,0	2,2	8,6	10,1	10,4	15,8	9,4	6,7	89,3
[7,8[	8,5	11,8	7,0	1,8	1,9	3,0	8,0	7,4	11,1	15,3	9,3	7,3	92,6
[6,7[	8,7	10,2	7,3	2,6	2,0	3,2	7,1	8,3	10,6	14,5	9,2	10,0	93,6
[5,6[	9,4	7,8	6,5	2,4	2,4	3,4	7,6	7,9	8,4	15,1	10,2	9,2	90,1
[4,5[	8,3	6,6	3,8	3,0	3,2	3,9	5,9	6,6	7,6	10,8	11,4	9,6	80,5
[3,4[	6,8	4,1	4,1	3,3	2,6	3,9	4,7	3,9	5,5	5,7	8,1	7,8	60,4
[0,3[	7,3	6,1	5,8	5,7	4,2	4,7	5,0	4,2	6,2	6,7	7,9	7,8	71,4
Total	76,4	107,6	68,0	30,4	23,4	41,0	103,3	111,0	133,1	142,9	87,4	75,5	1000,0

Nombre de cas : 56676

Analyse de répartition du vent LiDAR Sud observé à 100 m sur la période du 9 juillet 2020 au 8 octobre 2021 (en pour mille)

Les vents inférieurs à 3 m/s (non comptabilisés dans les statistiques) apparaissent ici en surligné dans le tableau. Ils représentent seulement 7 % des cas.

Annexe 12 : Roses des vents mensuelles du LiDAR Nord à 100m (données brutes)



Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

JANVIER 2021 - LIDAR (100m)

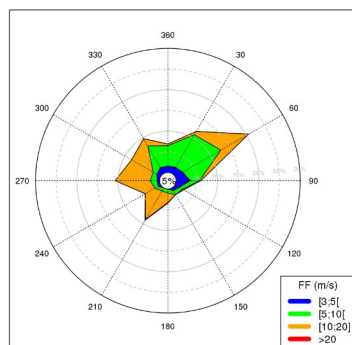


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 2624

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.7	9.1	0.9	.	11.8
60	2.1	10.7	7.8	.	20.5
90	3.5	2.2	0.3	.	5.9
120	1.2	0.9	0.3	.	2.4
150	0.7	1.1	.	.	1.8
180	0.1	0.9	2.3	0.2	3.4
210	0.0	0.8	8.0	0.2	9.1
240	0.7	0.9	2.7	0.0	4.3
270	0.6	1.7	8.5	.	10.7
300	1.1	1.0	6.0	.	8.1
330	1.7	6.1	2.0	.	9.7
360	1.6	4.9	0.4	.	6.9
Total	15.0	40.2	39.1	0.5	94.8
[0; 3[					5.2

Données absentes en février 2021

MARS 2021 - LIDAR (100m)

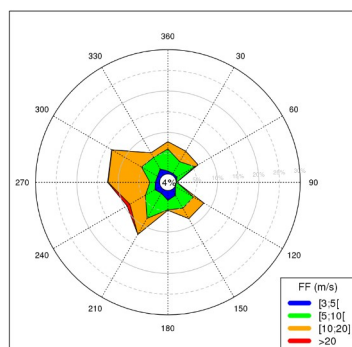


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3222

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.4	3.3	2.9	.	6.6
60	0.5	5.0	0.9	.	6.4
90	0.1	0.1	.	.	0.2
120	0.1	5.0	2.9	.	8.0
150	1.6	3.6	2.9	.	8.1
180	2.4	2.3	0.1	.	4.7
210	1.1	7.0	4.5	.	12.5
240	1.6	2.7	4.3	0.8	9.4
270	1.0	1.3	10.1	0.1	12.6
300	0.9	4.4	8.3	0.1	13.7
330	1.7	3.2	1.3	.	6.2
360	0.7	5.3	1.6	.	7.6
Total	12.1	43.2	40.0	1.0	96.3
[0; 3[					3.7

AVRIL 2021 - LIDAR (100m)

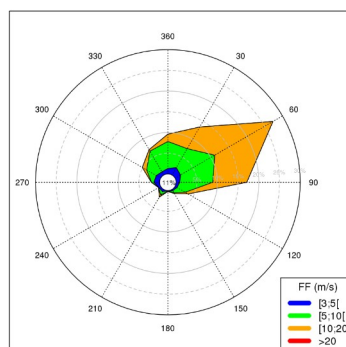


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4310

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.1	5.3	6.0	.	13.4
60	1.5	9.5	16.3	.	27.3
90	0.9	8.0	8.2	.	17.1
120	0.6	2.3	0.8	.	3.6
150	0.3	0.6	0.2	.	1.1
180	0.2	0.0	.	.	0.2
210	0.6	0.9	0.6	.	2.1
240	0.5	.	0.0	.	0.6
270	1.4	0.6	0.0	.	2.0
300	1.2	2.7	1.2	.	5.1
330	0.9	5.8	0.4	.	7.1
360	1.3	6.5	1.6	.	9.6
Total	11.6	42.1	35.6	.	89.3
[0; 3[					10.7

MAI 2021 - LIDAR (100m)

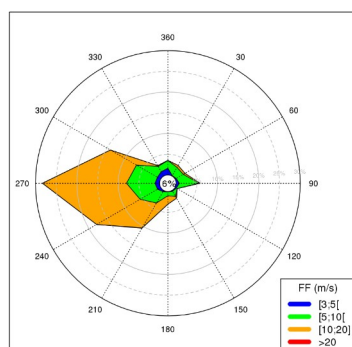


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4462

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.1	2.3	0.5	.	3.0
60	0.3	2.0	0.5	.	2.8
90	0.8	4.7	0.2	.	5.8
120	0.4	0.2	.	.	0.6
150	0.2	1.4	0.5	.	2.2
180	0.1	0.9	2.0	.	3.0
210	0.3	3.2	6.9	0.1	10.5
240	0.9	4.8	12.1	.	17.9
270	1.1	6.9	20.3	0.0	28.3
300	0.9	5.8	7.3	.	14.0
330	1.2	1.5	0.2	.	2.9
360	1.6	1.9	0.0	.	3.5
Total	8.0	35.7	50.7	0.1	94.5
[0; 3[					5.5

JUIN 2021 - LIDAR (100m)

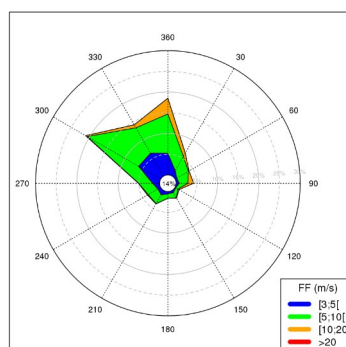


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4315

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.5	4.0	0.9	.	6.4
60	0.5	3.2	0.2	.	3.9
90	0.8	2.1	1.4	.	4.2
120	0.2	0.6	0.3	.	1.1
150	0.6	1.5	0.1	.	2.2
180	0.6	1.1	.	.	1.6
210	1.2	2.5	0.1	.	3.8
240	0.8	2.7	0.2	.	3.7
270	1.7	3.4	0.1	.	5.1
300	6.1	14.4	0.4	.	21.0
330	6.4	7.1	0.6	.	14.3
360	5.2	9.5	3.8	.	18.5
Total	25.6	51.9	8.2	.	85.7
[0; 3[					14.3

JUILLET 2021 - LIDAR (100m)

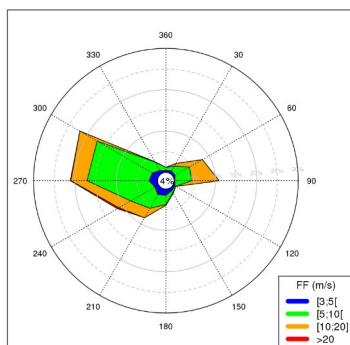


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4457

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.7	1.3	0.7	.	2.8
60	0.5	4.1	3.6	.	8.2
90	0.2	4.1	6.6	.	10.9
120	0.5	0.2	0.0	.	0.7
150	0.8	0.6	0.1	.	1.5
180	1.5	2.2	0.2	.	3.9
210	1.9	3.8	2.6	.	8.3
240	1.0	6.8	3.3	0.4	11.5
270	2.1	15.0	3.9	0.1	21.1
300	1.8	15.4	4.8	.	22.0
330	0.9	2.3	0.1	.	3.3
360	0.5	0.7	.	.	1.2
Total	12.4	56.5	26.1	0.6	95.6
[0; 3[	.	.	.	.	4.4

AOÛT 2021 - LIDAR (100m)

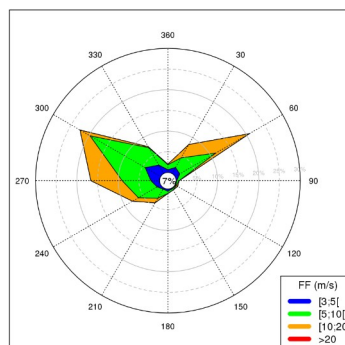


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4324

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.7	2.7	3.7	.	8.1
60	1.3	10.1	9.4	.	20.7
90	0.2	0.6	.	.	0.7
120	0.2	0.2	0.4	.	0.7
150	0.2	0.3	.	.	0.6
180	0.5	0.6	.	.	1.1
210	0.3	2.6	1.2	.	4.2
240	1.0	5.2	1.7	.	7.9
270	2.1	6.9	7.6	.	16.6
300	4.3	15.4	2.8	.	22.5
330	2.4	4.9	0.3	.	7.5
360	0.7	1.2	0.1	.	2.0
Total	14.9	50.5	27.2	.	92.6
[0; 3[	.	.	.	.	7.4

SEPTEMBRE 2021 - LIDAR (100m)

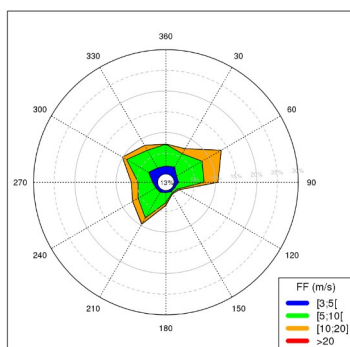


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4308

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.2	3.7	1.4	.	7.3
60	1.0	7.1	5.3	.	13.5
90	1.1	6.2	3.4	.	10.6
120	0.5	0.8	0.4	.	1.7
150	0.6	0.4	0.2	.	1.2
180	0.5	2.4	0.6	0.0	3.6
210	0.8	7.2	1.7	0.1	9.7
240	0.8	5.0	1.5	.	7.3
270	1.2	3.5	1.6	.	6.4
300	2.8	6.2	1.2	.	10.1
330	2.0	4.9	1.3	.	8.3
360	1.9	5.2	0.0	.	7.2
Total	15.3	52.6	18.7	0.1	86.8
[0; 3[	.	.	.	.	13.2

OCTOBRE 2021 - LIDAR (100m)

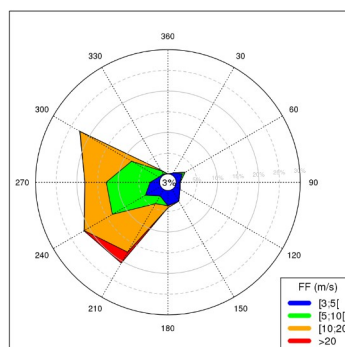
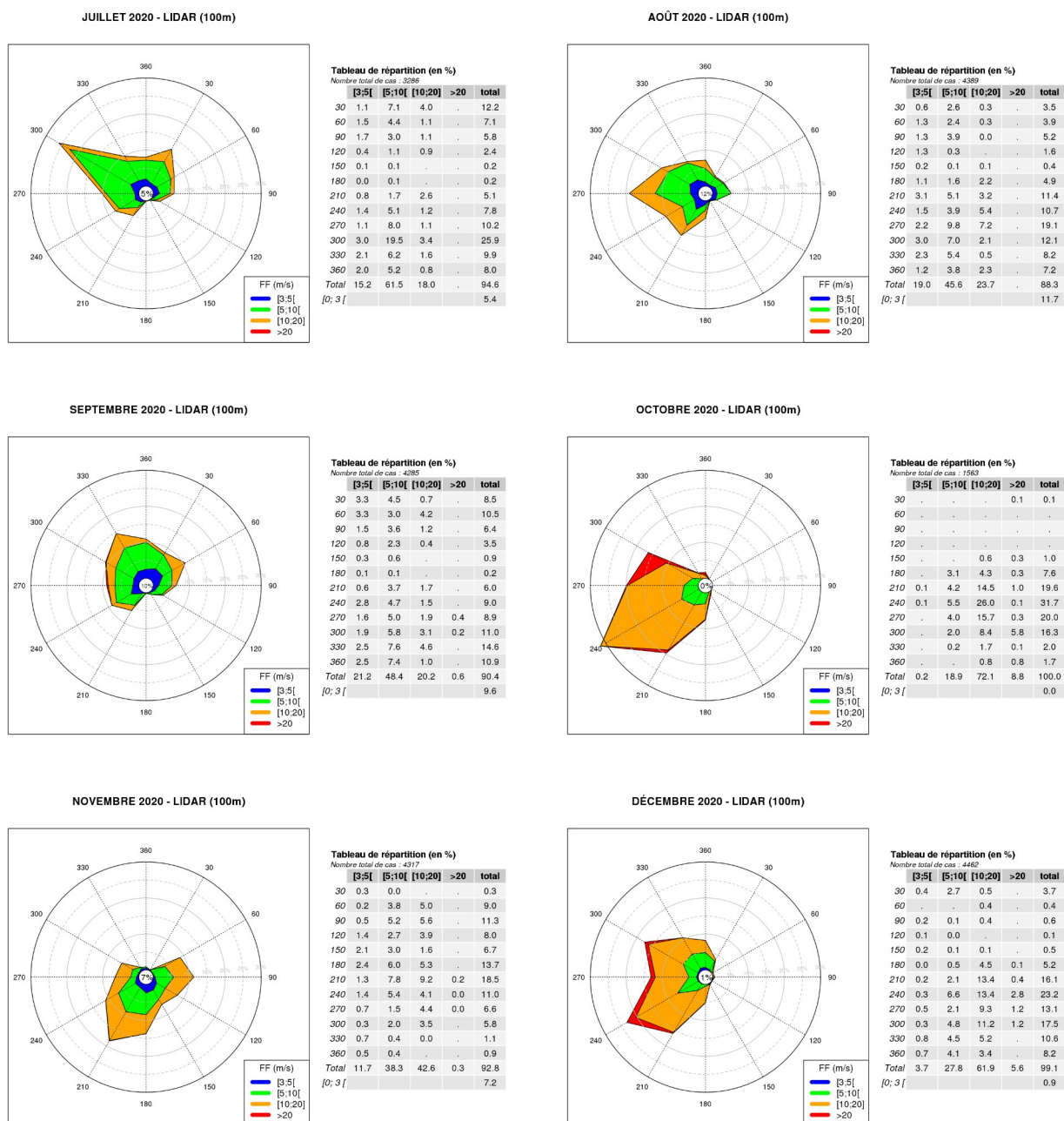


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 1008

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.6	.	.	.	0.6
60	2.1	0.7	.	.	2.8
90	0.9	0.1	.	.	1.0
120	1.4	.	.	.	1.4
150	3.3	.	.	.	3.3
180	3.7	.	0.5	.	4.2
210	1.8	2.2	13.5	3.1	20.5
240	4.3	9.2	7.8	0.1	21.4
270	2.3	10.6	5.2	.	18.1
300	0.5	7.6	14.4	0.1	22.6
330	0.3	0.9	0.2	.	1.4
360	.	.	.	.	.
Total	21.0	31.3	41.6	3.3	97.2
[0; 3[	.	.	.	.	2.8

Annexe 13 : Roses des vents mensuelles du LiDAR Sud à 100m (données brutes)



JANVIER 2021 - LIDAR (100m)

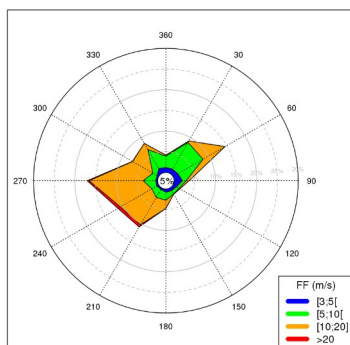


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4094

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.2	7.4	0.4	.	9.1
60	1.4	7.0	6.1	.	14.5
90	2.0	0.9	0.7	.	3.6
120	1.0	0.7	0.3	.	1.9
150	0.8	0.9	0.0	.	1.8
180	0.8	1.9	2.0	0.0	4.7
210	0.4	2.3	7.6	0.7	10.9
240	0.5	1.4	8.8	0.7	11.4
270	0.4	3.1	13.1	0.5	17.0
300	0.4	1.2	5.6	0.1	7.4
330	1.4	5.3	1.7	.	8.4
360	1.2	2.7	0.2	.	4.2
Total	11.5	34.9	46.5	2.0	94.9
[0; 3[					5.1

Données absentes en février 2021

MARS 2021 - LIDAR (100m)

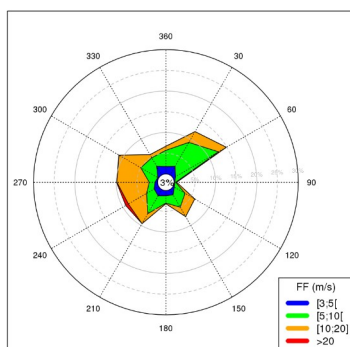


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3965

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.4	6.7	3.0	.	12.1
60	0.7	12.0	2.2	.	14.9
90	0.2	0.2	0.2	.	0.6
120	0.4	3.0	2.7	.	6.1
150	1.5	3.4	2.6	.	7.6
180	1.3	1.8	0.2	.	3.2
210	1.8	5.0	2.8	.	9.5
240	1.3	2.1	5.1	0.8	9.2
270	0.6	1.4	7.8	0.1	9.9
300	0.3	4.7	6.1	0.1	11.1
330	2.4	2.4	0.9	.	5.7
360	1.6	3.9	1.0	.	6.7
Total	14.6	46.6	34.5	0.9	96.5
[0; 3[					3.5

AVRIL 2021 - LIDAR (100m)

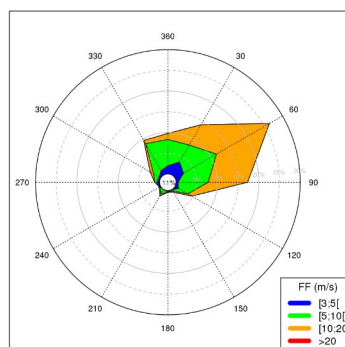


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4232

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	3.6	4.7	5.6	.	14.0
60	2.3	9.2	14.8	.	26.3
90	0.4	7.3	9.5	.	17.3
120	0.9	2.6	1.1	.	4.7
150	0.1	0.3	0.4	.	0.8
180	0.4	.	.	.	0.4
210	0.0	1.2	0.5	.	1.8
240	0.2	0.1	0.1	.	0.3
270	0.7	0.5	.	.	1.2
300	0.4	1.5	0.9	.	2.9
330	1.2	7.5	0.9	.	9.6
360	2.0	6.3	1.5	.	9.8
Total	12.4	41.4	35.3	.	89.1
[0; 3[					10.9

MAI 2021 - LIDAR (100m)

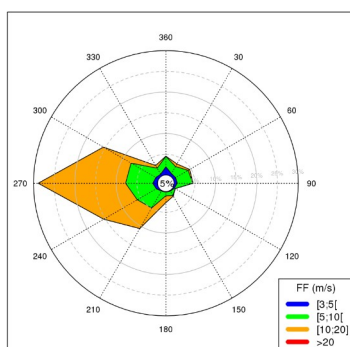


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4419

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.7	2.0	0.7	.	3.4
60	0.7	3.5	0.4	.	4.6
90	0.8	3.7	0.1	.	4.6
120	0.4	0.2	.	.	0.6
150	0.2	1.2	0.2	.	1.6
180	0.2	0.9	1.7	.	2.7
210	0.2	4.7	5.7	.	10.6
240	0.7	5.3	9.4	.	15.3
270	1.2	6.6	21.1	.	28.9
300	0.8	6.9	7.7	.	15.4
330	0.5	1.7	0.7	.	2.9
360	2.0	2.5	0.0	.	4.5
Total	8.2	39.2	47.7	.	95.1
[0; 3[					4.9

JUN 2021 - LIDAR (100m)

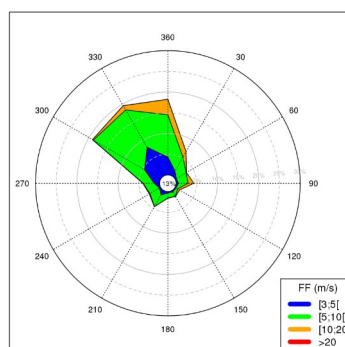


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4300

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.4	3.9	1.5	.	6.8
60	0.3	2.8	0.1	.	3.2
90	0.6	2.3	1.4	.	4.3
120	0.3	0.5	0.5	.	1.3
150	0.4	1.2	0.1	.	1.7
180	0.3	1.2	0.0	.	1.6
210	1.3	3.2	0.0	.	4.5
240	0.3	2.7	0.2	.	3.2
270	1.3	2.7	0.1	.	4.0
300	4.5	14.3	0.2	.	19.0
330	8.0	10.4	1.2	.	19.6
360	4.3	10.2	3.7	.	18.3
Total	23.0	55.4	9.0	.	87.4
[0; 3[					12.6

Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

JUILLET 2021 - LIDAR (100m)

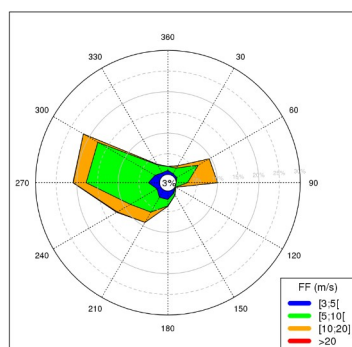


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4450

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.5	1.6	0.6	.	2.7
60	0.5	6.0	3.1	.	9.6
90	0.0	2.7	7.3	.	10.0
120	.	0.2	0.0	.	0.2
150	0.9	0.5	0.0	.	1.5
180	2.1	1.6	0.1	.	3.7
210	2.1	4.1	2.9	.	9.1
240	1.0	7.5	3.7	0.2	12.3
270	2.7	15.1	3.1	0.1	21.0
300	1.6	16.0	4.0	.	21.6
330	0.8	2.2	0.2	.	3.1
360	1.0	0.9	.	.	1.9
Total	13.1	58.3	25.0	0.3	96.6
[0; 3[	.	.	.	.	3.4

AOÛT 2021 - LIDAR (100m)

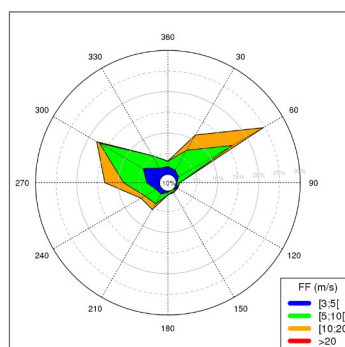


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3304

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.5	5.5	4.3	.	11.3
60	1.0	15.0	8.6	.	24.6
90	0.2	0.7	.	.	0.9
120	0.5	.	0.2	.	0.7
150	.	0.5	0.3	.	0.8
180	0.3	0.6	.	.	0.9
210	1.2	2.7	1.6	.	5.5
240	1.2	3.1	1.1	.	5.5
270	3.1	5.6	4.5	.	13.2
300	4.9	12.2	0.8	.	17.9
330	2.1	3.5	.	.	5.6
360	1.9	1.3	0.1	.	3.2
Total	17.9	50.8	21.4	.	90.1
[0; 3[	.	.	.	.	9.9

SEPTEMBRE 2021 - LIDAR (100m)

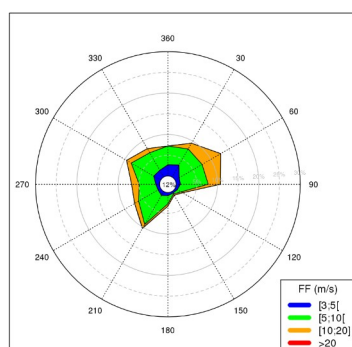


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4317

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	3.4	4.5	1.6	.	9.4
60	1.2	6.4	5.2	.	12.8
90	1.0	6.7	2.9	.	10.7
120	0.6	1.1	0.4	.	2.1
150	0.5	0.3	0.3	.	1.0
180	0.8	1.9	0.6	.	3.3
210	1.1	8.1	1.0	0.1	10.3
240	0.7	5.4	1.1	.	7.3
270	0.9	4.0	1.8	.	6.8
300	1.9	6.3	1.3	.	9.5
330	1.9	4.9	1.2	.	7.9
360	2.7	4.5	.	.	7.2
Total	16.7	54.0	17.5	0.1	88.4
[0; 3[	.	.	.	.	11.6

OCTOBRE 2021 - LIDAR (100m)

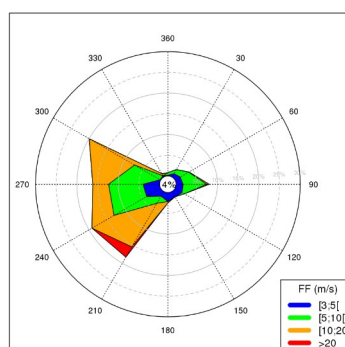
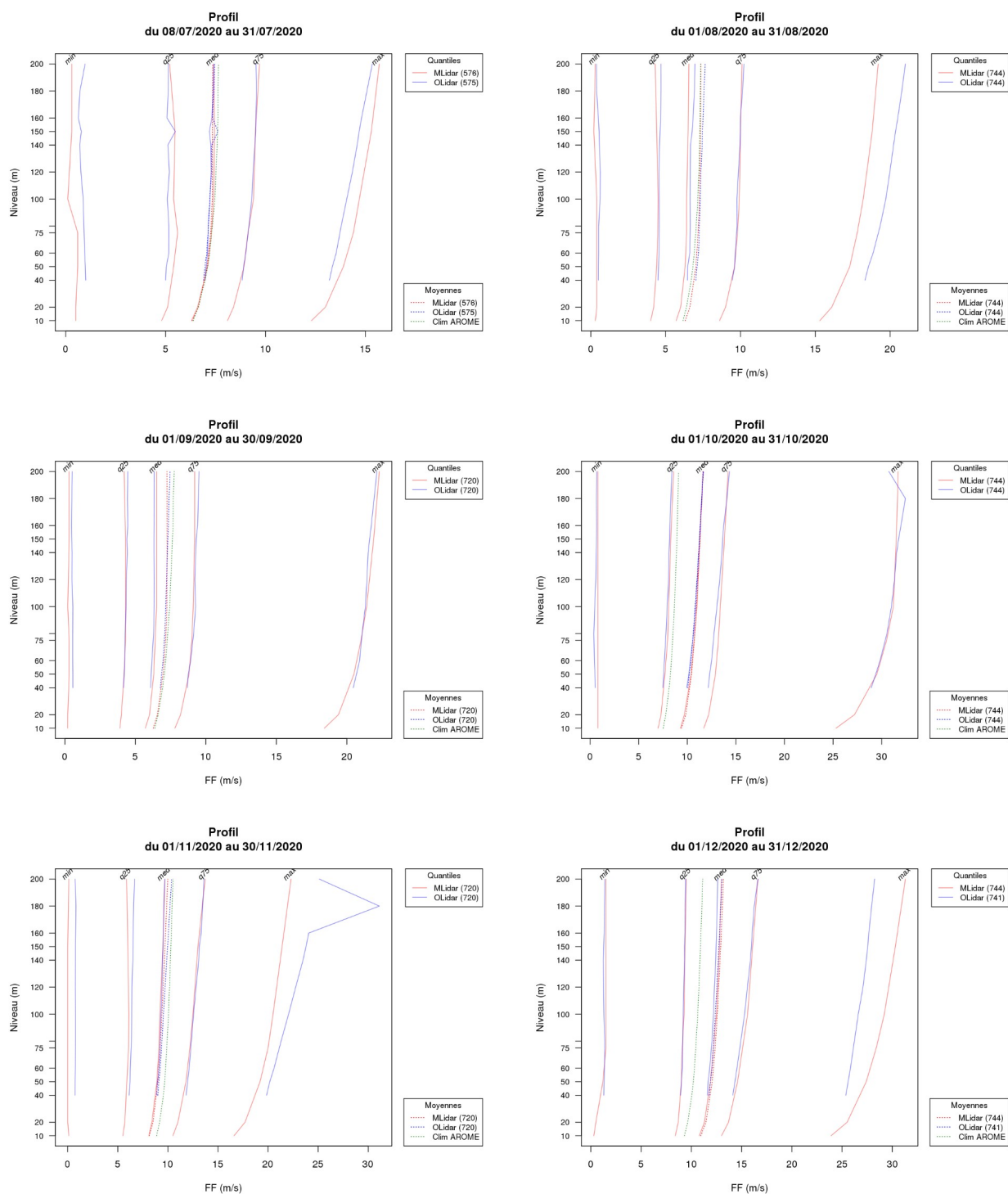


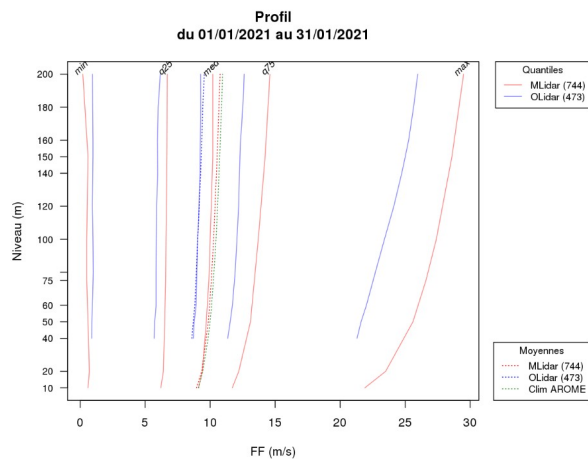
Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 1152

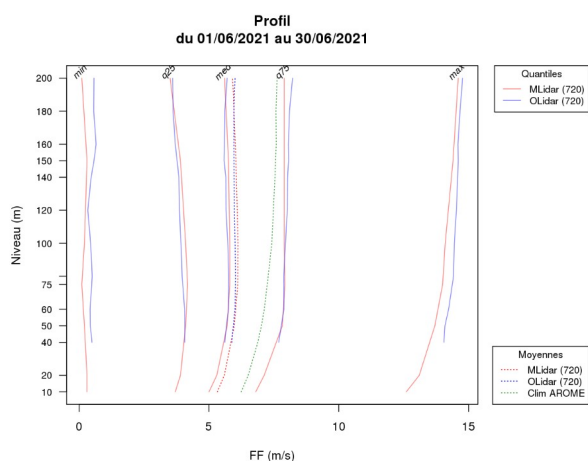
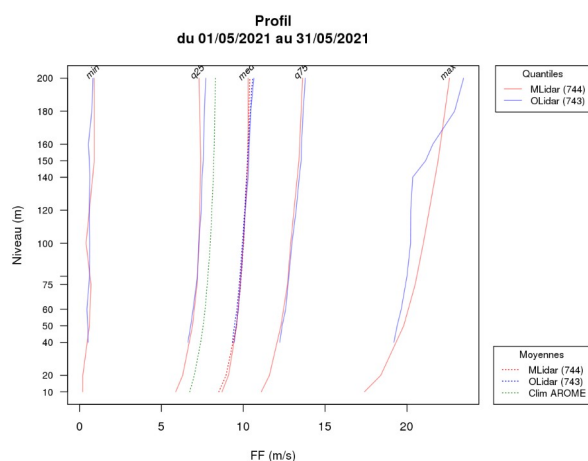
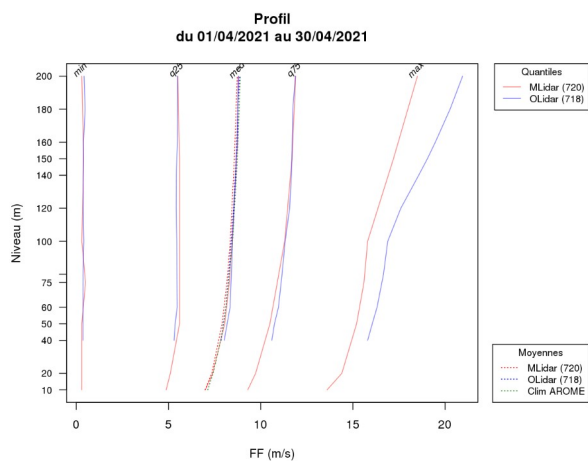
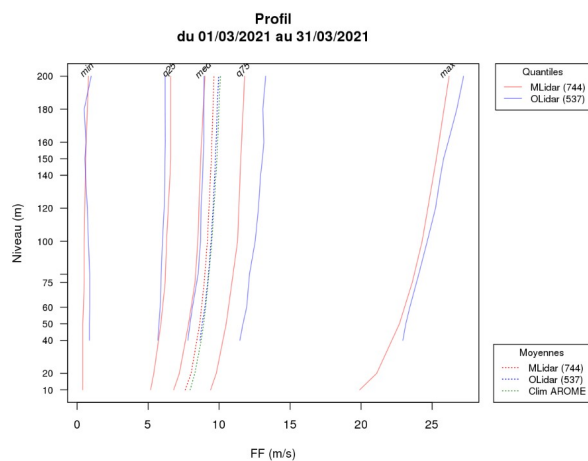
	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.0	1.1	.	.	2.1
60	1.5	2.3	0.1	.	3.9
90	1.6	5.7	0.6	.	8.0
120	2.0	0.6	.	.	2.6
150	1.5	.	.	.	1.5
180	2.2	.	0.3	.	2.5
210	1.3	2.0	12.2	2.9	18.3
240	3.9	9.1	6.2	.	19.2
270	4.0	8.3	3.8	.	16.1
300	0.2	7.1	12.7	.	20.0
330	0.3	.	0.6	.	1.0
360	0.2	0.6	.	.	0.8
Total	19.6	37.0	36.5	2.9	95.9
[0; 3[	.	.	.	.	4.1

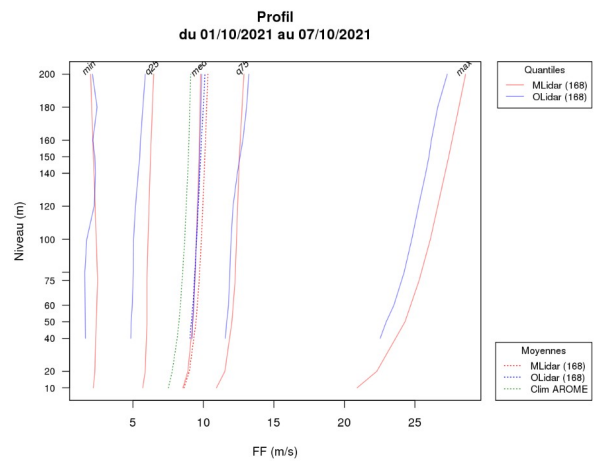
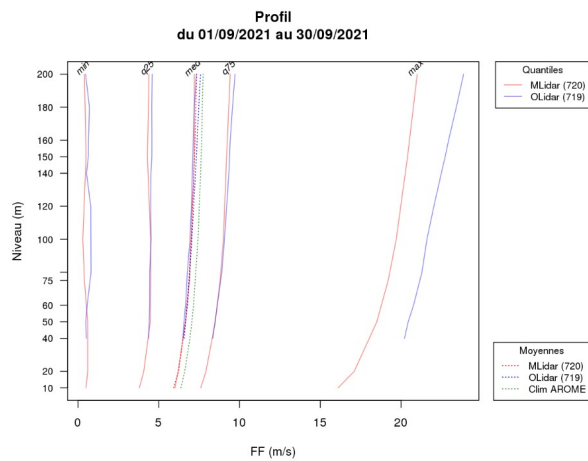
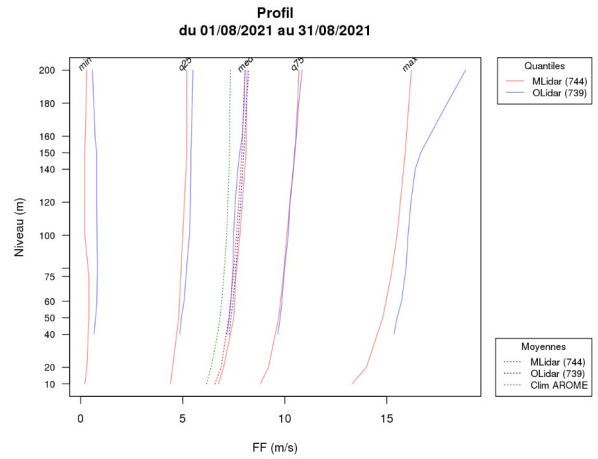
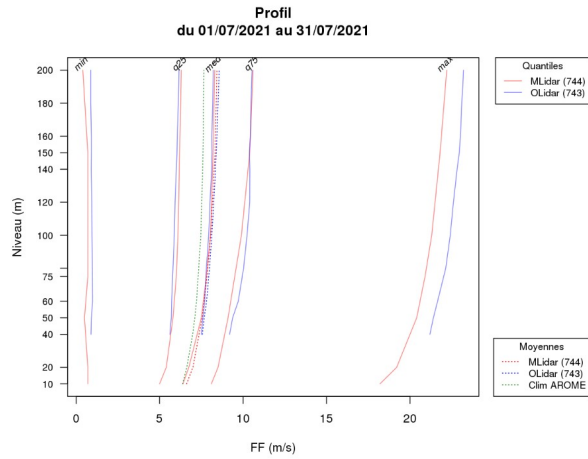
Annexe 14 : Profils de vent du LiDAR Nord



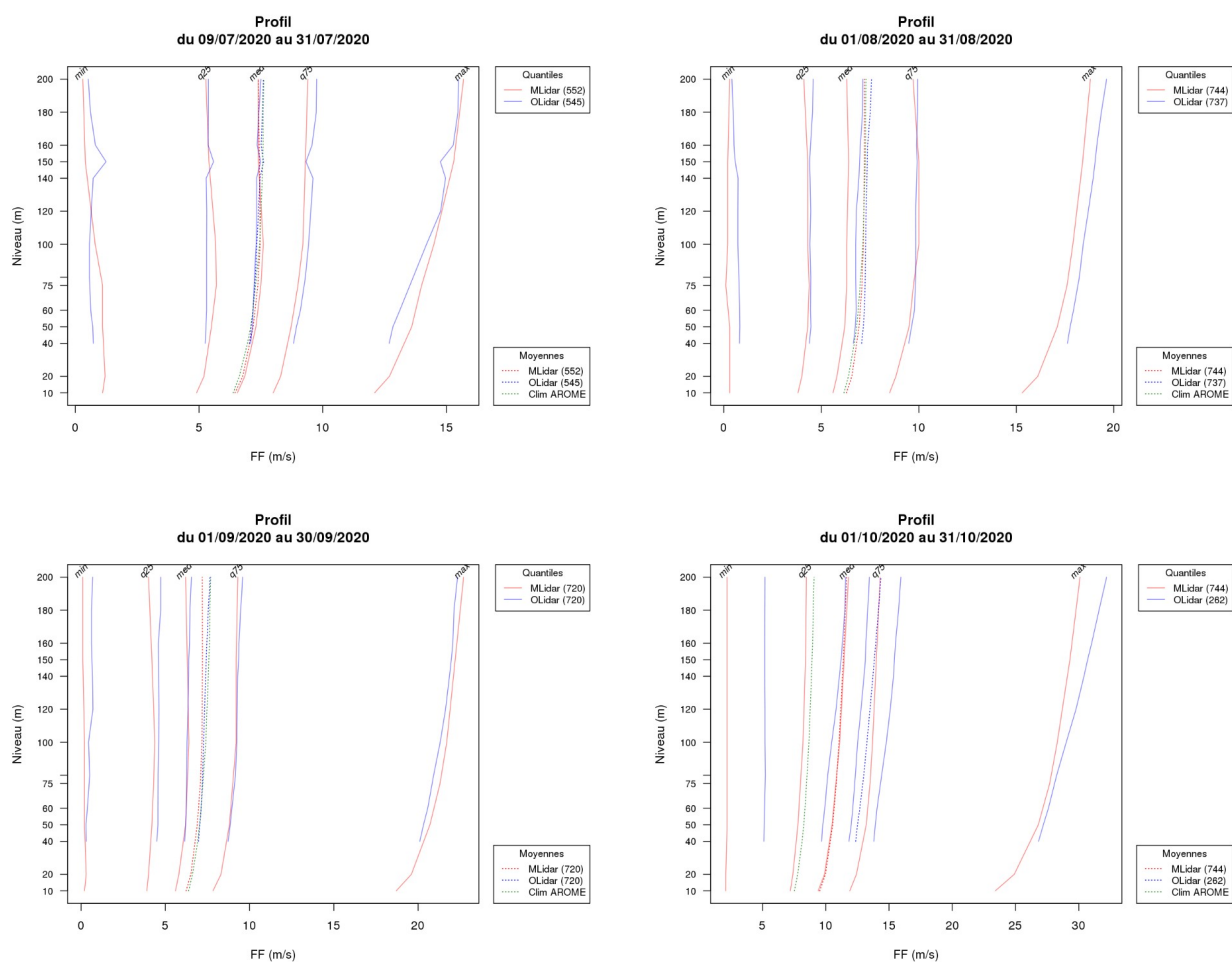


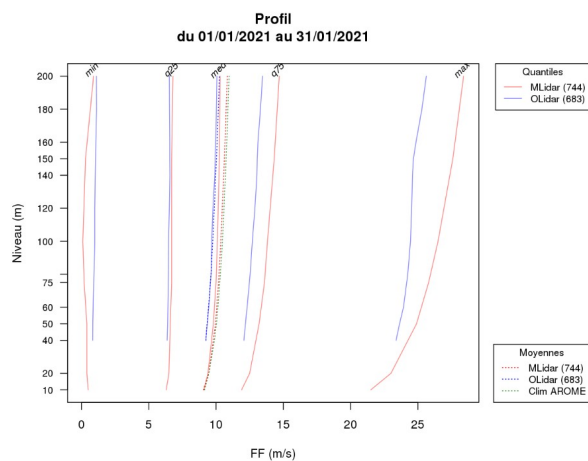
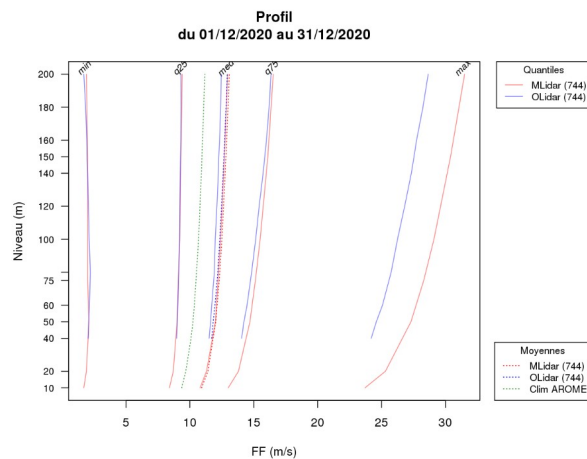
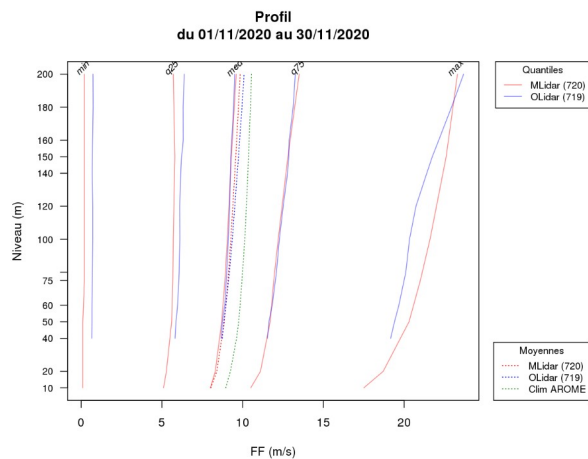
Données absentes en février 2021



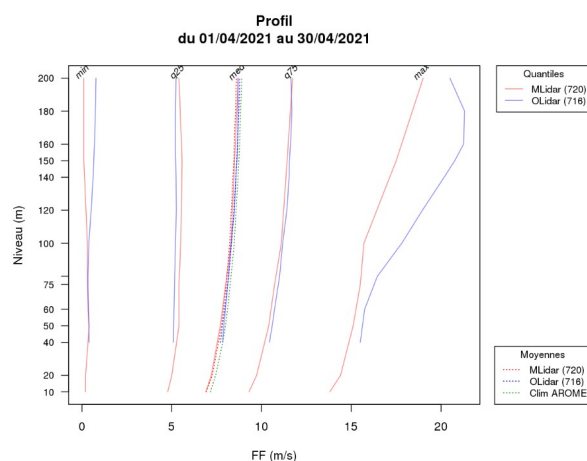
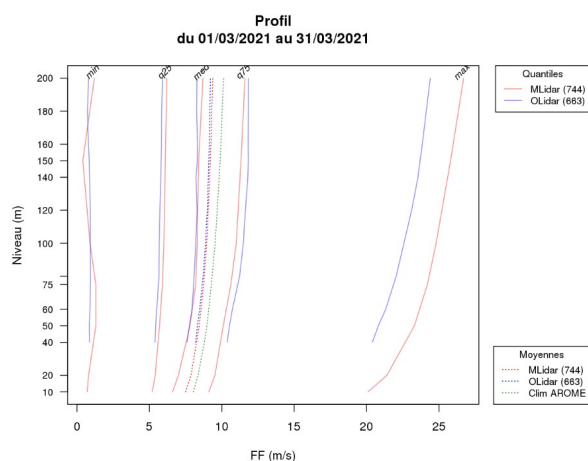


Annexe 15 : Profils de vent du LiDAR Sud



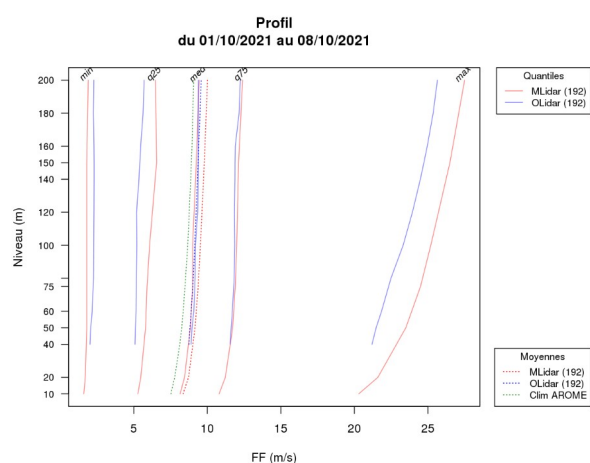
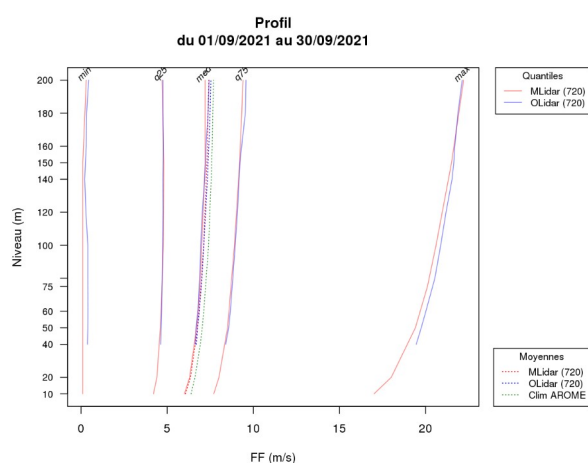
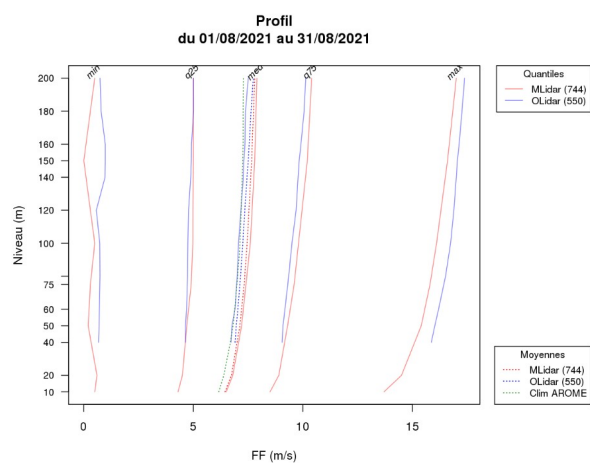
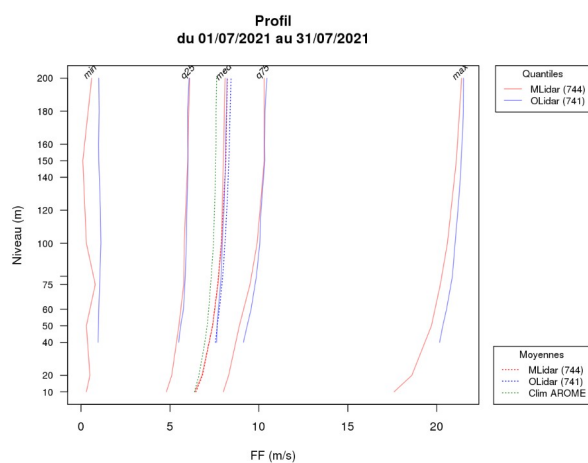
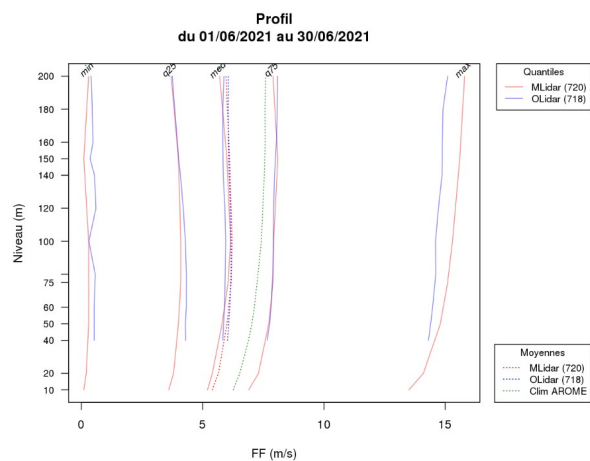
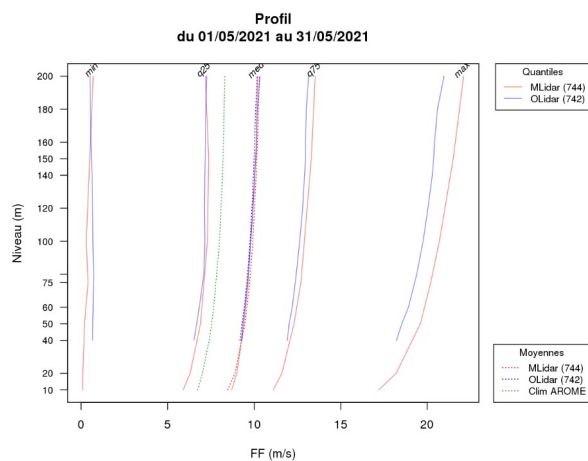


Données absentes en février 2021

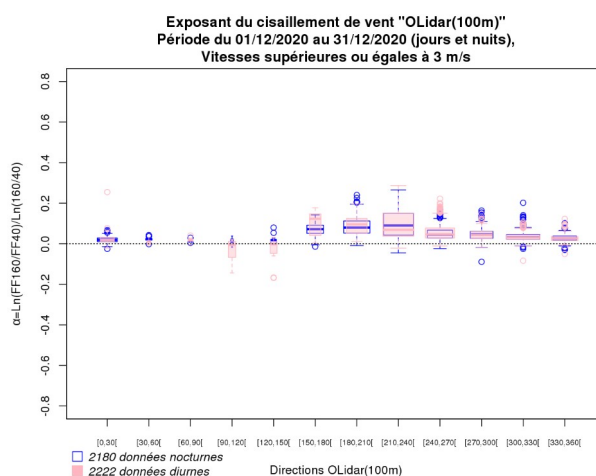
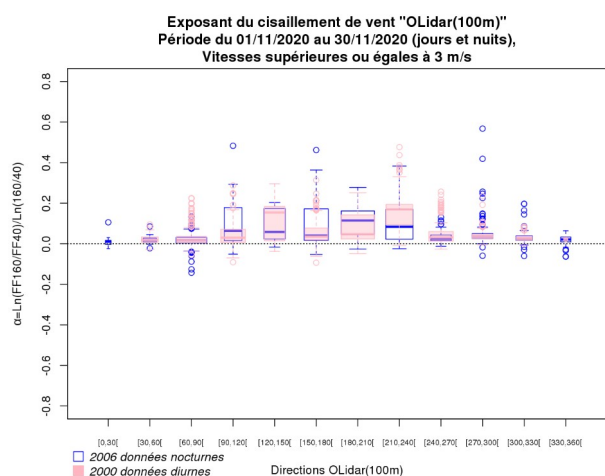
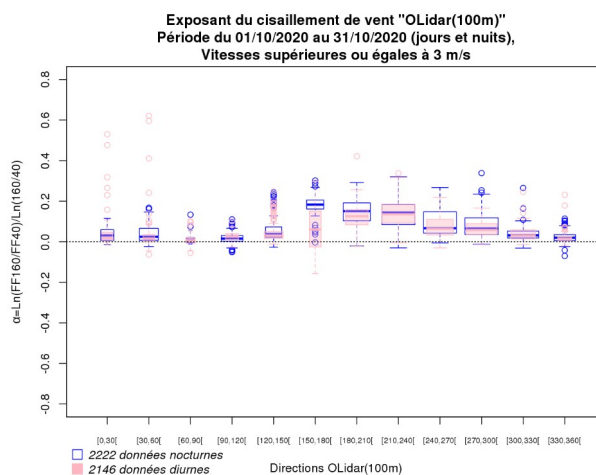
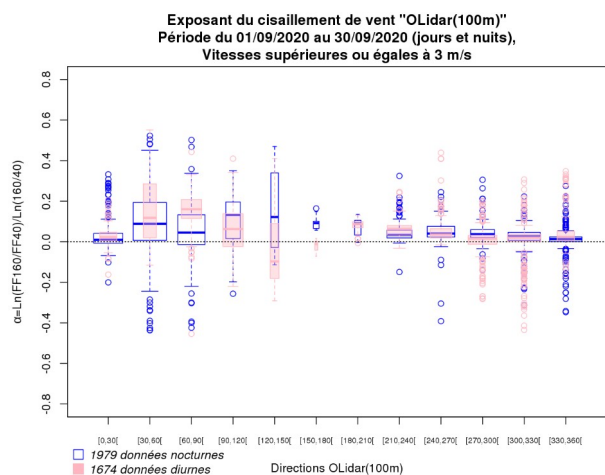
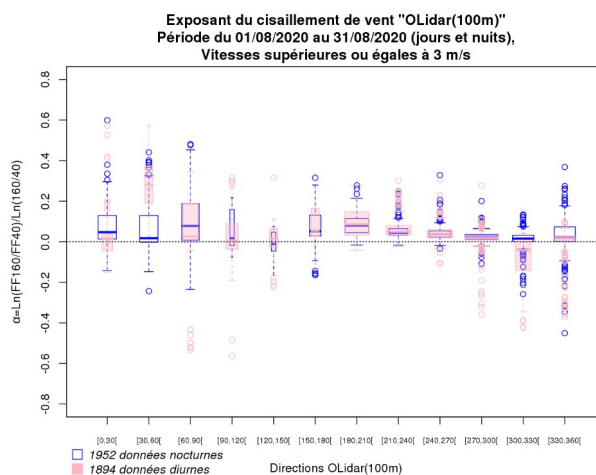
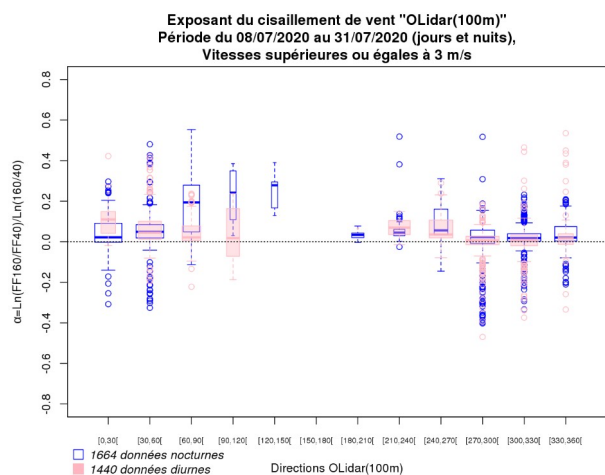


Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud



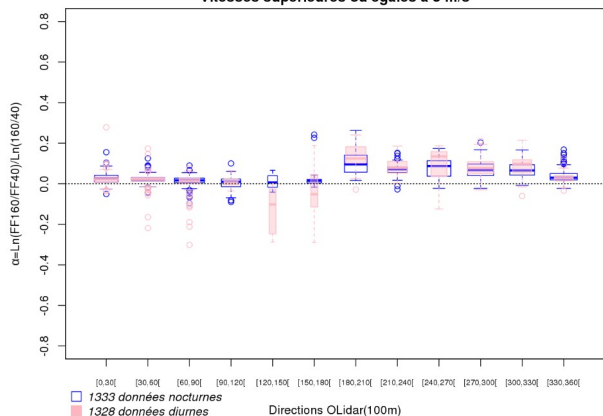
Annexe 16 : Cisaillement du vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



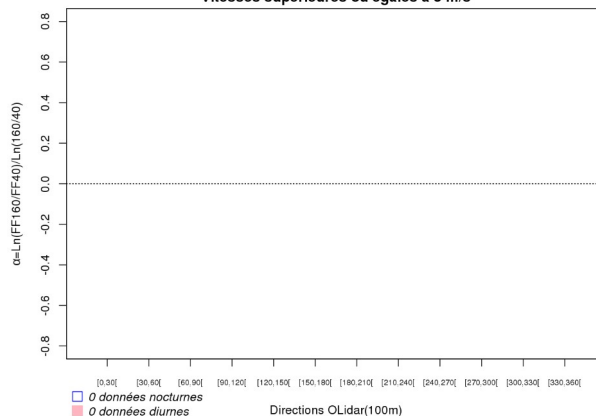
Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

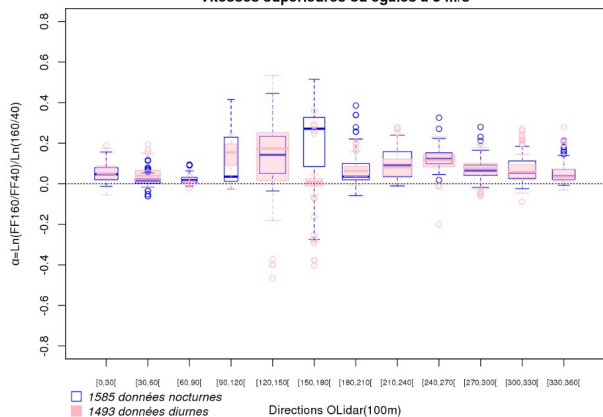
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



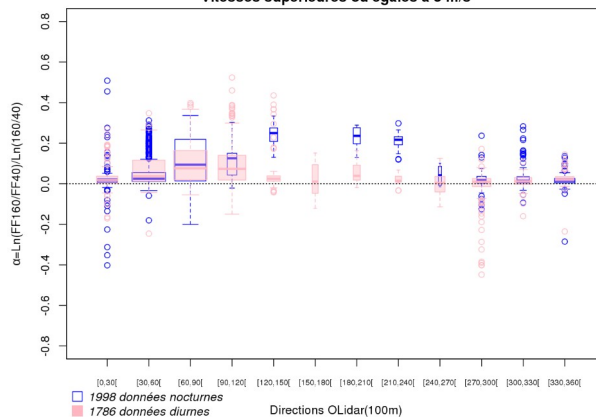
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2021 au 28/02/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



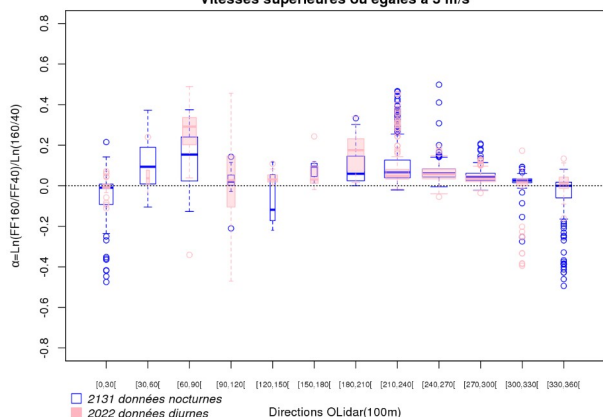
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



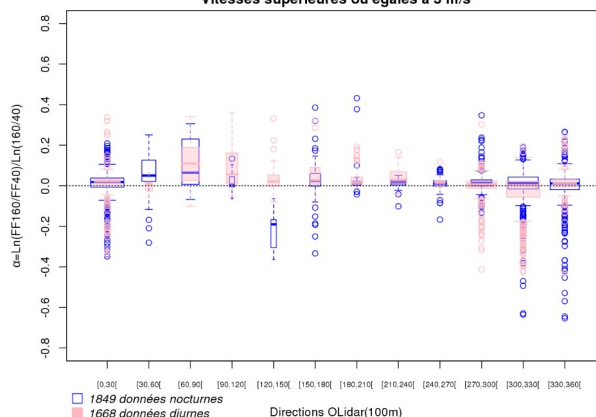
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

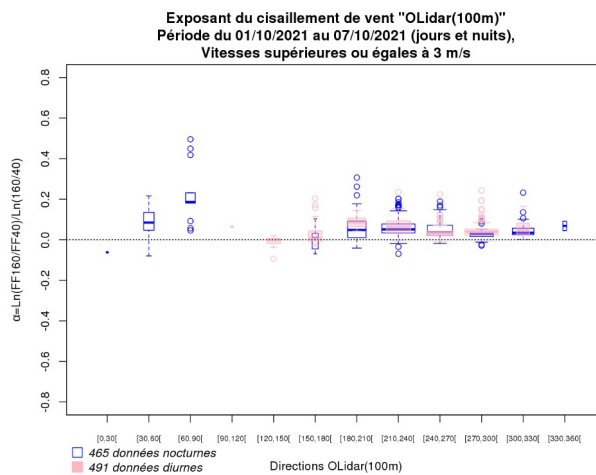
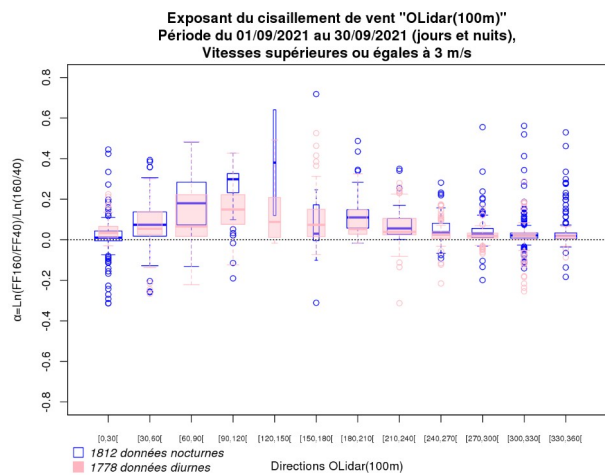
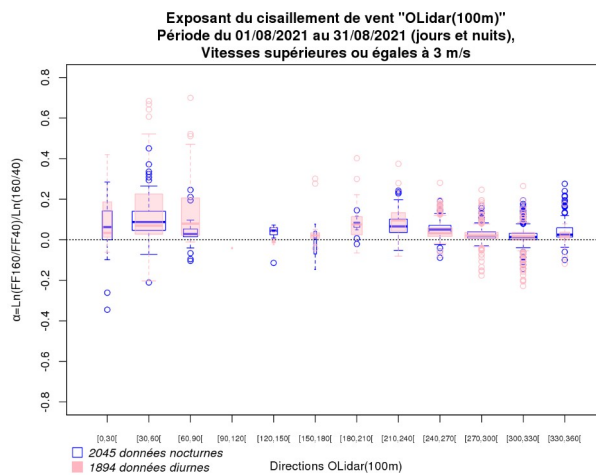
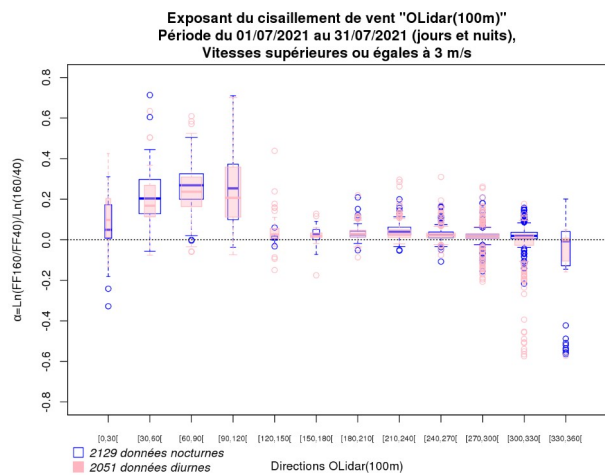


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

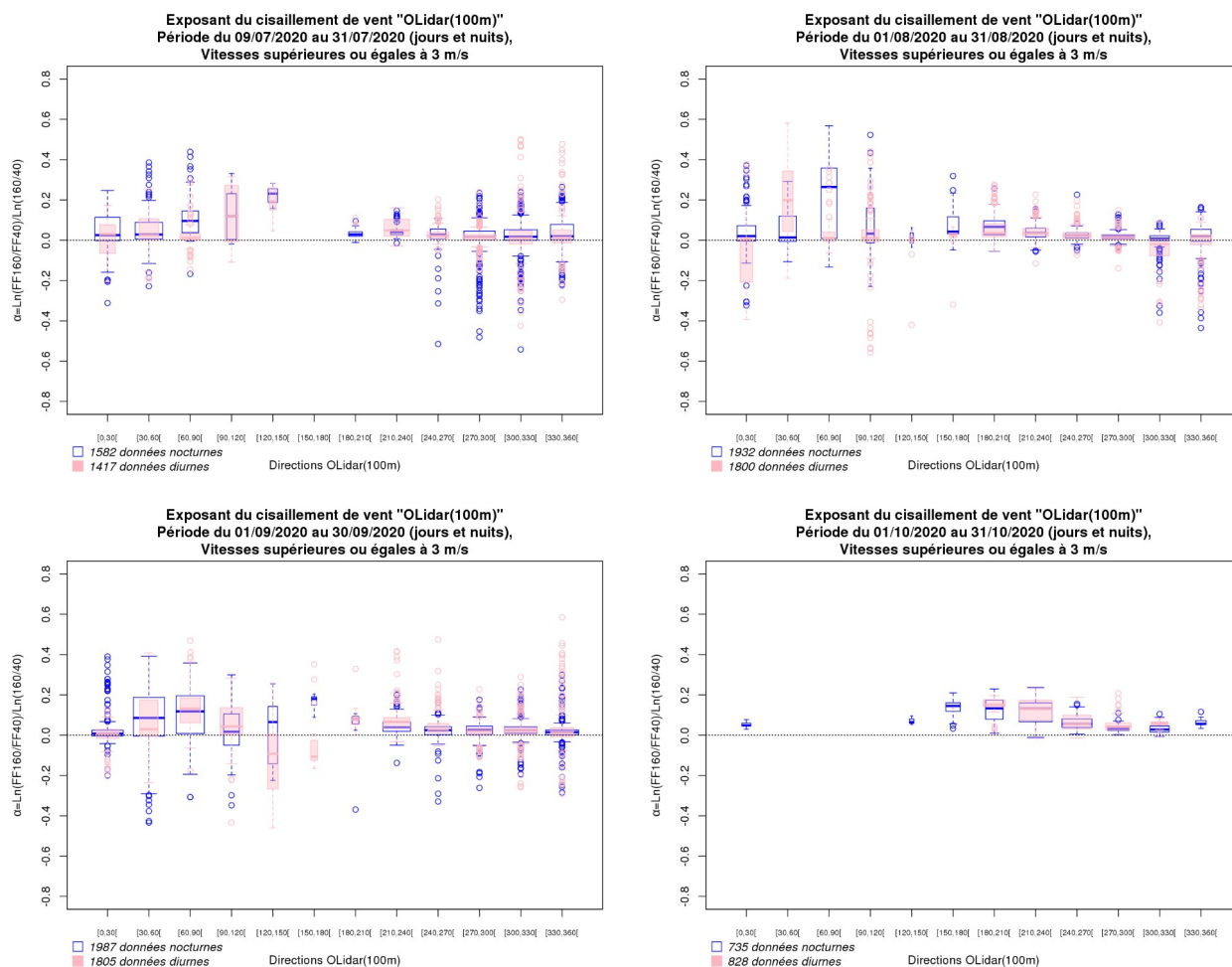


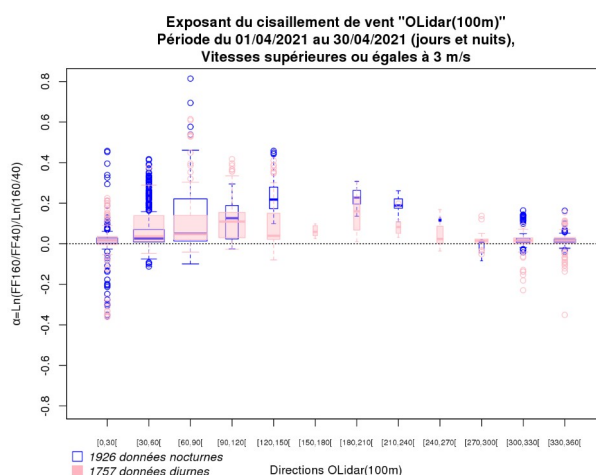
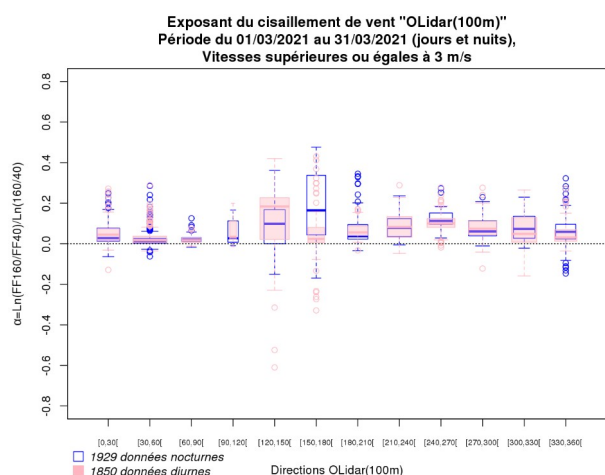
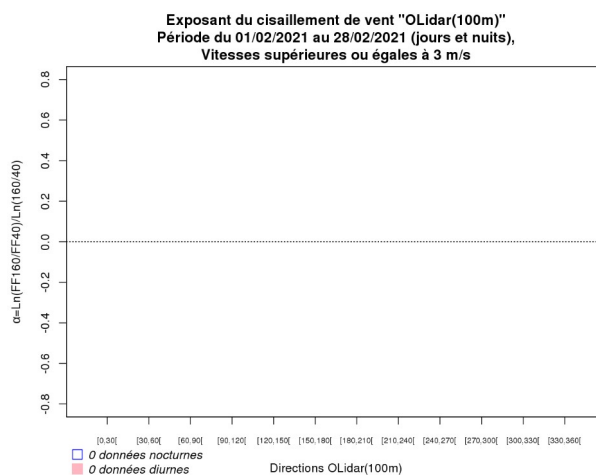
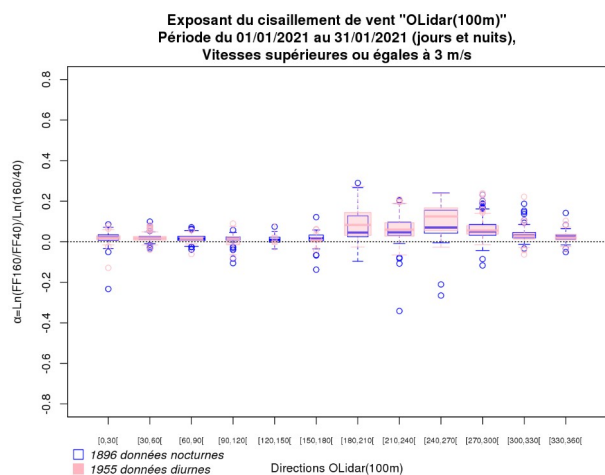
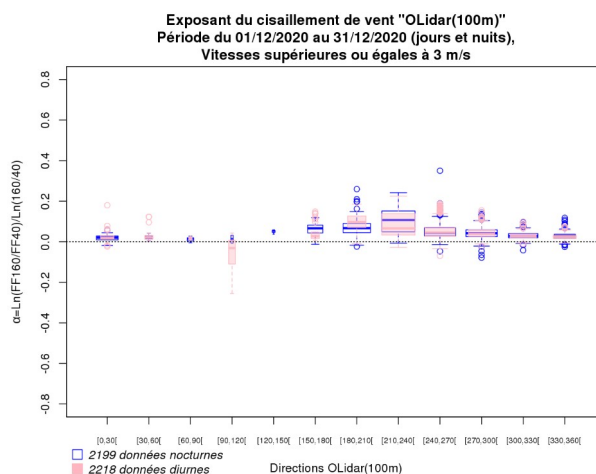
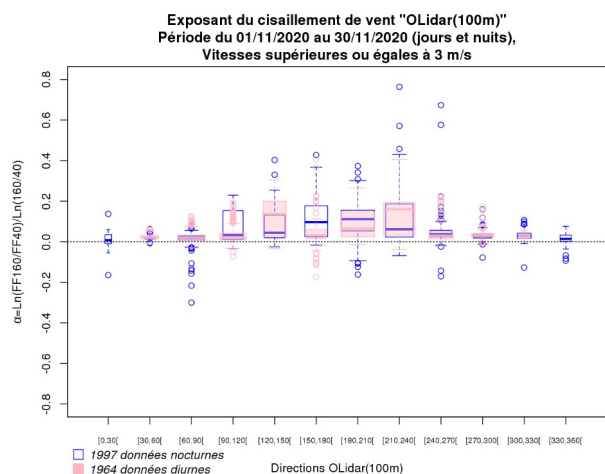
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





Annexe 17 : Cisaillement du vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

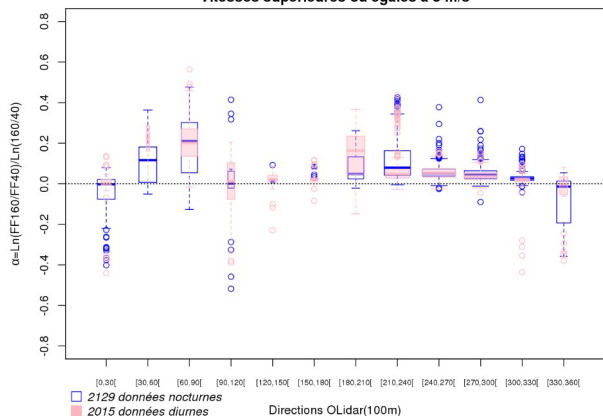




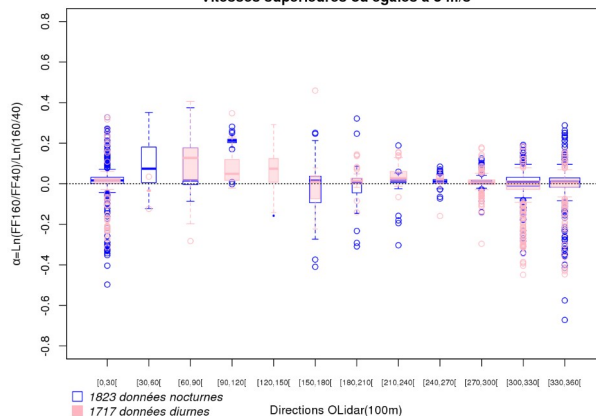
Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

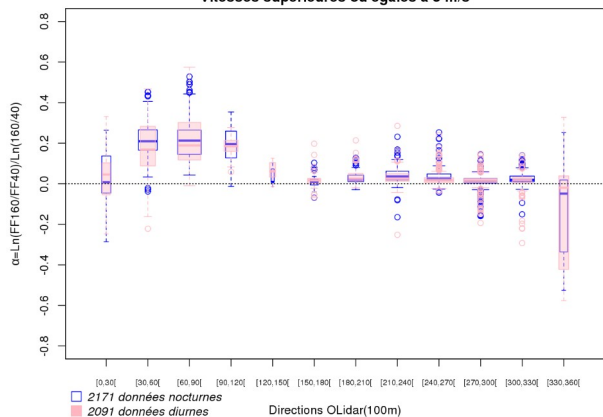
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



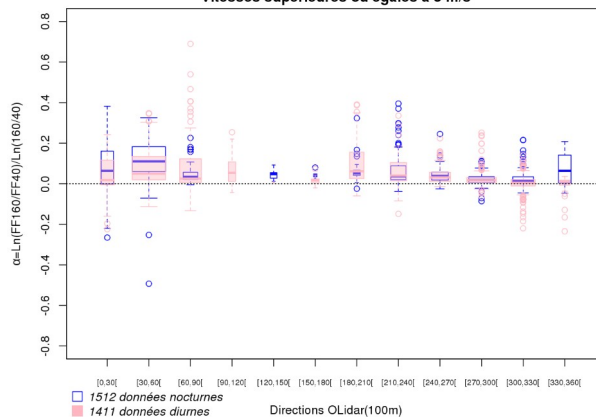
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



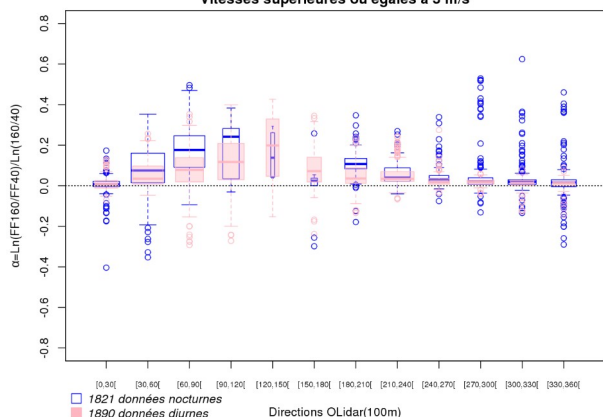
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



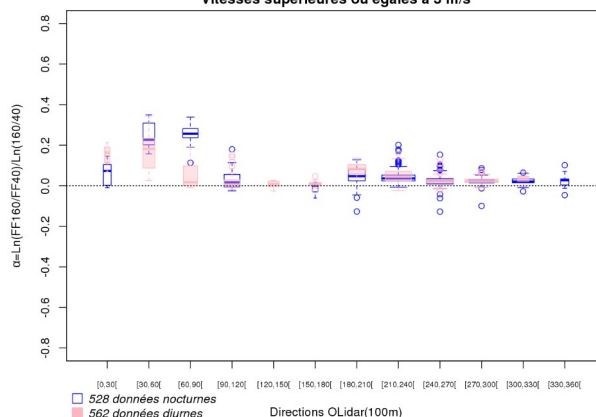
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

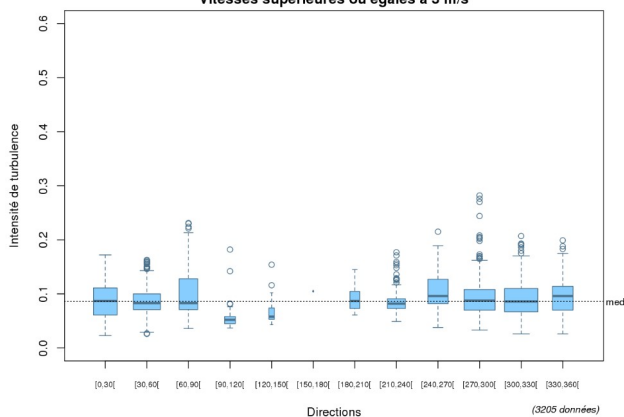


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/10/2021 au 08/10/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

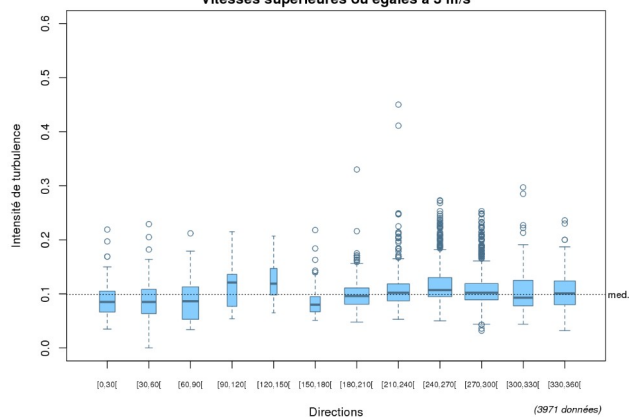


Annexe 18 : Turbulence du vent du LiDAR Nord à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

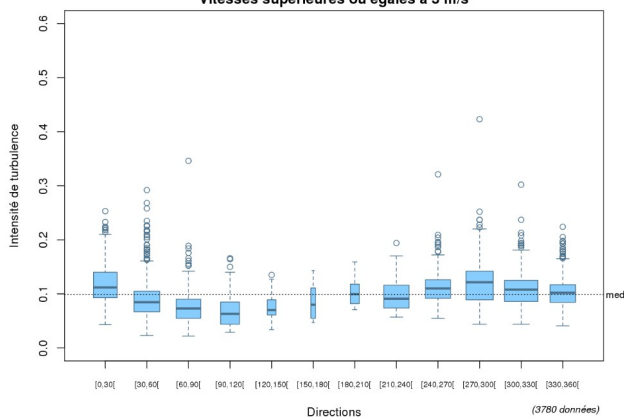
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 08/07/2020 au 31/07/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



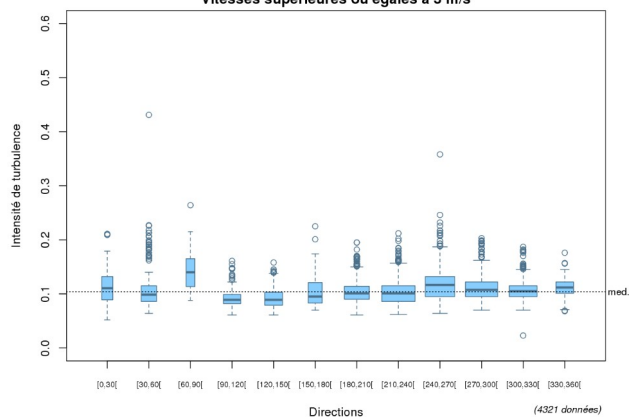
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2020 au 31/08/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



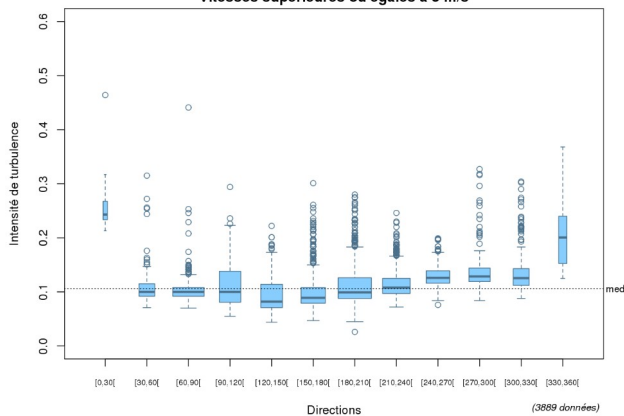
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2020 au 30/09/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



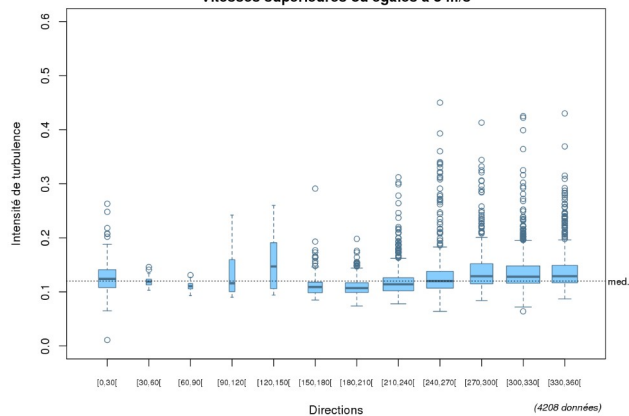
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2020 au 31/10/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



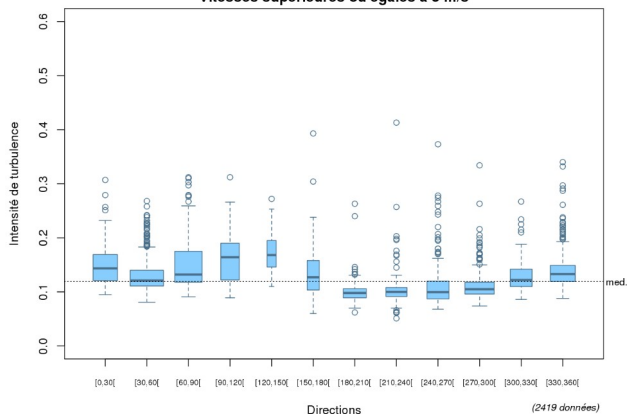
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2020 au 30/11/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2020 au 31/12/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

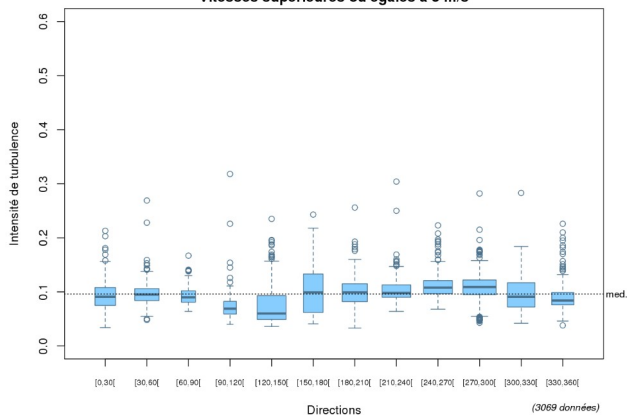


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

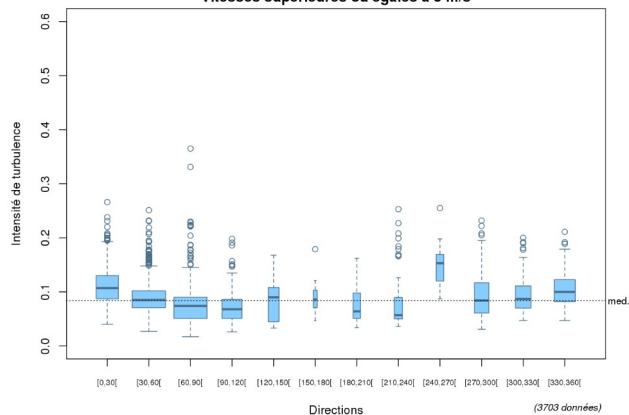


Données absentes en février 2021

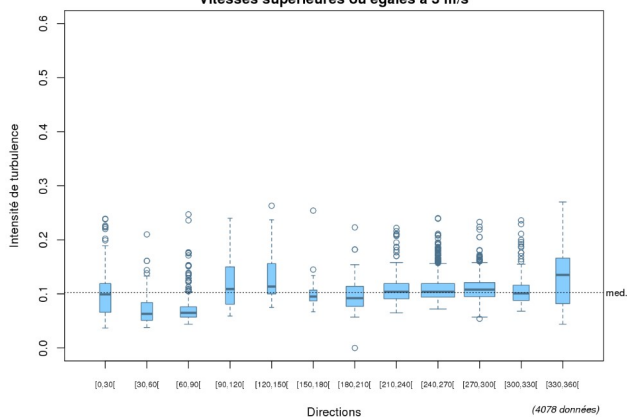
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



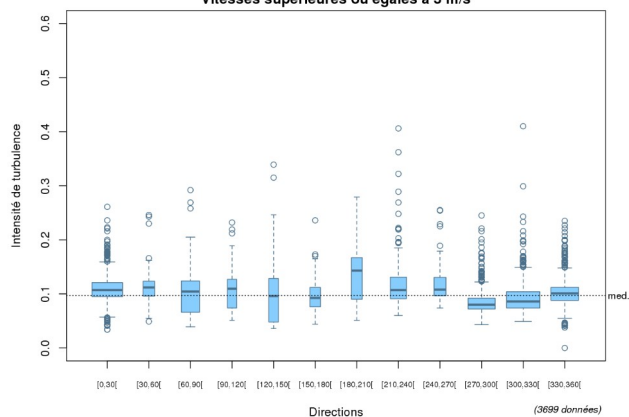
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



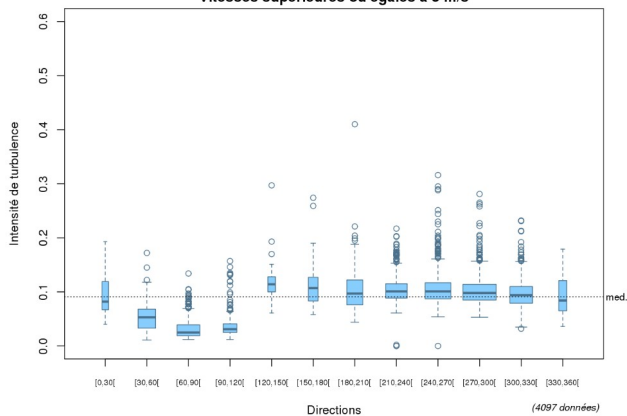
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



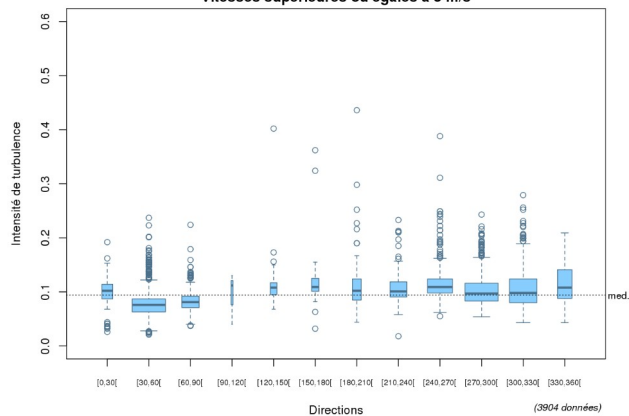
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



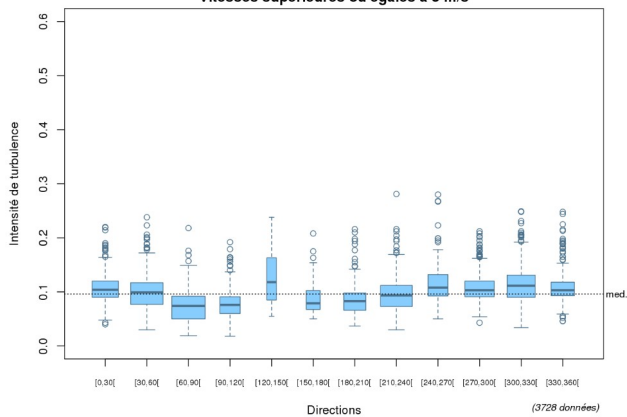
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



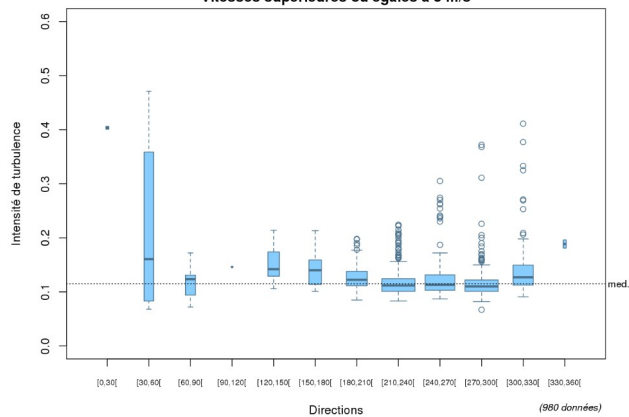
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

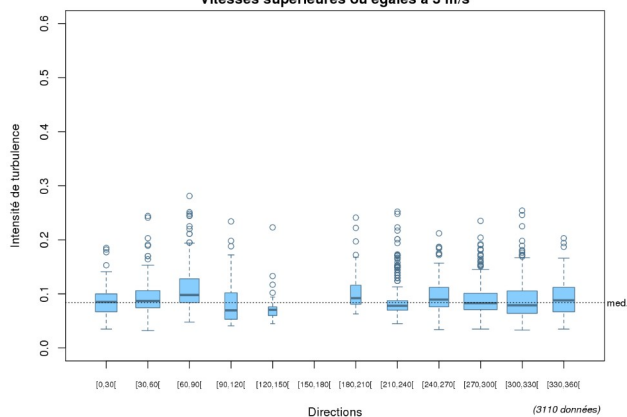


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2021 au 07/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

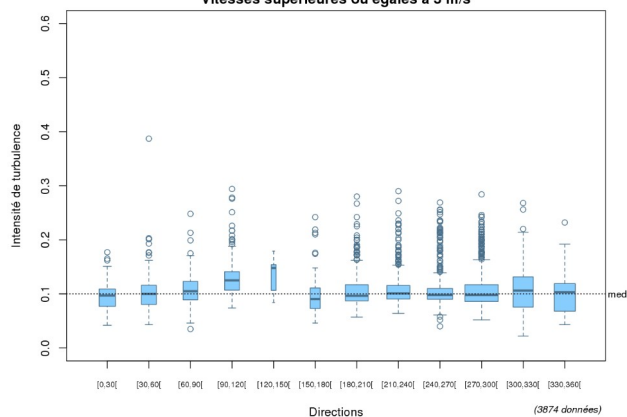


Annexe 19 : Turbulence du vent du LiDAR Sud à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

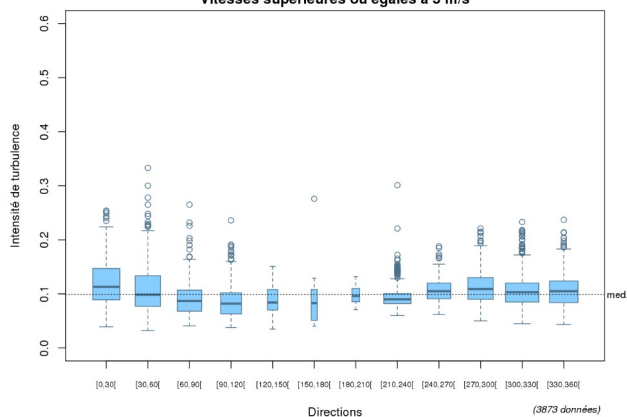
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 09/07/2020 au 31/07/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



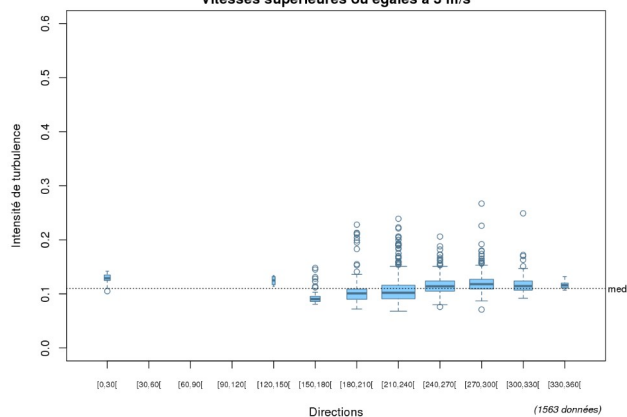
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2020 au 31/08/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



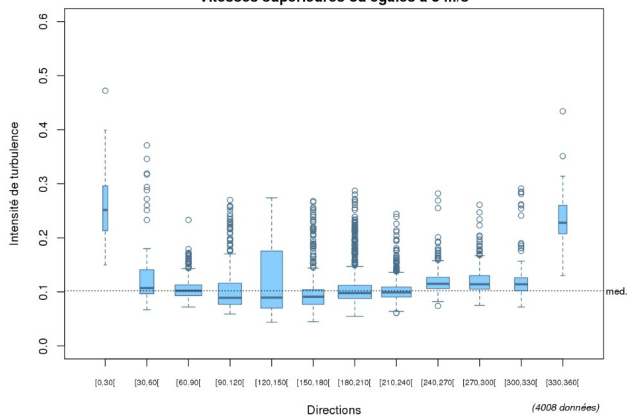
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2020 au 30/09/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



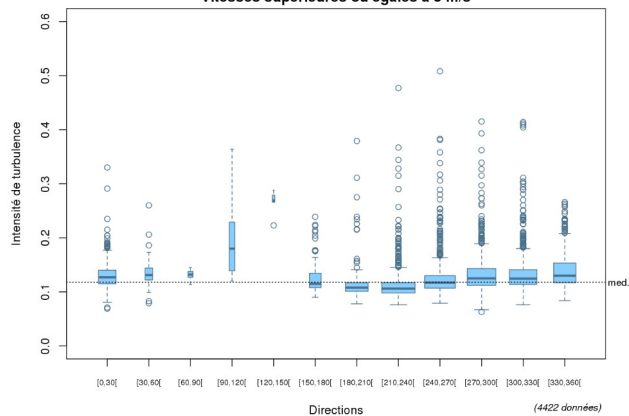
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2020 au 31/10/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



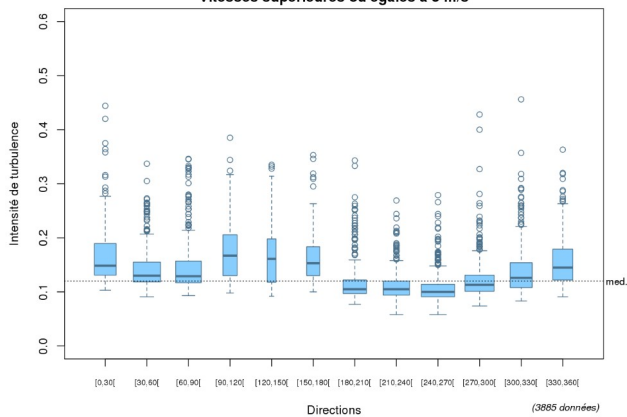
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2020 au 30/11/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2020 au 31/12/2020,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

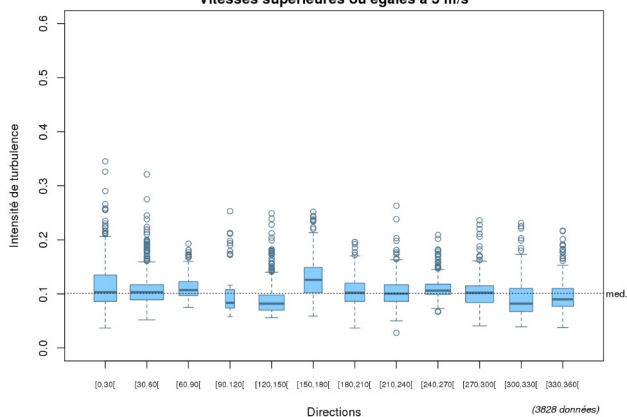


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2021 au 31/01/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

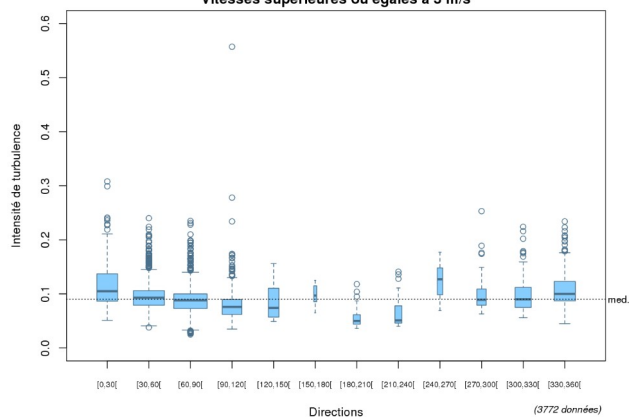


Données absentes en février 2021

Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2021 au 31/03/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



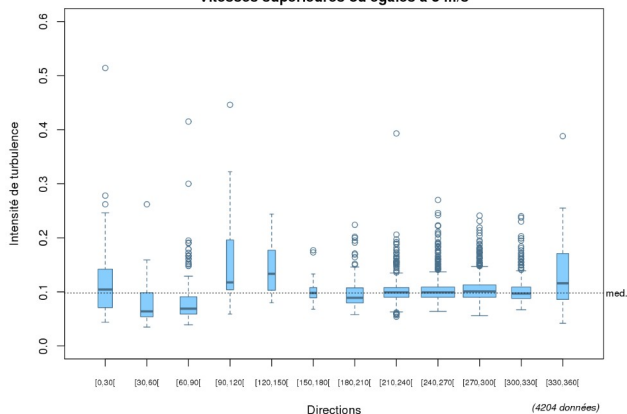
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2021 au 30/04/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



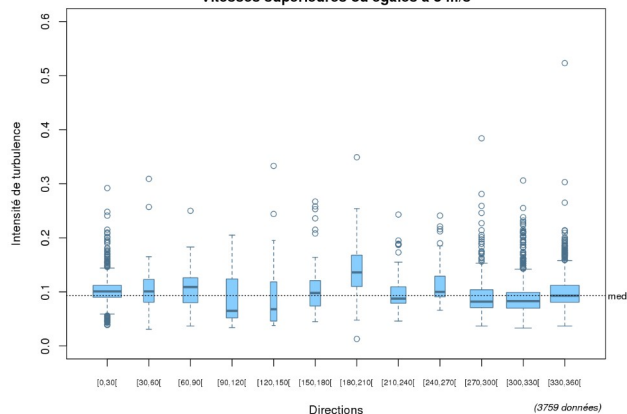
Projet de parc éolien off-shore en Bretagne Sud

Lot 4 Rapport final – AO5 Bretagne Sud

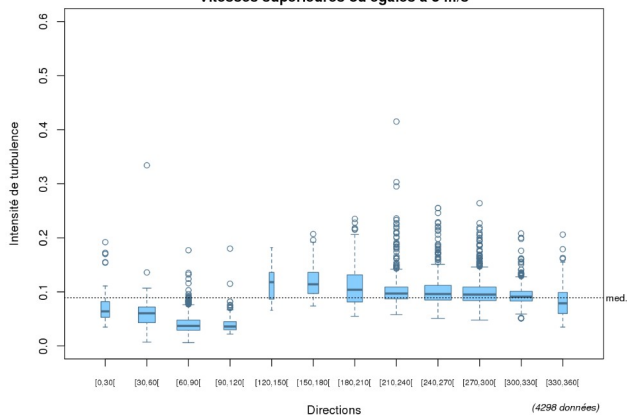
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2021 au 31/05/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



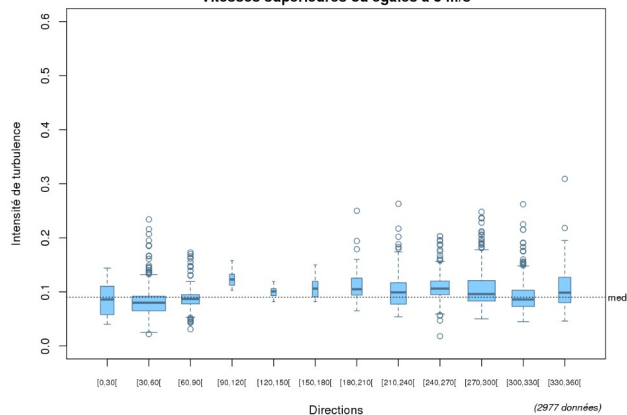
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



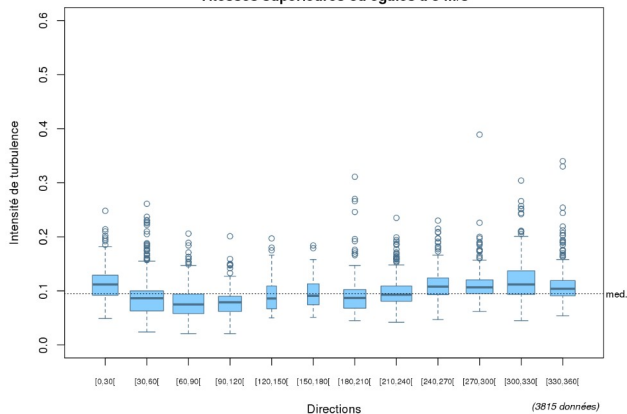
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



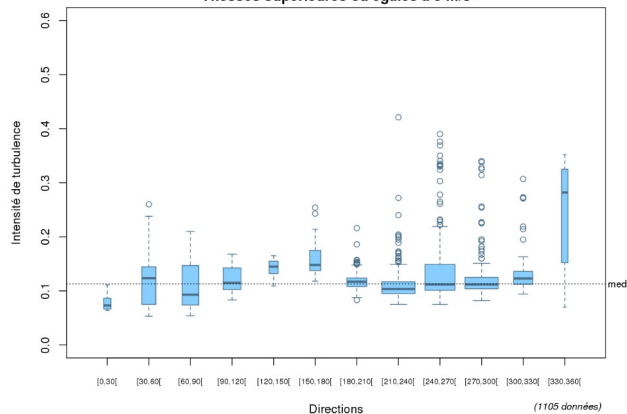
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2021 au 08/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



FIN DE DOCUMENT
