

Rapport final Lot 4

AO6 Zone 2



Version 1 du 26/05/2023

Client : Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Écologique		 MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE <i>Liberté Égalité Fraternité</i>
Responsable commercial : Météo-France D2C Toulouse		 METEO FRANCE
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
AO6_Mediterranée_Zone2_Lot4_Rapport-annuel_V1_20230526	12/09/2022	V1	Livraison Rapport intermédiaire (6 mois)

Signatures

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	7
2	Méthodologie appliquée	9
2.1	Type de données fournies par le LiDAR	10
2.2	Les outils statistiques	11
2.2.1	Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI	11
2.2.1.1	Seuils de référence	12
2.2.1.2	Détermination des seuils adaptés au LiDAR	12
2.2.1.3	Codes qualité	13
2.2.2	Statistiques de contrôle de la mesure	14
3	Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR	15
3.1	Suivi des données	15
3.1.1	Disponibilité des données brutes	15
3.1.2	Monitoring des données FF brutes	18
3.1.3	Monitoring des erreurs	19
3.2	Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses	21
3.3	Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure	23
3.3.1	Statistiques de contrôle de la mesure	23
3.3.2	Statistiques descriptives du vent mesuré	27
3.3.2.1	Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR	27
3.3.2.2	Distributions	29
3.3.2.3	Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires)	30
3.3.2.4	Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires)	31
3.3.2.5	Roses des vents (données horaires)	35
3.3.2.6	Profils verticaux de vent (données horaires)	36
3.3.2.7	Cisaillement du vent (données 10 minutes)	37
3.3.2.8	Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m	39
3.3.2.9	Séries horaires FF et FXI à 100 m	40
4	Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre	41
5	Etude complémentaire pour confirmer et caractériser l'origine du biais constaté	44
6	Conclusion	45
7	Bibliographie	45
	Annexes	46

Liste des illustrations

Illustration 1 : Situation géographique de la zone (source www.geoportail.gouv.fr)	1
Illustration 2-a : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Beziers (34209002) sur la période 2001/2020	4
Illustration 3 : Carte marine du large de PACA (source portail Data - SHOM)	6
Illustration 4 : Emplacement du LiDAR et de la zone d'étude du futur parc éolien (source OpenStreetMap)	6
Illustration 5 : Photo de la plateforme de mesure	7
Illustration 6 : Photo du LiDAR	8
Illustration 7 : Localisation des points de grille AROME (croix rouges), des stations météorologiques cotières (points bleus) et du LiDAR (étoile jaune et rouge). Fond de carte source OpenStreetMap	10
Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données	15
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)	18
Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge)	20
Illustration 11 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle	23
Illustration 12 : Diagramme « quantile-quantile »	24
Illustration 13 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)	25
Illustration 14 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR	26
Illustration 15 : Distributions des vents horaires du LiDAR	29
Illustration 16 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR	30
Illustration 17 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données	32
Illustration 18 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	35
Illustration 19 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR	36
Illustration 20 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	37
Illustration 21 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR	38
Illustration 22 : Turbulence du LiDAR	39
Illustration 23 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR	40
Illustration 24 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle	42
Illustration 25 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)	42
Illustration 26 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre	43
Illustration 27 : Anasyg du dimanche 28 novembre 2021 à 06 UTC	47
Illustration 28 : Pmer et Vent>35 nœuds le dimanche 28 novembre 2021 à 09 UTC	47
Illustration 29 : Image Radar précipitations le dimanche 28 novembre 2021 à 09 UTC	47
Illustration 30 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 26 au 28 novembre 2021	48
Illustration 31 : Anasyg du lundi 21 février 2022 à 06H UTC	49
Illustration 32 : Image Radar précipitations le lundi 21 février 2022 à 10 UTC	49

Illustration 33 : Pmer et Vent>30 nœuds le lundi 21 février 2022 à 10 UTC	49
Illustration 34 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 21 au 22 février 2022	50
Illustration 35 : Moyenne glissante des biais sur 24h entre le Lidar et le modèle AROME les 21 et 22 février 2022	50
Illustration 36-a : Roses des vents à l'été 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	51
Illustration 37-a : Roses des vents de l'automne 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	52
Illustration 38-a : Roses des vents de l'hiver 2021-2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	54
Illustration 39-a : Roses des vents du printemps 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	55
Illustration 40-a : Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	56
Illustration 41 : Anomalies mensuelles de températures minimales et maximales de juin 2021 à août 2022 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020	59
Illustration 42 : Anomalies de précipitations de juin 2021 à août 2022 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR. Les cases colorées en vert ou rouge indiquent respectivement la validité ou l'invalidité par rapport aux deux KPI.	17
Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR	22
Tableau 3: Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR	28
Tableau 4: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2021 (en italique, en %) des forces de vent de la station d'Arles ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale	33
Tableau 5: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2021 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Béziers ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale	34

Tableau 6: Valeurs de l'exposant α en fonction de la nature du terrain (source
<http://eolienne.f4jr.org/vent>)

38

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 de l'AO6 Méditerranée – zone 2 au large du golfe de Fos (cf. Illustration 1). 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 d'un appareil de type LiDAR pour différentes hauteurs d'intérêt dont la hauteur 100 m revêtant un caractère important pour la production éolienne. Ce rapport traite des treize mois de mesure qui ont été nécessaires à la validation de la campagne. Celle-ci a débuté officiellement à compter du 10 juin 2021 et s'est terminée le 9 juillet 2022.

1.1 Zone d'étude

Le futur parc éolien se situe sur une zone au large du golfe de Fos.

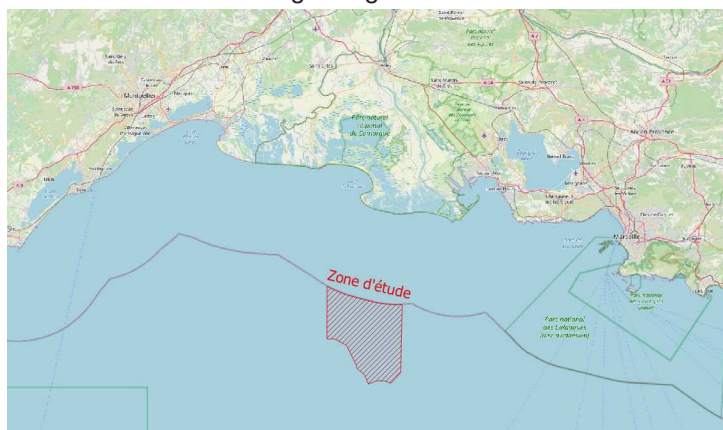


Illustration 1 : Situation géographique de la zone
(source www.geoportail.gouv.fr)

Les régimes de vent présents en Méditerranée occidentale sont les suivants :

- le mistral :

Le mistral ou « Maître Vent » de la Provence souffle du nord dans le couloir du Rhône et dans les vallées avoisinantes comme celle de la Durance, puis tourne à l'ouest sur la côte varoise jusqu'à Fréjus ainsi que sur la Corse. Il peut s'étendre à l'ouest jusqu'au golfe du Lion.

La présence du mistral est liée dans la majorité des cas à celle d'un flux de secteur nord-ouest sur la région en bordure d'un anticyclone s'étendant sur le proche Atlantique : l'air froid originaire des régions polaires vient buter sur les Alpes et s'accélérer dans le défilé étroit de la Vallée du Rhône. Une dépression dynamique s'établit dans les parages du Golfe de Gênes. Les vents sont d'autant plus forts que le gradient

de pression entre Golfe de Gascogne et Golfe de Gênes est important. Cette situation peut perdurer plusieurs jours même après l'évacuation de la perturbation vers l'est.



- la tramontane :

C'est un vent de secteur nord à nord-ouest qui parcourt les contreforts des Pyrénées et les monts du sud du Massif Central.

Sur la région du Lauragais, en passant entre le Massif Central et les Pyrénées par le seuil de Naurouze, ce vent prenant une composante plus ouest est appelé le **cers**.

Comme le mistral, elle est souvent assez forte et turbulente, dégage le ciel en amenant de l'air plus froid et sec et génère parfois des nuages d'ondes.

La situation météorologique amenant la tramontane est comparable à celle qui engendre le mistral :

- une zone anticyclonique sur l'Espagne et le sud-ouest de la France,
- un flux de nord-ouest à nord (souvent à l'arrière d'un front froid) qui apporte de l'air froid vers les régions méditerranéennes, entre cet anticyclone à l'ouest et, à l'est, une dépression formée sur le Golfe de Gênes ou la mer Tyrrhénienne.

La tramontane se forme également lors du déplacement vers l'est d'une perturbation circulant sur la Méditerranée occidentale. Les régions des îles Baléares ou du Golfe du Lion se retrouvent sous l'emprise d'une dépression se creusant rapidement au sortir de la péninsule Ibérique (en général en automne et au printemps). Des dépressions peuvent également s'y succéder au sein d'un flux s'écoulant du nord-ouest au sud-est en longeant l'anticyclone des Açores (généralement en hiver).

- le marin :

C'est un vent de sud-est soufflant de la Méditerranée vers le Languedoc, la Montagne Noire et les Cévennes. Il est généralement modéré et régulier, mais il peut être parfois violent et turbulent sur le relief, très humide, doux et amène le plus souvent des précipitations abondantes.

Il est plus fréquent au printemps et en automne, lorsque les dépressions s'enfoncent en Méditerranée : c'est le vent des situations perturbées et pluvieuses. Il se charge d'humidité lors de son parcours maritime. Il va ensuite la restituer sous forme de grisaille (nuages bas, brumes, brouillards) et de pluies, sur les hauteurs qui bordent la mer : les versants sud-est de la Montagne Noire, les Corbières, les contreforts des Cévennes et les premières hauteurs provençales.

Sur la région de Narbonne (Aude), le marin est appelé « le grec » quand il souffle de secteur est.

Le marin accompagne les épisodes de fortes pluies méditerranéennes et les épisodes cévenols. Lorsqu'il ne s'accompagne pas de pluie, on l'appelle « marin blanc ».

Le marin est lié à la présence d'un centre dépressionnaire sur la Méditerranée occidentale (Baléares, Golfe du Lion) ou vers la péninsule Ibérique et d'un anticyclone vers les Alpes ou l'Europe Centrale. Le relief va ensuite canaliser ce vent, en lui faisant longer les côtes varoises et le renforcer de l'embouchure du Rhône au Languedoc-Roussillon.

Météo-France dispose de quatre stations terrestres dans le secteur pouvant être prises en référence selon le secteur de vent :

- la station de Béziers, située à 15 m d'altitude au nord des Corbières, sera représentative des secteurs Est et Ouest ;
- la station d'Arles, située à 1 m d'altitude proche du delta du Rhône, sera représentative des secteurs Nord et Sud ;
- les sémaphores de Sète et l'Espiguette, situés respectivement à 75 m et 1m d'altitude, qui sont soumis aux mêmes régimes de vent mais que nous ne retiendrons pas en raison de leur plus faible classification en termes de qualité de la mesure.

A noter que ces stations terrestres peuvent quand même sous-estimer les vents par rapport à ce qui se passe en mer.

- les périodes de vent calme ($< 1,5$ m/s) sont assez significatives sur l'année (14,0 % à Béziers et 11,3 % à Arles) ; en été par contre, les tendances diffèrent avec plus de cas pour Arles (14,0 %) mais moins pour Béziers (12,5 %), et inversement l'hiver elles sont moins observées à Arles (8,9 %) mais plus fréquentes à Béziers (15,6 %).
- Pour Béziers, en automne et hiver, les allures générales des roses de vent ont des points communs, dont une nette prédominance des vents d'Ouest à Nord-Ouest ; elles diffèrent quand même pour ce qui est du deuxième secteur le plus représenté, Est à Sud-Est en automne et Nord à Nord-Est en hiver. Au printemps et en été, est observée la même prédominance des vents d'Ouest à Nord-Ouest, mais le deuxième secteur d'importance reste toujours différent, Est au printemps et Sud-Est l'été. Pour Arles, on retrouve la prédominance des vents de Nord à Nord-Ouest en toutes saisons ; on note ensuite quelques différences pour les secteurs qui viennent en deuxième ligne : si le Sud-Est ressort sur toutes les roses, c'est au printemps qu'il est le plus important, ainsi qu'en été mais un cran en dessous ; le secteur Est est lui également assez fréquent l'automne, et encore un peu plus l'hiver.

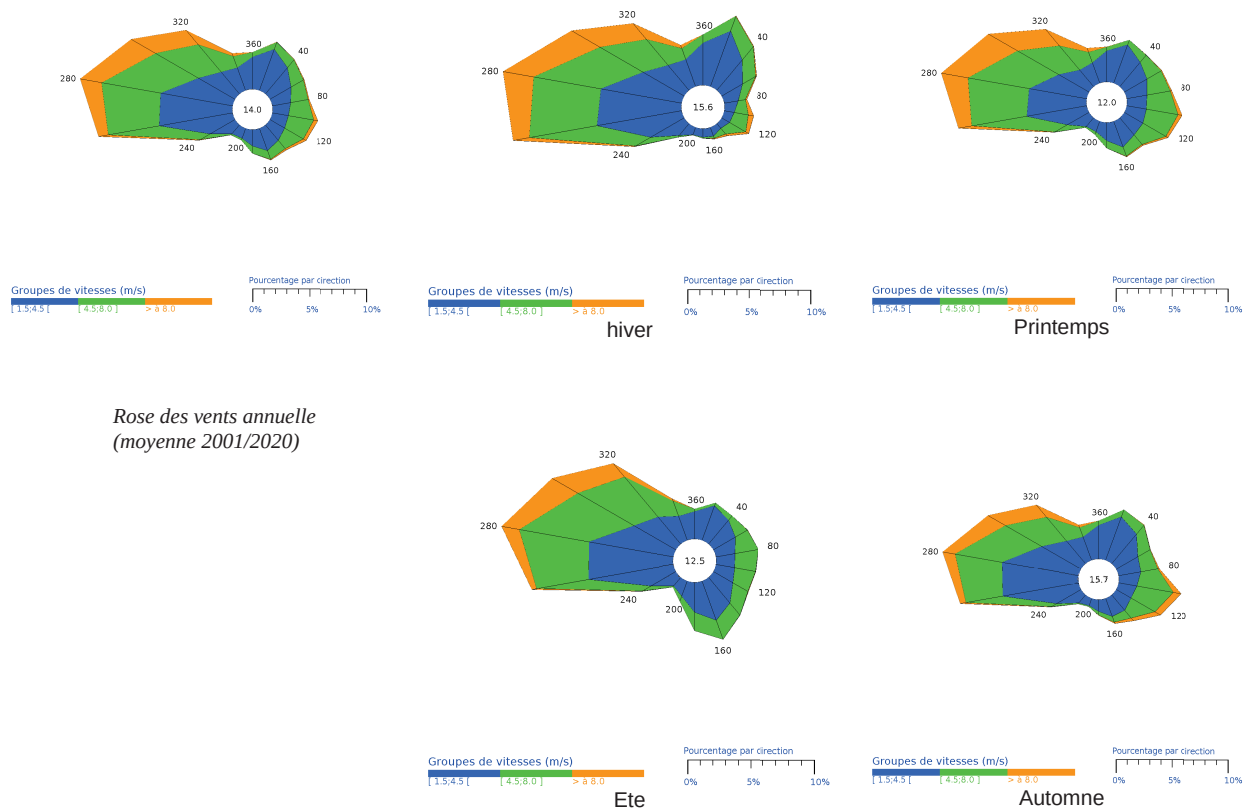


Illustration 2-a : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Beziers (34209002) sur la période 2001/2020

1 Contexte

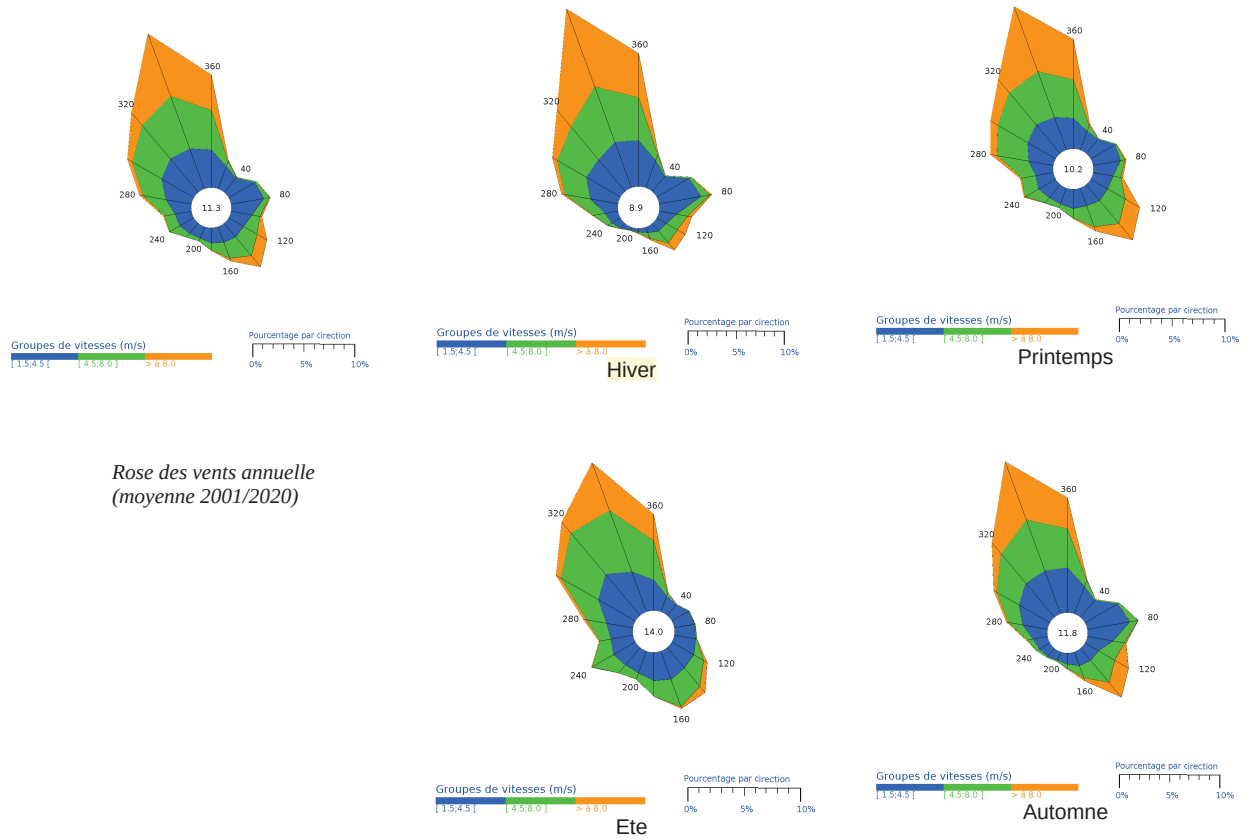


Illustration 2-b : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Arles (13004003) sur la période 2001/2020

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 80 et 120 mètres. Les fonds sont réguliers.

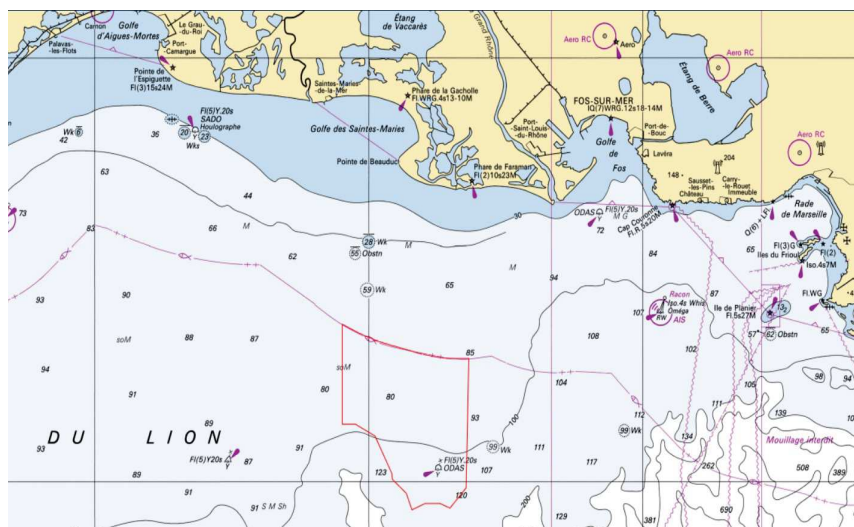


Illustration 3 : Carte marine du large de PACA (source portail Data - SHOM)

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 du vent en mer au moyen d'un système flottant de type bouée LiDAR. La campagne de mesures est réalisée à proximité du point de coordonnées WGS84 Lon : 4,626° Lat : 43,014°. La bouée LiDAR a un rayon théorique maximal de 80 m de déplacement autour de son point d'ancrage. Les coordonnées exactes du point de mesure sont disponibles dans les données brutes produites.

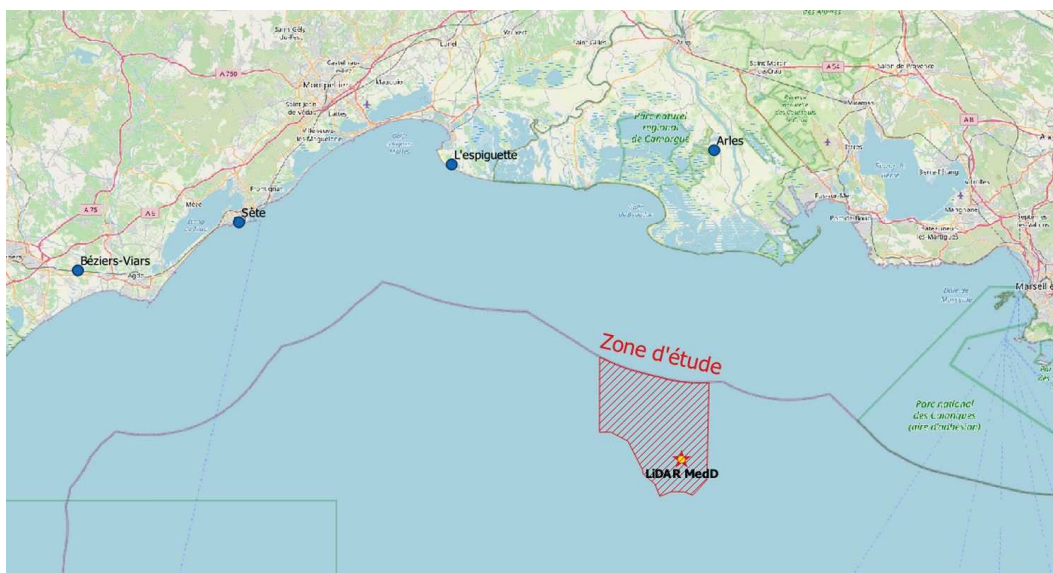


Illustration 4 : Emplacement du LiDAR et de la zone d'étude du futur parc éolien (source OpenStreetMap)

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 à la combinaison d'énergies renouvelables (houle + soleil) et d'une pile à combustible méthanol prenant le relai si besoin. La plateforme est d'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 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 (Light Detection And Ranging) de la marque 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 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 à répartir entre 40 et 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 LiDAR

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 4 m au-dessus du niveau de la mer) sans toutefois pouvoir être réalisée à 10 m (norme de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM)¹) : le haubanage 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 techniques décrites dans le document « SPEC ADCP Nortek Signature250.pdf ») et d'un profondimètre (caractéristiques techniques décrites dans le document « Echorange_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).

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 termes de vitesse et de direction

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 les analyses de son modèle météorologique à maille fine AROME qui dispose des hauteurs suivantes en termes de données de vent moyen assimilées : 10, 20, 50, 75, 100, 150 et 200 m. Ces données modèle, 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.

Météo-France ne fournira pas d'estimation du vent maximal (rafale) car ce paramètre n'est pas directement disponible, hormis pour la hauteur 10 m.

Nous allons décrire dans un premier temps les différents types de données LiDAR, puis une présentation des outils statistiques sera effectuée. Une description des données du modèle de prévision numérique AROME est disponible dans [Chatel et al., V1, 2021].

2.1 Type de données fournies par le LiDAR

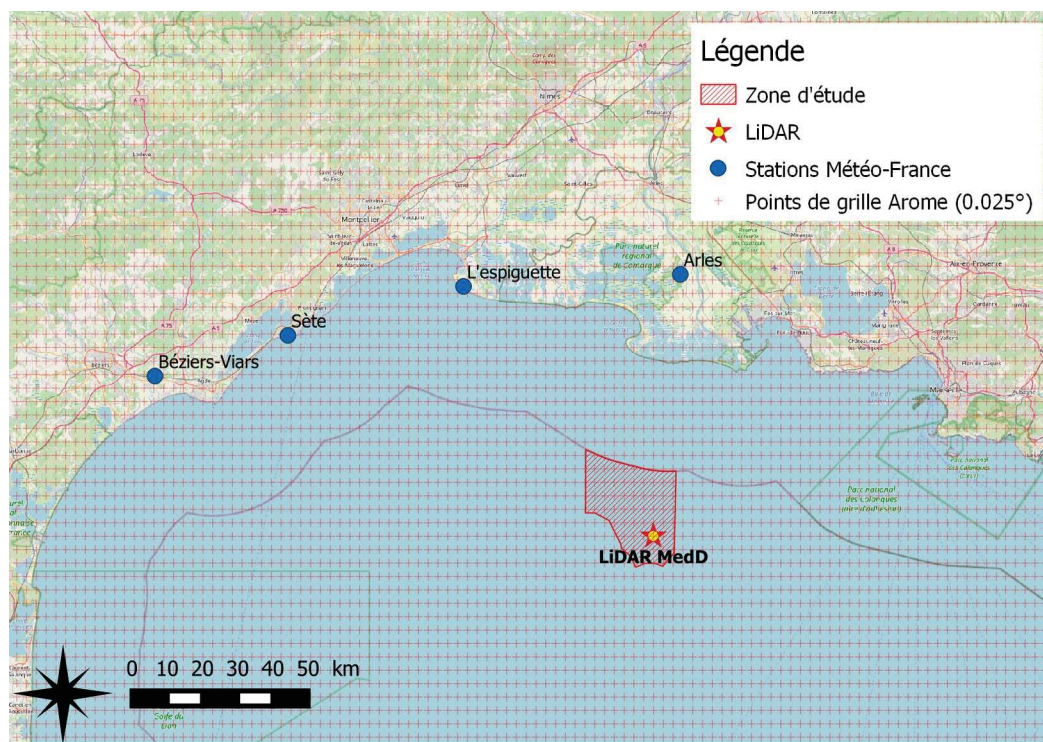


Illustration 7 : Localisation des points de grille AROME (croix rouges), des stations météorologiques cotières (points bleus) et du LiDAR (étoile jaune et rouge). Fond de carte source OpenStreetMap)

Pour chaque hauteur de mesures, le LiDAR fournit, en heures UTC, 2 types de données au format ASCII :

- Les données **reconstituées**
 - Données moyennées sur 10 minutes non corrigées (fichier *.sta) et corrigées par la prise en compte du mouvement du LiDAR par rapport au nord magnétique (fichiers *lidar_{N}.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 du nord magnétique (fichiers *.rtd),
 - Données de cap du LiDAR (fichiers *trimble_{N}.csv).

Les autres données présentes dans ces trames sont :

- Nombre de mises en route automatiques du balai d'essuie-glace indiquant le nettoyage du capteur,
- Rapport 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 (data_availability) : cette valeur est donnée en pourcentage et indique le taux de données brutes (autrement-dit, les données au pas de seconde) 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. Les fichiers *.sta et *.csv présentent cette valeur permettant de juger directement de la fiabilité de la mesure pour chaque niveau de hauteur.

A noter que la position (latitude, longitude) du LiDAR est disponible dans les fichiers de la station météo.

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

2.2 Les outils statistiques

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

2.2.1 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 du vent moyen et du vent maximal.

Dans la suite de l'étude, pour plus de facilité, ces paramètres seront notés :

- 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.

2.2.1.1 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 une période de seulement 15 jours. Pour que la série de données quotidiennes soit qualifiée de douteuse, il faut au moins 10 observations quotidiennes arrivées à temps dans le cycle d'assimilation du modèle où :

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

2.2.1.2 Détermination des seuils adaptés au LiDAR

Nous avons souhaité utiliser des critères plus ou moins semblables afin de contrôler les données du LiDAR. La problématique n'est pas tout à fait la même car les données du LiDAR ne sont pas préalablement assimilées par le modèle.

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 lors de précédentes campagnes de mesures d'un appareil de type LiDAR auxquelles Météo-France a participé (cf. « Documents de référence antérieurs » p 3).

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

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

2.2.1.3 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 '21'.

Pour une donnée dite douteuse (cf. §2.2.1.2), 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).
- '31' : La donnée est douteuse car elle a un taux de validité inférieur à 30%. Le taux de validité correspond au nombre de données secondes disponibles pour obtenir une valeur moyennée sur une période de 10 minutes. (Cf § 2.1). On affectera le code 3 si cette donnée s'écarte également des seuils fixés.
- '99' : La donnée est douteuse car elle ne peut pas être comparée avec le modèle (donnée modèle absente).

Chaque donnée de la série horaire de vent à 100 m est donc accompagnée de l'un des codes qualité présentés ci-dessus.

Série FXI :

La série FXI horaire à 100 m sera déterminée à partir du maximum des six données FXI 10 min de l'heure précédente. 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 le fichier « SerieLidarH100_MedD_20210610-20210809.csv ».

2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure

Afin de contrôler la qualité des données du LiDAR, Météo-France a souhaité dans un premier temps comparer de façon statistique les données des sites voisins du LiDAR avec le modèle AROME.

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 :

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

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

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR

Les différentes statistiques traitées dans cette partie se font uniquement à partir des données brutes du LiDAR (**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 LiDAR

3.1 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 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, représentative du vent moyen horaire.

La présence des données du 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). Une donnée absente (force et/ou direction) 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.

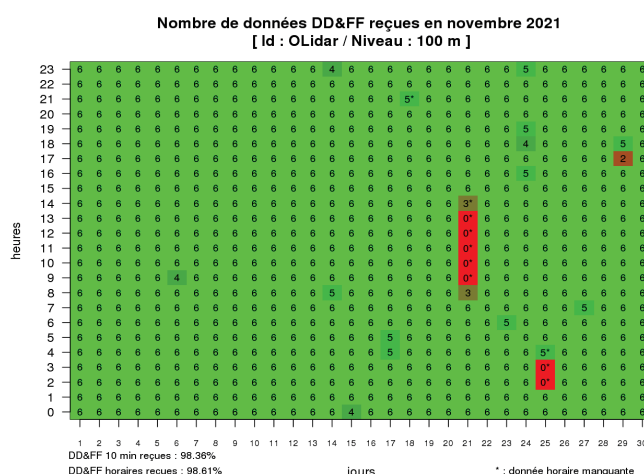


Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données

Le taux de présence des données du LiDAR décroît naturellement avec l'altitude, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Cependant, la décroissance de ce taux est quasi nulle entre 40 et 160 m et reste très limitée au delà. Elle est de l'ordre de 5 % entre 40 et 200 m. (cf. Tableau 1).

Pour le suivi de la campagne de mesure, nous utilisons les seuils préconisés par le « Carbon Trust ».

Deux taux (« Key Performance Indicators » ou KPI) sont particulièrement surveillés :

- « KPI mensuel » : le taux mensuel de disponibilité des données aux niveaux 60, 100 et 160 m doit être supérieur à 80 %.
- « KPI global » : le taux de disponibilité sur l'ensemble de la campagne doit être supérieur à 85 %.

A l'issue de la campagne, le taux de disponibilité global est supérieur au taux de 85 % de données attendu sur les trois niveaux 60, 100 et 160 m. Les taux de disponibilité mensuels sont également respectés, sauf pour le mois de juin 2022 ce qui a conduit à prolonger la campagne de mesure d'un mois supplémentaire.

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR



	2021						
	juin (21J)	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
200 m	95,01	86,04	90,55	96,34	88,55	93,94	94,38
180 m	97,02	93,23	95,16	97,94	88,78	96,3	96,95
160 m	87,76	96,21	97,27	98,63	89,18	97,04	98,36
150 m	97,29	96,86	97,76	98,8	89,25	97,41	98,68
140 m	97,59	97,51	98,21	98,89	89,29	97,66	98,79
120 m	98,12	98,14	98,86	99,05	89,31	98,03	99,01
100 m	98,18	98,39	98,9	99,19	89,43	98,36	99,04
80 m	98,38	98,63	98,86	99,21	89,63	98,52	99,06
60 m	98,38	98,57	98,95	99,24	90,08	98,8	99,06
50 m	98,38	98,57	98,9	99,24	90,08	98,91	99,06
40 m	98,38	98,57	98,9	99,24	90,12	98,96	99,06
MOY (60, 100 et 160m)	94,78	97,72	98,37	99,02	89,56	98,06	98,82

2022							MOY (426J)
jan	février	mars	avril	mai	juin	juillet	
89,27	82,84	82,55	73,98	89,61	41,55	95,91	85,15
92,41	85,71	84,09	78,22	89,99	41,88	97,07	87,67
94,06	87,18	85,46	81,41	90,5	42,06	99,31	88,27
94,56	87,72	86,04	82,89	90,68	42,08	99,46	89,40
95,12	88,42	86,54	83,96	90,84	42,13	99,46	89,77
95,36	89,38	88,13	86,74	91,04	42,2	99,46	90,41
95,65	90,33	89,94	89,12	91,42	42,22	99,46	90,92
95,74	90,8	91,87	91,13	91,55	42,29	99,46	91,34
96,12	91,12	94,51	93,52	91,64	42,31	99,38	91,83
96,33	91,32	96,21	94,49	91,71	42,31	99,38	92,07
96,39	91,52	97,29	94,88	91,69	42,31	99,46	92,21
94,64	88,76	89,33	86,4	90,97	42,12	100,00	89,94
95,28	89,54	89,97	88,02	91,19	42,2	99,38	90,34

Tableau 1 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR. Les cases colorées en vert ou rouge indiquent respectivement la validité ou l'invalidité par rapport aux deux KPI.

3.1.2 Monitoring des données FF brutes

Un suivi de l'ensemble des données du LiDAR et du modèle est effectué au fil de l'eau grâce à la production de graphiques de monitoring. Ils permettent en amont de rapidement vérifier la cohérence des données avec la situation synoptique. Les graphiques ci-dessous présentent les relevés du vent moyen du LiDAR du 26 au 28 novembre 2021 lors de la mise en place d'un fort épisode de tramontane accompagné de quelques averses. On observe une très bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. La contiguïté des courbes traduit une bonne concordance des données, que ce soit en termes d'intensité des vents ou de synchronisation temporelle. On remarque toutefois un biais plus important en fin de période qui s'explique par le passage du minimum dépressionnaire sur la zone surveillée, avec des vents qui deviennent alors très variables en direction et en force. La résolution temporelle des observations, bien meilleure que celle du modèle, fait également apparaître des variations plus rapides liées aux phénomènes locaux (averses, grains, orages,...).

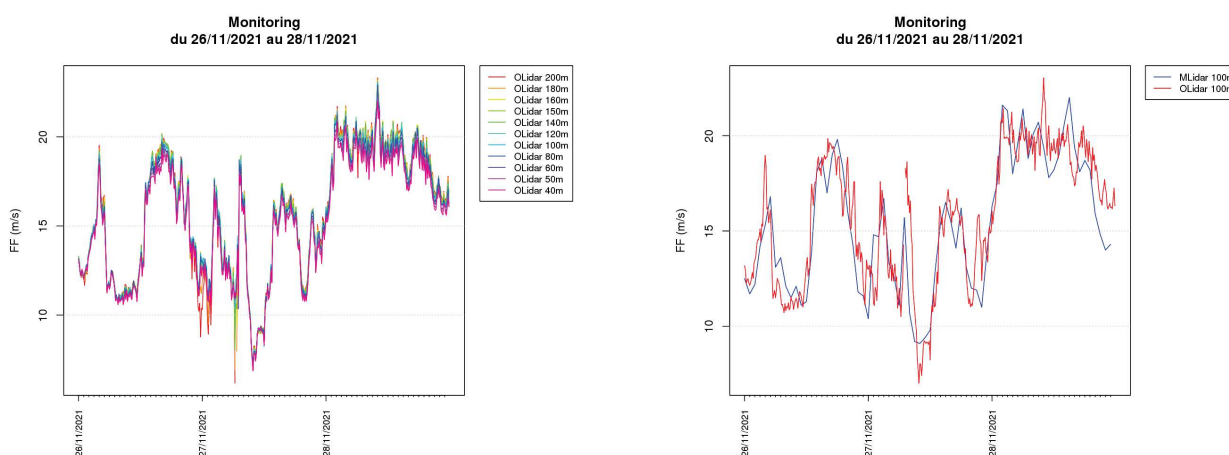


Illustration 9 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite)

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 ne mesure pas de façon très fiable les très 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 déceler d'éventuelles dérives. Les éventuels 'pics d'erreur' ainsi détectés doivent être interprétés avec précaution, notamment pour les directions. Un pic pouvant être dû à plusieurs raisons :

- lors d'une période de vents faibles, le vent est par nature sans secteur bien établi et donc avec des directions fluctuantes. Il n'est pas anormal de constater dans ce cas de potentielles grosses différences de directions avec le modèle.
- une absence partielle de données sur la période glissante de 24 heures. Si peu de données ont été enregistrées durant 24 heures, une seule erreur en direction peut alors prendre un poids important dans le résultat.
- une dérive du lidar ou une mauvaise performance du modèle marquée des erreurs en direction alors que le vent est soutenu.

Les graphiques de monitoring mis à disposition dans le livrable accompagnant ce rapport sont donc à mettre en regard avec le code qualité des données LiDAR et avec la force du vent moyen. Ces informations peuvent être retrouvées dans le fichier `SerieLidarH100_MedD_20210610-20220709.csv`

L'exemple de monitoring pour le mois de novembre 2021 en est une bonne illustration (cf illustration 10).

Aucune erreur de force significative sur le vent moyen n'est à noter durant le mois de novembre 2021. Le biais n'excède le seuil de 3m/s seulement durant quelques heures le 24/11 en fin de journée pour un vent de secteur d'Est assez marqué de 14 à 20 m/s. Nous verrons, dans la suite de ce rapport, une certaine difficulté du modèle à parfois bien représenter les vents les plus forts venant du secteur est à sud-est ou nord-ouest à nord.

Analyse du pic pour les directions du 20 et 21/11 de l'illustration 10 :

- Ce mois de novembre 2021 a la particularité d'avoir été assez agité, les vents n'étant quasiment jamais descendus sous les 5 m/s, hormis le 20/11/2021. Ce jour-là, le vent n'a pas excédé les 3,5 m/s. Il est intéressant de noter qu'il s'agit là de la seule 'erreur' particulièrement notable dans le graphique de l'illustration 10 (erreur de 40°) qui s'explique d'une part par le caractère variable des directions du vent lorsque celui-ci est faible et qu'aucun flux n'est clairement établi, et d'autre part par une absence partielle de mesures. A contrario, pour la situation du 26 au 28 novembre abordée au 3.1.2 avec des vents systématiquement supérieurs à 8 m/s, on note que le biais est quasi nul.
- A cela s'ajoute le 21/11 une absence de mesures par le lidar de 8h à 14h (cf 3.1.1).

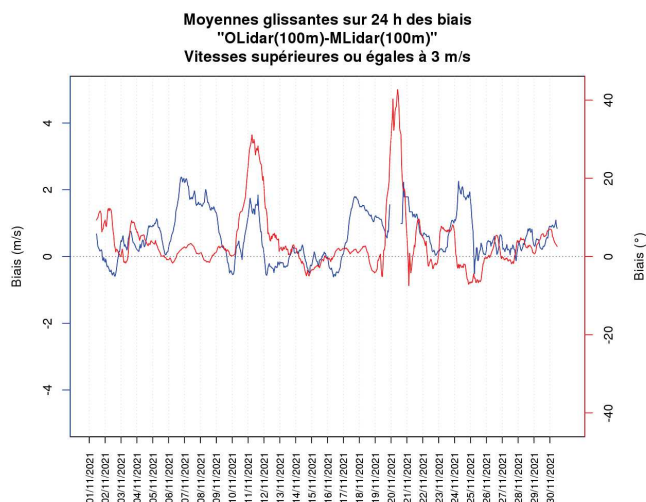


Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge)

3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses

Le LiDAR fournit moins de données d'observations lorsque l'altitude augmente, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Au-dessus de 160 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 du LiDAR
Juin 2021	Réception des données à compter du 10/06.
Juillet 2021	RAS
Août 2021	RAS
Septembre 2021	RAS
Octobre 2021	- Mauvaise reconstruction des données du 1 au 3 octobre suite à une intervention sur la bouée pour une maintenance. - Du 25/10/2021 au 03/05/2022 : Dysfonctionnement de l'essuie-glace sur le hublot du lidar provoquant par moment l'encrassement de celui-ci. 1 des faisceaux laser a été en particulier affaibli par cet encrassement faisant chuter la disponibilité des données sur la période. Grâce à un post-traitement à partir des faisceaux restants fonctionnels, il a toutefois été possible de reconstituer les données de direction et de force du vent avec une bonne qualité.
Novembre 2021	La reconstruction des données suite au post-traitement indiqué précédemment s'est avérée impossible ou de mauvaise qualité sur certaines plages temporelles notamment pour les journées du 21 et du 25 (code qualité de la série temporelle horaire mis à 21 ou 3).
Décembre 2021	<u>Absence de données de cap nominales du 29-11 au 15-12-2021.</u> La sauvegarde des données de cap sur le système d'acquisition à un pas de temps dégradé a permis de reconstituer les directions de vent avec une bonne qualité que ce soit pour le lidar ou la weather station.
Janvier 2022	- Absence de mesure weather station du 03 au 06 janvier - <u>Absence de données de cap nominales du 12-01 au 24-01-2021</u> La sauvegarde des données de cap sur le système d'acquisition à un pas de temps dégradé a permis de reconstituer les directions de vent avec une bonne qualité que ce soit pour le lidar ou la weather station.
Février 2022	Absence de mesure de cap le 07, 10 et 24/02 ne permettant pas de corriger les données de direction de vent par rapport au nord magnétique
Mars 2022	RAS
Avril 2022	RAS
Mai 2022	Remplacement le 03/05/2022 de l'essuie-glace et du bras d'essuie-glace.
Juin 2022	Absence de données de cap nominales du 30/05/2022 au 17/06/2022. La sauvegarde des données de cap sur le système d'acquisition à un pas de temps dégradé n'a pas permis de reconstituer les directions de vent avec une qualité acceptable (suite à expertise de Météo-France) contrairement à l'épisode de décembre 2021.
Juillet 2022	RAS

Août 2022	Fin de campagne de mesure le 09/08/2022
------------------	---

Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR

Certains des incidents listés ci-dessus ont entraîné la mise en œuvre de solutions techniques complémentaires lourdes pour disposer de données sur les périodes impactées. (re-calcul des données de vent à partir des faisceaux non encrassés et restant fonctionnels par exemple).

L'expertise de Météo-France a ensuite conduit à identifier plusieurs périodes de données douteuses s'avérant concomitantes avec la mise en place de ces solutions. Des erreurs ont ainsi été révélées et ont pu être corrigées. Ces différentes étapes de travail ont parfois engendré d'importants délais à l'issue de la campagne.

Par ailleurs, l'attente des nouveaux résultats pour les périodes concernées ne permettait pas de connaître les taux de disponibilité KPI finaux (cf 3.1) et ne permettait donc pas de déterminer la date de fin de campagne possible, ce qui a également entraîné des délais avant de pouvoir commencer à établir le présent rapport.

La date de fin de campagne a été in fine fixée à la même date que pour la campagne de mesure qui a été menée en parallèle sur la zone 1 de l'AO6 (09/07/2022), mais le travail en amont du livrable de re-traitement des données a demandé des ressources bien plus importantes.

Données ayant fait l'objet d'une correction suite à expertise de Météo-France			
Période concernée	Paramètre concerné	Cause de l'erreur lors de la mise en place de la solution technique	Correction effectuée et qualité des données reprotraitées
25/10/2021 - 03/05/2022	- Faible disponibilité des données - Mauvaises valeurs pour les forces du vent pour les jours ayant nécessité un re-postraitement à partir des faisceaux restants fonctionnels.	Le postraitement à partir des faisceaux restants fonctionnels n'avait pas été répercuté sur les fichiers moyennés 10 minutes corrigés du mouvement.	Reconstitution (post-traitement des faisceaux restants fonctionnels) et émission des fichiers avec les bonnes valeurs
29/11/2021 - 15/12/2021	DD	Erreur de traitement de la donnée de cap lorsque celle-ci était issue du système de sauvegarde en back-up (MVT3, voire notice du livrable NOTE.TXT)	Correction de l'erreur et recalcul de la direction
12/01/2022 - 24/01/2022	DD		

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.

Environ 9 % des valeurs enregistrées par le LiDAR sortent des seuils fixés, à savoir un écart de force de vent supérieur à 5 m/s et/ou un écart en direction supérieur à 30° (cf. Illustration 11). Ce nombre de données hors seuil est en légère baisse comparativement au rapport intermédiaire (notamment pour le critère de direction).

L'essentiel des dépassements de seuil concerne le critère de direction pour des forces de vent faible ce qui s'explique par le fait que le flux dans ces situations n'est pas clairement établi, le vent prenant un caractère « variable ». En revanche, contrairement à d'autres campagnes de mesures du même type, il peut être noté que :

- des dépassements du seuil de direction persistent, y compris pour des vents modérés et forts (y compris au-delà de 10 m/s) mais ce constat est moins net que lors du rapport intermédiaire. Ceci signifie que les directions ont été globalement mieux appréhendées par le modèle sur la deuxième moitié de campagne,
- des dépassements concernant le seuil de force de vent se produisent surtout lors de situations de vent fort (> 10 m/s) avec dans la grande majorité de ces cas, un relevé LiDAR supérieur à la valeur du modèle AROME (cf carrés orange et rouge sur le graphique de gauche).

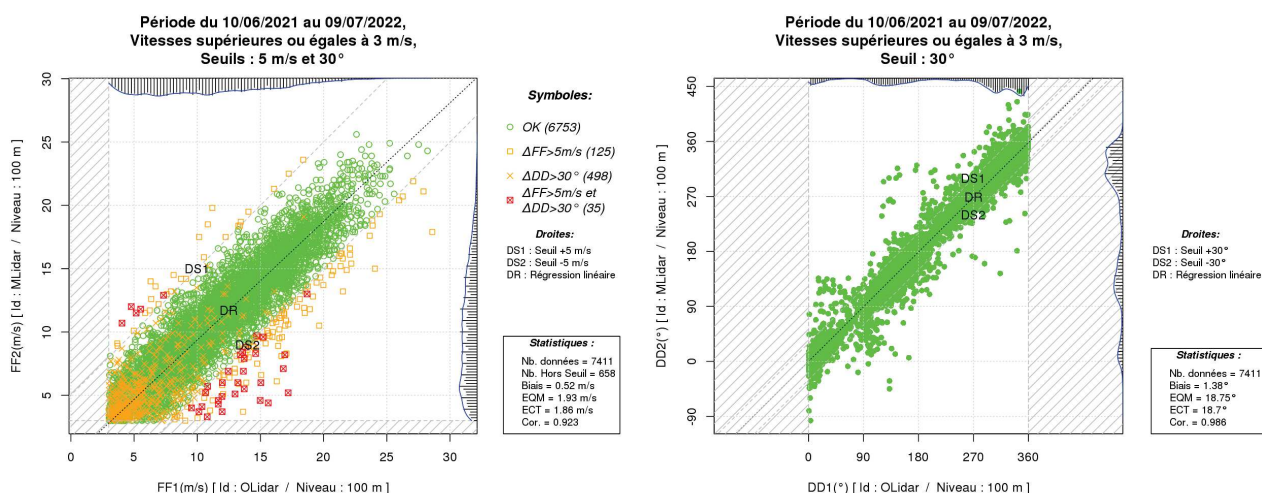
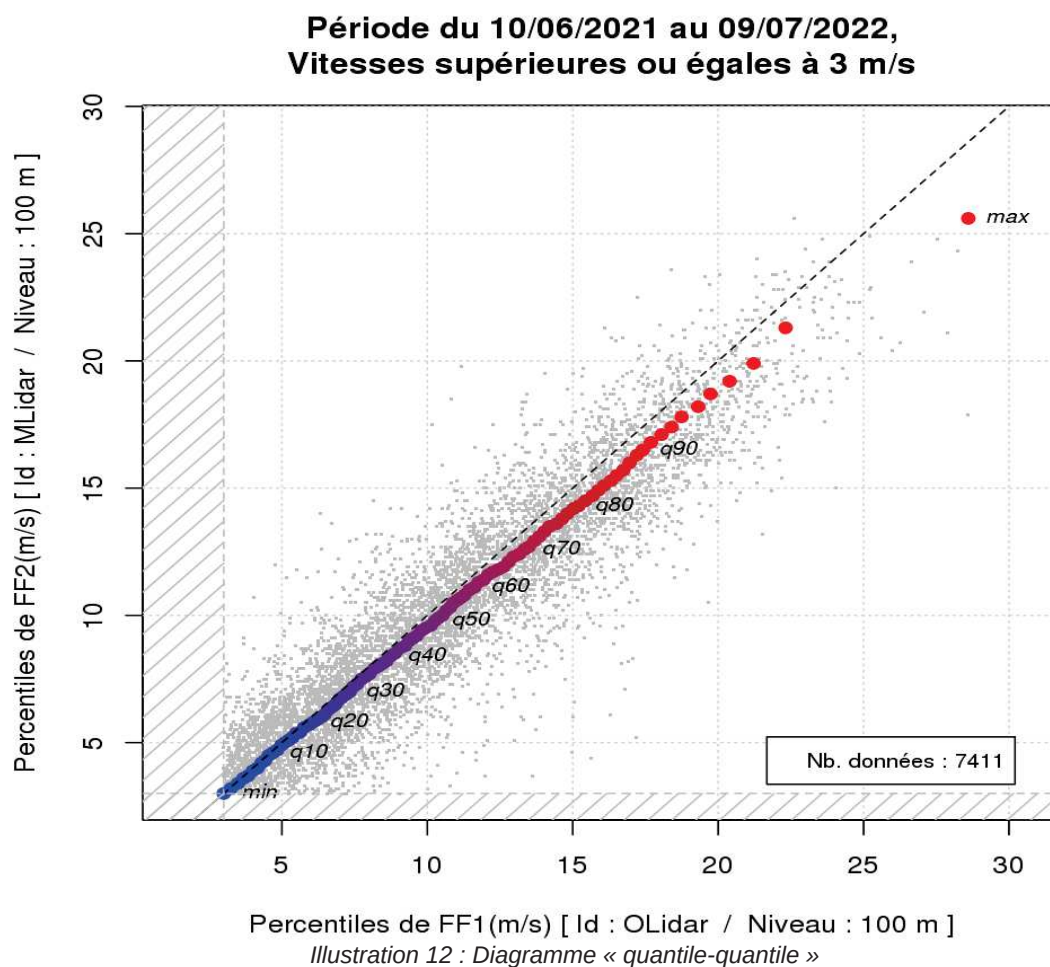


Illustration 11 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent entre l'échantillon observé et celui du modèle AROME se situe sous la première bissectrice sans toutefois s'en éloigner fortement jusqu'au Q60, à partir duquel l'éloignement à la première bissectrice est plus marqué. En d'autres termes, les vents relevés par le lidar sont globalement plus forts que ceux fournis par le modèle AROME, cette différence augmentant avec la force du vent.



3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR

Quelle que soit l'heure, le modèle ne présente qu'un très faible biais non systématique sur les directions, de moins de 3° par rapport à l'observation. De plus, pour la moitié des données (intervalle inter-quartile des boîtes à moustaches), les différences de direction entre le lidar et le modèle n'excèdent jamais 5 à 10°. A noter que les valeurs apparaissant comme aberrantes, matérialisées par des ronds, correspondent à des différences quasiment systématiquement > 30°. Il s'agit ainsi des données qualifiées de douteuses car hors seuil (cf paragraphe 2.2.1.3).

Aucun biais n'émerge selon la direction considérée si ce n'est pour le secteur sud-ouest, avec une sur représentation du modèle de l'ordre de 8° (composante plus ouest). Ceci doit cependant être tempéré par le fait que les vents venant de ce secteur ont été très peu fréquents (4 % des cas). Pour les secteurs dominants Nord, Nord-Ouest et Sud-Est, le biais n'excède pas 2.40°.

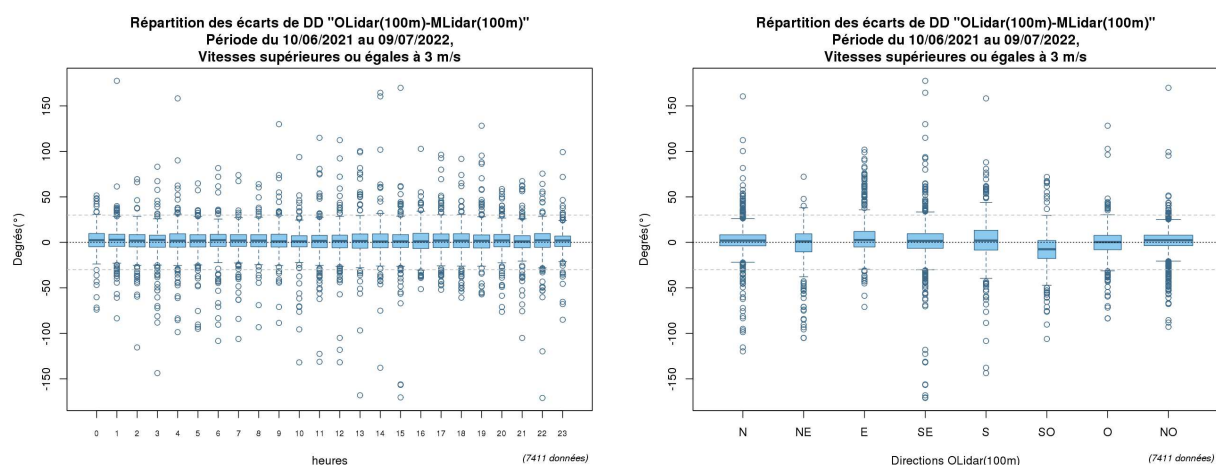


Illustration 13 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

D'une manière générale, quel que soit le secteur, les dépassements du seuil pour la force du vent (écart > 5 m/s entre le LiDAR et le modèle) restent très rares : ils représentent moins de 2,1 % des données (cf. Illustration 14 à gauche). Avec 6 % des vents de secteur « Est » franchissant ce seuil, ce secteur est le plus concerné par les dépassements mais il s'agit toutefois d'un secteur peu représentatif. En revanche, pour les secteurs Nord à Nord-Ouest et Sud-Est qui sont prépondérants, ces dépassements n'excèdent pas 3 %. A noter également que seuls 31 des 160 cas de dépassement du seuil de vitesse (histogrammes bleus/histogrammes roses sur le graphique de gauche de l'illustration 14) sont attribués à une force plus importante du modèle AROME. Ceci confirme le constat effectué précédemment à l'illustration 11 (le modèle ayant tendance à s'éloigner des relevés du LiDAR lors de situations de vent fort en simulant la plupart du temps des forces de vent plus faibles que l'observation LiDAR).

Plus le flux est établi avec des vitesses de vent importantes, moins les erreurs de directions surviennent. A contrario, il est rappelé que plus le vent est faible et plus celui-ci a tendance à prendre un caractère variable sans secteur bien défini. Ceci explique le nombre plus important d'écarts pour les vitesses les plus faibles. Cependant, on enregistre encore dans 3 % des cas des dépassements du seuil de direction pour des forces entre 13 et 14 m/s (environ 50 km/h). Bien que plus rares en proportion que lors du rapport intermédiaire, ces dépassements attestent tout de même d'une difficulté à modéliser parfaitement les vents forts (cf. Illustration 14 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.

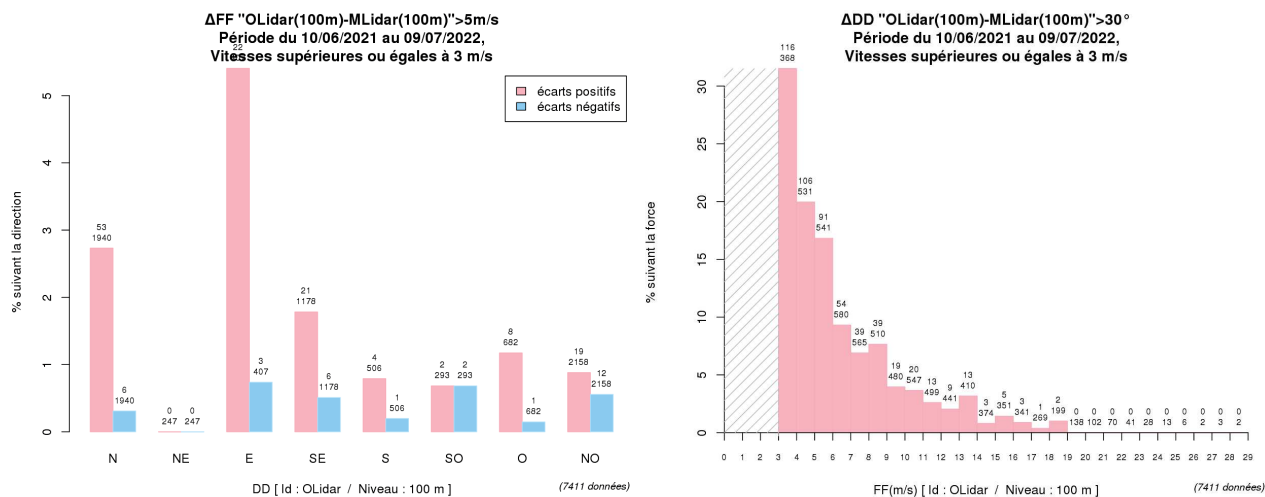


Illustration 14 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR

3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré

En préambule, afin de se faire une idée plus précise des conditions météorologiques rencontrées durant les six mois de mesure, une description détaillée de la climatologie saisonnière figure en Annexe 2 .

3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR

La campagne de mesure a permis de mesurer des données moyennées sur 10 minutes, représentatives d'un point de vue météorologique du vent « moyen ». La plupart des graphiques présentés dans ce rapport sont quant à eux basés sur les données horaires uniquement (soit les données moyennées sur les 10 dernières minutes avant l'heure ronde) pour permettre la comparaison avec le modèle AROME (cf 3.1.1).

Sur l'ensemble de la campagne, le tableau suivant permet de constater que les forces de vent se distribuent de manière identique que l'on regarde les données mesurées toutes les 10 minutes ou seulement les données horaires (cf tableau 3). En effet, quelle que soit la classe de vitesse de vent ou le mois considéré, les taux ne diffèrent pas de plus de 2,5 %. Les seuls écarts un peu plus importants concernent le mois de juin 2022. Ceci peut s'expliquer par des problèmes techniques ayant empêché les mesures du LiDAR de façon récurrente (cf Tableau 2).

Dans le tableau suivant, le taux « brut » correspond à l'ensemble des données 10 minutes du LiDAR et le taux « reconstitué », aux données horaires de la série reconstituée (LiDAR + comblement des périodes sans mesures par le modèle).

Année	Mois	Nombre de cas	0 à 3m/s	3 à 5m/s	5 à 10m/s	10 à 15m/s	15 à 20 m/s	20 à 25m/s	25 à 30m/s	30 à 35m/s
2021	6	2969	7,9 %	10,1 %	48,9 %	30%	3,1 %			
		504	8,9 %	9,7 %	48,2 %	30%	3,2 %			
	7	4419	11,7 %	14,5 %	35,1 %	26,2 %	12,2 %	0,3 %		
		744	11,6 %	14,9 %	34,9 %	26,7 %	11,6 %	0,3 %		
	8	4419	13,4 %	17,4 %	33,9 %	24,2 %	11%	0,1 %		
		744	13,2 %	17,7 %	32,9 %	24,9 %	11,2 %	0,1 %		
	9	4285	13%	18,6 %	38%	24,7 %	5,6 %			
		720	13,1 %	18,2 %	38,2 %	24,9 %	5,7 %			
	10	4043	11,6 %	12,7 %	22%	26,9 %	22,1 %	4,7 %	0%	
		744	13,7 %	13,6 %	20,4 %	27%	20,6 %	4,7 %		
	11	4254	5,6 %	4%	24%	33,6 %	28,9 %	4%		
		720	5,6 %	4,4 %	24,4 %	32,8 %	29%	3,8 %		
	12	4456	7,2 %	14,7 %	34,7 %	19,9 %	16,7 %	6%	0,7 %	
		744	6,7 %	14,9 %	34,5 %	20,7 %	16,7 %	5,8 %	0,7 %	
2022	1	4296	7,1 %	15,5 %	23,6 %	23,7 %	21,2 %	8,3 %	0,6 %	
		744	7,3 %	15,3 %	24,6 %	22,7 %	21,4 %	8,3 %	0,4 %	
	2	3706	7,6 %	9,6 %	17%	26%	32,3 %	7,1 %	0,5 %	
		672	8,5 %	10,4 %	17,9 %	24,1 %	31,4 %	7,3 %	0,4 %	
	3	4016	7,5 %	15,6 %	40,5 %	19,7 %	14,2 %	2,3 %	0,1 %	
		744	9%	15,1 %	38%	19%	15,7 %	3,2 %		
	4	3850	8%	12,2 %	35,2 %	29,7 %	11,1 %	3,5 %	0,3 %	
		720	7,2 %	13,1 %	34,7 %	28,3 %	10,7 %	5%	1%	
	5	4081	16,9 %	19,1 %	31,6 %	23,9 %	8,2 %	0,2 %		
		744	17,7 %	20,2 %	32,4 %	21,9 %	7,5 %	0,3 %		
	6	1858	4,4 %	10,3 %	47%	34,9 %	3,4 %			
		720	9,4 %	13,2 %	40,6 %	30,4 %	6,2 %	0,1 %		
	7	1289	10,3 %	10,6 %	27,3 %	39,9 %	9,8 %	2,2 %		
		216	10,6 %	9,7 %	26,4 %	42,1 %	8,3 %	2,8 %		
Total		51941	9,7 %	13,6 %	32,2 %	26,2 %	15,1 %	2,9 %	0,2 %	0,0 %
		9480	10,2 %	14,0 %	32,0 %	25,9 %	14,7 %	3,0 %	0,2 %	0,0 %

Tableau 3: Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR

3.3.2.2 Distributions

La comparaison des distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 100 m sont proches mais montrent un biais général du modèle avec des forces de vent globalement plus faibles pour AROME (cf. Illustration 15) :

- les quantiles apparaissant ci-dessous (cf illustration 15) dans l'encart montrent systématiquement des valeurs plus faibles pour le modèle ;
- en comparant les histogrammes, on constate que les vents faibles, inférieurs ou égal à 5m/s, sont plus fréquemment modélisés par AROME qu'observés par la mesure LiDAR. A contrario, les vents les plus forts , supérieurs à 16 m/s, sont sous-représentés par AROME.

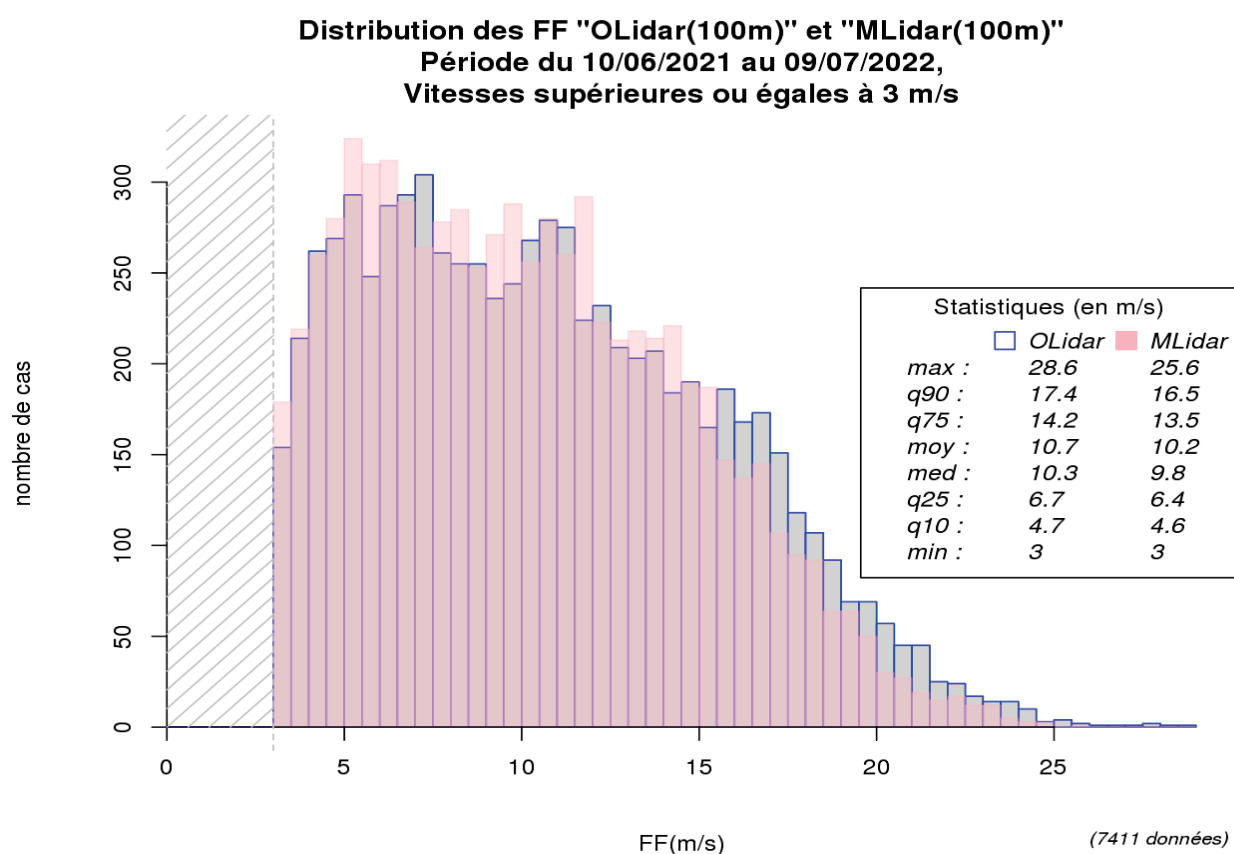


Illustration 15 : Distributions des vents horaires du LiDAR

Les distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100 m figurent en Annexe 3.

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

On constate dans l'illustration 16 un cycle diurne. Au cours de la nuit et jusqu'en matinée (globalement de 22h à 6h UTC), les médianes horaires des observations et du modèle sont supérieures à la médiane de la période totale (d'environ 0,5 à 1,5 m/s). En journée (de 10h à 18h), on observe l'effet inverse.

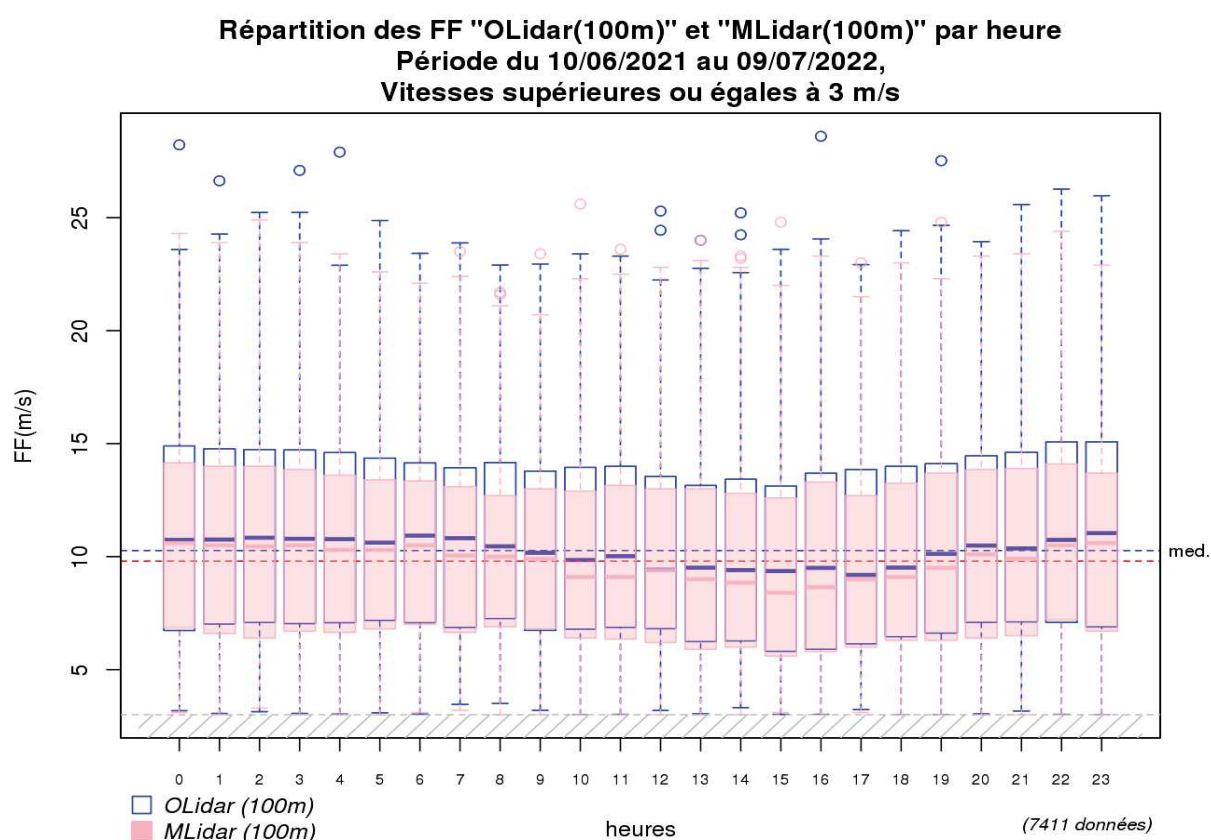


Illustration 16 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR

Les répartitions horaires, par mois, des forces de vent du LiDAR à 100 m figurent en Annexe 4.

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

On observe des disparités sur les répartitions mensuelles (cf. Illustration 17) qui s'expliquent par la climatologie de la période. Un cycle annuel se dessine. Les vents les plus forts se sont produits en période hivernale à l'exception des mois de décembre 2021 et mars 2021 qui ont été particulièrement calmes. (cf tableau 4 de comparaison des stations d'observations avec la climatologie). A contrario, la période estivale 2021 et le printemps et début d'été 2022 sont en dessous de la médiane de l'ensemble (le mois de juillet 2022 ne comprend que les 9 premiers jours et doit être considéré avec précaution).

Il est intéressant de noter que les boîtes à moustaches issues des données du modèle (en rose) sont quasi-systématiquement inférieures (médiane, intervalle inter-quartile et moustaches) aux boîtes à moustaches établies à partir des données du LiDAR. Une nouvelle fois, ceci atteste d'un biais de sous-estimation des forces du vent par le modèle AROME. L'imputabilité du biais au modèle a été vérifiée dans une étude complémentaire dont les résultats sont présentés de manière synthétique au paragraphe 5.

Précisons que les lignes pointillées dans cette illustration 17 montrent les médianes des forces de vent sur l'ensemble des 13 mois de la campagne mais ne doivent pas être confondues avec une normale climatologique. Par conséquent, l'illustration 17 doit être mise en regard avec le tableau 4 pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation. Par exemple, la médiane des forces de vent au mois de décembre 2021 est équivalente à la médiane des forces de vent sur l'ensemble de la campagne mais ce mois n'a pas été aussi venté que d'habitude. Au contraire, il a été particulièrement calme pour un mois de décembre (cf tableau 4).

Répartition des FF "OLidar(100m)" et "MLidar(100m)" par mois
Période du 10/06/2021 au 09/07/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

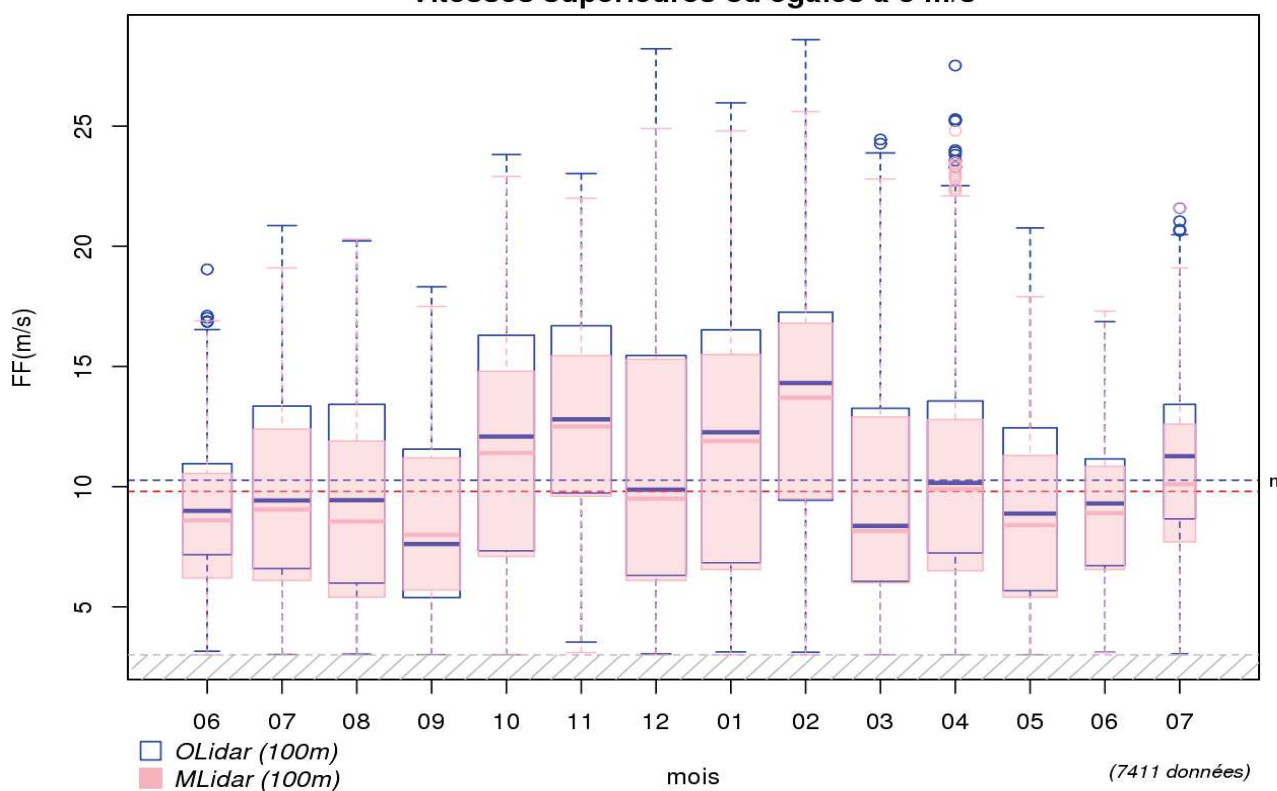


Illustration 17 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR



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 pour les stations de Béziers et Arles (stations choisies comme référence du LiDAR au § 1.1).

Au total, la période étudiée a été légèrement moins ventée que la normale avec moins de vents forts (> 8 m/s) et plus de vents faibles (< 5 m/s) que ce soit à Arles ou Béziers. Ce constat est un peu plus marqué pour Arles. Ces résultats restent toutefois assez proches de la climatologie (statistiques 2001-2020).

De manière plus précise, il existe des disparités mensuelles et entre les deux stations (tableaux 4 et 5):

- on ne relève que peu d'écarts significatifs par rapport à la climatologie de la station de Béziers choisie pour sa représentativité des vents de secteurs Est et Ouest (surlignés en rouge ou bleu dans le tableau 5). Lorsqu'ils existent, ces écarts matérialisent le plus souvent une plus grande occurrence de vents faibles en particulier durant la période hivernale (de décembre 2021 à mars 2022).

- la station de Arles, caractéristique des vents de secteur Sud et Nord, a connu quant à elle plus de mois s'éloignant de leur climatologie. Octobre 2021 et janvier 2022 ont été plus agités que la normale. Tandis que septembre 2021, décembre 2021 et mars 2021 ont été particulièrement calmes par rapport à la climatologie.

	2021						
Vitesses en m/s	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
> 8	12,5 <u>4,4</u>	10 7,3	8,7 11,8	13,2 <u>2,5</u>	15 <u>20,4</u>	18,2 <u>13,6</u>	17,2 <u>8,3</u>
[4.5, 8.0[	31,8 <u>40,1</u>	34,2 34,8	30,9 29,6	25,6 <u>19,2</u>	28,1 27,6	28,4 <u>38,3</u>	28,9 <u>22,3</u>
[1.5, 4.5[	43,3 46	43,8 47,7	47,4 43,5	47,9 <u>60,3</u>	46,4 <u>41,2</u>	45,1 43,1	46,4 <u>58,6</u>
[0, 1.5[	12,4 9,5	12 10,2	13 15,1	13,3 <u>18,0</u>	10,5 10,8	8,3 5	7,5 10,8

	2022							
Vitesses en m/s	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Total campagne
> 8	19,2 <u>24,7</u>	22,2 20,7	20,8 <u>8,3</u>	17,5 13,8	16 <u>11,3</u>	12,5 <u>7,1</u>	10 7,5	15,1 11,5
[4.5, 8.0[	29,5 <u>23,3</u>	30,4 32,3	29,6 <u>21,8</u>	33,4 30,8	33,5 30,2	31,8 35,8	34,2 31,6	30,7 29,8
[1.5, 4.5[	43,5 42,9	39,9 39	41 <u>58,3</u>	40,5 44,9	40,1 42,7	43,3 44,9	43,8 45	43,8 47,1
[0, 1.5[	7,8 9,1	7,5 8	8,6 11,6	8,6 10,5	10,4 <u>15,8</u>	12,4 12,2	12 15,9	10,3 11,7

Tableau 4: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2021 (en italique, en %) des forces de vent de la station d'Arles ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale

	2021						
Vitesses en m/s	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
> 8	5,9	6,5	5,1	5	6,9	8,5	7,7
	2,4	8,2	3,9	2,1	5,5	8,2	9
[4,5, 8,0[	32,6	34,8	31,1	25,5	28,7	30,3	26,7
	42,4	34,7	28,5	28,9	29,7	31,3	20,3
[1,5, 4,5[	49,8	47,7	50,5	53,3	49,6	48,3	49,1
	50,8	47,6	49,9	55	47	52,5	41,9
[0, 1,5[	11,7	11	13,3	16,2	14,8	12,9	16,5
	4,4	9,5	17,7	14	17,8	8,0	28,8

	2022							
Vitesses en m/s	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	Total campagne
> 8	9,9	12,5	12,6	9	9,2	5,9	6,5	7,9
	7,3	15,8	9,5	12,8	6,7	4	3,4	6,9
[4,5, 8,0[	29,9	30,2	30,6	35,1	32,9	32,6	34,8	31,1
	29,3	34,8	29,8	33,9	31,9	40,1	37,1	32,3
[1,5, 4,5[	46,2	44	44,5	45,6	47,2	49,8	47,7	48,1
	43,4	43,2	49,3	45,7	48,5	44,4	44,8	47,5
[0, 1,5[	14	13,3	12,3	10,3	10,7	11,7	11	12,8
	20	6,2	11,4	7,6	12,9	11,5	14,7	13,3

Tableau 5: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2021 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Béziers ; 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 2 .

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**).

Si la rose des vents issue des données modélisées par le modèle AROME (à droite dans l'illustration 18) et la rose des vents obtenue à partir des données observées par le LiDAR (à gauche dans l'illustration 18) peuvent paraître ressemblantes à première vue, des différences en termes de direction et d'intensité sont à noter :

- la direction Nord pure (360°) est sous représentée par le modèle à la faveur du secteur Nord / Nord-Ouest (330°) ;
- la tendance à une sous-estimation des vents forts se confirme : -1,3 % pour les vents de plus de 20 m/s quels que soient les secteurs concernés ;
- ainsi, les vents forts de secteurs Nord (360°) dans le domaine du mistral constituent la divergence la plus importante (les vents de plus de 10 m/s ne représentent que 6,9 % des cas pour AROME contre 9,3 % pour le LiDAR). On note également une sous-estimation des vents les plus forts venant de secteur 120° (Sud-Est)
- a contrario, le modèle AROME surestime les vents faibles (+1,2 %).

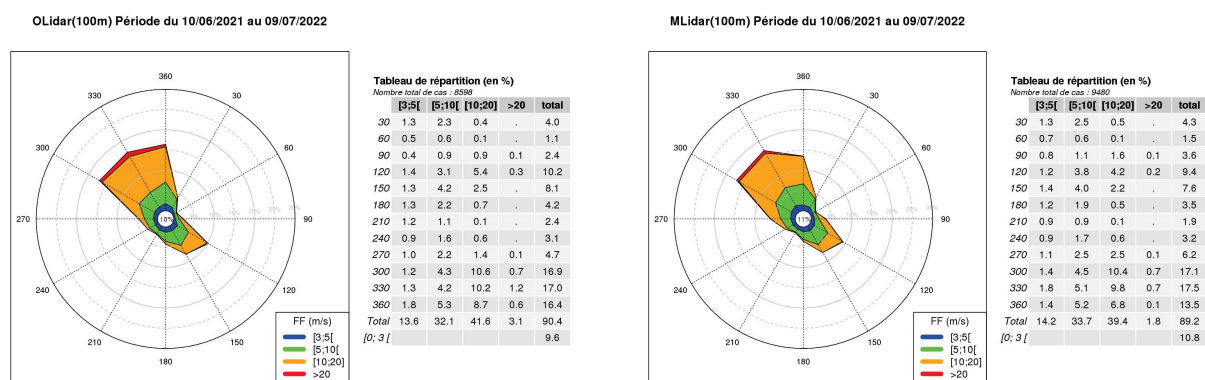


Illustration 18 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

Le tableau de contingence détaillé, présentant les forces de vents du LiDAR par classes de 1 m/s et par secteur de 30°, figure en Annexe 5.

Les roses des vents mensuelles élaborées à partir de toutes les données brutes **10 minutes** figurent en Annexe 6.

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 du LiDAR.**

Les profils horaires modélisés sur la couche allant de 40 m à 200 m sont cohérents avec les profils horaires observés. Cependant, ces profils modélisés présentent un biais de sous-estimation systématique, quel que soit le niveau d'altitude ou le quantile considéré. Ceci est également attesté par les vitesses du profil moyen observé (profil bleu en pointillés) supérieures d'environ 0,5 m/s par rapport à celles du profil moyen modélisé (profil rouge en pointillés).

Ce biais ressort d'autant plus nettement pour les quantiles élevés (0,5 m/s pour la médiane, 1 à 2 m/s voire plus pour le qmax selon le niveau considéré) et les plus hauts niveaux d'altitude. Ceci s'explique par les difficultés du modèle, déjà constatées précédemment, à bien évaluer les vents les plus forts.

Par ailleurs, les vitesses du profil moyen modélisé sur la période (profil rouge en pointillés) sont inférieures à celles du profil moyen issu de la climatologie AROME sur 20 ans (profil vert en pointillés). Ce résultat vient appuyer le constat déjà effectué au § 3.3.2.4 que la période durant laquelle s'est déroulée la campagne de mesure a été en moyenne moins ventée que la climatologie.

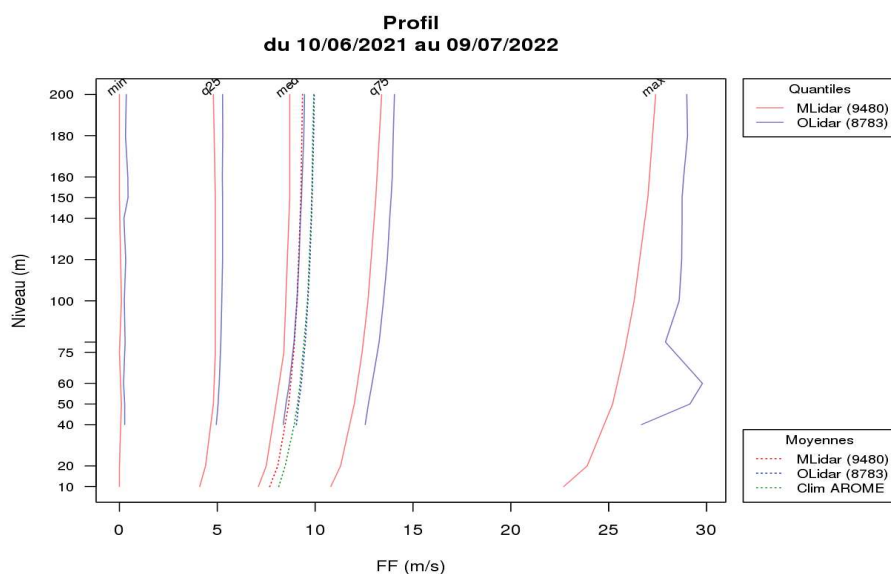


Illustration 19 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR

Les profils, par mois, des forces de vent du LiDAR figurent en Annexe 7.

3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, on observe un cisaillement de vent pour tous les secteurs (allant de 0,5 m/s à 1,2 m/s, excepté pour le secteur Nord-Est (secteur par ailleurs peu fréquent sur la zone de mesure). Ce cisaillement est en particulier plus marqué pour les directions d'Est à Sud-Est avec un cisaillement d'un peu plus de 1 m/s (cf. Illustration 20). Ces directions témoignent de passages perturbés qui créent du cisaillement en altitude. A noter que le cisaillement est un peu moins prononcé pour des vents venant des secteurs nord et nord-ouest (autres secteurs prédominants dans la zone de mesure et soumis à l'influence du mistral/tramontane) que pour des vents provenant du secteur sud-est.

Nous avons décidé de représenter le cisaillement de vent du modèle entre les niveaux disponibles les plus proches, 50 m et 150 m. On constate que les caractéristiques du graphique modélisé (illustration 20 à droite) sont bien comparables à celles observées (illustration 20 à gauche) avec toutefois un cisaillement légèrement plus faible pour l'ensemble des directions.

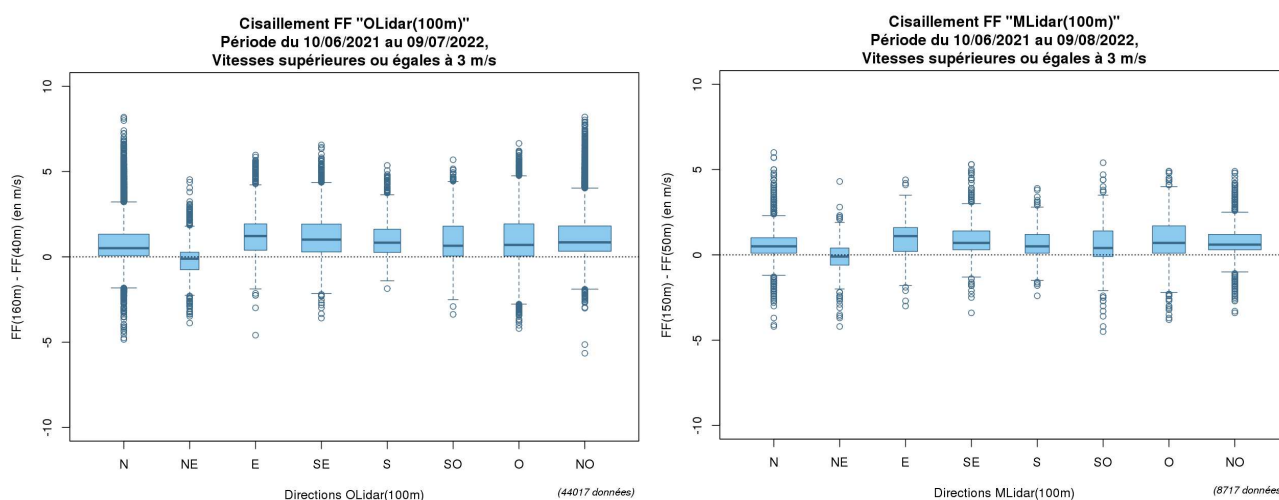


Illustration 20 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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 6) 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
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 6: Valeurs 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 21 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.

Pour les vents de secteur est à sud-est, on ne constate pas de cycle diurne/nocturne évident. A noter que le coefficient α pour le secteur vaut environ 0,10. Les vents d'un large secteur nord-nord-ouest (autre secteur prédominant de la zone) ont un coefficient α plus faible (médiane comprise entre 0 et 0,05) avec toutefois un cisaillement plus marqué la nuit que le jour concernant les vents d'Ouest-Nord-Ouest et Nord-Ouest (aucun cycle diurne en revanche pour les vents de Nord).

Le coefficient α est maximal pour les vents de Sud-Ouest, notamment sur la période nocturne mais il convient de noter que ces vents sont marginaux sur la zone d'étude.

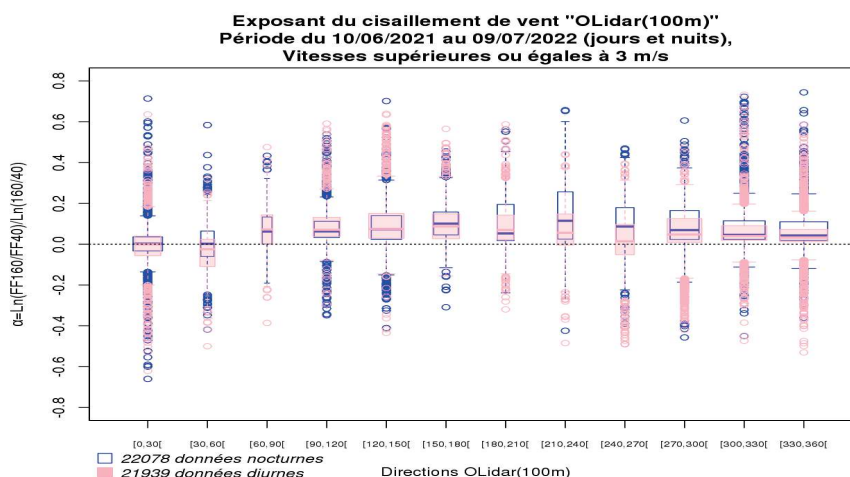


Illustration 21 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR

Les figures de l'exposant du cisaillement sur les périodes mensuelles se trouvent en Annexe 8.

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 :

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

Sur la période de la campagne de mesures, on constate que les vents de secteur nord-nord-ouest à nord-est présentent une intensité de turbulence légèrement plus forte que pour les autres directions. (cf. Illustration 22). Ceci s'explique par les vents forts turbulents dus au mistral.

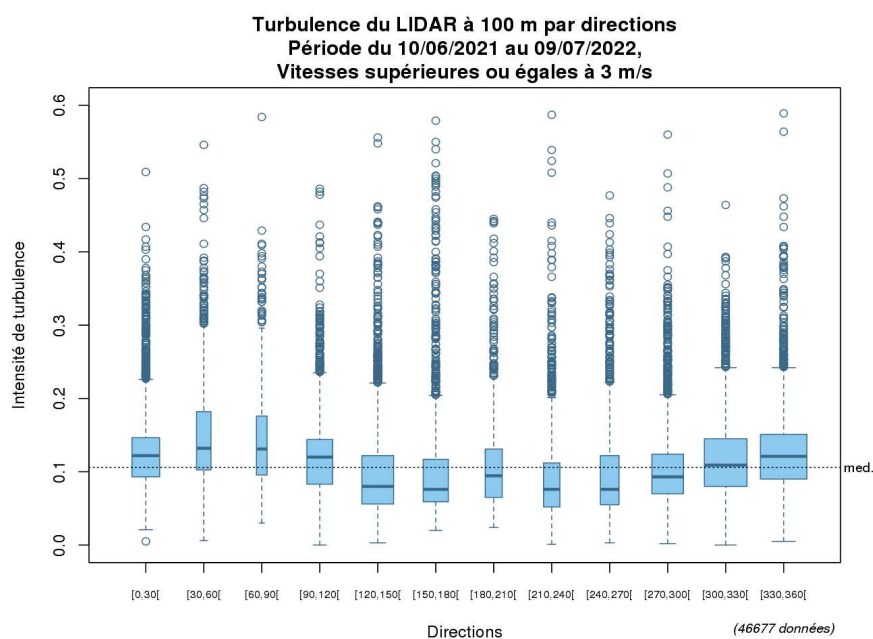


Illustration 22 : Turbulence du LiDAR

Les boîtes à moustaches mensuelles de l'intensité de turbulence du vent du LiDAR à 100 m, suivant les directions, figurent en Annexe 9.

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.



Illustration 23: Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR

Météo-France fournit au travers du fichier « SerieLidarH100_MedD_20210610-20220709.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) pour la période du 10/06/2021 au 09/07/2022. Ces paramètres sont accompagnés des codes qualité QFF, QDD et QFXI (cf. § 2.2.1.3 Codes qualité).

4 Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre

Nous effectuons des contrôles semblables à ceux du LiDAR sur la présence et la cohérence des données de vent de surface mesuré par l'anémomètre en considérant les seuils d'erreurs de forces et de directions respectivement de 3 m/s et 30° (cf. 2.2.1.1 Seuils de référence).

L'anémomètre étant installé sur la bouée à une hauteur de 4 m au-dessus de la mer, nous avons extrapolé les vitesses du vent à 10 m à l'aide de la formule logarithmique suivante² :

$$FF_{10m} = FF_{4m} \times \frac{\log(10/0,0002)}{\log(4/0,0002)}$$

Environ 23,5 % des valeurs enregistrées par l'anémomètre et extrapolées à 10 m sortent des seuils, ce qui est nettement supérieur à ce qui a été constaté pour le LiDAR (9 %).

Notons que pour l'intégralité des campagnes de mesures du même type sur d'autres zones, le taux de données hors seuil s'est systématiquement avéré plus important à 10 mètres qu'à 100 mètres. Ceci peut s'expliquer par le fait que les mesures de l'anémomètre sont extrapolées de 4 à 10 mètres de hauteur ce qui reste moins précis qu'une mesure directe à 10 mètres (impossible pour des raisons techniques). De plus, pour l'anémomètre toutes les données mesurées sont considérées (même les vents très faibles < 3m/s), ce qui n'est pas le cas pour le LiDAR (cf § 3.1.3). Or, en général, la plupart des dépassements surviennent pour les faibles forces de vent sur le critère de direction (ces cas de dépassement sont donc comptabilisés pour l'anémomètre alors qu'ils ne le sont pas le LiDAR).

Pour la présente campagne, nous constatons que :

- à l'instar d'autres campagnes de mesures, les dépassements du seuil de direction sont nombreux, notamment lorsque les forces de vent sont relativement faibles, autrement-dit dans des situations où le flux n'est pas clairement établi, le vent prenant un caractère « variable » (les dépassements deviennent rares pour des vents > 7m/s) ;
- contrairement à d'autres campagnes de mesures, les dépassements sur le critère de force sont également assez fréquents (9,2 % des cas). Ces dépassements en force sont dus en majorité à des forces modélisées inférieures à celles relevées par l'anémomètre. Ces dépassements ont la particularité de se produire pour toutes les gammes de force de vent (cf carrés orange et rouge dans l'illustration 24) y compris lors de situations de vent fort (> 10 m/s).

² Emeis, S., & Turk, M. (2007). Comparison of logarithmic wind profiles and power law wind profiles and their applicability for offshore wind profiles. In Wind energy (pp. 61-64). Springer, Berlin, Heidelberg.

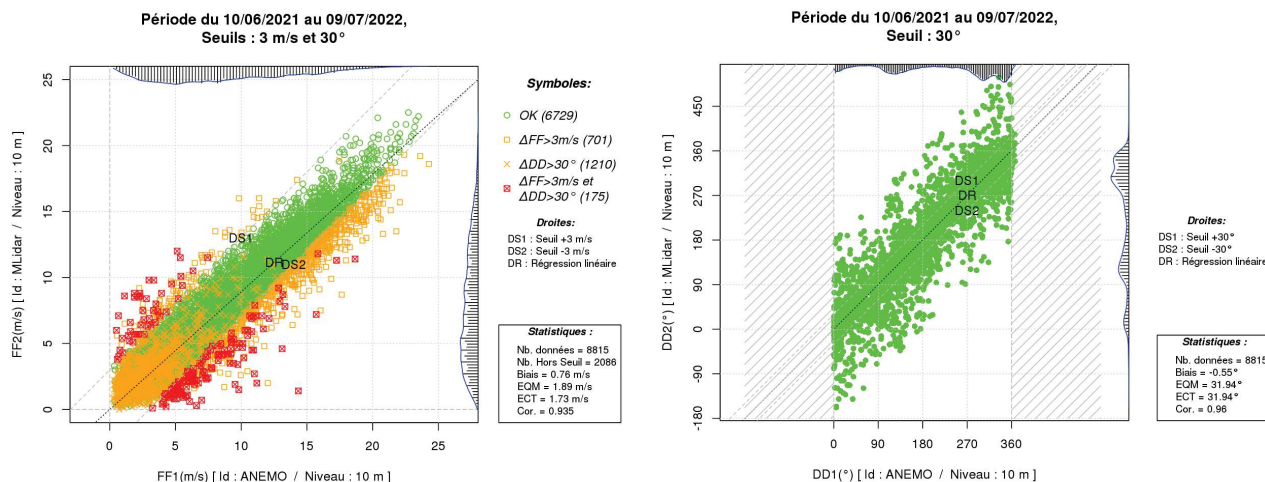


Illustration 24 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 10 m montrent un plus grand nombre de cas de vents faibles proposés par le modèle (vents entre 2 et 5 m/s) et un moins grand nombre de situations de vents forts (au-delà de 15 m/s).

De même le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent entre l'échantillon observé et celui du modèle AROME se situe sous la diagonale dès le Q25, sans toutefois s'en éloigner fortement jusqu'au Q60, à partir duquel l'éloignement à la diagonale se fait un peu plus marqué. En d'autres termes, les vents relevés par l'anémomètre sont globalement plus forts que ceux fournis par le modèle AROME. Cette différence devient d'autant plus significative que les vents sont forts. A noter toutefois la difficulté d'extrapolation de la

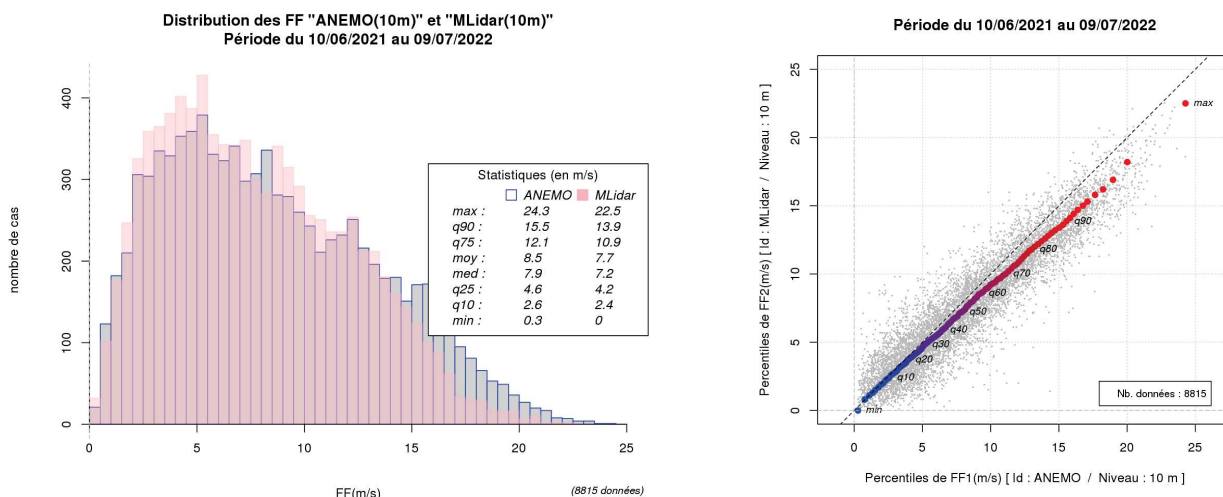


Illustration 25 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)

mesure à 10 m.

4 Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre



La forme de la rose des vents de l'anémomètre présente de très nombreuses ressemblances avec celle du modèle AROME à 10 m. On note toutefois sensiblement moins de vent fort >10m/s pour le modèle (-6,1 %) et plus de vents inférieurs à 3 m/s (+1,6 %).

A l'instar de la comparaison effectuée au niveau 100 m, cette sous-estimation des forces du vent par le modèle AROME se retrouve donc au niveau 10 m.

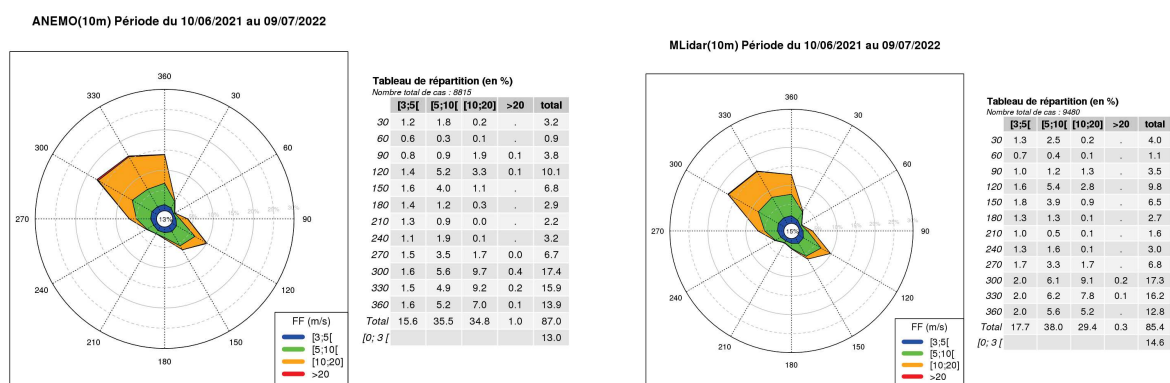


Illustration 26 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre

5 Etude complémentaire pour confirmer et caractériser l'origine du biais constaté

Le biais constaté sur la zone 2 en Méditerranée entre le modèle AROME et la mesure LIDAR a fait l'objet d'une étude complémentaire par Météo-France de sorte à déterminer si ce biais provenait d'une dérive du capteur de mesure ou bien de la modélisation. Les résultats obtenus au moment de l'écriture de ce rapport sont rapportés ci-dessous. Des approfondissements pourront être apportés dans de futures études.

Pour ce faire, Météo-France a comparé le modèle AROME avec une source de données tierce, à savoir un autre LiDAR flottant proche de la zone d'étude.

Cette étude a tout d'abord mis en évidence que le biais provient bien du modèle AROME. Les deux sources de données LiDAR sont concordantes entre elles tandis que le modèle propose des forces de vent plus faibles que ces deux lidars.

Cette étude s'est ensuite attachée à analyser le biais selon divers aspects (en fonction des niveaux de hauteur considérés, des secteurs de vent, de l'épaisseur de la couche limite atmosphérique, de l'état de mer, de différentes résolutions et échéances du modèle, de la nature de la situation météorologique : situations convectives...), afin de mieux en comprendre le comportement dans la zone d'intérêt.

Il en ressort à ce stade que :

- plus le niveau considéré est élevé, plus le biais est fort (le biais est plus marqué à 200 m qu'à 40 m) ;
- les secteurs non dominants de vent ont aussi des biais ;
- plus la mer est formée, plus les intensités de turbulence sont fortes et plus le biais est fort. Toutefois ces deux paramètres sont liés à la force du vent (la mer du vent se forme, comme son nom l'indique, sous l'effet du vent). Il n'est donc pas aisé de déterminer à quel paramètre est réellement imputable l'origine du biais.
- le biais est plus élevé lorsque la couche limite atmosphérique (CLA) est basse ou haute.
- les situations orageuses ne semblent en revanche pas avoir d'impact sur le biais.
- considérer le modèle avec une résolution plus fine (1,3 km au lieu de 2,5km) n'a pas montré de réelle amélioration du biais.
- choisir l'échéance de prévision +1h plutôt que l'échéance 00h de l'analyse du modèle a également été testée. Ceci pour voir si la mise à l'équilibre des champs atmosphériques dans ses premières échéances de calcul suite à l'analyse a pu avoir un impact. Le calcul des scores n'a pas non plus montré d'amélioration.

6 Conclusion

Au cours de la campagne de mesure, le monitoring du LiDAR a permis de contrôler la présence des données sur les 11 niveaux de mesure.

Ce travail a conduit à :

- détecter la baisse de la disponibilité des mesures de vent du lidar entre octobre 2021 et mai 2022 et à apporter une solution palliative ;
- détecter des données erronées sur différentes périodes et pour différents paramètres (force de vent du LiDAR suite à l'encrassement du hublot, direction du vent du LiDAR et de la station de mesure en l'absence de données de cap nominales) ;
- faire corriger les données erronées lorsque cela s'avérait possible ;
- invalider dans le cas contraire, les paramètres concernés de l'échantillon de données retenues pour ce rapport (cas des directions de vent du 30/05 au 17/06/2022).

En comparant, à l'aide de statistiques descriptives, les observations de force et de direction validées au préalable avec les données du modèle AROME, nous avons pu établir que :

- les données observées sur la zone d'étude au large du golfe de Fos étaient, dans leur ensemble, cohérentes avec celles du modèle AROME.
- le modèle AROME a toutefois une tendance à sous-estimer les forces de vent quelque-soit le niveau d'altitude étudié. Cette sous-estimation est en particulier notable lors de situations de vents forts. Il convient de noter que Météo-France a effectué une vérification en interne pour s'assurer que ce léger biais relevait bien du modèle AROME et non de l'appareil de mesure.
- les divergences en direction entre le modèle AROME et les données observées sont un peu plus fréquentes que pour d'autres campagnes de mesures similaires sur d'autres zones en Méditerranée.

Par ailleurs, une série complète du vent horaire à 100 m a pu être créée et estimée sur les quelques périodes de mesures manquantes.

7 Bibliographie

Chatel, V., Dalphinnet, A., Merle, R., Mezdoor, A., Rouchy, N., Roulle, 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 des 27 et 28 novembre 2021 (forte Tramontane).....	49
Annexe 2 : Climatologie du 1er juin 2021 au 30 août 2022.....	50
Annexe 3 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	61
Annexe 4 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	64
Annexe 5 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR.....	67
Annexe 6 : Roses des vents mensuelles du LiDAR à 100m (données brutes).....	68
Annexe 7 : Profils de vent du LiDAR.....	71
Annexe 8 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	74
Annexe 9 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	77

Annexe 1 : Situation des 27 et 28 novembre 2021 (forte Tramontane)

Un puissant anticyclone installé sur le proche Atlantique associé à une dépression au voisinage du Bénélux dirigent un flux assez rapide de secteur Nord sur la moitié ouest de la France. Un minimum dépressionnaire voisin de 995hPa se creuse dans le Golfe de Gêne dans la nuit de samedi à dimanche, accentuant la Tramontane sur le Golfe du Lion. Quelques averses à caractère instable sont observées le samedi, suivi d'un temps plus sec le dimanche avec des pluies essentiellement dans l'intérieur des terres.

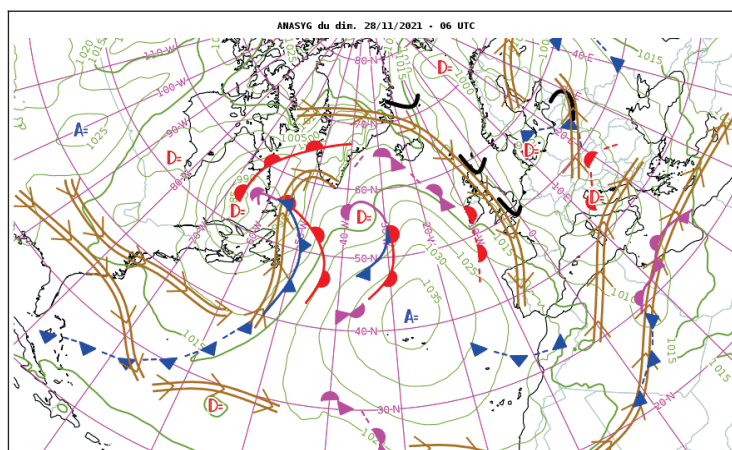


Illustration 27 : Anasyg du dimanche 28 novembre 2021 à 06 UTC

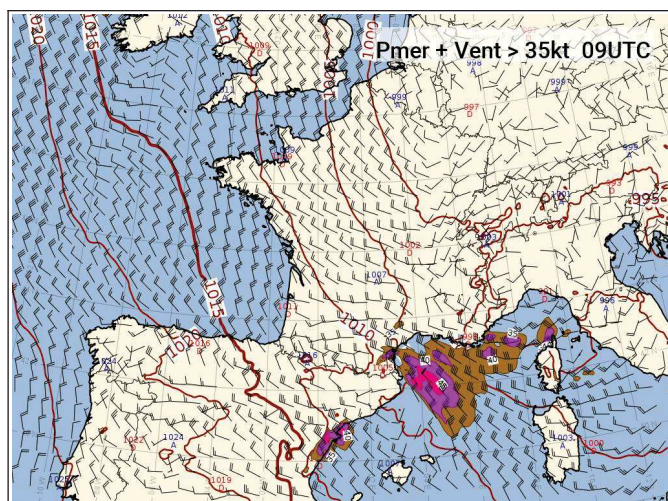


Illustration 28 : Pmer et Vent > 35 nœuds
le dimanche 28 novembre 2021 à 09 UTC

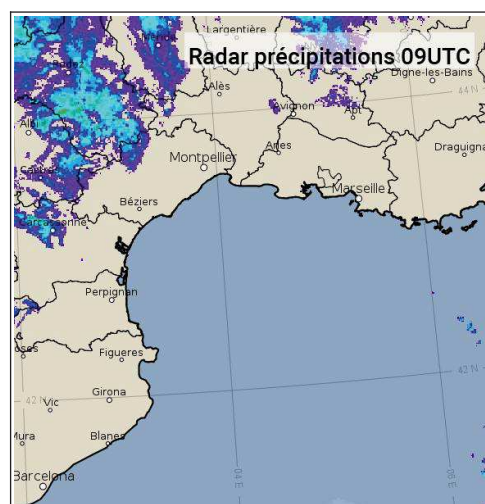


Illustration 29 : Image Radar précipitations
le dimanche 28 novembre 2021 à 09 UTC

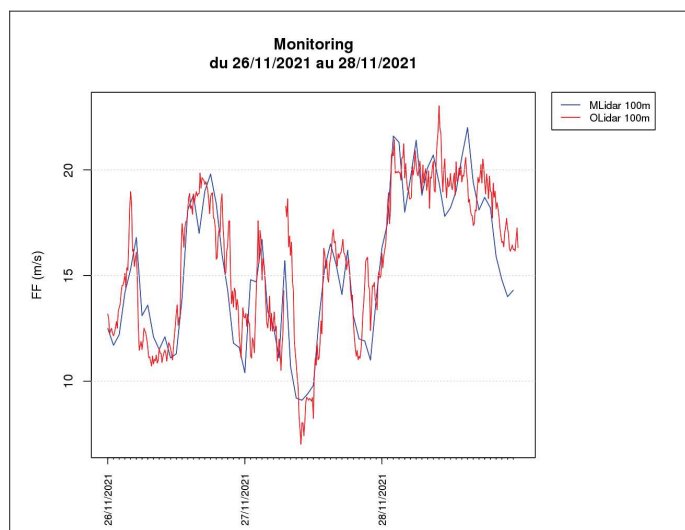


Illustration 30 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 26 au 28 novembre 2021

On observe une très bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. La contiguïté des courbes traduit une excellente concordance des données que ce soit en termes d'intensité des vents ou de synchronisation temporelle. On remarque toutefois un biais plus important en fin de période qui s'explique par le passage du minimum dépressionnaire sur la zone surveillée, avec des vents qui deviennent alors très variables en direction et en force. La résolution temporelle des observations, bien meilleure que celle du modèle, fait également apparaître des variations plus rapides liées aux phénomènes locaux (averses, grains, orages,...).

Situation des 21 et 22 février 2022 (tempête « Franklin »)

Une tempête nommée « **Franklin** » balaie le nord de la France du dimanche 20 février 2022 dans l'après-midi au lundi 21 en matinée. Après Dudley (17 février) et Eunice (18 février), il s'agit de la 3^{ème} tempête impactant la France en quelques jours. Le minimum dépressionnaire lié à « Franklin » s'évacuera vers la Scandinavie le 21 en journée, tandis qu'une dorsale se renforcera rapidement sur le proche Atlantique, générant une forte Tramontane sur le Golfe de Lion, sans convection significative.

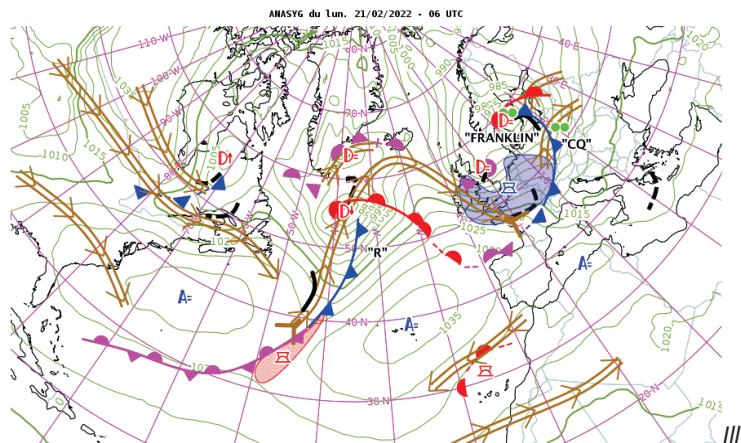


Illustration 31 : Anasyg du lundi 21 février 2022 à 06H UTC

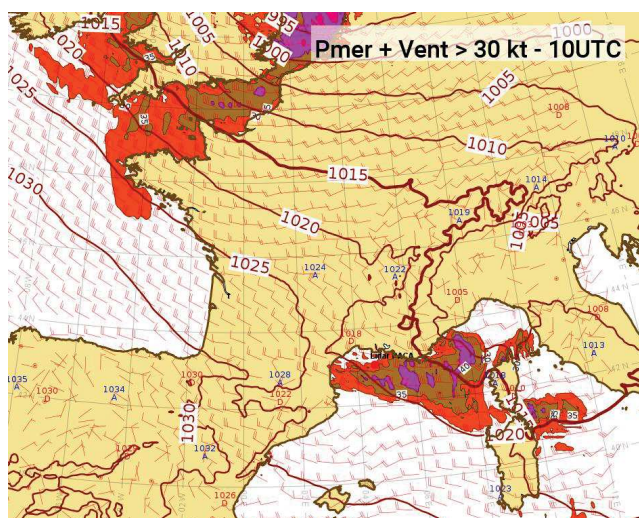


Illustration 33 : Pmer et Vent > 30 nœuds
le lundi 21 février 2022 à 10 UTC

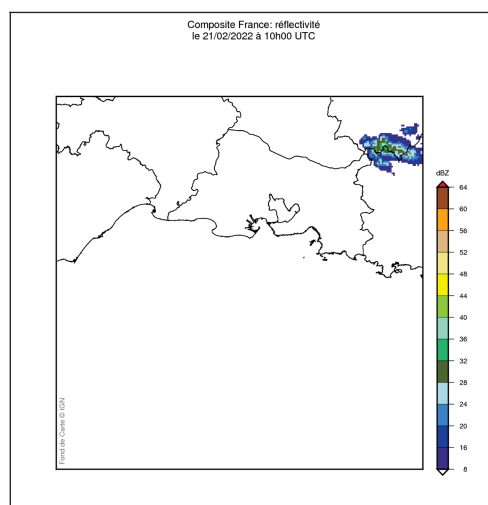


Illustration 32 : Image Radar précipitations
le lundi 21 février 2022 à 10 UTC

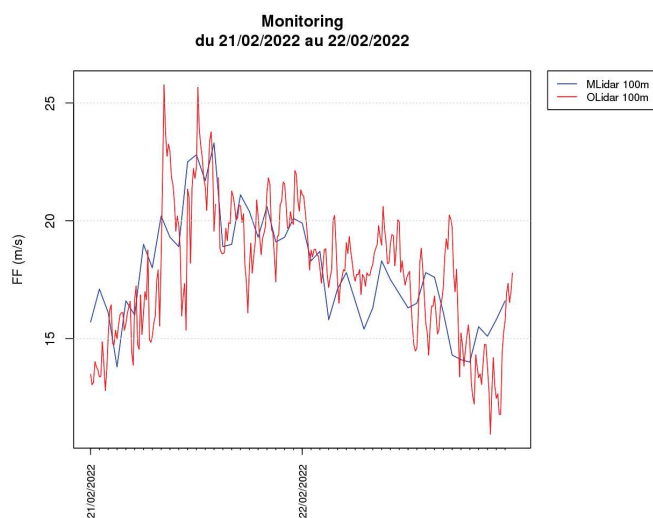


Illustration 34 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 21 au 22 février 2022

On observe une bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. Les phases de renforcement et d'atténuation du vent sont en adéquation, que ce soit en termes d'intensité ou de chronologie.

On remarque toutefois des pics d'intensité enregistrés à plus de 25kt, entrecoupés de relatives accalmies à 15/16kt, mal vus par le modèle. La Tramontane est un vent particulièrement turbulent avec de brusques variations d'intensité encore mal décrites par la modélisation. En outre, la fréquence des enregistrements Lidar nettement plus élevée que le pas horaire du modèle explique en grande partie ces écarts.

La moyenne glissante sur 24h des biais entre la mesure du vent Lidar à 100 m et le modèle AROME confirme ce faible écart entre observation et modélisation, avec un biais d'intensité (courbe bleue) inférieur à 1 m/s et de direction du vent (courbe rouge) proche de zéro degré.

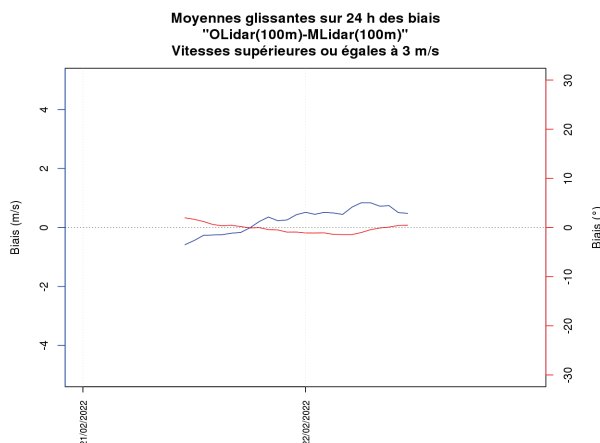


Illustration 35 : Moyenne glissante des biais sur 24h entre le Lidar et le modèle AROME les 21 et 22 février 2022

Annexe 2 : Climatologie du 1er juin 2021 au 30 août 2022

Les stations météorologiques de référence pour qualifier la climatologie de la zone étudiée sont situées à Béziers et Arles. La période sur laquelle portent les statistiques s'étend de 2001 à 2020.

1) Le vent

a) Analyse de l'été 2021 (mois de juin à août)

La rose de vent observée à Béziers durant l'été 2021 et celle des périodes estivales 2001-2020 sont très ressemblantes. Dans le détail, les vents d'Ouest à Nord-Ouest ont été un peu moins fréquents en 2021 (41,6 % contre 44,4 %). Il y a également eu un peu moins de vents faibles (- 2,9%), et légèrement moins de vents forts (-1,2%).

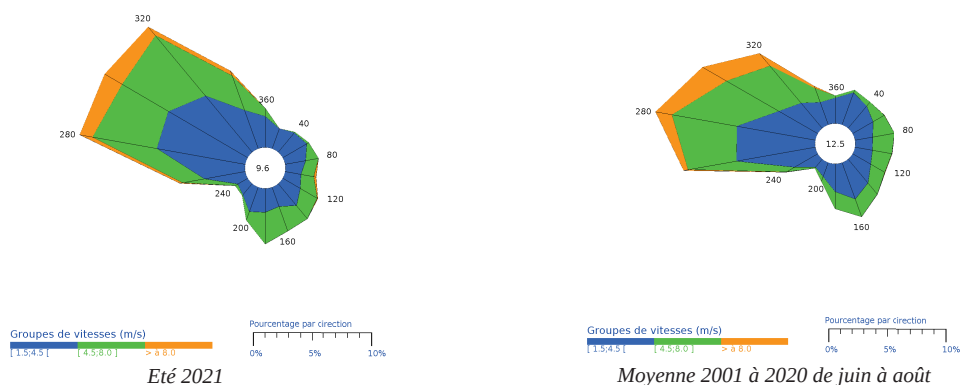
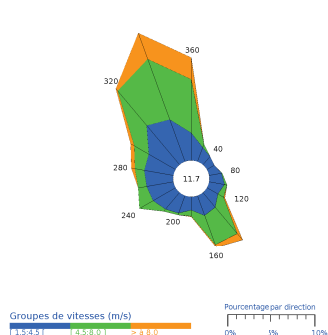
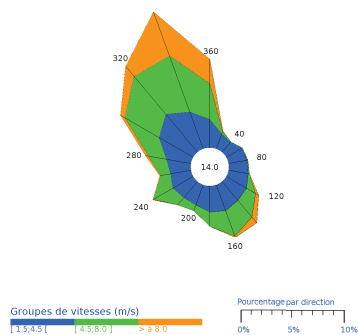


Illustration 36-a : Roses des vents à l'été 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

La rose de vent observée à Arles durant l'été 2021 et celle des périodes estivales 2001-2020 sont très ressemblantes. Dans le détail, les vents de Nord à Nord-Ouest ont été un peu plus fréquents en 2021 (44,0 % contre 41,4 %). Il y a également eu légèrement moins de vents faibles (- 2,3 %) comme de vents forts (- 2,2 %).



Eté 2021

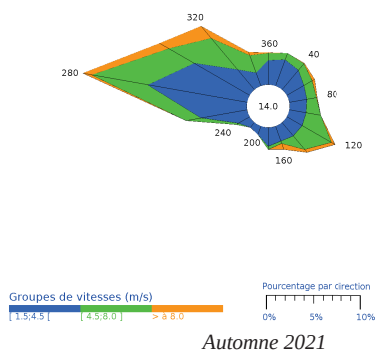


Moyenne 2001 à 2020 de juin à août

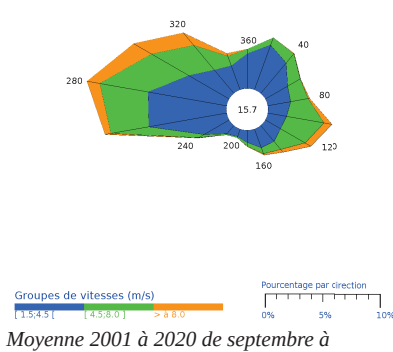
Illustration 31-b : Roses des vents à l'été 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles

b) Analyse de l'automne 2021 (mois de septembre à novembre)

La rose de vent observée à Béziers durant l'automne 2021 et celle des périodes automnales 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail, les vents d'Ouest ont été légèrement plus fréquents en 2021 (34,9 % contre 32,4 %), et ce au détriment de ceux de Nord-Est (10,6 % contre 12,8%)



Automne 2021



Moyenne 2001 à 2020 de septembre à novembre

Illustration 37-a : Roses des vents de l'automne 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

La rose de vent observée à Arles durant l'automne 2021 et celle des périodes automnales 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail, les vents de Nord à Nord-Ouest ont été plus fréquents en 2021 (49,4 % contre 43,4 %), et ce au détriment de ceux d'Est (8,9 % contre 12,9 %) et de Sud-Est (11,1 % contre 14,4 %)

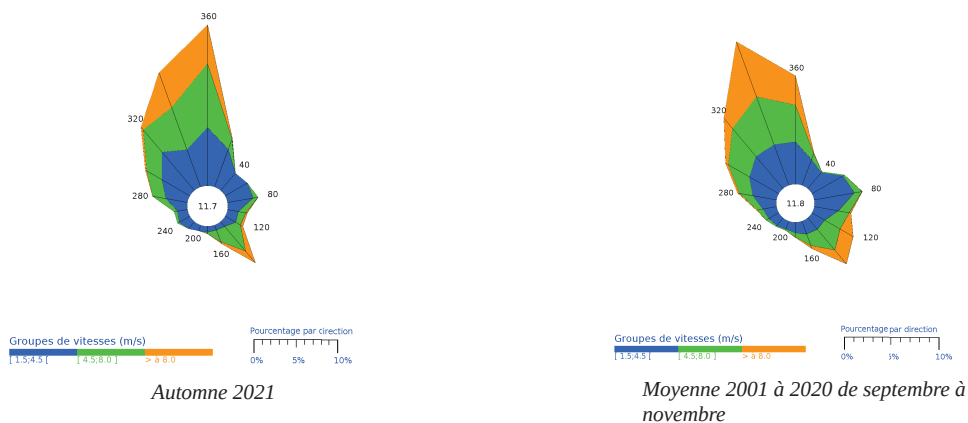


Illustration 32-b : Roses des vents de l'automne 2021 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles

c) Analyse de l'hiver 2021-2022 (mois de décembre à février)

La rose de vent observée à Béziers durant l'hiver 2021-2022 et celle des périodes hivernales 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail, les vents de secteur Sud-Ouest - du 220 au 260 - ont été moins fréquents en 2021-2022 (13,3 % contre 19,9 %), comme ceux du secteur Est-Sud-Est – du 80 au 120 (3 % contre 6,8 %), mais par contre ceux du secteur Nord-Ouest - du 300 au 340 - l'ont été plus (27,8 % contre 21,2 %).

On a relevé également un peu plus de vents faibles <1,5 m/s (+2,4 %) .

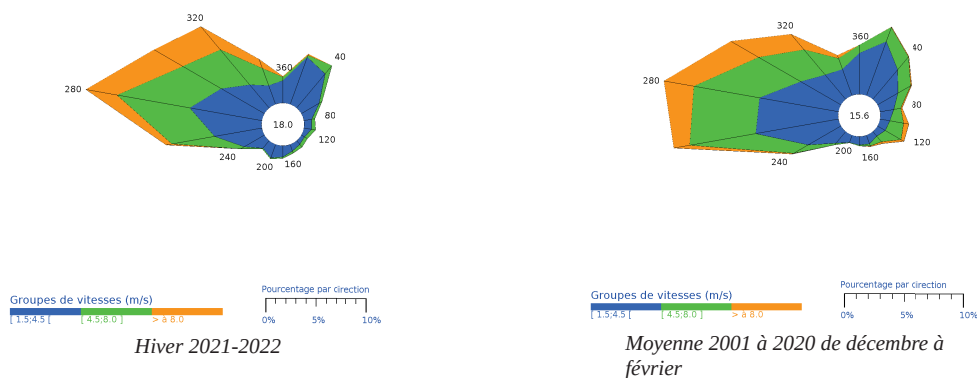


Illustration 38-a : Roses des vents de l'hiver 2021-2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

La rose de vent observée à Arles durant l'hiver 2021-2022 et celle des périodes automnales 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail, les vents de Nord à Nord-Ouest - du 300 au 360 - ont été plus fréquents en 2021-2022 (57,2 % contre 52,2 %), et ce au détriment de ceux d'Est à Sud-Est- du 80 au 120 (9,3 % contre 15,9 %).

On a relevé également un peu moins de vents forts >8 m/s (-1,4 %) .

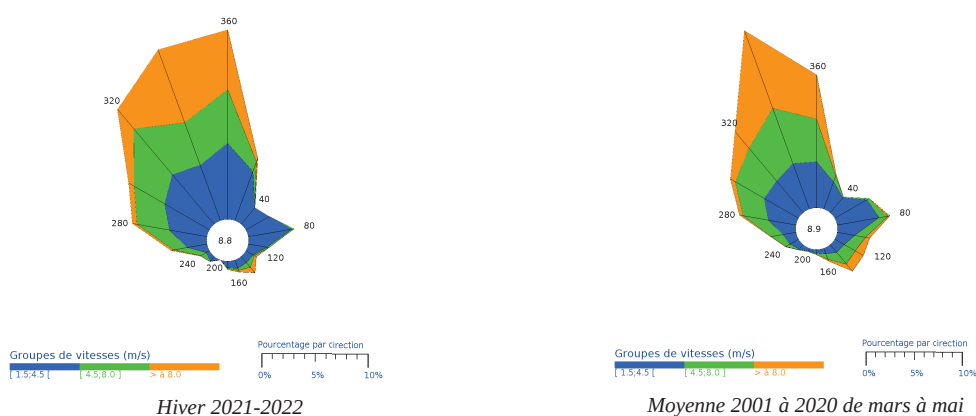


Illustration 33-b : Roses des vents de l'hiver 2021-2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles
d) Analyse du printemps 2022 (mois de mars à mai)

La rose de vent observée à Béziers durant le printemps 2022 et celle des périodes printanières 2001-2020 sont un peu moins ressemblantes. Dans le détail, les vents de secteur Sud-Est - du 100 au 140 - ont été plus fréquents en 2022 (20,4 % contre 12,7 %), au détriment de l'Ouest – du 260 au 280 (21,1 % contre 24,7 %) et du Nord-Ouest - du 300 au 320 (13,8 % contre 17 %).

On a relevé également un peu moins de vents faibles (<1,5 m/s) : -1,5 %.

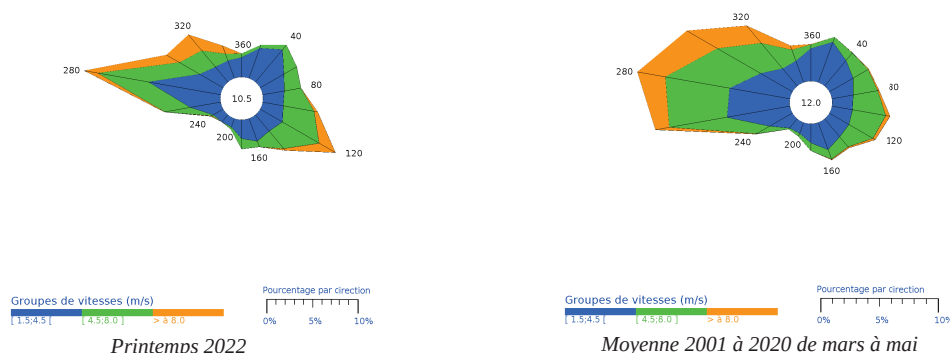


Illustration 39-a : Roses des vents du printemps 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

La rose de vent observée à Arles durant le printemps 2022 et celle des périodes printanières 2001-2020 sont encore relativement ressemblantes. Dans le détail, les vents de Nord-Ouest - du 300 au 320 - ont été nettement moins fréquents en 2022 (8,6 % contre 16,2 %) ; en revanche, ceux du secteur Est-Nord-Est – du 60 au 100 - ont été plus observés (14,5 % contre 8,8 %).

On note un plus de vents faibles <1,5 m/s (+1,9 %), et plus de vents dans la tranche [1,5;4,5[(48,1 % contre 39,8 %), alors qu'au niveau des vents forts >8 m/s il y a un déficit (11 % contre 18,1%).

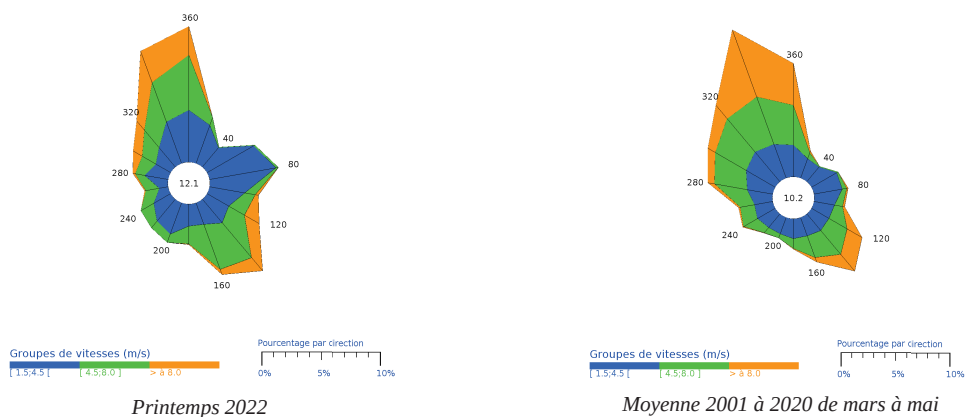


Illustration 34-b : Roses des vents du printemps 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles

e) Analyse de l'été 2022 (mois de juin à août)

La rose de vent observée à Béziers durant l'été 2022 et celle des périodes estivales 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail, les vents de Sud - du 180 au 200 - ont été plus fréquents en 2022 (9,5 % contre 5,5 %), au détriment du secteur Ouest – du 260 au 300 (30,1 % contre 36,2 %).

On a relevé un peu moins de vents forts >8 m/s) : - 2 %.

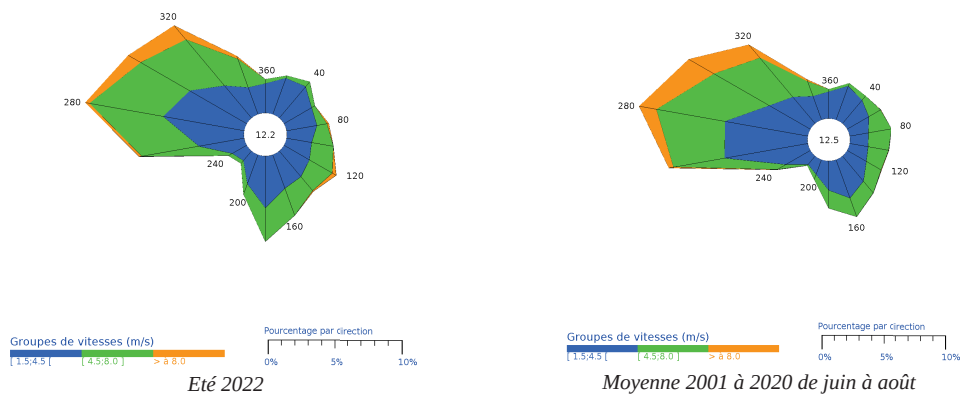


Illustration 40-a : Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

La rose de vent observée à Arles durant l'été 2022 et celle des périodes estivales 2001-2020 sont encore relativement ressemblantes. Dans le détail, les vents de secteur Ouest-Nord-Ouest - du 280 au 320 - ont été nettement moins fréquents en 2022 (14,5 % contre 23,3 %) ; en revanche, ceux de Nord – du 360 au 20 - ont été plus observés (17,4 % contre 10,3 %).

On note également moins de vents forts >8 m/s (6,1 % contre 11,5%).

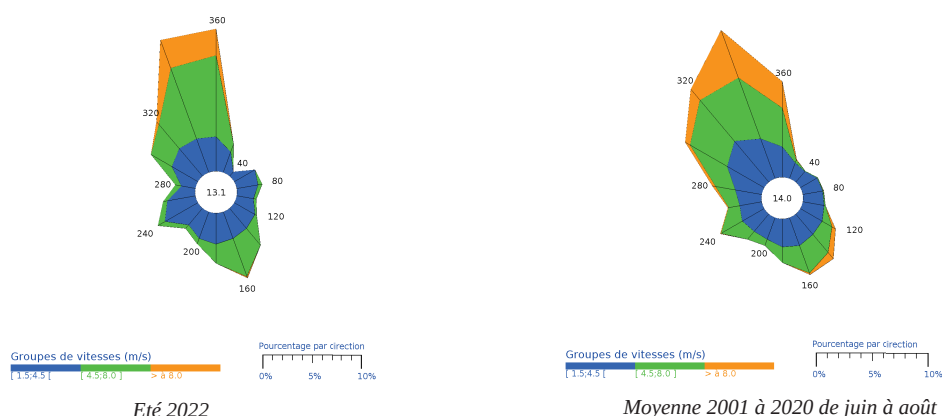


Illustration 35-b : Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles

c) Tempêtes

on notera que, statistiquement, on observe environ 4 à 5 tempêtes tous les ans sur Arles et 0 à 1 sur Béziers

Sur la période de juin à novembre 2021, les vents très forts (supérieurs ou égaux à 28 m/s) sont restés dans la moyenne pour la station de Arles, à savoir un cas pendant ces 6 mois ; en revanche, aucun cas pour la station de Béziers .

La seule situation ayant engendré des très fortes rafales (supérieures ou égales à 28 m/s) est celle du 7 octobre avec un coup de Mistral ayant engendré une observation à 101 km/h à la station d'Arles.

La situation du 28 novembre est également à mettre en avant avec cette fois-ci une forte tramontane (rafales à 77 km/h enregistrées à la station de Béziers)

Pendant l'hiver 2021-2022 (de décembre à février), on relève une situation avec des vents très forts sur chacune des deux stations étudiées :

- à Arles, le 28 janvier où le vent était de Nord avec une rafale maximale enregistrée à 28 m/s (à noter que le mistral soufflera ensuite encore pendant 6 jours mais en restant légèrement inférieur à 100 km/h)
- à Béziers, le 31 janvier où vent à soufflé du Nord-Ouest avec des rafales jusque 102 km/h (la tramontane faiblira ensuite d'intensité et s'essoufflera après 2 jours)

Sur la période de mars à août 2022, aucune situation n'a engendré de vents supérieurs à 28 m/s sur nos stations de référence.

On retiendra tout de même que le 1er avril le vent de Nord-Ouest a soufflé jusqu'à 97 km/h à Béziers, et que le 2 avril, toujours du Nord-Ouest, il a soufflé jusqu'à 90 km/h à Arles

2) Les températures

Pour ce paramètre, nous ne considérerons que la station de Béziers.

Au cours de la période de juin 2021 à août 2022, on observe une grande variabilité des températures, plutôt à la hausse pour les températures maximales, et de manière plus partagée pour les températures minimales.

Plus précisément, pour les températures maximales, on est proche des normales 1991-2020 (moins de 0,8° C d'écart) pour les mois de juillet 2021, août 2021, octobre 2021, novembre 2021, décembre 2021, janvier 2022 et avril 2022. On note des déficits pour deux des mois, léger en novembre 2021 (-0,9°C) et plus marqué en mars 2022 (-1,4°C). Par contre, les excès sont plus notables : modérés en juin 2021 (+1,6°C) et septembre 2021 (+1,3°C), et plus marqués en février 2022 (+2,4°C), mai 2022 (+2,6°C), juin 2022 (+2,5°C), juillet 2022 (+3,6°C) et août 2022 (+3°C).

Pour les températures minimales, on est également proche des normales en juillet 2021, décembre 2021, mars 2022 et avril 2022. Pour le reste, on observe des mois déficitaires en août 2021 (-0,9°C), octobre 2021 (-1,7°C), novembre 2021 (-1,0°C) et janvier 2022 (-2,7°C), et d'autres significativement excédentaires en juin 2021 (+1,8°C), septembre 2021 (+2,2°C), février 2022 (+2°C), mai 2022 (+1,9°C), juin 2022 (+2,3°C), juillet 2022 (+1,2°C) et août 2022 (+2,6°C).

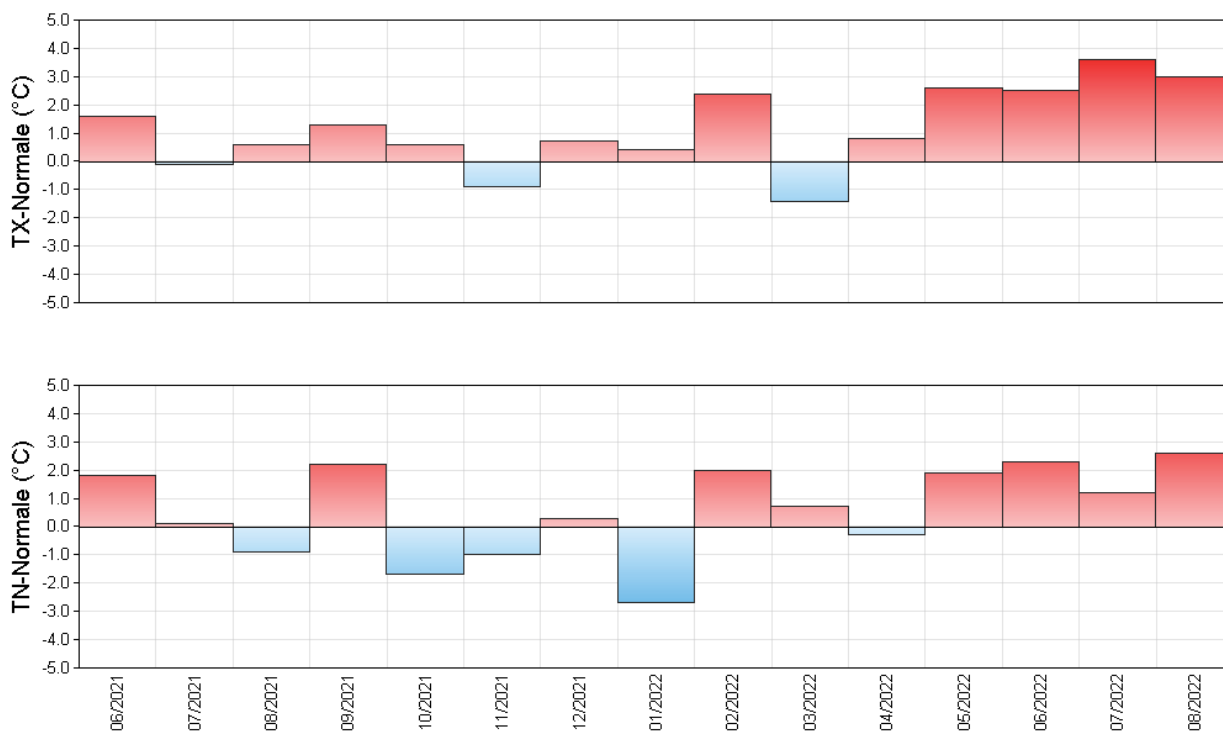


Illustration 41 : Anomalies mensuelles de températures minimales et maximales de juin 2021 à août 2022 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020

3) Les précipitations

Pour ce paramètre, encore une fois nous ne considérerons que la station de Béziers.

Cette période de juin 2021 à août 2022 est globalement plus sèche que la normale 1991-2020, avec uniquement 3 mois plus arrosés.

Pour la période sèche, on note des déficits importants (supérieurs à 50%) en septembre 2021 (-90,3 %) , octobre 2021 (-86,3%), décembre 2021 (-66,3%), janvier 2022 (-91,6%), février 2022 (-92,3%), mai 2022 (-79,5%) et juillet 2022 (-70,8%).

Pour les mois plus humides que les normales, l'excédent de pluie est très important avec +78,8 % en juillet 2021, +109,9 % en novembre 2021 et +230,2 % en mars 2022.

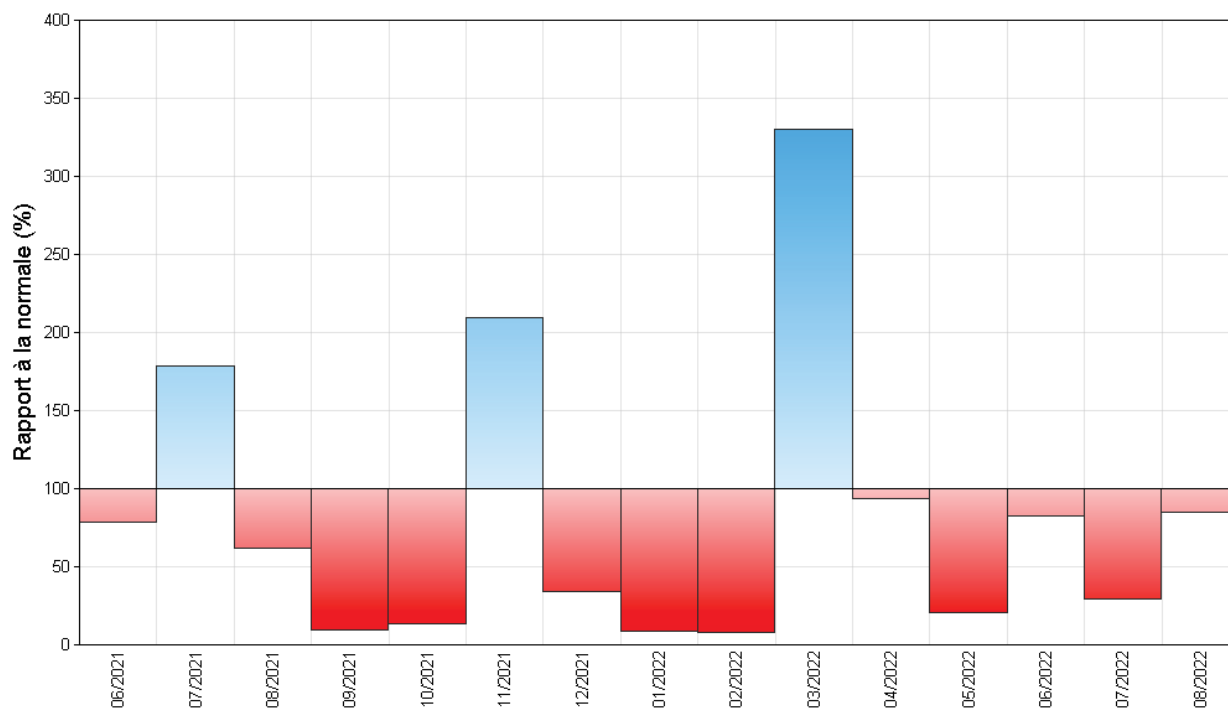
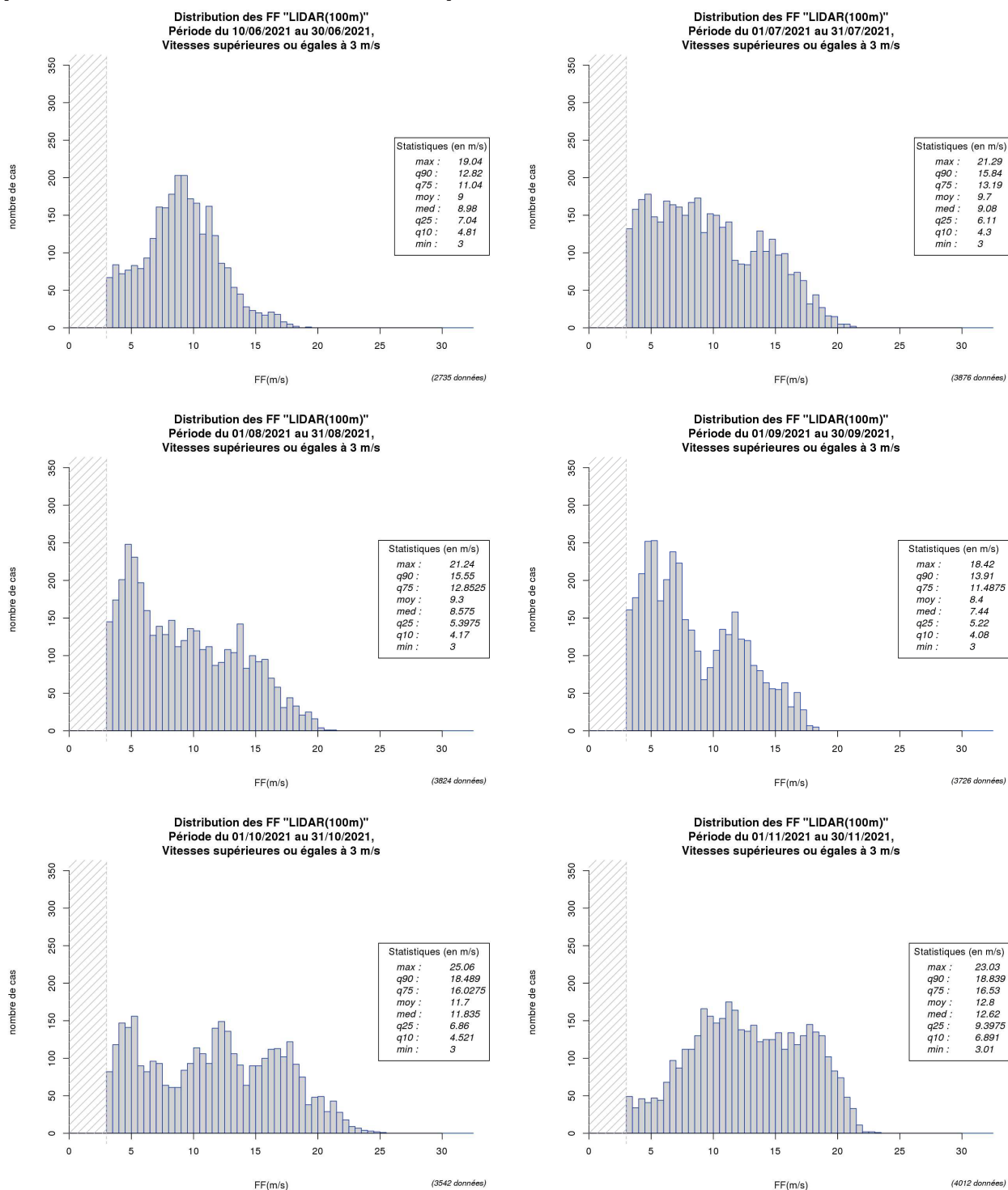
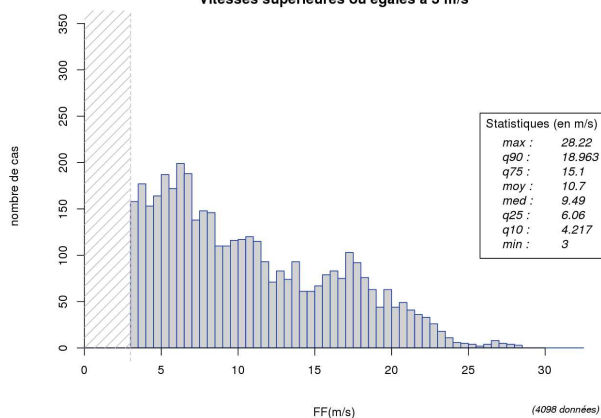


Illustration 42 : Anomalies de précipitations de juin 2021 à août 2022 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020

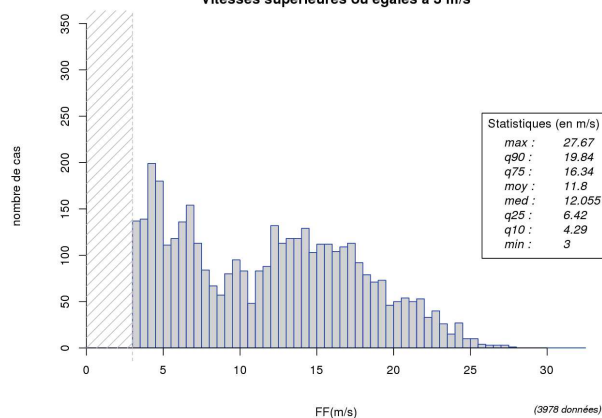
Annexe 3 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



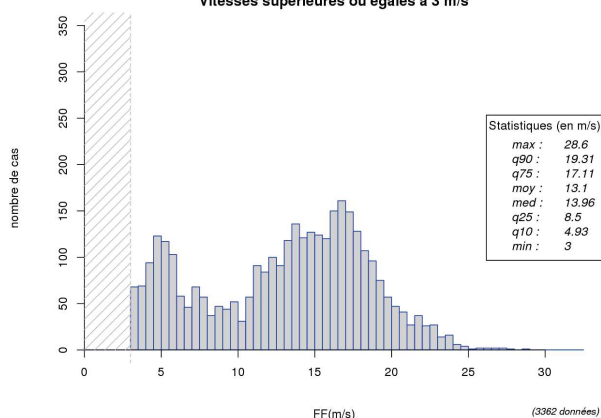
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/12/2021 au 31/12/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



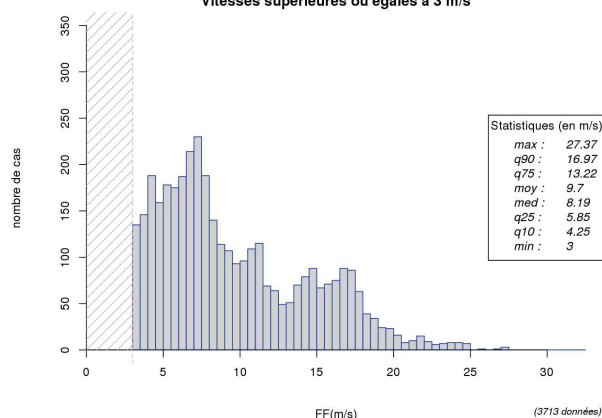
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/01/2022 au 31/01/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



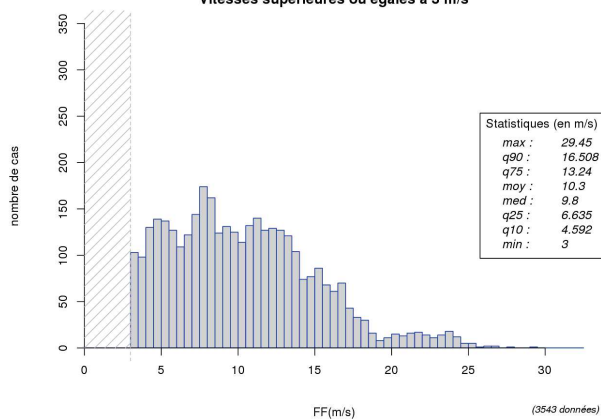
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/02/2022 au 28/02/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



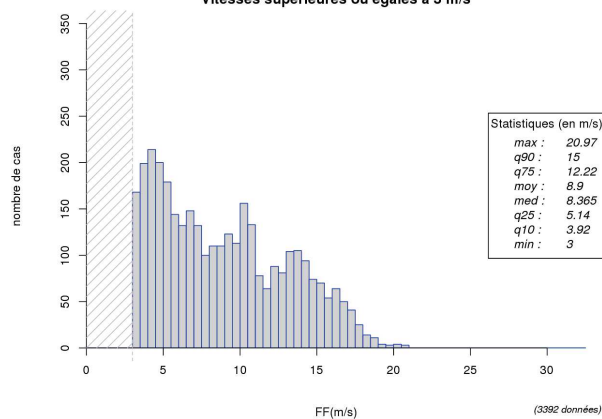
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2022 au 31/03/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

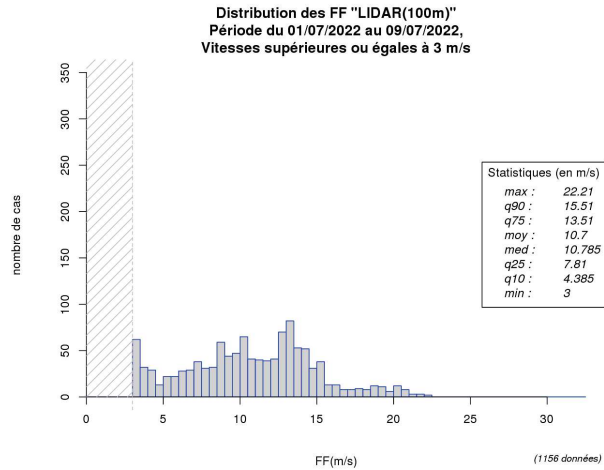
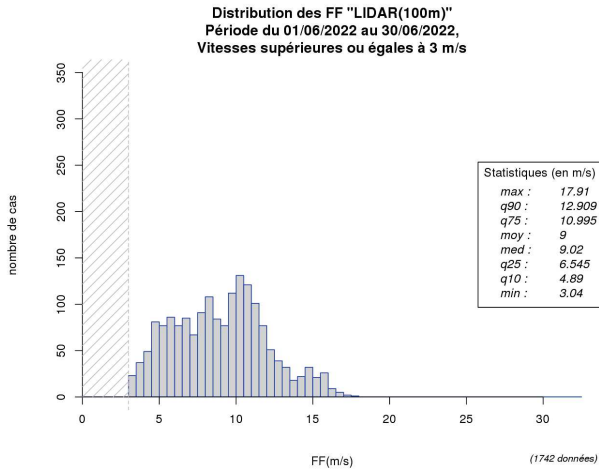


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2022 au 30/04/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



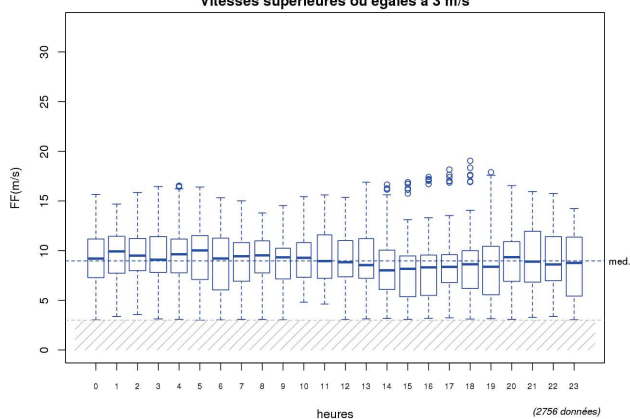
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2022 au 31/05/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



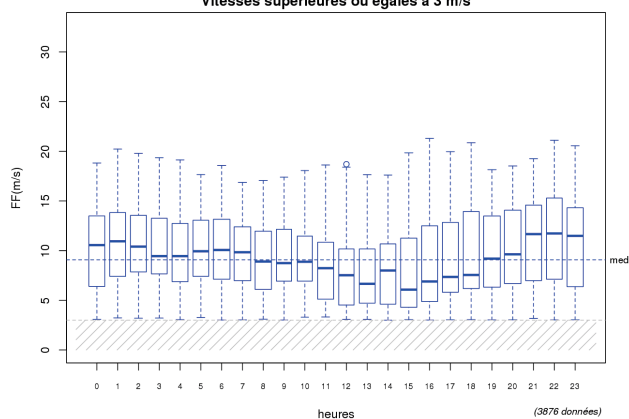


Annexe 4 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

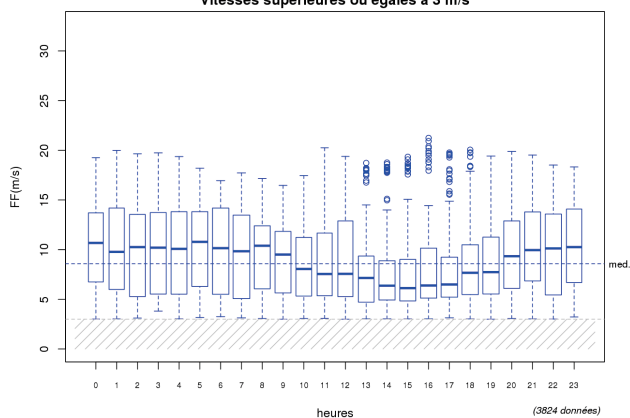
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 10/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



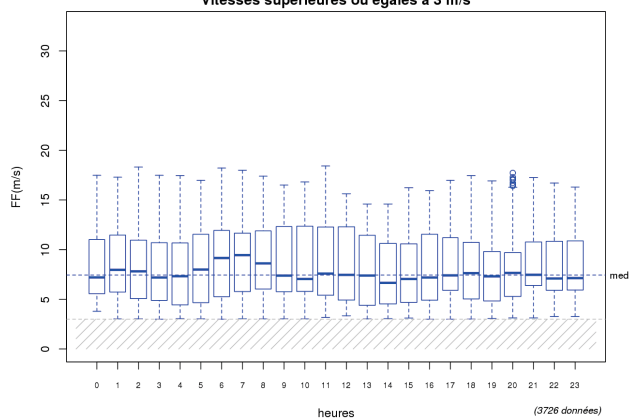
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



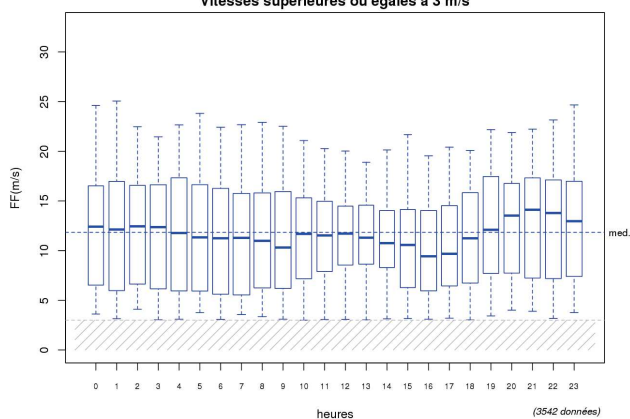
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



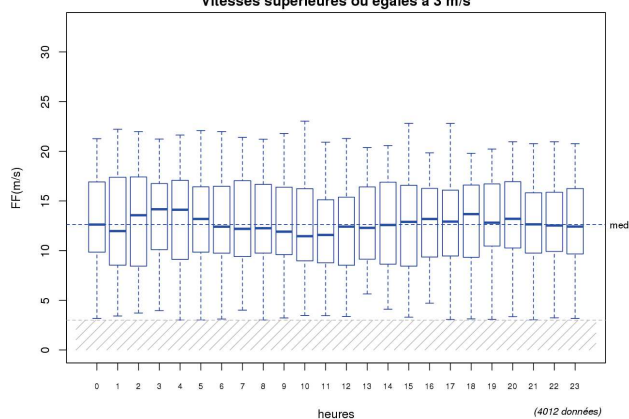
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



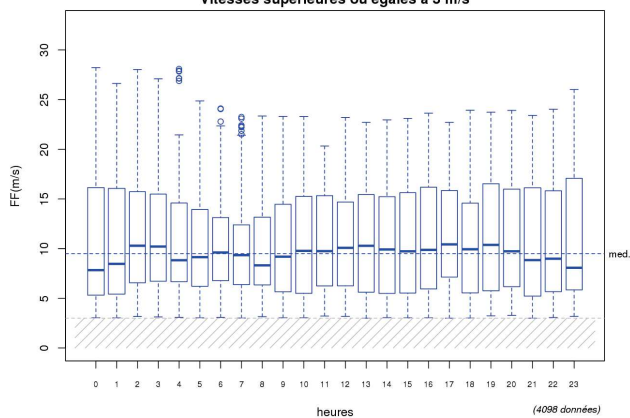
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2021 au 31/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



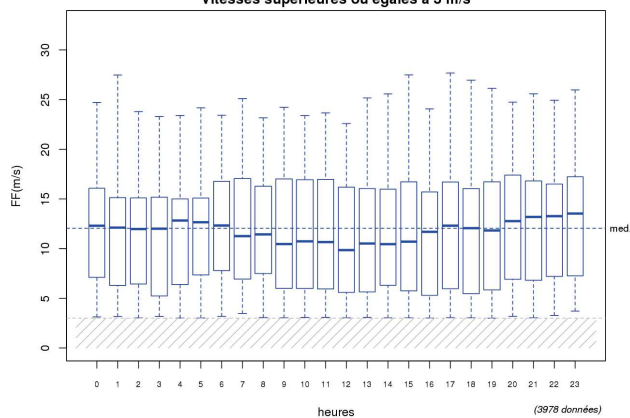
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2021 au 30/11/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



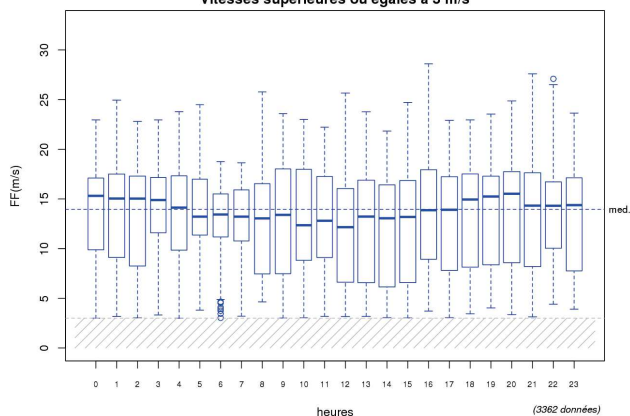
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2021 au 31/12/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



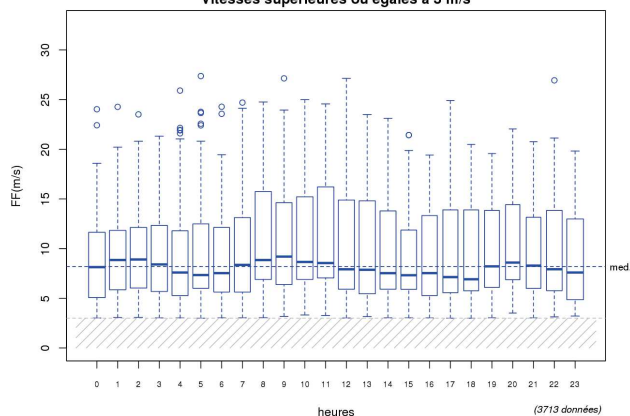
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2022 au 31/01/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



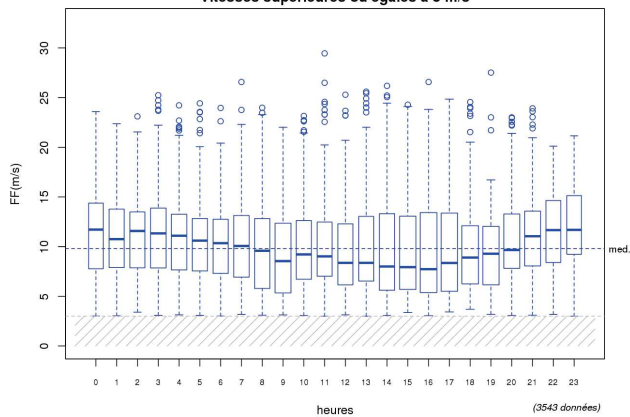
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2022 au 28/02/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



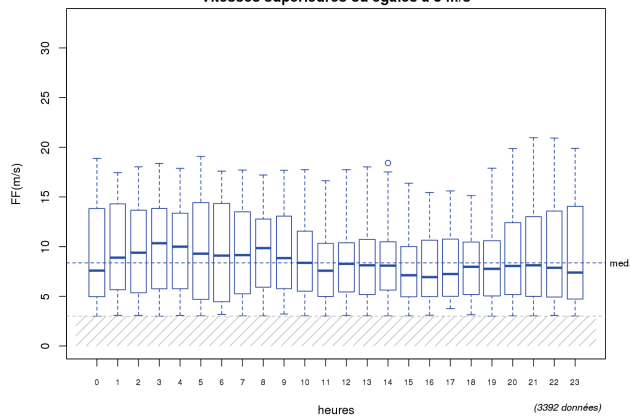
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2022 au 31/03/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



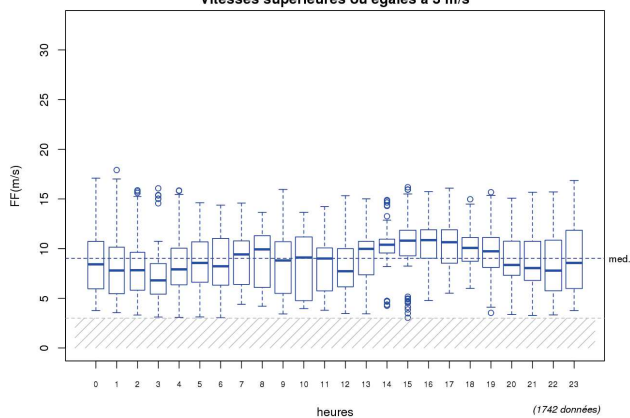
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2022 au 30/04/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



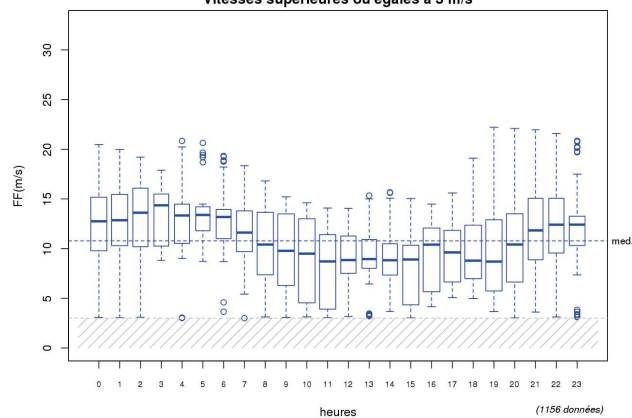
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2022 au 31/05/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2022 au 30/06/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2022 au 09/07/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Annexe 5 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR

	Directions en degrés												Total
	30,0	60,0	90,0	120,0	150,0	180,0	210,0	240,0	270,0	300,0	330,0	360,0	
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[29,30[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	0
[28,29[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	0	0,1
[27,28[	.	.	.	0	0	.	.	.	.	0,1	0,2	0,1	0,4
[26,27[	.	.	.	0	.	.	.	.	.	0,1	0,4	0,1	0,5
[25,26[	.	.	.	0	.	.	.	.	.	0,2	0,3	0	0,6
[24,25[	.	.	0	0,3	.	.	.	.	0	0,5	0,7	0,2	1,8
[23,24[	.	.	0,1	0,4	.	.	.	.	0,1	0,9	1,2	0,3	3,1
[22,23[	.	.	0,2	0,6	.	.	.	.	0,2	1,3	1,7	1	5
[21,22[	.	.	0,4	0,7	.	.	.	.	0,2	1,6	3,1	2,1	8,2
[20,21[	.	.	0,5	0,9	.	.	.	.	0,2	2,4	4,1	3,1	11,2
[19,20[	.	.	0,7	1,1	.	.	.	.	0,2	5,3	3,8	4,2	15,3
[18,19[	0	.	0,7	1,7	0,1	0	.	.	0,5	7,7	5,8	7	23,6
[17,18[	0	0	0,9	3,6	0,6	0,1	.	.	0,8	9,8	8,7	8,5	33
[16,17[	.	.	0,4	5,4	0,9	0,3	0	.	1	11,3	10,6	8,7	38,6
[15,16[	0	.	0,4	4,5	1,3	0,6	0,1	0,1	1,7	12,1	10,4	9,3	40,7
[14,15[	0,1	.	0,7	4,2	1,5	0,5	0,1	0,2	1,2	12,8	11,7	9,6	42,6
[13,14[	0,2	.	1	6,2	1,9	0,6	0,2	0,3	1,8	14,6	13,1	10,5	50,4
[12,13[	0,4	0,1	1,2	6,3	2,8	0,9	0,1	0,8	2,5	12	12,8	11,7	51,5
[11,12[	0,9	0,3	0,9	10	6,5	1,3	0,3	1,1	2,6	11,6	12,6	9,5	57,6
[10,11[	2,2	0,5	1,2	10,1	9,1	1,8	0,7	3	2,5	9,7	10,9	8,9	60,6
[9,10[	2,1	0,6	1,5	8,9	7,5	2,4	0,7	2	4,5	8,2	9,2	10,9	58,6
[8,9[	2,6	0,5	2	6,8	7,5	3,4	1,4	3,2	4,5	9,1	8,2	10,7	59,8
[7,8[	3,7	1	1,6	6,4	10,7	3,2	2	3,7	4	8,1	9,3	12,6	66,3
[6,7[	6,2	1,3	1,6	5	7,4	6	3,2	3,4	5,3	9,3	8,4	11,1	68,2
[5,6[	7,3	2,1	2,1	5	8,3	8,1	4,6	3,6	5	7,3	7,3	9	69,6
[4,5[	6,9	2,2	2,1	7,2	9,1	7,9	5,3	5	6	6,7	8	9,1	75,4
[3,4[	5,9	3,5	2,7	5,8	5,2	4,8	5,5	4,1	4,9	5,5	5,6	7,3	60,6
[0,3[	8,2	7	5,1	10,4	9,9	7,9	8,3	6,9	8,2	8,3	8,5	8	96,6
Total	46,7	19,1	28,2	111,9	90,4	49,8	32,3	37,2	57,7	176,6	176,5	173,6	1000

Nombre de cas : 51941

Analyse de répartition du vent LiDAR observé à 100 m sur la période du 10 juin 2021 au 09 juillet 2022
(en pour mille)

Les vents inférieurs à 3 m/s (non comptabilisés dans les statistiques) apparaissent ici en surligné dans le tableau. Ils représentent 9,6 % des cas.

Annexe 6 : Roses des vents mensuelles du LiDAR à 100m (données brutes)

JUIN 2021 - LIDAR (100m)

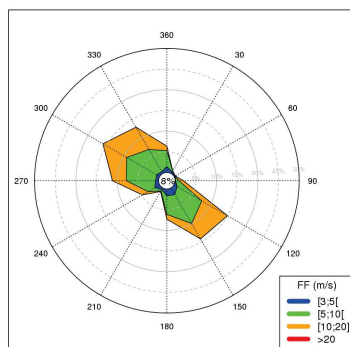


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3005

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.5	0.3	.	.	0.8
60	0.3	.	.	.	0.3
90	0.1	0.8	1.1	.	2.0
120	0.9	6.9	7.2	.	14.9
150	1.9	8.1	4.3	.	14.2
180	1.7	4.5	1.2	.	7.3
210	0.4	0.4	0.2	.	1.0
240	1.4	1.9	1.6	.	4.9
270	0.7	7.1	3.4	.	11.1
300	0.9	8.4	6.6	.	15.8
330	0.5	6.2	6.2	.	12.9
360	1.4	3.9	1.1	.	6.4
Total	10.7	48.3	32.7	.	91.7
[0; 3[	.	.	.	.	8.3

JUILLET 2021 - LIDAR (100m)

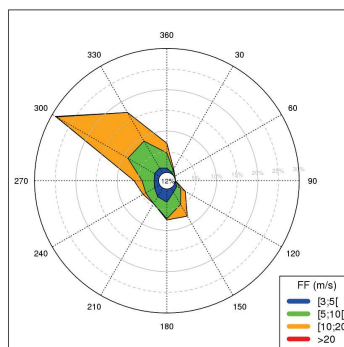


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4392

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.3	0.6	0.3	.	1.3
60	0.0	0.2	.	.	0.3
90	.	0.0	0.0	.	0.1
120	0.8	1.1	1.3	.	3.1
150	1.2	3.4	3.3	.	7.9
180	3.2	4.0	0.3	.	7.5
210	2.5	1.9	.	.	4.4
240	1.5	2.4	0.7	.	4.6
270	1.1	2.9	1.9	.	5.9
300	1.5	7.4	19.9	0.3	29.1
330	1.5	7.5	8.0	.	17.1
360	1.0	3.7	2.3	.	7.1
Total	14.5	35.3	38.1	0.3	88.3
[0; 3[	.	.	.	.	11.7

AOÛT 2021 - LIDAR (100m)

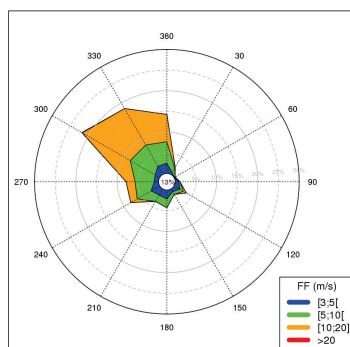


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4415

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.5	1.2	0.2	.	2.0
60	0.1	0.2	.	.	0.3
90	0.9	0.2	.	.	1.2
120	1.6	1.0	0.8	.	3.4
150	0.8	0.8	.	.	1.5
180	2.2	2.1	.	.	4.3
210	1.7	1.8	.	.	3.5
240	2.4	3.9	1.8	.	8.1
270	1.0	4.7	2.2	.	7.9
300	1.3	6.9	13.4	0.1	21.7
330	2.3	5.9	10.2	.	18.4
360	2.5	5.2	6.6	.	14.3
Total	17.4	33.9	35.2	0.1	86.6
[0; 3[	.	.	.	.	13.4

SEPTEMBRE 2021 - LIDAR (100m)

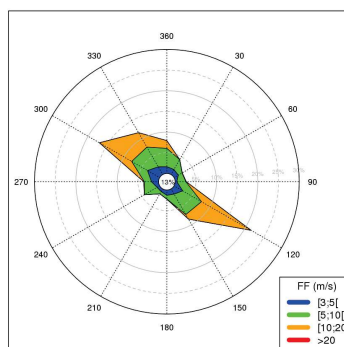


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4285

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.4	2.8	.	.	4.2
60	1.2	1.1	0.0	.	2.3
90	0.4	2.2	0.1	.	2.7
120	2.4	5.2	13.8	.	21.5
150	1.5	5.7	1.3	.	8.4
180	1.3	0.9	0.0	.	2.2
210	0.7	0.6	.	.	1.4
240	0.7	3.5	.	.	4.3
270	1.7	1.7	0.1	.	3.6
300	3.4	4.4	9.0	.	16.8
330	2.2	5.5	4.0	.	11.7
360	1.6	4.4	1.9	.	7.9
Total	18.6	38.0	30.3	.	87.0
[0; 3[	.	.	.	.	13.0

OCTOBRE 2021 - LIDAR (100m)

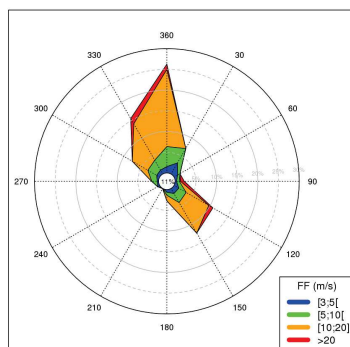


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3892

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	3.1	4.0	0.0	.	7.1
60	1.0	0.7	.	.	1.7
90	0.4	0.7	0.3	0.9	2.2
120	1.3	2.1	6.3	1.2	10.8
150	1.4	2.5	8.5	.	12.4
180	0.7	0.7	1.4	.	2.7
210	.	0.1	.	.	0.1
240	0.5	0.1	.	.	0.6
270	0.3	1.3	0.1	.	1.7
300	0.9	2.5	4.3	.	7.6
330	1.1	2.8	10.1	1.5	15.5
360	1.6	4.8	18.6	1.3	26.3
Total	12.2	22.0	49.6	4.8	88.7
[0; 3[	.	.	.	.	11.3

NOVEMBRE 2021 - LIDAR (100m)

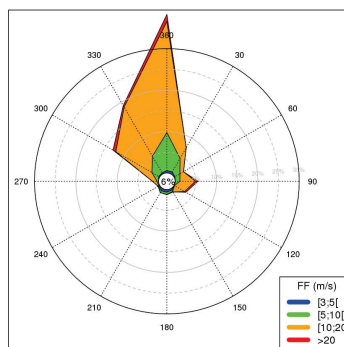


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4249

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.6	3.8	3.0	.	7.3
60	0.2	1.4	1.0	.	2.6
90	0.1	1.1	3.7	0.6	5.5
120	0.1	0.0	2.8	0.4	3.3
150	0.4	0.4	0.1	.	1.0
180	0.6	0.5	0.0	.	1.2
210	0.7	0.5	.	.	1.2
240	0.1	0.2	0.2	.	0.4
270	0.0	0.4	1.1	.	1.5
300	0.3	1.9	10.1	0.8	13.0
330	0.3	4.6	13.7	0.4	19.1
360	0.6	9.2	26.8	1.7	38.2
Total	4.0	24.0	62.5	3.9	94.4
[0; 3[	.	.	.	.	5.6

DÉCEMBRE 2021 - LIDAR (100m)

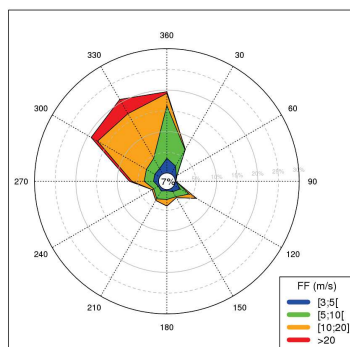


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4421

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.2	4.5	0.1	.	6.9
60	0.6	0.2	.	.	0.8
90	0.2	.	.	.	0.2
120	1.7	2.5	2.0	.	6.2
150	0.9	1.4	0.3	.	2.6
180	0.3	2.1	1.6	.	4.0
210	0.7	2.2	0.5	.	3.3
240	0.4	1.2	0.4	.	2.1
270	1.2	2.3	3.0	0.6	7.1
300	1.4	2.3	13.6	1.8	19.1
330	1.5	2.9	12.4	4.0	20.8
360	3.6	12.7	3.0	0.4	19.6
Total	14.7	34.2	36.9	6.8	92.7
[0; 3[	.	.	.	.	7.3

JANVIER 2022 - LIDAR (100m)

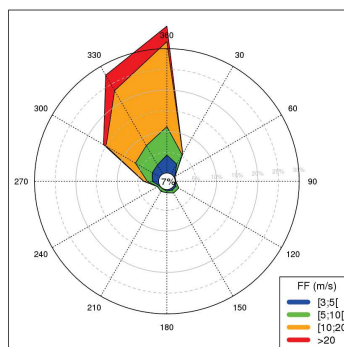


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4279

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.8	2.6	0.3	.	5.7
60	0.2	.	.	.	0.2
90	0.1	0.0	.	.	0.2
120	0.5	0.8	.	.	1.3
150	0.5	0.7	.	.	1.3
180	0.4	0.4	.	.	0.8
210	0.1	0.7	.	.	0.8
240	0.2	0.4	.	.	0.6
270	1.5	1.2	0.8	0.1	3.7
300	2.1	4.7	8.2	0.7	15.7
330	2.6	5.3	15.3	4.3	27.6
360	4.3	6.8	20.5	3.8	35.4
Total	15.3	23.8	45.2	8.9	93.2
[0; 3[	.	.	.	.	6.8

FÉVRIER 2022 - LIDAR (100m)

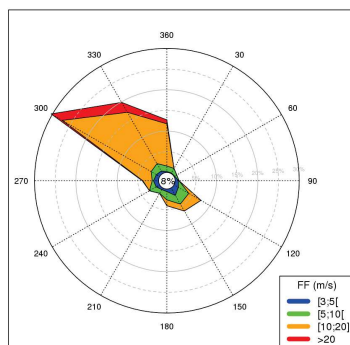


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3642

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.2	1.2	.	.	1.4
60	0.2	0.5	.	.	0.7
90	0.8	0.1	.	.	0.9
120	1.2	2.9	3.4	.	7.5
150	2.1	2.4	1.9	.	6.5
180	0.6	2.0	1.4	.	4.0
210	0.5	1.0	.	.	1.5
240	1.0	1.9	.	.	2.9
270	1.2	0.3	2.3	0.1	4.0
300	0.9	1.5	24.8	3.1	30.3
330	0.7	2.1	14.3	2.8	19.9
360	0.2	1.3	10.2	1.0	12.7
Total	9.7	17.3	58.3	7.0	92.3
[0; 3[	.	.	.	.	7.7

MARS 2022 - LIDAR (100m)

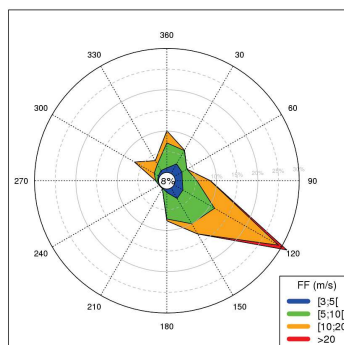


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4015

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.7	3.7	0.1	.	6.5
60	2.2	1.4	.	.	3.6
90	1.7	3.5	3.2	0.1	8.6
120	2.5	8.8	17.9	2.3	31.5
150	3.0	7.0	2.8	0.0	12.9
180	0.8	6.4	0.4	.	7.7
210	0.1	0.1	.	.	0.2
240	.	0.1	.	.	0.1
270	0.2	0.4	0.0	.	0.7
300	0.4	1.2	5.5	.	7.0
330	0.8	1.7	1.0	.	3.6
360	1.1	6.1	2.9	.	10.1
Total	15.6	40.5	33.9	2.5	92.5
[0; 3[	.	.	.	.	7.5

AVRIL 2022 - LIDAR (100m)

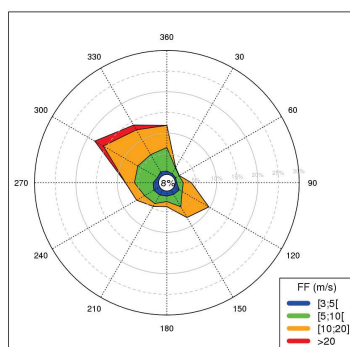


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3850

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.5	1.6	0.1	.	2.3
60	0.5	0.9	0.1	.	1.5
90	0.4	1.6	1.9	.	3.9
120	1.5	0.8	7.4	0.0	9.7
150	1.3	3.5	3.0	.	7.7
180	1.2	1.3	1.2	.	3.8
210	1.4	2.4	0.8	.	4.6
240	1.6	2.6	2.2	.	6.4
270	1.3	4.5	2.2	0.0	8.0
300	0.6	5.5	9.6	2.4	18.1
330	1.0	4.8	6.9	1.4	14.1
360	0.8	5.7	5.4	.	11.9
Total	12.2	35.2	40.8	3.8	92.0
[0; 3[	.	.	.	.	8.0

MAI 2022 - LIDAR (100m)

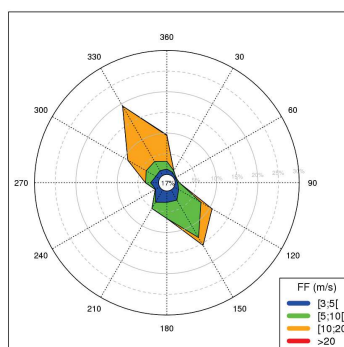


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4081

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	0.5	.	.	1.3
60	0.4	0.1	.	.	0.5
90	0.6	0.4	.	.	1.0
120	1.3	6.2	3.1	.	10.6
150	2.9	10.4	2.2	.	15.5
180	2.8	3.9	.	.	6.6
210	3.5	1.7	.	.	5.2
240	1.2	0.1	.	.	1.2
270	1.9	1.2	0.0	.	3.2
300	1.1	2.7	5.1	.	8.9
330	1.4	2.5	15.5	.	19.4
360	1.3	1.9	6.2	0.2	9.6
Total	19.1	31.6	32.2	0.2	83.1
[0; 3[	.	.	.	.	16.9

JUIN 2022 - LIDAR (100m)

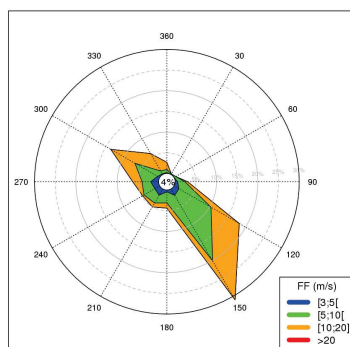


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 1824

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.1	0.1	.	.	0.2
60	0.1	0.4	.	.	0.5
90	0.6	1.8	0.7	.	3.0
120	1.4	8.9	7.9	.	18.2
150	1.8	18.3	10.9	.	31.0
180	0.4	2.7	1.3	.	4.4
210	1.8	2.2	1.1	.	5.0
240	1.4	3.0	0.4	.	4.8
270	1.9	2.1	2.2	.	6.2
300	0.6	6.3	6.7	.	13.7
330	0.2	0.8	4.9	.	5.9
360	0.2	0.8	1.7	.	2.7
Total	10.4	47.4	37.7	.	95.5
[0; 3 [					4.5

JUILLET 2022 - LIDAR (100m)

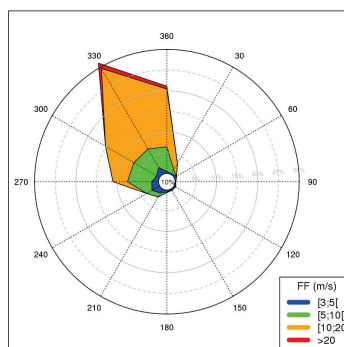
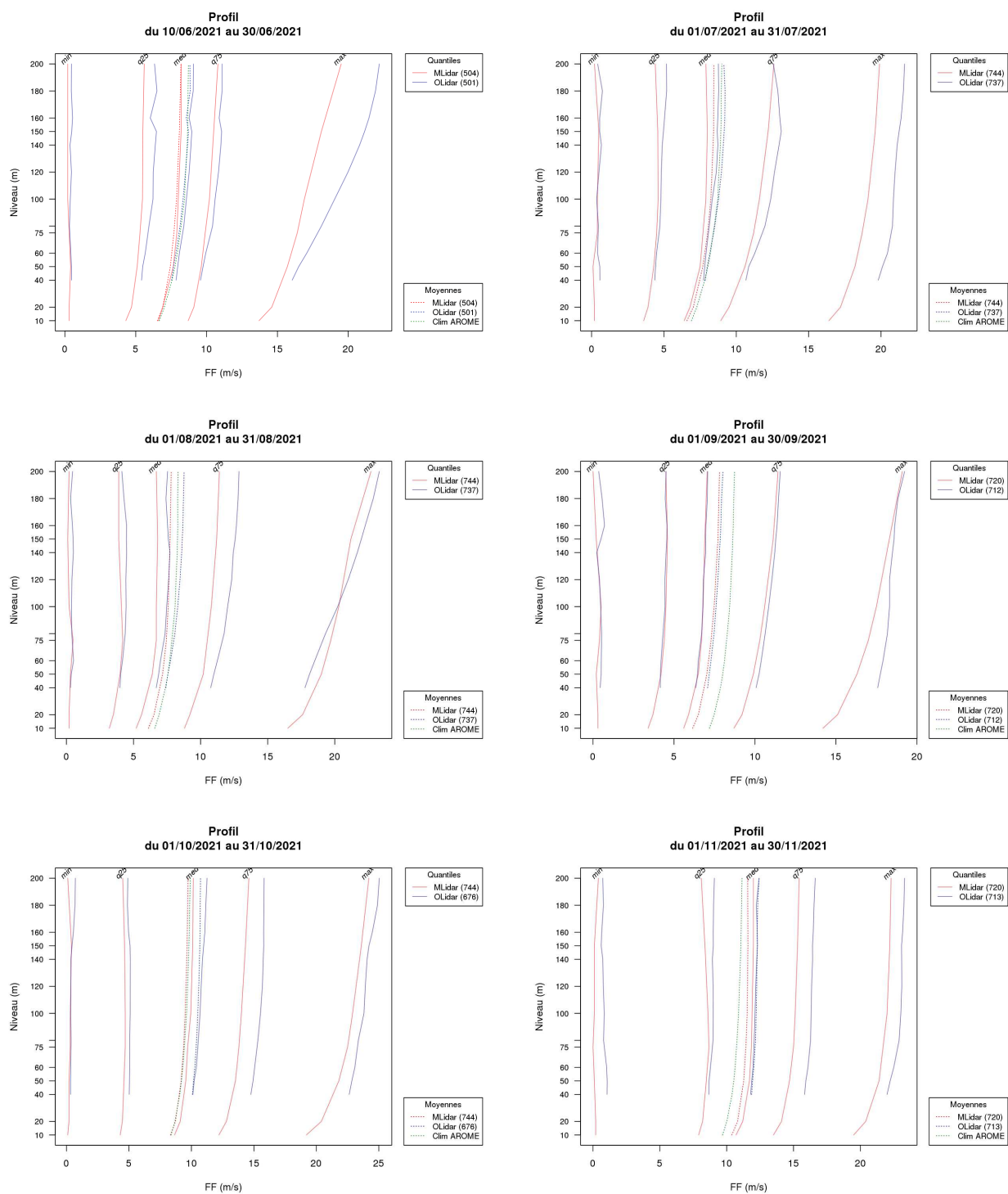


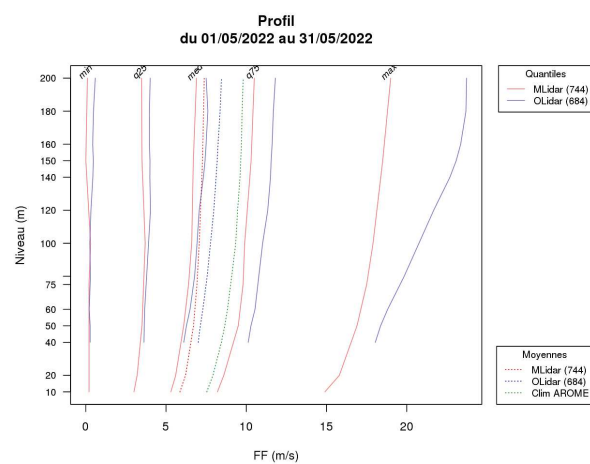
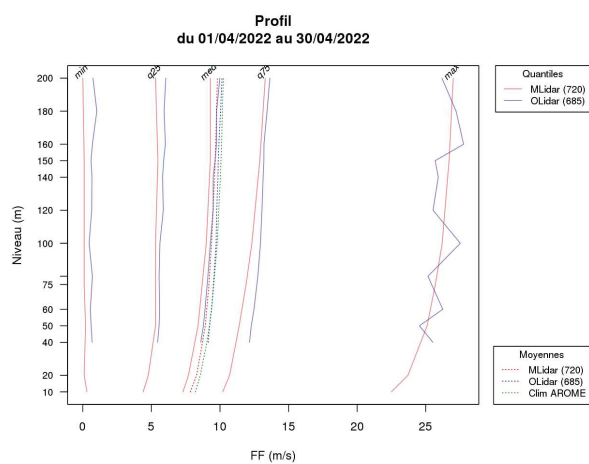
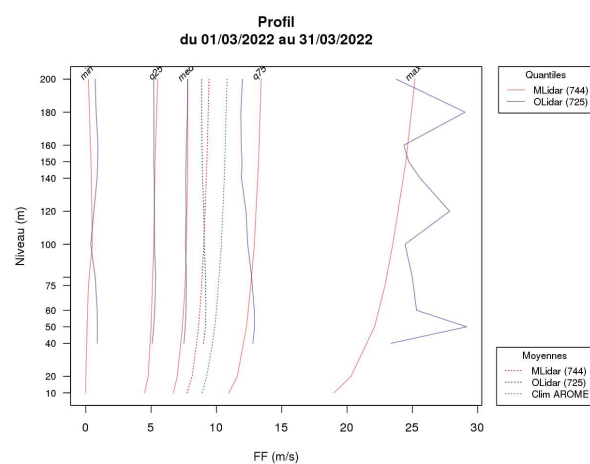
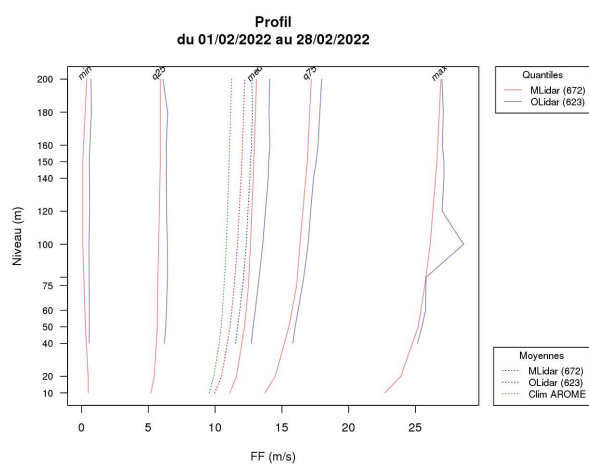
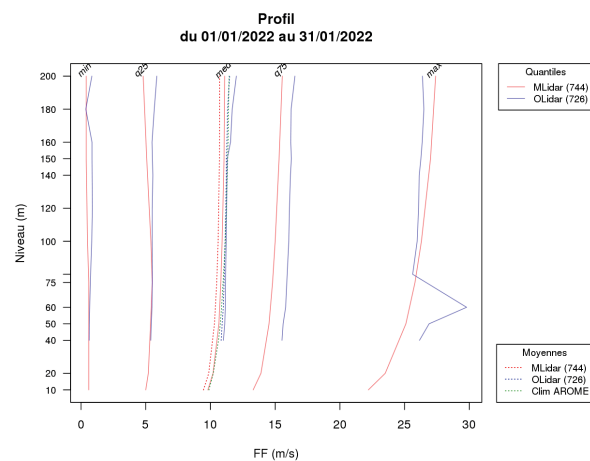
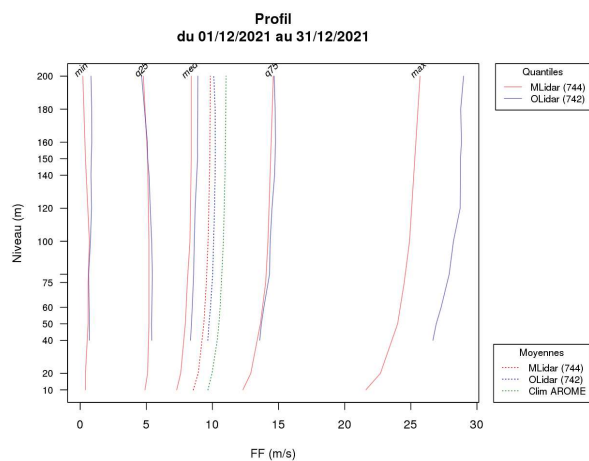
Tableau de répartition (en %)

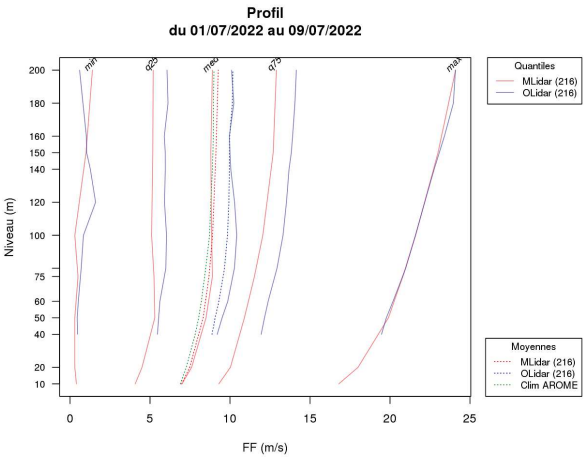
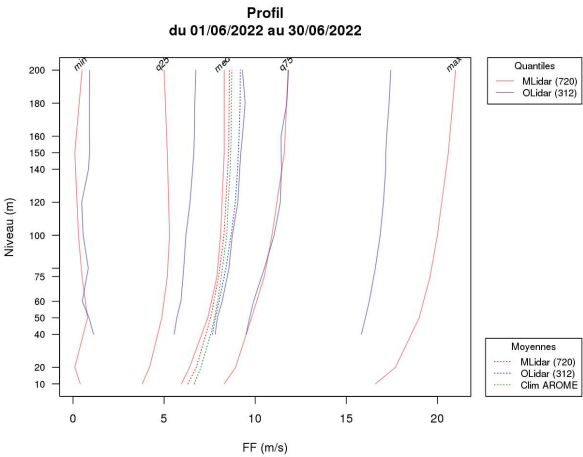
Nombre total de cas : 1289

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.2	1.1	1.8	.	3.1
60	0.7	.	.	.	0.7
90	0.2	.	.	.	0.2
120	0.4	0.1	.	.	0.5
150	0.3	0.1	.	.	0.4
180	0.5	0.2	.	.	0.6
210	1.2	1.1	.	.	2.2
240	2.2	1.5	.	.	3.6
270	1.6	5.9	3.5	.	11.0
300	0.9	6.4	7.9	.	15.1
330	2.0	5.1	22.5	1.5	31.1
360	0.5	6.0	14.0	0.7	21.1
Total	10.6	27.3	49.7	2.2	89.7
[0; 3 [					10.3

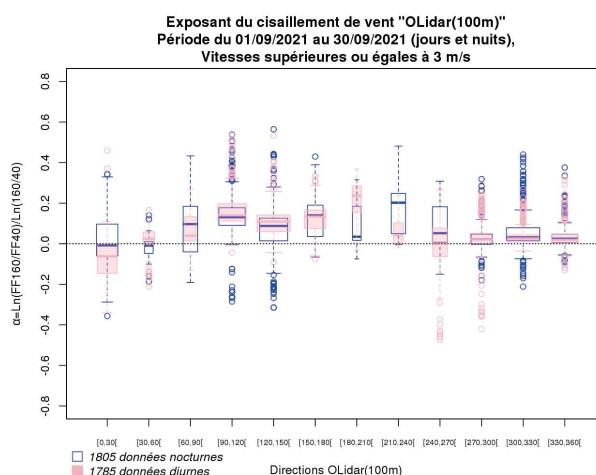
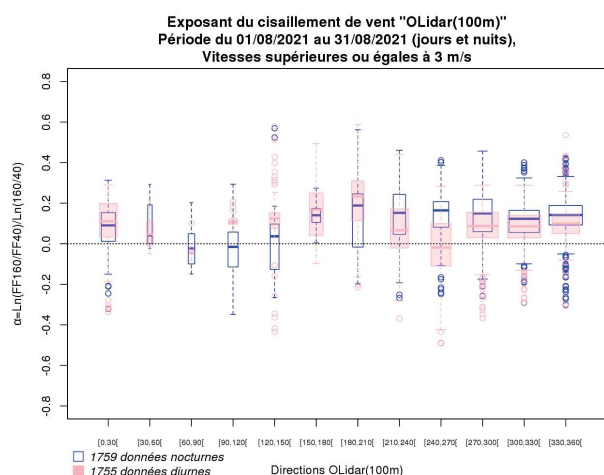
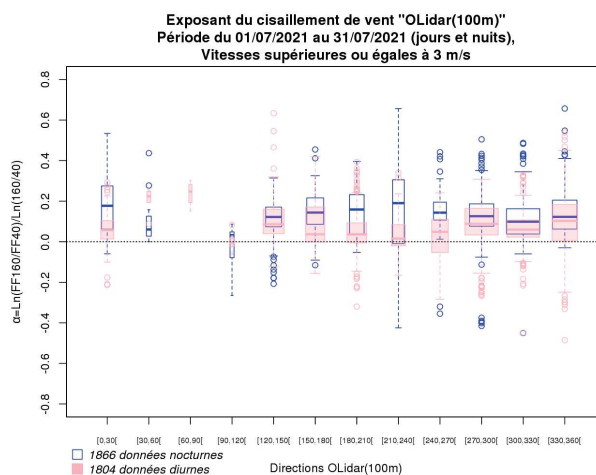
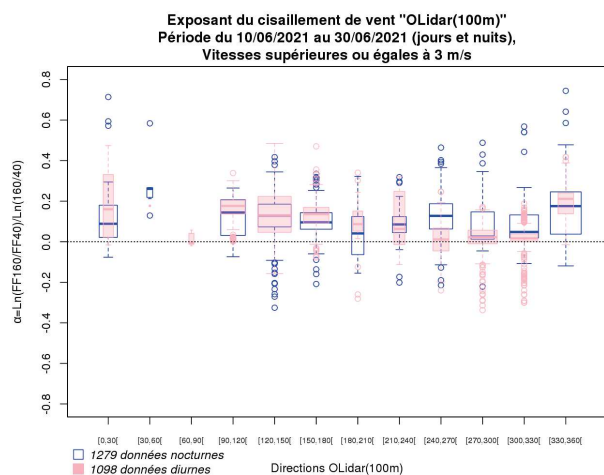
Annexe 7 : Profils de vent du LiDAR



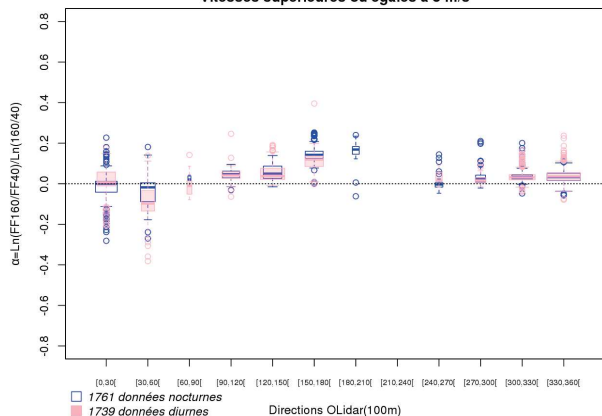




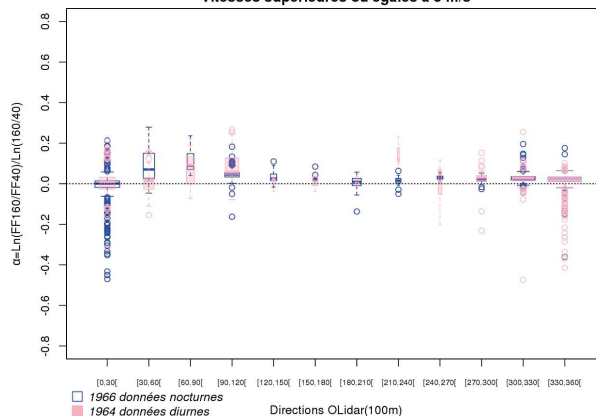
Annexe 8 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



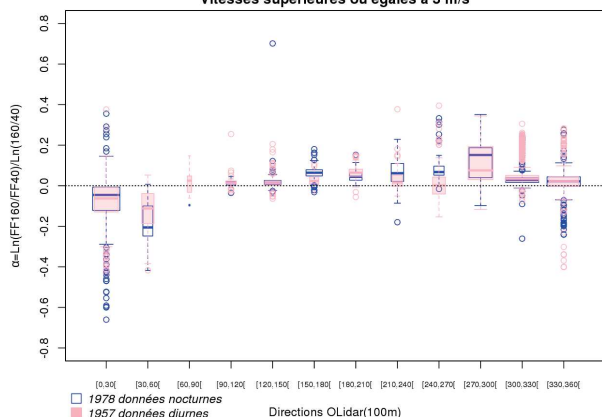
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/10/2021 au 31/10/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



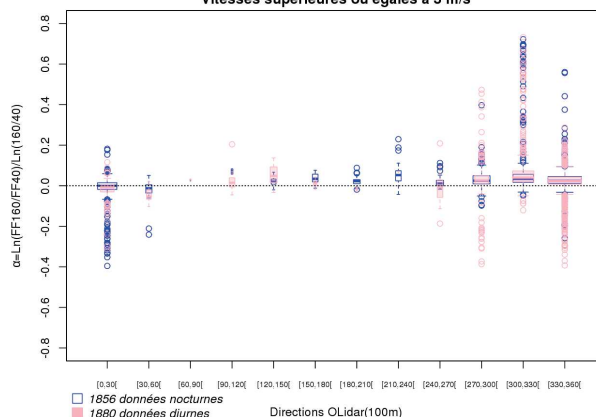
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/11/2021 au 30/11/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



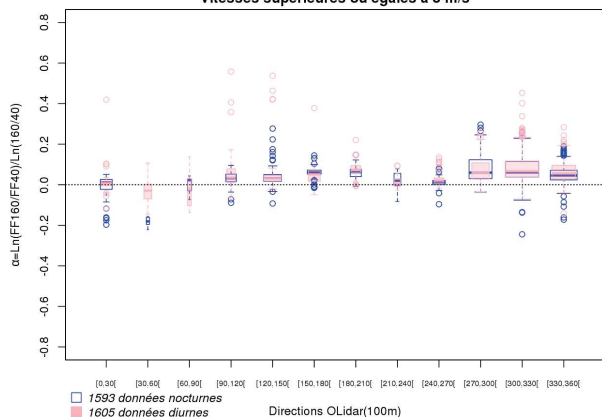
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/12/2021 au 31/12/2021 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



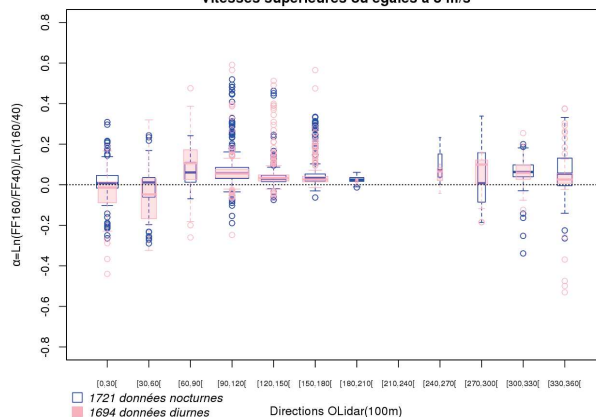
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/01/2022 au 31/01/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



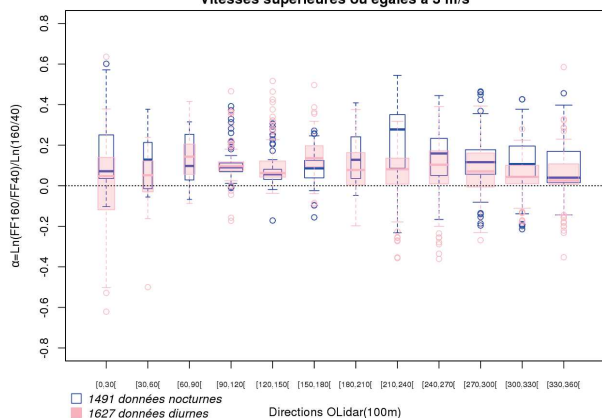
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2022 au 28/02/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



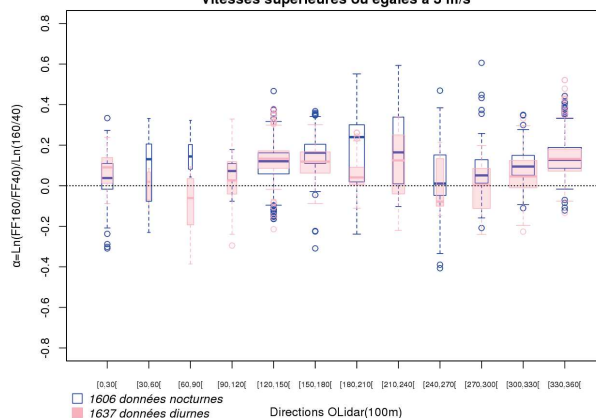
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2022 au 31/03/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



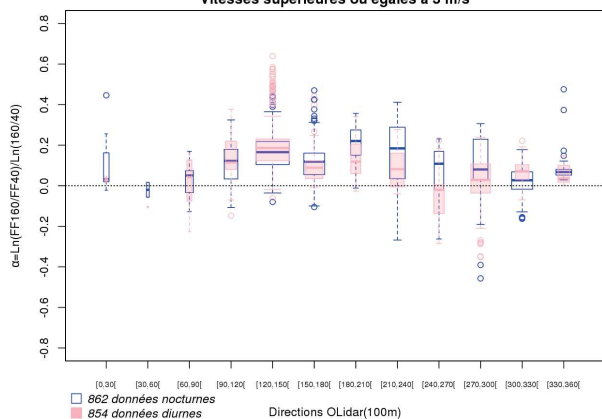
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2022 au 30/04/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



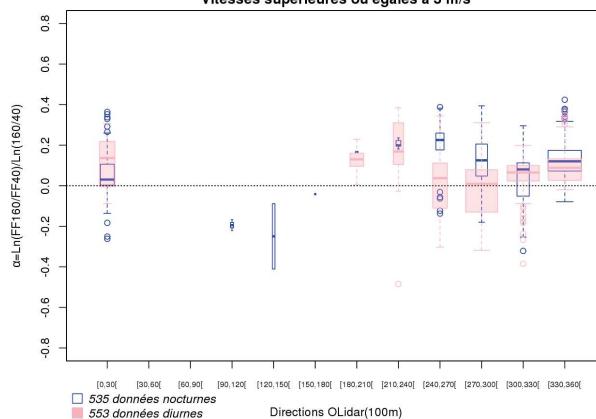
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/05/2022 au 31/05/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/06/2022 au 30/06/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

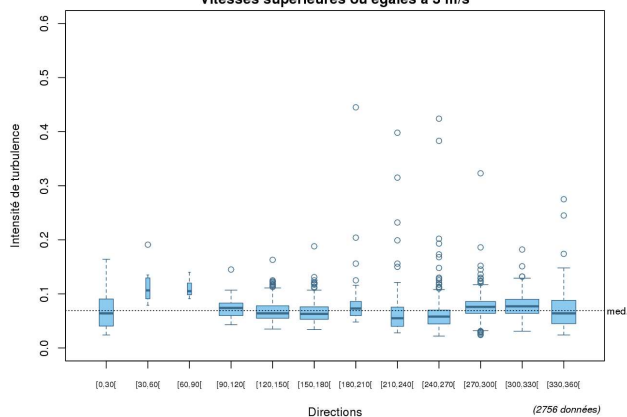


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/07/2022 au 09/07/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

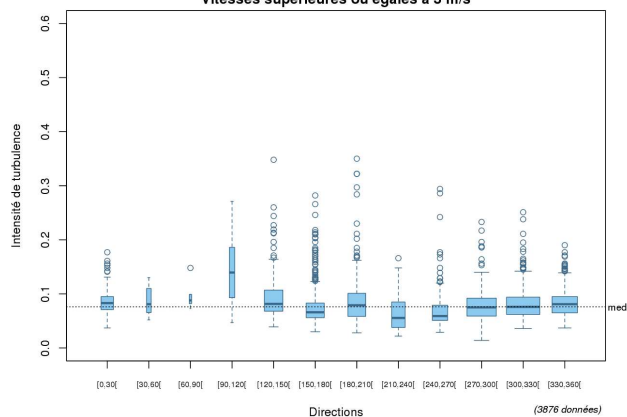


Annexe 9 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

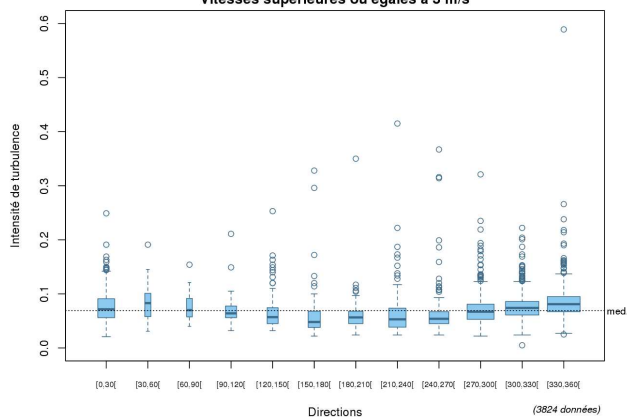
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 10/06/2021 au 30/06/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



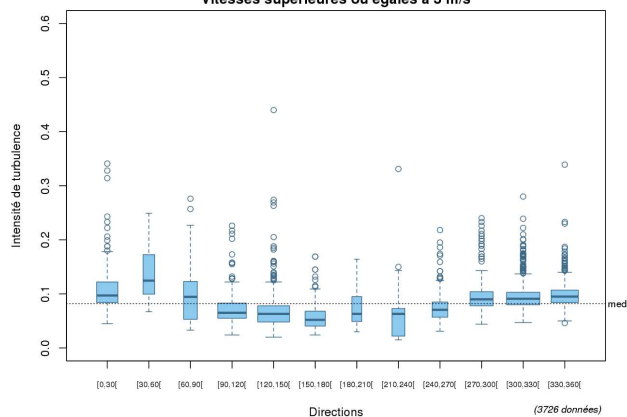
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2021 au 31/07/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



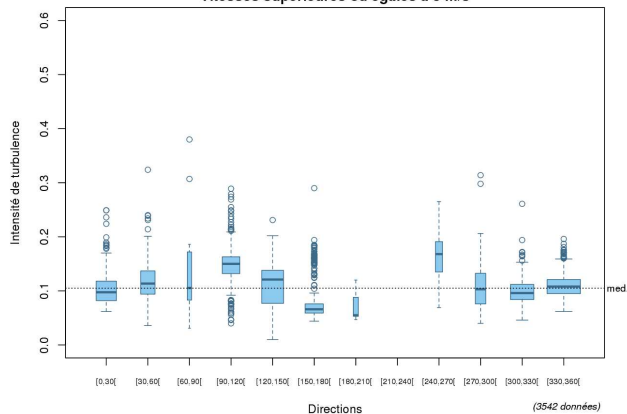
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2021 au 31/08/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



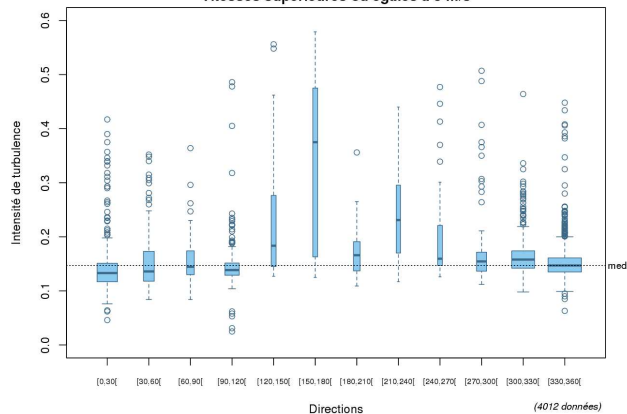
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2021 au 30/09/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



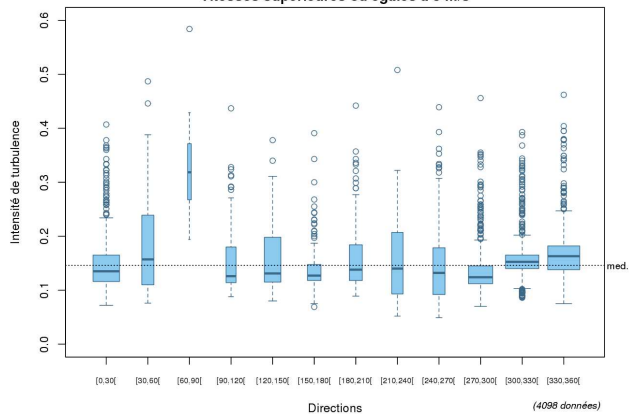
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2021 au 31/10/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



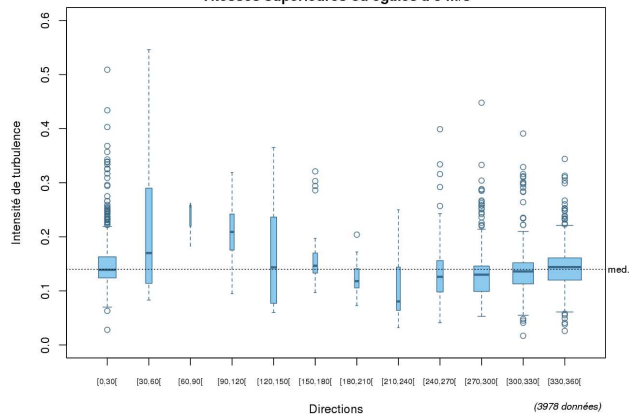
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2021 au 30/11/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



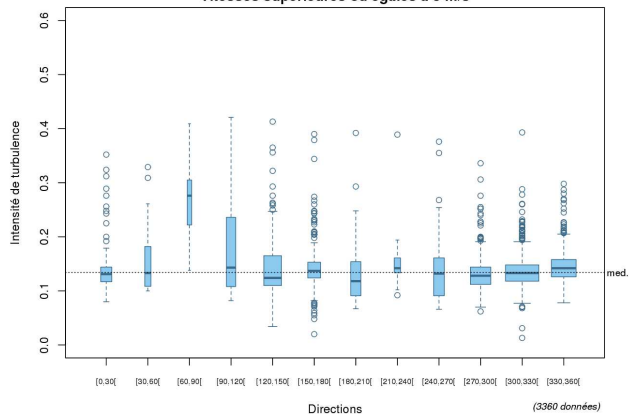
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2021 au 31/12/2021,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



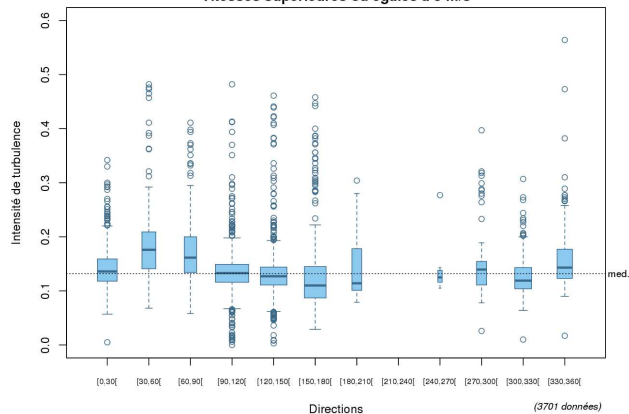
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2022 au 31/01/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



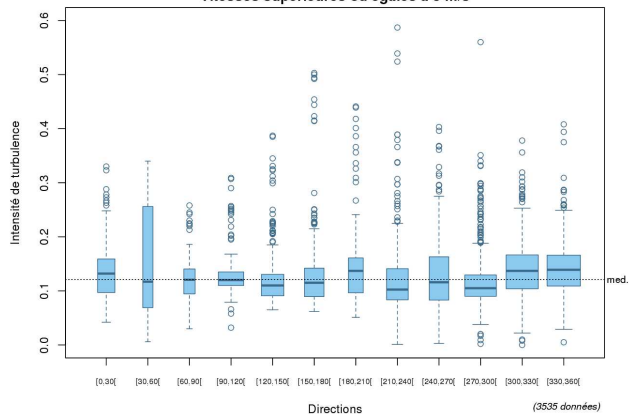
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2022 au 28/02/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



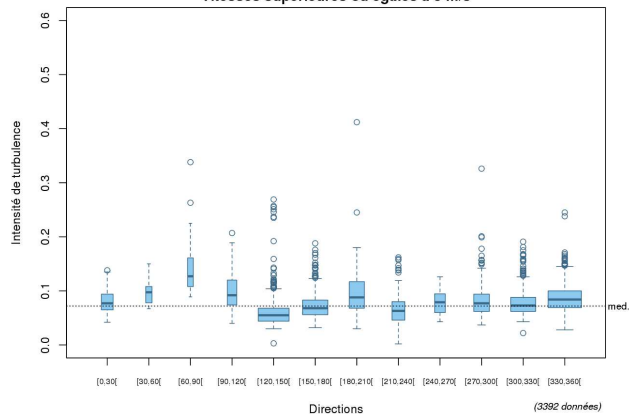
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2022 au 31/03/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

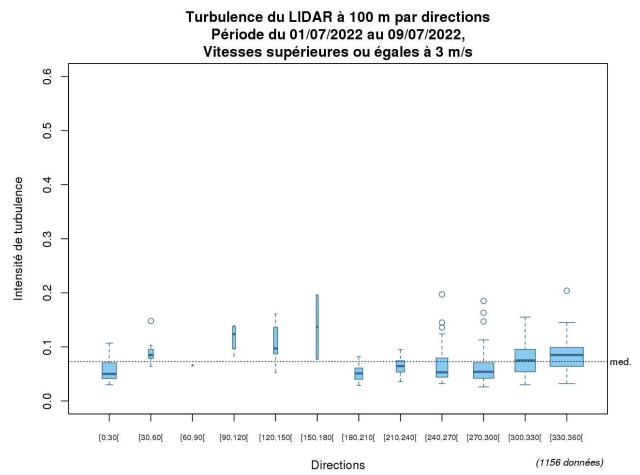
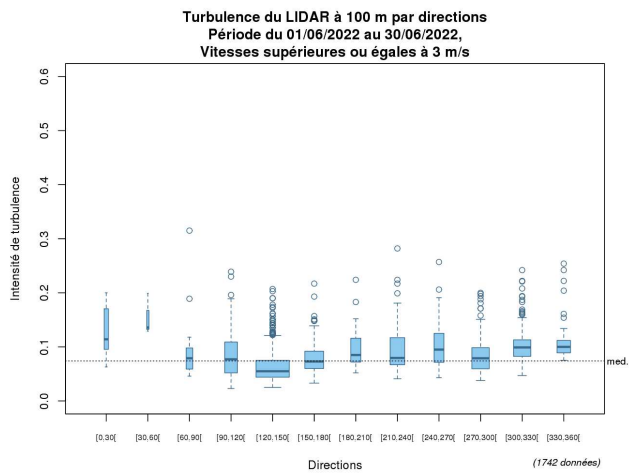


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2022 au 30/04/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2022 au 31/05/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





FIN DE DOCUMENT
