

Rapport final Lot 6a

AO6 Méditerranée Zone 3



Version A du 27/02/2025

Client :

Direction Générale de l'Énergie et
du Climat du Ministère de la
Transition Écologique

Responsable commercial :

Météo-France D2C Toulouse

Responsable technique :

Météo France DSM/CS/DC

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	Référence	Date	Version
DR1	Projet de parc éolien off-shore au large de Dunkerque	Rapport_final_DGEC_Dunkerque	09/02/2018	V6
DR2	Projet de parc éolien off-shore au large de l'île d'Oléron	Rapport_final_12mois_DGEC_Oleron	04/12/2018	V2
DR3	Rapport final Lot 4 AO6 Méditerranée Zone 3	AO6_Méditerranée_zone3_Lot4_Rapport-final_V2_20230228	28/02/2023	V2
DR4	Rapport semestriel d'août 2022 à janvier 2023 AO6 Méditerranée – Bouée A	RS_Rapport_202208-202301_Bouee_Zone3	25/07/2023	V1
DR5	Rapport semestriel de février 2023 à juillet 2023 AO6 Méditerranée – Bouée A	RS_202302-202307_AO6_boueeA_v1_20240110	11/01/2024	V1
DR6	Rapport semestriel d'août 2023 à janvier 2024 AO6 Méditerranée – Bouée A	RS_202308-202401_BoueeA_Zone3_V1_20240604	04/06/2024	V1

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
AO6_Méditerranée_Zone3_Lot6_Rapport-final_V1_20241128	28/11/2024	B1	Livraison (Rapport final 24 mois)
AO6_Zone3_Lot6a_Rapport-final_20220810-20240809_B2	19/02/2025	B2	Corrections de forme suite relecture CEREMA
AO6_Zone3_Lot6a_Rapport-final_20220810-20240809_A	27/02/2025	A	Version validée

Signatures

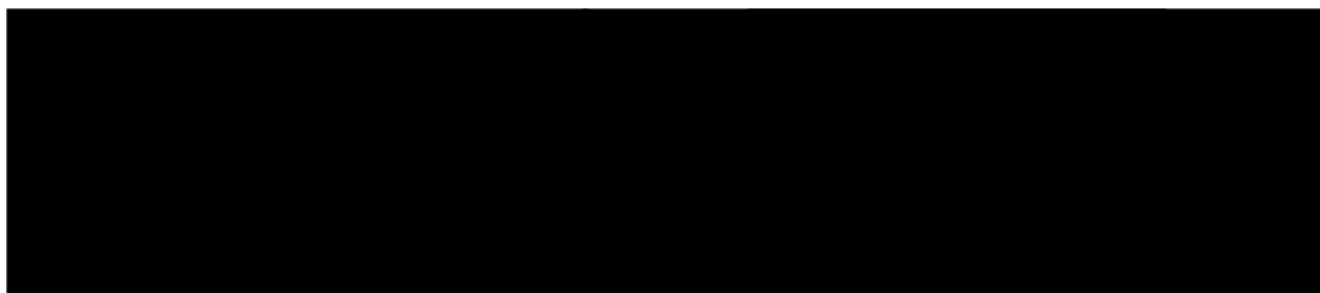


Table des matières

1 Contexte	1
1.1 Zone d'étude	2
1.2 Descriptif de la solution retenue pour l'acquisition des mesures sur site	6
2 Méthodologie appliquée	8
2.1 Type de données fournies par le LiDAR	9
2.2 Les outils statistiques	10
2.2.1 Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI	10
2.2.1.1 Seuils de référence	11
2.2.1.2 Adaptation des seuils à l'anémomètre et au LiDAR	11
2.2.1.3 Codes qualité	12
2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure	13
3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR	14
3.1 Suivi des données	14
3.1.1 Disponibilité des données brutes	14
3.1.2 Monitoring des données FF brutes	16
3.1.3 Monitoring des erreurs	17
3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses	18
3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure	20
3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure	20
3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré	23
3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR	23
3.3.2.2 Distributions	25
3.3.2.3 Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires)	26
3.3.2.4 Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires)	27
3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)	30
3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires)	31
3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)	32
3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m	34
3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI à 100 m	35
4 Analyse des données de vent mesurées par l'anémomètre	36
5 Conclusion	38
6 Bibliographie	38
Annexes	39

Liste des illustrations

Illustration 1 : Situation géographique de la zone (source www.geoportail.gouv.fr)	2
Illustration 2 : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Perpignan (numéro INSEE : 66136001) sur la période 2001/2020	4
Illustration 3 : Carte marine du large de Port Barcarès (source portail Data - SHOM)	5
Illustration 4 : Emplacement du LiDAR et de la zone d'étude du futur parc éolien (source OpenStreetMap)	5
Illustration 5 : Photo de la plateforme de mesure	6
Illustration 6 : Photo du LiDAR	7
Illustration 7 : Localisation des points de grille AROME (source OpenStreetMap)	9
Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données	14
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)	16
Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge)	17
Illustration 11 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle	20
Illustration 12 : Diagramme « quantile-quantile »	21
Illustration 13 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)	21
Illustration 14 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR	22
Illustration 15 : Distributions des vents horaires du LiDAR	25
Illustration 16 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR	26
Illustration 17 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données	27
Illustration 18 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	30
Illustration 19 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR	31
Illustration 20 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	32
Illustration 21 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR	33
Illustration 22 : Turbulence du LiDAR	34
Illustration 23 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR	35
Illustration 24 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle	36
Illustration 25 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)	37
Illustration 26 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre	37
Illustration 27 : Roses des vents en été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	40
Illustration 28 : Roses des vents à l'automne 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan	41
Illustration 29 : Roses des vents à l'hiver-2022-2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan	42
Illustration 30 : Roses des vents au printemps 2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	43

Illustration 31 : Roses des vents en été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	44
Illustration 32 : Roses des vents en automne 2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	45
Illustration 33 : Roses des vents à l'hiver-2023-2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan	46
Illustration 34 : Roses des vents au printemps 2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	47
Illustration 35 : Roses des vents en été 2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan	48
Illustration 36 : Anomalies mensuelles de températures minimales (TN) et maximales (TX) de août 2022 à août 2024 à la station de Perpignan – Période de référence : 1991 – 2020	49
Illustration 37 : Cumuls mensuels de précipitations de août 2022 à août 2024 à la station de Perpignan (66) (histogrammes) et normale de précipitations (segments en vert) - Période de référence : 1991 – 2020	50
Illustration 38 : Anasygs du mardi 07 février 2023 à 00UTC (à gauche) et 18 UTC (à droite)	51
Illustration 39 : Comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME les 7 et 8 février 2023	52
Illustration 40 : à gauche, anasyg du dimanche 21 juillet 2024 à 06UTC, à droite, lame d'eau (1 h) ANTILOPE à 09 UTC.	53
Illustration 41 : à gauche, comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME les 21 et 22 juillet 2024, à droite, visualisation des vents mesurés par le LiDAR à différentes hauteurs entre 40 et 200 m.	54

Index 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.	15
Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR.	19
Tableau 3 : Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR.	24

Glossaire

Abréviation	Signification
LiDAR	« Light Detection And Ranging ». Instrument de télédétection par laser.
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 3, au large de Perpignan (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.

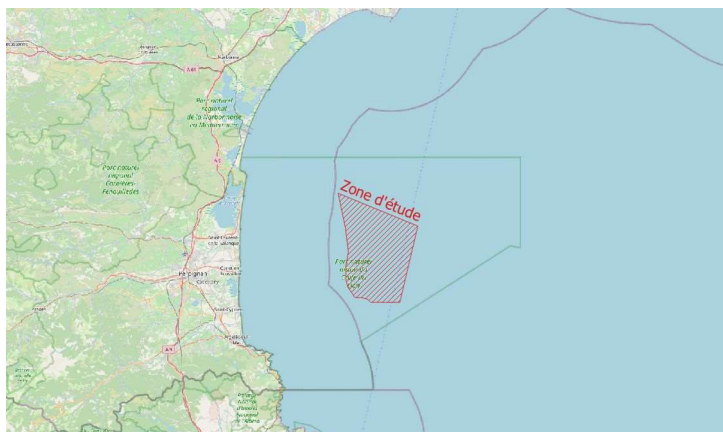
Une première campagne de mesures dans le cadre du « Lot 4 » a été menée du 10 juin 2021 au 9 août 2022. Les mesures de vent ont été effectuées à partir d'un appareil de type LiDAR pour différentes hauteurs d'intérêt dont la hauteur 100 m revêtant un caractère important pour la production éolienne.

Cette campagne a fait l'objet d'un rapport de suivi et de contrôle de la mesure ainsi que d'un livrable de données (cf. Documents de référence antérieurs).

A l'issue de cette première phase, une extension de deux ans de la campagne de mesure en mer a été commandée par la DGEC à Météo-France, dans le cadre du « Lot 6a ». Le présent rapport traite des 24 mois de mesures de cette extension. Celle-ci a débuté officiellement à compter du 10 août 2022 et s'est terminée le 9 août 2024.

1.1 Zone d'étude

Le futur parc éolien se situe sur une zone au large de Perpignan.



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

Cette zone est caractérisée d'un point de vue météorologique par :

- un flux largement dominant de secteur nord-ouest relatif à la Tramontane dont l'orientation et l'intensité sont liées aux caractéristiques géographiques de la zone. En effet, le vent est le plus souvent canalisé par le couloir du seuil de Naurouze entre les Montagnes Noires du sud du Massif Central et les contreforts pyrénéens. Cette situation s'observe après le passage d'une perturbation Atlantique qui est suivie d'une forte poussée anticyclonique sur l'ouest de la France. Si le ciel est le plus souvent dégagé par effet orographique, le vent peut souffler jusqu'au niveau Tempête très loin des côtes ;
- un flux de sud-est, bien moins fréquent, lié aux situations perturbées en présence d'une dépression sur la Péninsule Ibérique alors qu'un anticyclone persiste sur le continent européen. Le vent peut souffler très fortement en générant, qui plus est, de fortes vagues de secteur sud-est, la zone d'action du vent (appelée Fetch) étant de plusieurs centaines de kilomètres ;
- enfin, des situations calmes, de direction variable et d'intensité faible, peuvent survenir lors d'une situation dite de « marais barométrique », sans gradient de pression, celle-ci étant comprise entre 1010 et 1015hPa ;
- même si la situation perturbée décrite ci-dessus peut s'observer toute l'année, sa fréquence est néanmoins accrue au printemps et à l'automne.

La station de Leucate avait été choisie comme station de référence lors de l'étude du lot 4. Cependant, cette station a subi plusieurs changements d'environnement au cours de ces dernières années qui ont peu à peu dégradé la qualité de la mesure. La série de vent associée ne peut plus être considérée comme homogène.

Pour l'étude du lot 6, nous avons donc choisi d'utiliser la station de Perpignan (Pyrénées Orientales), située dans un environnement fiable, proche de la zone d'étude et qui possède des statistiques établies sur un historique de 20 ans de mesures.

Le point de mesure de Perpignan se trouve au niveau de l'aéroport de la ville, quelques kilomètres à l'ouest de la bouée. Cette station permet d'avoir une information pratique sur le vent dans le secteur de la zone d'étude.

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

- Les allures générales des roses de vent sont très proches tout au long de l'année avec une très nette prédominance des vents de nord-ouest (de 40 à 50 % des cas pour les secteurs 280° à 340°) puis, dans une bien moindre mesure, d'un large secteur est (10 à 25 % des cas pour les secteurs 40° à 140°), et enfin le secteur sud-ouest (9 à 15 % des cas pour les secteurs 200° à 260°). Toutes les autres origines potentielles ne sont observées que bien plus rarement ;
- Pour les vents de nord-ouest et sud-est, l'intensité du vent peut atteindre le seuil de la tempête. Dans le cas du vent de sud-est, le vent génère également de fortes vagues très dangereuses pour la navigation.
- Les vents les plus forts viennent en majorité du secteur nord-ouest, ainsi que du secteur sud-est. La fréquence de ces vents forts est relativement similaire quelle que soit la saison.
- Les périodes de vent calme ($< 1,5$ m/s) sont assez fréquentes (entre 12.0 et 19.0 %) en étant plus fréquentes en automne et en hiver.

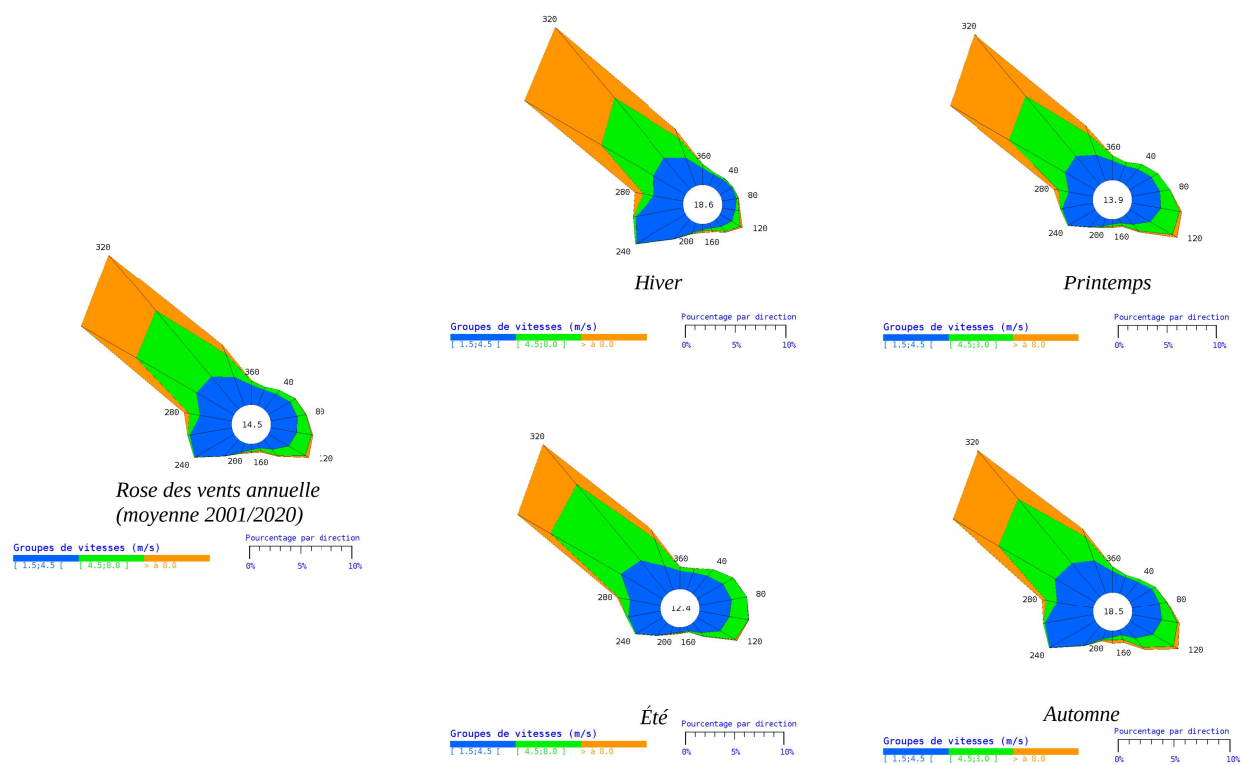


Illustration 2 : Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Perpignan (numéro INSEE : 66136001) sur la période 2001/2020

1 Contexte

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 d'environ 90 mètres. Les fonds sont réguliers.

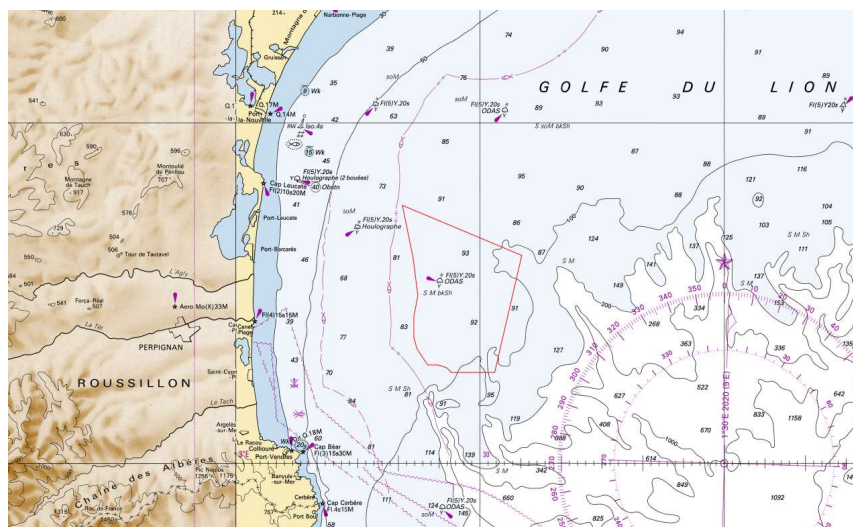


Illustration 3 : Carte marine du large de Port Barcarès (source portail Data - SHOM)

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 LiDAR. La campagne de mesures est réalisée à proximité du point de coordonnées WGS84 Lon : 3,416° Lat : 42,765°. Les coordonnées exactes du point de mesure sont disponibles dans les données brutes produites. La bouée LiDAR a un rayon théorique maximal de 80 m de déplacement autour de son point d'ancrage.

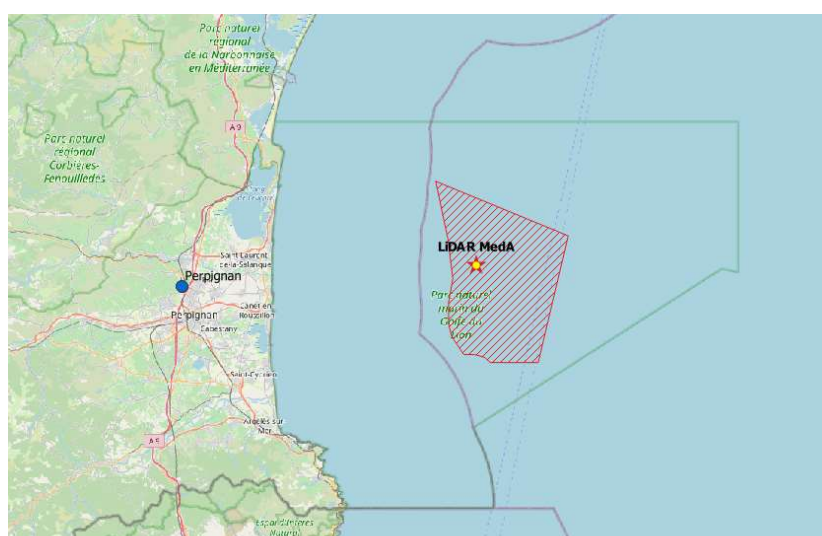


Illustration 4 : Emplacement du LiDAR et de la zone d'étude du futur parc éolien (source OpenStreetMap)

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 aux énergies renouvelables et à une pile à combustible, et une grande stabilité pour la précision de mesure de vent. Elle est supervisée et bénéficie des ressources techniques et humaines pour mener à bien l'ensemble des opérations nécessaires garantissant la meilleure disponibilité des données enregistrées.



Illustration 5 : Photo de la plateforme de mesure

La plateforme flottante embarque des instruments pour effectuer différentes mesures :

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

La mesure de vent en altitude est réalisée à l'aide d'un LiDAR de chez LEOSPHERE : Windcube V2 Offshore 8.66 pour bouée, modèle WLS866-4 (les caractéristiques techniques de l'appareil sont décrites dans le document « WindCube_WLS866_Specification.pdf » faisant partie du livrable dont Météo-France a la charge). Ce LiDAR (Light Detection And Ranging) envoie une impulsion laser infrarouge vers l'atmosphère. Quatre faisceaux sont envoyés successivement dans les quatre directions cardinales formant un cône de 28°. Un cinquième faisceau vertical permet de vérifier et préciser les mesures. Les impulsions laser sont rétrodiffusées par les particules (poussières, gouttes d'eau, aérosol...) circulant selon la vitesse du vent. Ces impulsions permettent de calculer la vitesse et la direction du vent sur la base du décalage de leur

longueur d'onde dû à l'effet Doppler. Ces mesures sont réalisées sur 11 hauteurs différentes, de 40 à 200 mètres.

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



Illustration 6 : Photo du 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 4m au-dessus du niveau de la mer) sans toutefois pouvoir être réalisée à 10m (norme de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM)¹) : le 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 « 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 pour s'affranchir en partie des effets de la rugosité du sol qui provoque des turbulences, ce qui peut se traduire par une forte variabilité 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 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 assimilées, disponibles au pas de temps horaire, sont la meilleure représentation par le modèle 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 optimisé 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

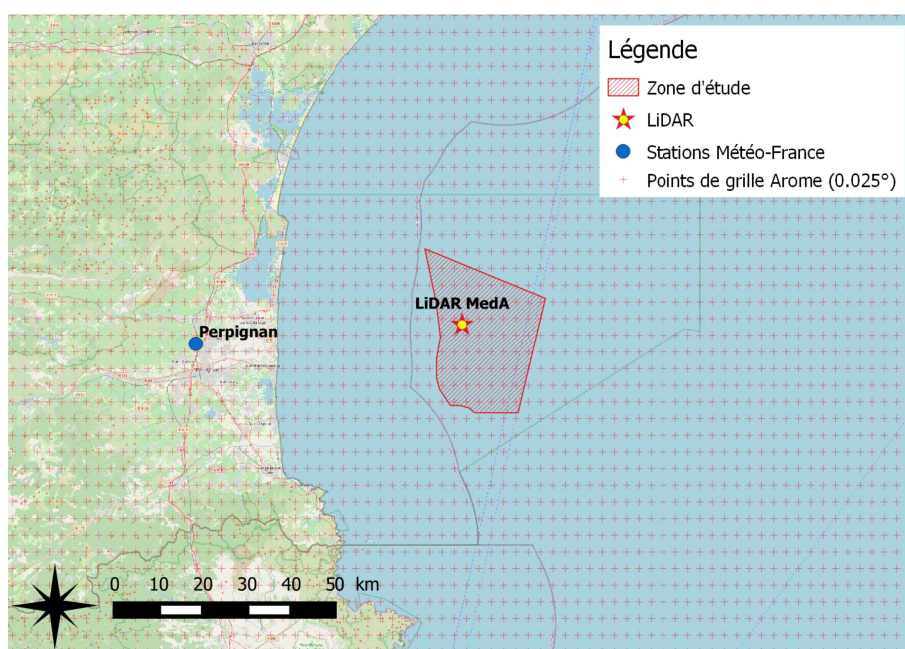


Illustration 7 : Localisation des points de grille AROME (source OpenStreetMap)

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

- Les données **reconstituées**
 - Données moyennées sur 10 minutes non corrigées (fichiers *.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**
 - Données brutes 1 seconde, 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 (les données au pas de temps de la 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.

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 DD, FF et FXI.

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 Adaptation des seuils à l'anémomètre et au LiDAR

Nous avons souhaité utiliser des critères plus ou moins semblables aux seuils de référence (cf. § 2.2.1.1) afin de contrôler les données de l'anémomètre et du LiDAR. La problématique n'est pas tout à fait la même car ces données ne sont pas préalablement assimilées par le modèle.

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

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

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

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

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

2.2.1.3 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. § 2.2.1). 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 présenté ci-dessus.

Série FXI :

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

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

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

Les codes qualités définis plus haut sont fournis dans le fichier « MedA_SerieLidarH100_20220810-20240809.csv ».

2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure

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

Les statistiques étudiées sont maintenant décrites.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR

Les différentes statistiques traitées dans cette partie se font uniquement à partir des données réellement mesurées par le 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 de grille le plus proche du 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.

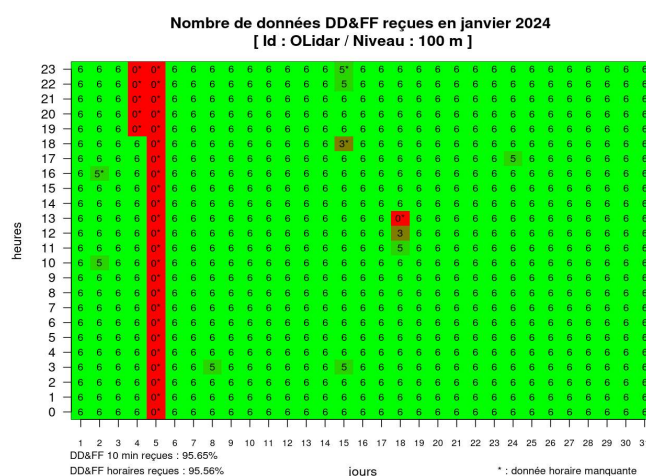


Illustration 8 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR

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

Pour le suivi de la campagne de mesures, 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 pour les niveaux 60, 100 et 160m doit être supérieur à 85 %.

		40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	140 m	150 m	160 m	180 m	200 m	MOY
2022	8 (22j)	99,91	99,97	99,97	99,97	99,97	99,68	99,21	98,48	97,54	94,22	89,90	99,16
	9	99,93	99,93	99,91	99,93	99,93	99,86	99,84	99,84	99,84	99,65	99,17	99,89
	10	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	99,87	99,82	99,75	98,70	96,66	99,89
	11	97,29	97,29	97,31	97,29	97,29	97,29	97,29	97,29	97,29	96,92	95,88	97,30
	12	96,91	96,91	96,91	96,91	96,91	96,91	96,89	96,86	96,80	96,08	94,56	96,87
2023	1	99,89	99,89	99,89	99,89	99,89	99,89	99,89	99,89	99,84	99,64	98,63	99,87
	2	99,88	99,88	99,88	99,88	99,88	99,88	99,85	99,80	99,70	98,93	97,97	99,82
	3	99,87	99,87	99,87	99,87	99,87	99,75	99,22	99,01	98,70	97,36	95,16	99,48
	4	96,81	96,81	96,67	96,90	96,88	96,67	96,11	95,79	95,44	93,12	90,46	96,33
	5	99,89	99,89	99,89	99,89	99,89	99,87	99,80	99,80	99,78	99,53	98,39	99,85
	6	88,77	88,75	88,77	88,77	88,77	88,77	88,70	88,45	88,38	88,22	87,78	88,64
	7	99,78	99,78	99,78	99,78	99,78	99,62	99,51	99,46	99,44	99,15	97,69	99,66
	8	99,37	99,37	99,37	99,37	98,70	98,19	97,22	96,62	96,24	95,65	94,49	98,10
	9	99,91	99,91	99,91	99,91	99,91	99,91	99,79	99,72	99,65	99,42	98,40	99,82
	10	99,87	99,87	99,87	99,87	99,87	99,87	99,82	99,73	99,57	99,33	98,52	99,77
	11	99,05	99,05	99,05	99,05	99,05	99,05	99,05	99,05	99,00	98,96	97,85	99,04
	12	96,95	97,13	97,20	98,21	98,48	97,04	95,27	94,13	92,79	90,23	86,63	96,15
2024	1	95,88	95,95	95,97	95,97	95,65	95,32	94,94	94,60	94,02	91,64	87,84	95,21
	2	98,85	98,87	98,85	98,92	98,87	98,56	97,92	97,75	97,17	94,92	91,43	98,30
	3	99,87	99,87	99,87	99,84	99,87	99,64	99,60	99,51	99,40	98,79	97,13	99,71
	4	99,93	99,93	99,93	99,93	99,93	99,91	99,75	99,63	99,54	99,26	98,40	99,80
	5	99,69	99,71	99,73	99,73	99,80	99,66	99,31	98,88	98,34	96,80	93,44	99,29
	6	99,88	99,88	99,88	99,88	99,88	99,84	99,54	99,35	99,24	98,24	96,06	99,67
	7	81,25	81,25	81,23	81,23	81,23	81,23	81,14	81,12	81,09	81,03	80,26	81,18
	8 (9j)	99,85	99,85	99,85	99,85	99,85	99,77	99,61	99,54	99,54	99,31	98,07	99,74
MOY (731j)		97,88	97,89	97,89	97,95	97,92	97,76	97,47	97,27	97,03	96,12	94,36	97,61

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 les 27 et 28 août 2023 au cours d'une situation de tramontane forte. On note une bonne, voire très bonne corrélation entre l'observation LiDAR et le modèle aussi bien dans la chronologie que l'intensité des phénomènes. Le maximum prévu par le modèle, le 27 à 22h, n'a toutefois pas été mesuré par le LiDAR.

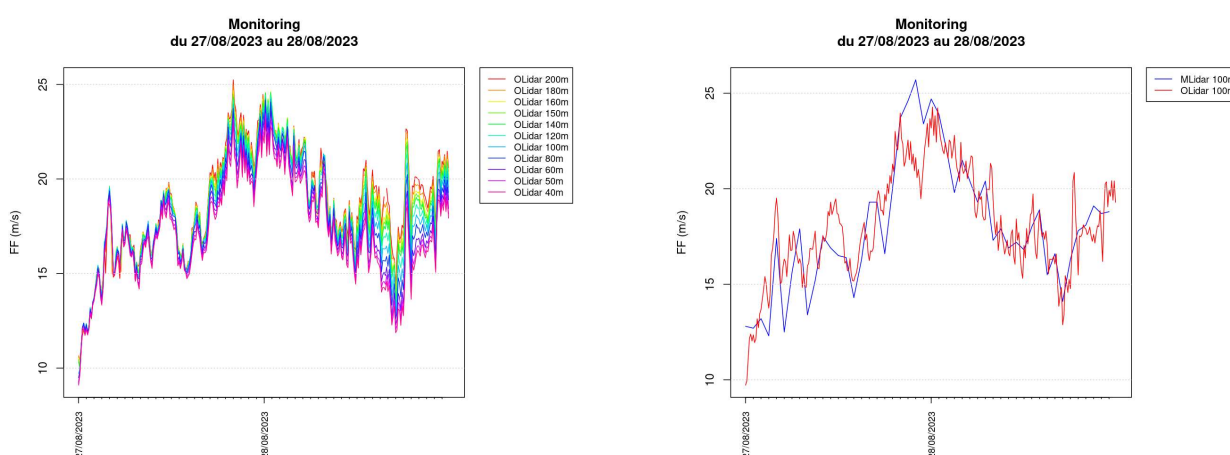


Illustration 9 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite)

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 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 résultats restent dans la plupart des cas en dessous de 2 m/s et de 20°, et sont donc très inférieurs aux seuils fixés (cf. § 2.2.1.1). L'exemple de monitoring pour le mois de septembre 2022 figure dans l'illustration ci-dessous.

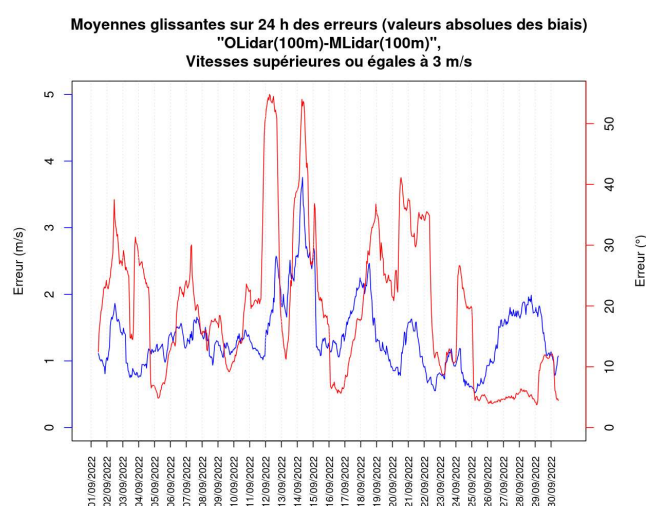


Illustration 10 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue)
et de directions (courbe rouge)

3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses

Il est avéré que les LiDAR fournissent moins de données d'observations lorsque l'altitude augmente. Ceci est dû au fait que le faisceau laser des LiDAR est fortement perturbé voire masqué dans les zones contenant des hydrométéores (gouttelettes nuageuses par exemple), les nuages bas créent des obstacles à la mesure sur leur passage.

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
Août 2022	Début de la campagne le 10/08/22. RAS
Septembre 2022	RAS
Octobre 2022	RAS
Novembre 2022	Manques ponctuels les 15, 17 et 18.
Décembre 2022	Manque de quelques directions de vent le 8.
Janvier 2023	RAS
Février 2023	RAS
Mars 2023	RAS
Avril 2023	Manques le 19/04, de 00h à 14h suite à un défaut système.
Mai 2023	RAS
Juin 2023	Données Lidar non récupérables du 13 à 17h au 16/06 23h suite à une saturation de la mémoire.
Juillet 2023	RAS
Août 2023	Manques ponctuels le 10/08 de 13h à 15h en raison d'une maintenance préventive (modem satellite remplacé).
Septembre 2023	RAS
Octobre 2023	RAS
Novembre 2023	Absence de données le 24/09 de 12h à 17h en raison d'une saturation de la mémoire.
Décembre 2023	La disponibilité des données de vent est altérée en raison des conditions extérieures certains jours, notamment 03/12, 11/12, 25/12, 26/12.
Janvier 2024	Absence de données de vent du 04/01 19h au 05/01 23h en raison d'une saturation de mémoire (disponibilité système).
Février 2024	RAS
Mars 2024	RAS
Avril 2024	RAS
Mai 2024	RAS

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR



Juin 2024	RAS
Juillet 2024	Manques du 06/07 11h00 au 11/07 23h00 suite à un problème électrique (LiDAR arrêté).
Août 2024	Fin de la campagne le 09/08/24.

Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR

L'analyse de deux situations météorologiques ayant pu impacter les mesures horaires du LiDAR figure en Annexe 2 et Annexe 3.

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.

Seulement 10 % des valeurs enregistrées par le LiDAR sortent des seuils fixés, à savoir avec un écart de force de vent supérieur à 5 m/s et/ou un écart en direction supérieur à 30°. L'essentiel des dépassements de seuil concerne le critère de direction (croix oranges) pour des forces inférieures à 10 m/s (cf. Illustration 11).

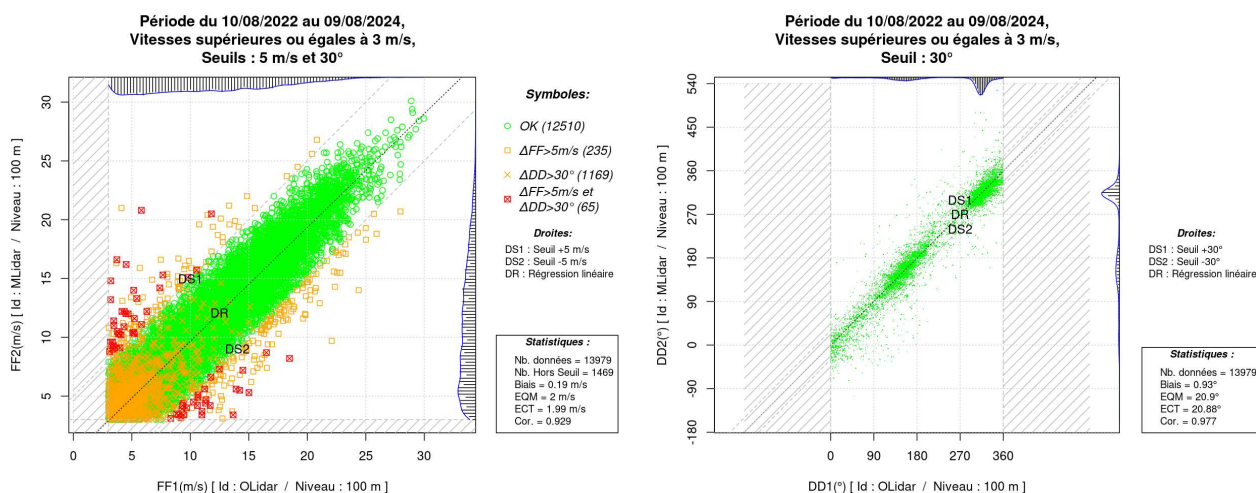


Illustration 11 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent du LiDAR et du modèle AROME ci-dessous présente des points bien alignés sur la première bissectrice y compris pour la valeur maximale, avec des écarts de moins de 0,5 m/s entre l'échantillon observé et celui du modèle AROME.

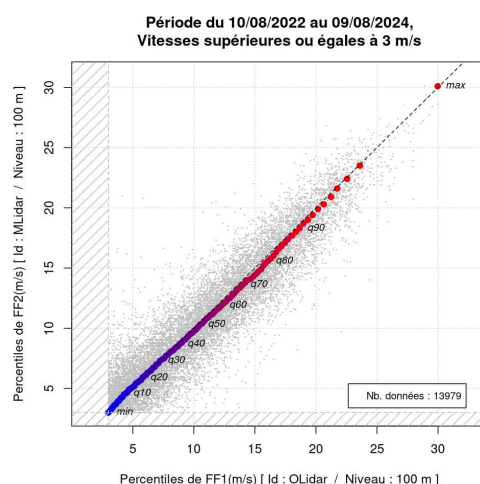


Illustration 12 : Diagramme « quantile-quantile »

Quelle que soit l'heure, l'observation présente un très faible biais non systématique sur les directions, de moins de 2° par rapport au modèle. Suivant la direction considérée, on note un biais légèrement plus marqué pour le secteur nord-est de l'ordre de +7° et pour le secteur sud-ouest d'environ -5° (cf. Illustration 13).

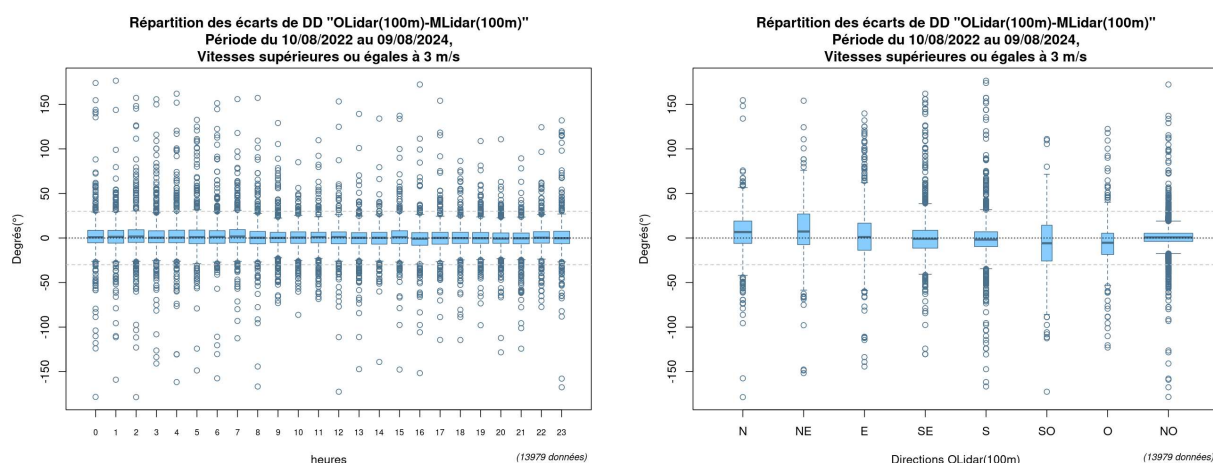


Illustration 13 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

Les dépassements du seuil pour la force du vent (écart supérieur à 5 m/s entre le LiDAR et le modèle) représentent jusqu'à 6,5 % des cas pour le secteur sud-ouest qui reste toutefois peu représentatif. Pour le secteur nord-ouest qui est prépondérant et pour tous les secteurs nord à sud-est, les dépassements du seuil de force n'excèdent pas 2 % (cf. Illustration 14 à gauche).

Pour des vitesses supérieures à 9 m/s, on enregistre des dépassements du seuil de direction (écart supérieur à 30° entre le LiDAR et le modèle) dans moins de 5 % des cas. On note également que 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 (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.

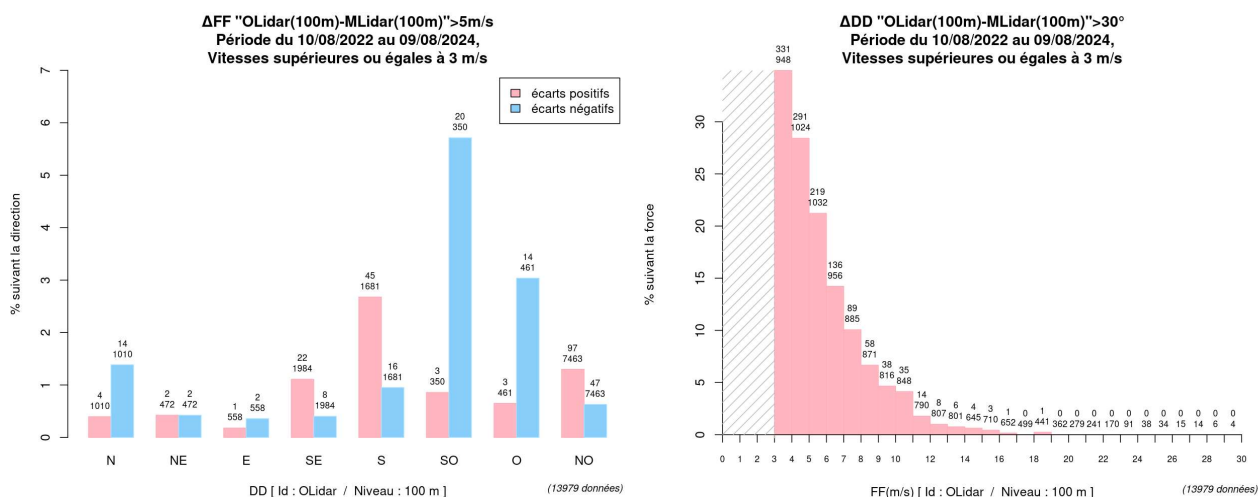


Illustration 14 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR

3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré

En préambule, afin de se faire une idée plus précise des conditions météorologiques rencontrées durant la campagne de mesures, une description détaillée de la climatologie saisonnière figure en Annexe 1.

3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR

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).

La campagne a débuté le 10 août 2022. Par ailleurs, au cours des mois de juin 2023 et juillet 2024, suite à quelques problèmes techniques (cf. Tableau 2), le LiDAR n'a pas effectué de mesures. Ceci explique les différences constatées sur certaines classes de vitesse entre les taux bruts et reconstitués.

Pour les autres mois, quelle que soit la classe de vitesse, ces taux ne diffèrent pas de plus de 1,5 %.

Année	Mois	Nombre De cas	0 à 3 m/s	3 à 5 m/s	5 à 10 m/s	10 à 15 m/s	15 à 20 m/s	20 à 25 m/s	25 à 30 m/s	30 à 35 m/s
2022	8	3167	14,1 %	12,9 %	35%	24,7 %	13%	0,3 %	.	.
		528	13,6 %	13,1 %	35,4 %	24,1 %	13,4 %	0,4 %	.	.
	9	4317	9,2 %	14,8 %	38,1 %	28,6 %	9%	0,3 %	.	.
		720	9,4 %	13,9 %	39%	27,9 %	9,6 %	0,1 %	.	.
	10	4462	17,9 %	22,2 %	36,7 %	17,4 %	5,4 %	0,3 %	.	.
		744	18,1 %	21,9 %	36%	18%	5,6 %	0,3 %	.	.
	11	4243	11%	15,8 %	25,9 %	22,1 %	18,6 %	5,9 %	0,7 %	.
		720	11,4 %	16,2 %	25,7 %	21,5 %	19,2 %	5,3 %	0,7 %	.
	12	4423	23%	23,4 %	37,2 %	6,8 %	6,9 %	2,6 %	.	.
		744	23,8 %	22,8 %	37%	6,9 %	7%	2,6 %	.	.
2023	1	4462	8,7 %	7,9 %	15,3 %	21,7 %	25,5 %	20,4 %	0,5 %	.
		744	9,5 %	6,6 %	15,3 %	22,6 %	25,4 %	19,6 %	0,9 %	.
	2	4027	15,7 %	14,8 %	26,1 %	13,2 %	18,6 %	11,5 %	0%	.
		672	16,2 %	14,1 %	25,9 %	13,5 %	18,9 %	11,3 %	.	.
	3	4460	13%	13,6 %	27,9 %	22,9 %	18,4 %	4,1 %	0%	.
		744	13,4 %	12,6 %	27,8 %	23,5 %	18,5 %	4%	.	.
	4	4276	8,8 %	15,5 %	27,7 %	21,9 %	17,8 %	8,3 %	0%	.
		720	10%	15,1 %	27,4 %	21,1 %	17,4 %	9%	.	.
	5	4460	12,2 %	11,3 %	20,4 %	27,8 %	22%	6,3 %	.	.
		744	12%	11,4 %	20,6 %	27,3 %	22%	6,7 %	.	.
	6	3842	16,2 %	17,5 %	28,6 %	26,3 %	11,4 %	.	.	.
		720	14,6 %	16,4 %	27,5 %	27,2 %	14,3 %	.	.	.
	7	4459	10,5 %	12,7 %	30,7 %	30,7 %	15,1 %	0,2 %	.	0%
		744	11%	11,8 %	31,5 %	30%	15,7 %	.	.	.
	8	4416	17,4 %	14,6 %	22,2 %	21,5 %	19,8 %	4,4 %	.	.
		744	18,3 %	14,4 %	22,2 %	21,1 %	19,6 %	4,4 %	.	.

**Rapport final Lot 6a
AO6 Méditerranée Zone 3**

	9	4318	18,2 %	22,3 %	36,3 %	21,5 %	1,8 %	.	.	.
		720	17,9 %	22,8 %	36,7 %	20,8 %	1,8 %	.	.	.
	10	4461	23,9 %	22,3 %	26,3 %	17,4 %	8,8 %	1,3 %	0%	.
		744	23,8 %	22,4 %	26,9 %	17,1 %	8,7 %	1,1 %	.	.
	11	4282	15,4 %	14,7 %	25,7 %	20,3 %	14,5 %	8,9 %	0,4 %	.
		720	15,1 %	14,3 %	25,6 %	20%	15,1 %	9,2 %	0,7 %	.
	12	4399	16,6 %	15,5 %	21,2 %	15,8 %	20,1 %	9,4 %	1,4 %	.
		744	16,7 %	15,7 %	21,5 %	15,2 %	20,8 %	8,5 %	1,6 %	.
2024	1	4272	21,3 %	13%	22,9 %	23,2 %	10,2 %	5,6 %	3,9 %	0%
		744	21,4 %	11,7 %	23,8 %	22,6 %	11,6 %	5,1 %	3,9 %	.
	2	4130	14,9 %	12,8 %	21,2 %	20,7 %	21,4 %	7,2 %	1,8 %	.
		696	15,5 %	11,9 %	20,1 %	21,3 %	21,8 %	7,3 %	2%	.
	3	4461	9,3 %	10,8 %	24,7 %	25,2 %	22,4 %	7,5 %	0,1 %	.
		744	8,9 %	11,6 %	23,9 %	25,7 %	21,8 %	8,1 %	0,1 %	.
	4	4318	6,4 %	10,1 %	26,5 %	23,3 %	28,1 %	5,6 %	0%	.
		720	6,8 %	10%	26,5 %	23,1 %	27,6 %	6%	.	.
	5	4458	14,3 %	16,4 %	28,2 %	28,9 %	10,8 %	1,4 %	.	.
		744	14,5 %	16,4 %	28,1 %	28,1 %	11,6 %	1,3 %	.	.
	6	4316	9,5 %	12,3 %	30,7 %	38,5 %	8,7 %	0,3 %	.	.
		720	9,2 %	12,9 %	30,8 %	37,8 %	9%	0,3 %	.	.
	7	3628	11,6 %	14,8 %	27,4 %	24,9 %	18,2 %	3,1 %	.	.
		744	12,5 %	13,6 %	26,9 %	29%	15,3 %	2,7 %	.	.
	8	1294	3,7 %	7,8 %	34,4 %	35,6 %	16,8 %	1,6 %	0,1 %	.
		216	3,2 %	7,4 %	34,3 %	35,6 %	17,6 %	1,9 %	.	.
Total	103351		14,0 %	15,0 %	27,6 %	22,9 %	15,3 %	4,8 %	0,4 %	0,0 %
	17544		14,2 %	14,7 %	27,6 %	22,9 %	15,5 %	4,7 %	0,4 %	0,0 %

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

3.3.2.2 Distributions

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 100 m sont très proches (cf. Illustration 15). Les quantiles apparaissant ci-dessous dans l'encart ne diffèrent que de 0,2 m/s de q10 à la médiane puis autour de 0,5 m/s au-delà. On constate que la force du vent observée suit une répartition légèrement bimodale, le deuxième pic correspondant aux épisodes de tramontane.

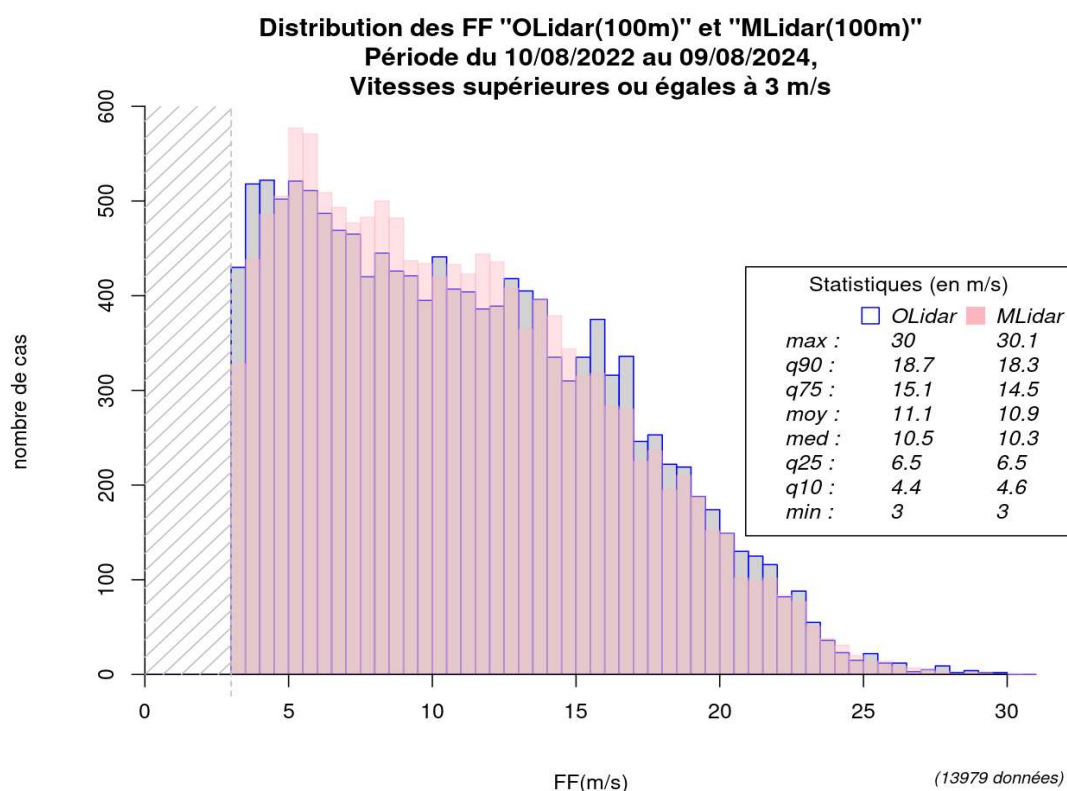


Illustration 15 : Distributions des vents horaires du LiDAR

Les distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100 m figurent en Annexe 4.

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

On constate sur la figure ci-dessous un léger cycle diurne. En soirée et en première partie de nuit (globalement de 20h à 22h UTC), les médianes horaires des observations et du modèle sont toutes les deux supérieures aux médianes sur la période totale (d'environ 1 m/s). En matinée (entre 8h et 10h), on observe plutôt l'effet inverse.

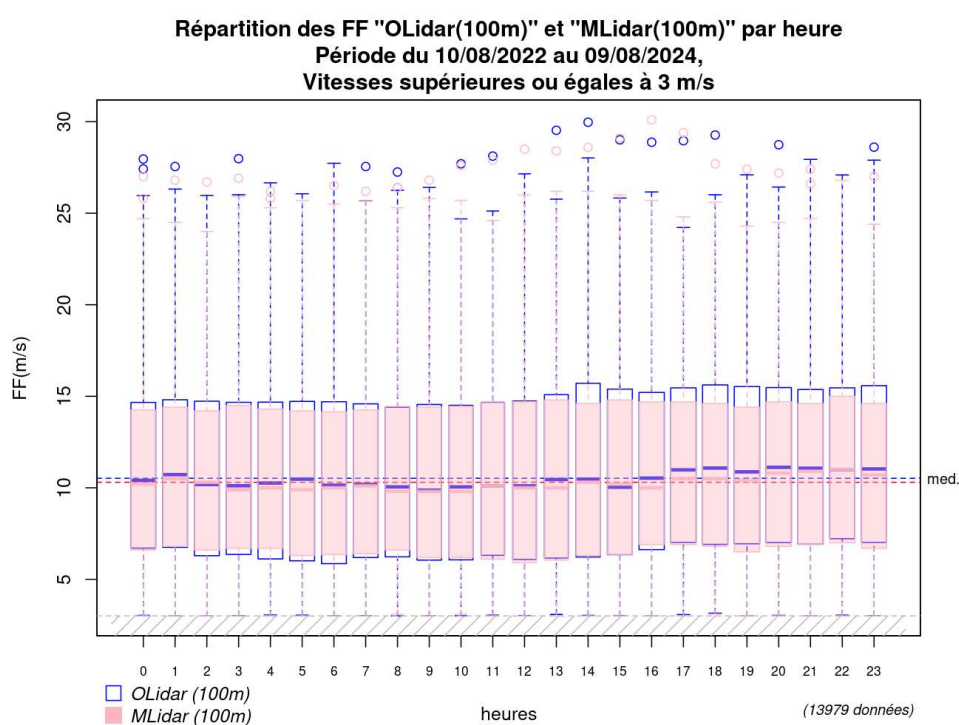


Illustration 16 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR

Les répartitions horaires, par mois, des forces de vent du LiDAR à 100 m figurent en Annexe 5.

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

On observe quelques disparités sur les répartitions mensuelles (cf. Illustration 17) qui s'expliquent par la climatologie de la période.

Au regard de la période étudiée, la fin d'année 2022 a été calme. On y a observé très peu de tramontane. Les mois de l'année 2023 apparaissent quant à eux équitablement répartis autour de la médiane avec cette fois-ci de nombreux épisodes de tramontane qui ont ponctué la période, notamment en janvier et mai. En 2024, les mois d'hiver et de printemps ont été globalement venteux avant un été proche de la médiane.

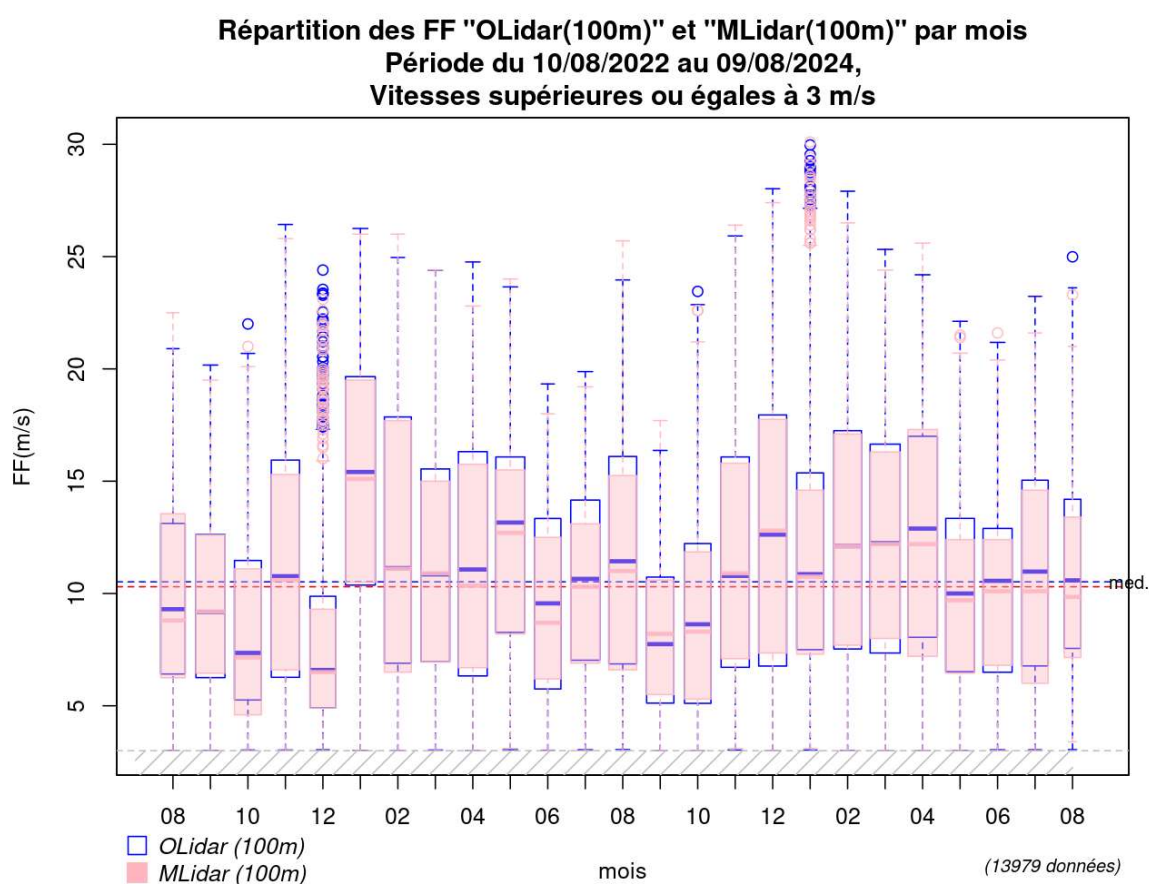


Illustration 17 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données

Afin de comparer de manière plus générale la période de la campagne de mesures à la climatologie, nous avons effectué une analyse fréquentielle mensuelle de la vitesse du vent horaire à la station de Perpignan (station de référence la plus proche du LiDAR).

Au regard de la climatologie (statistiques 2001-2020), l'ensemble de la campagne a été conforme aux normales.

Plus en détail, août et septembre 2022 ont été conformes aux normales puis la fin de l'année a été particulièrement calme avec quasiment aucun vent supérieur à 8 m/s en octobre et décembre. L'année 2023 a débuté avec de très nombreux épisodes de tramontane. On a observé du vent modéré à fort conforme voire supérieur à la normale jusqu'en août avant un net affaiblissement en automne. L'hiver 2023-2024 a été partagé avec du vent conforme aux normales en décembre et février mais peu de vents forts en janvier. Au cours du printemps, on a enregistré plus de vent fort que la normale en avril mais nettement moins en mai. Enfin, l'été a été globalement conforme aux normales avec toutefois un peu plus de vent modéré en juin et août.

		Vitesses en m/s			
		[0, 1.5[	[1.5, 4.5[	[4.5, 8.0[	>8
2022	Août	11,9	48,0	30,6	9,4
		12,9	48,3	31,5	7,4
	Septembre	16,1	47,4	26,1	10,5
		12,5	52,8	25,7	9,0
	Octobre	18,1	46,5	24,0	11,4
		27,3	60,2	11,8	0,7
	Novembre	16,9	42,7	22,7	17,8
		17,8	49,9	21,4	11,0
	Décembre	19,1	43,0	19,3	18,6
		30,0	64,5	3,4	2,2
2023	Janvier	17,8	40,6	20,4	21,1
		10,9	34,9	21,8	32,4
	Février	14,4	38,9	23,9	22,8
		14,5	46,4	19,3	19,9
	Mars	14,3	40,7	24,7	20,3
		13,6	41,1	29,2	16,1
	Avril	12,1	41,8	29,1	17,0
		12,6	38,5	24,0	24,9
	Mai	12,1	41,9	29,0	17,1
		11,4	28,0	35,9	24,7
	Juin	12,1	46,1	29,8	12,0
		12,9	44,7	32,2	10,1
	Juillet	10,4	43,7	34,6	11,3
		10,2	38,3	40,9	10,6
	Août	11,9	48,0	30,6	9,4
		13,6	42,2	30,0	14,2

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR

2024	Septembre	16,1	47,4	26,1	10,5
		18,1	58,1	22,1	1,8
	Octobre	18,1	46,5	24,0	11,4
		27,3	54,0	15,1	3,6
	Novembre	16,9	42,7	22,7	17,8
		16,0	44,3	16,7	23,1
	Décembre	19,1	43,0	19,3	18,6
		17,2	44,9	18,3	19,6
2024	Janvier	17,8	40,6	20,4	21,1
		23,5	49,2	14,2	13,0
	Février	14,4	38,9	23,9	22,8
		12,8	46,7	16,2	24,3
	Mars	14,3	40,7	24,7	20,3
		12,2	38,3	32,8	16,7
	Avril	12,1	41,8	29,1	17,0
		11,2	37,5	27,4	23,9
	Mai	12,1	41,9	29,0	17,1
		14,5	51,6	23,5	10,3
	Juin	12,1	46,1	29,8	12,0
		8,9	41,4	39,2	10,6
	Juillet	10,4	43,7	34,6	11,3
		14,8	42,3	34,5	8,3
	Août	11,9	48,0	30,6	9,4
		10,6	40,6	37,5	11,3
Total		14,6	43,5	26,2	15,8
		15,5	45,5	25,0	13,9

Tableau 4 : Fréquences 2001-2020 (en gras, en %) et 2022-2024 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Perpignan ; les excédents (resp. les déficits) de plus de 5 % en fréquence par rapport à la normale sont surlignés en rouge (resp. en bleu)

Rappel : Une analyse détaillée de la climatologie saisonnière, présentant les différences de vents par secteurs, figure en Annexe 1.

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**).

La rose des vents issue des données modélisées par le modèle AROME (à droite dans l'illustration ci-dessous) coïncide bien avec la rose des vents obtenue à partir des données observées par le LiDAR (à gauche). Le secteur 300° est légèrement surestimé par le modèle (+1,7 %).

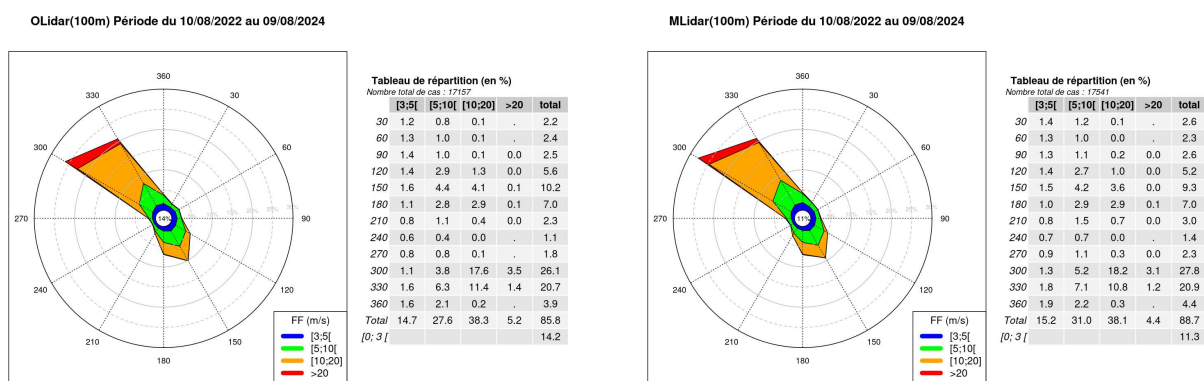


Illustration 18 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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 6.

Les roses des vents mensuelles élaborées à partir de toutes les données brutes **10 minutes** figurent en Annexe 7.

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.**

On constate que durant la période de la campagne de mesures, les profils horaires observés sur la couche allant de 40 m à 200 m sont parfaitement cohérents avec les profils modélisés. Les quantiles sont très proches. Par rapport aux quantiles modélisés, les premiers quantiles observés sont inférieurs de 0,2 à 0,4 m/s. A contrario, les médianes et les troisièmes quantiles sont supérieurs respectivement de 0,2 m/s et de 0,4 à 0,5 m/s.

Par ailleurs, de 40 m à 160 m, les vitesses du profil moyen observé (profil bleu en pointillés) sont légèrement supérieures de 0,1 m/s à celles du profil moyen modélisé (profil rouge en pointillés). Notons enfin que ces vitesses moyennes sont inférieures d'environ 0,5 m/s à celles issues de la climatologie AROME sur 20 ans (profil vert en pointillés).

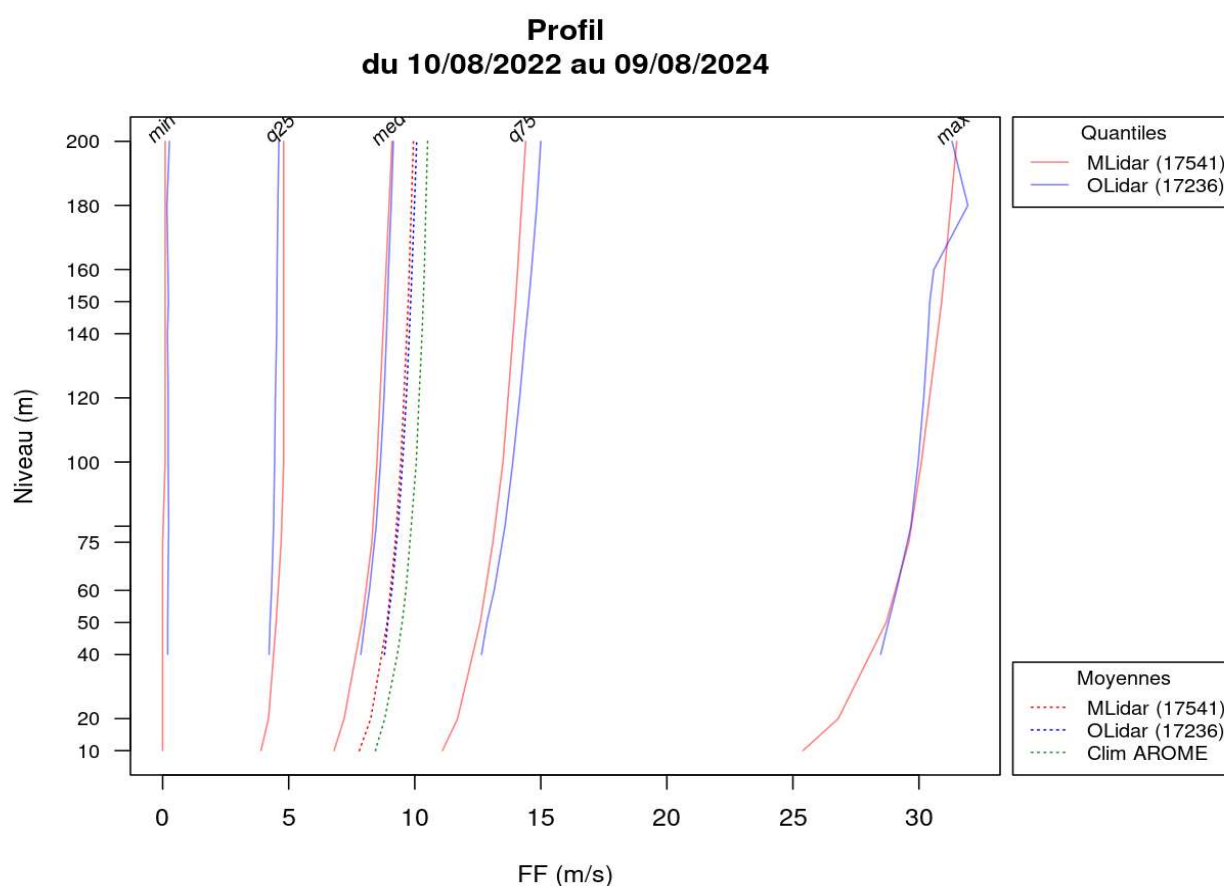


Illustration 19 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR

Les profils, par mois, des forces de vent du LiDAR figurent en Annexe 8.

3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, on observe un cisaillement de vent du LiDAR assez net de 1 à 1,5 m/s pour les directions de sud-est à sud et de nord-ouest (cf. Illustration 20). Ces directions témoignent respectivement du passage des perturbations qui créent du cisaillement en altitude et des situations de tramontane. Nous avons décidé de représenter le cisaillement de vent du modèle entre les niveaux disponibles les plus proches, 50 m et 150 m. Sans grande surprise, on constate que les caractéristiques sont comparables avec toutefois un cisaillement légèrement plus faible (autour de 0,8 m/s) pour les directions indiquées précédemment.

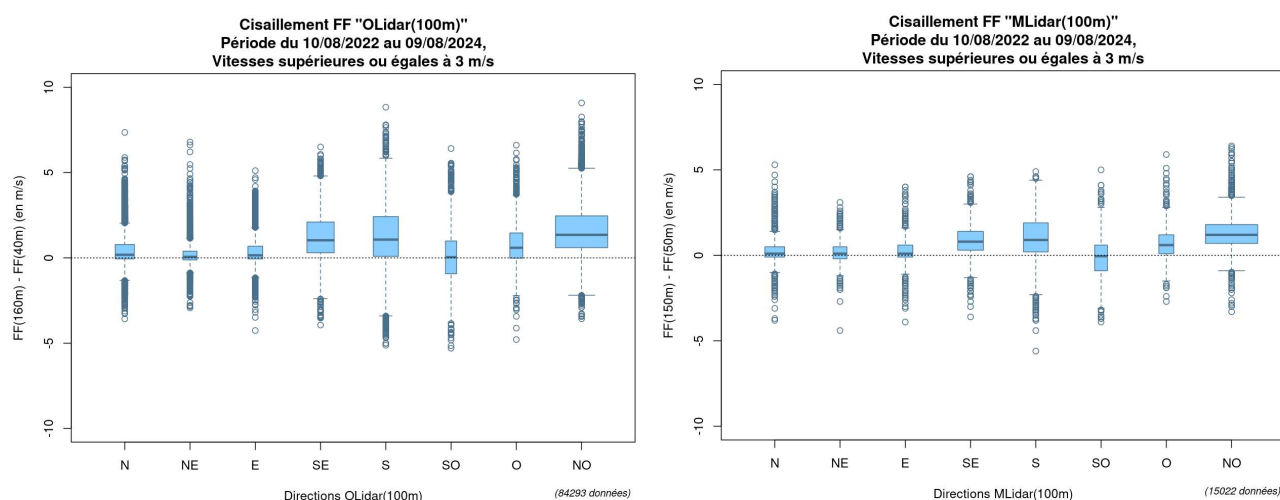


Illustration 20 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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 ci-dessous) mais sans que soit précisée la couche verticale associée.

3 Analyse des données de vent mesurées par le LiDAR

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 5 : 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 sud-est à sud et de nord-ouest, où le coefficient α est le plus fort, on ne constate pas de cycle diurne.

Par ailleurs, on observe un léger cisaillement négatif en secteur sud-ouest qui peut s'expliquer par un effet de brise.

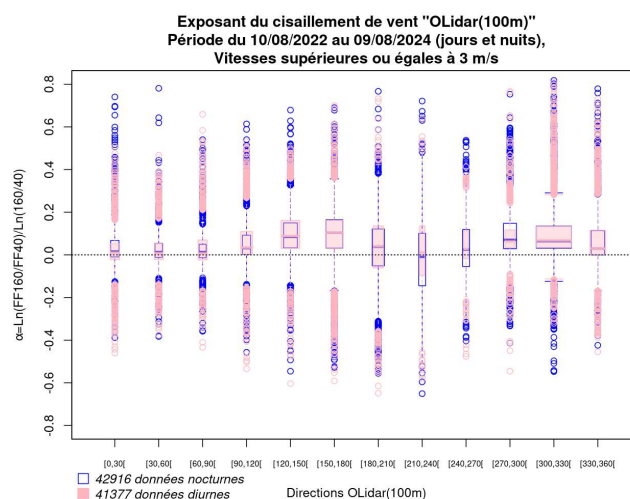


Illustration 21 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR

Les figures de l'exposant du cisaillement sur les périodes mensuelles se trouvent en Annexe 9.

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 sud-ouest à nord-ouest présentent une intensité de turbulence légèrement plus forte que pour les autres directions. (cf. Illustration 22)

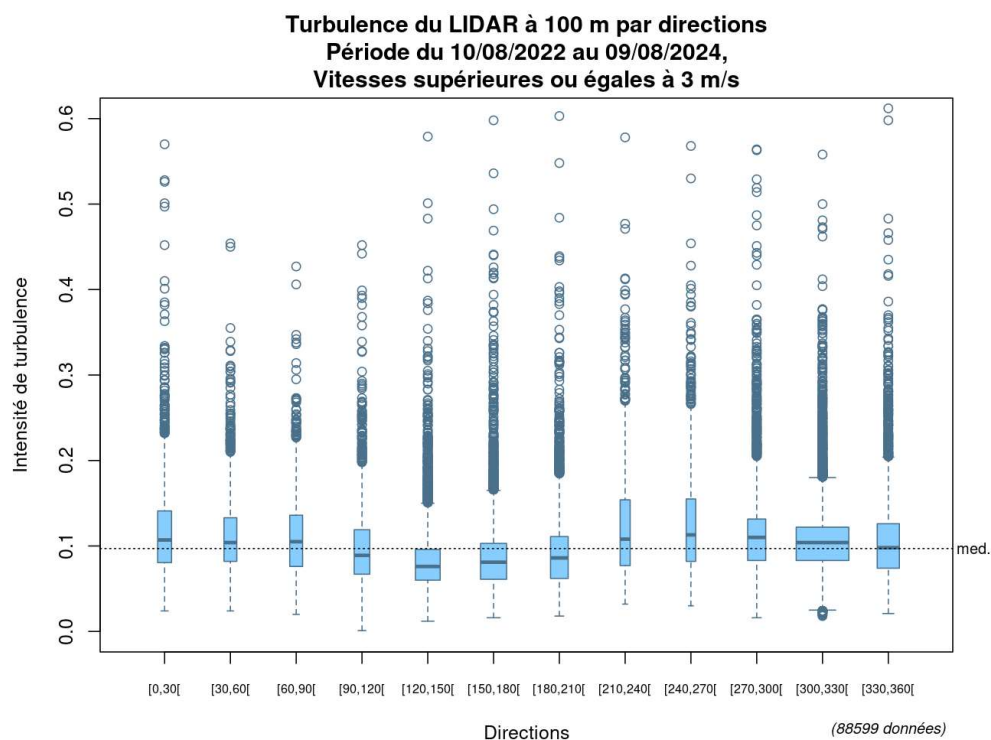


Illustration 22 : Turbulence du LiDAR

Les boîtes à moustaches mensuelles suivant les directions, de l'intensité de turbulence du vent du LiDAR à 100 m figurent en Annexe 10.

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.

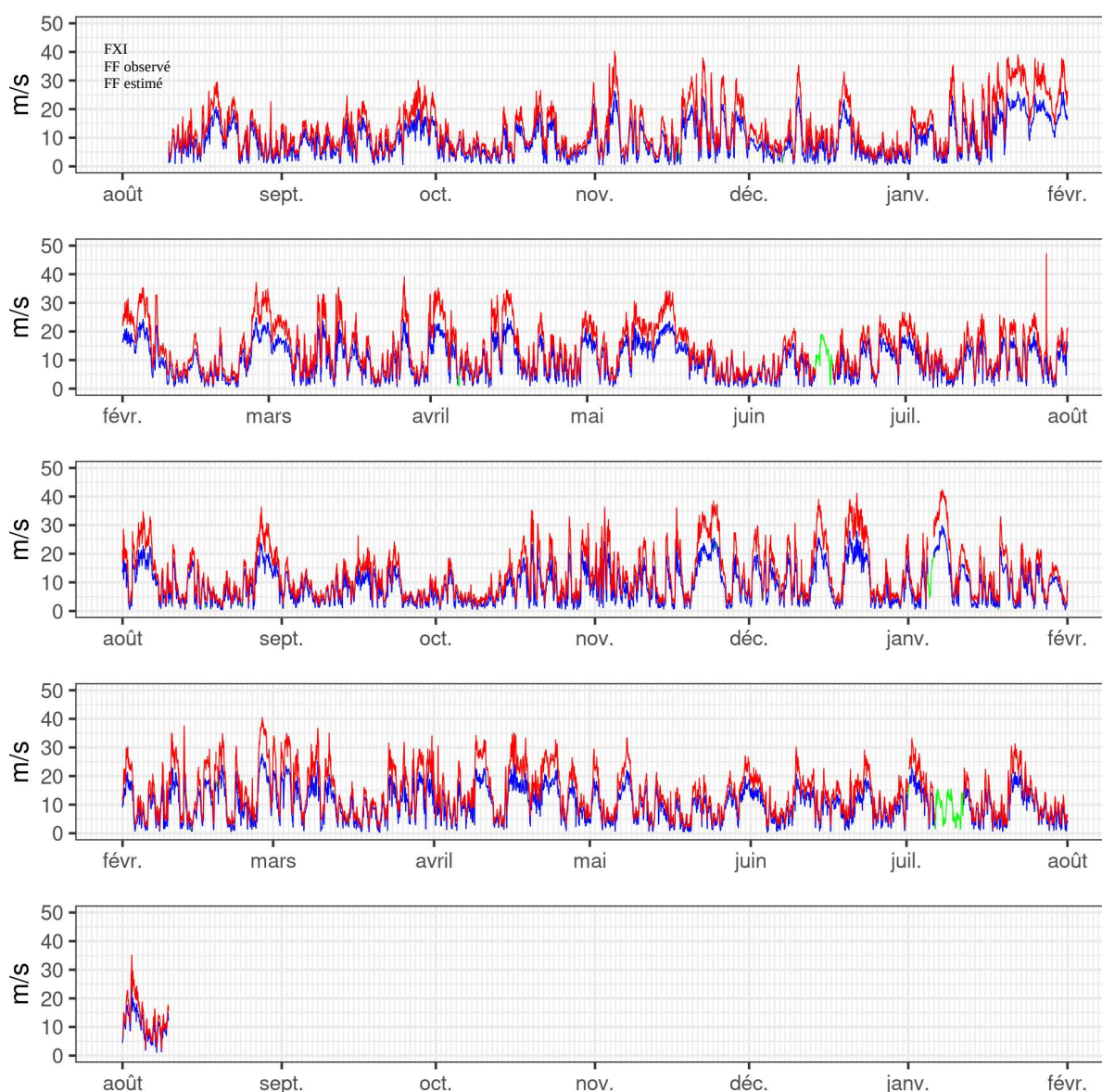


Illustration 23 : Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR

Météo-France fournit au travers du fichier « MedA_SerieLidarH100_20220810-20240809.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 10/08/2022 au 09/08/2024. Ces paramètres sont accompagnés des codes qualité QFF, QDD et QFXI (cf. § 2.2.1.3 Codes qualité).

4 Analyse des données de vent mesurées 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. § 2.2.1.2 p11).

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 suivante :

$$FF_{10m} = FF_{4m} \times \frac{\log(10/0,0002)}{\log(4/0,0002)}^2$$

Environ 10 % des valeurs enregistrées par l'anémomètre sort des seuils de force. Ce qui est nettement plus important que pour le LiDAR. La plupart des dépassements en force sont dus à des forces modélisées inférieures à celles relevées par l'anémomètre.

Les dépassements du seuil de direction sont assez nombreux puisqu'ils représentent presque 20 % des cas. La majorité de ces dépassements correspondent à des forces faibles à légèrement modérées. Pour des vitesses supérieures à 9 m/s, on enregistre des dépassements du seuil de direction (écart supérieur à 30° entre l'anémomètre et le modèle) dans moins de 5 % des cas.

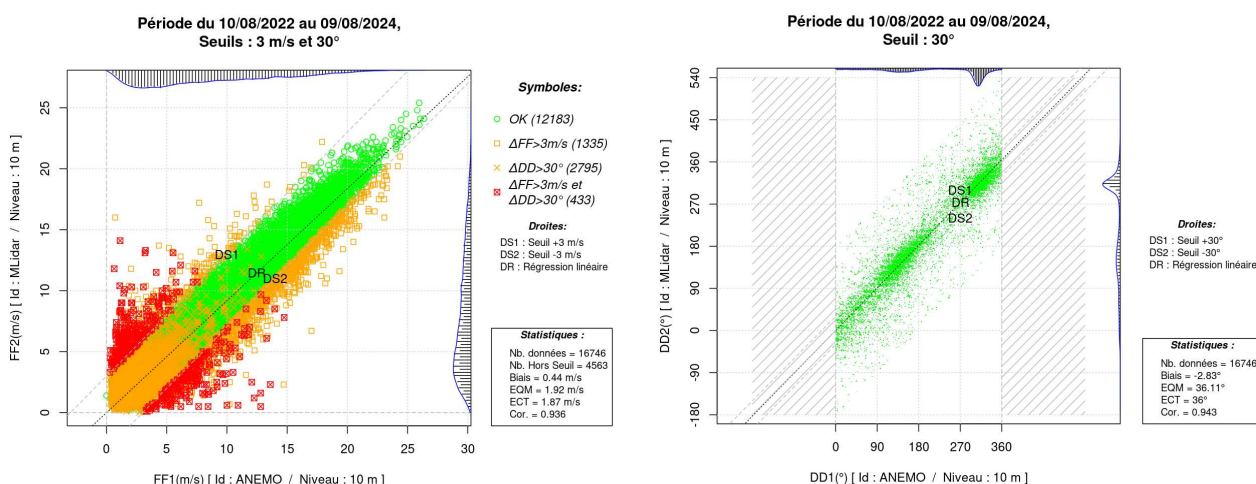


Illustration 24 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle

- 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.

4 Analyse des données de vent mesurées par l'anémomètre

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 10 m sont cohérentes. Les quantiles apparaissant ci-dessous sont relativement proches jusqu'à la médiane mais diffèrent ensuite sensiblement avec des écarts dépassant 1 m/s à partir du troisième quartile. Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent de l'anémomètre présente des points un peu décalés par rapport à la première bissectrice avec comme indiqué précédemment des forces de vent inférieures pour le modèle. Les résultats de l'anémomètre restent globalement corrects, compte tenu de la difficulté de l'extrapolation de la mesure à 10 m.

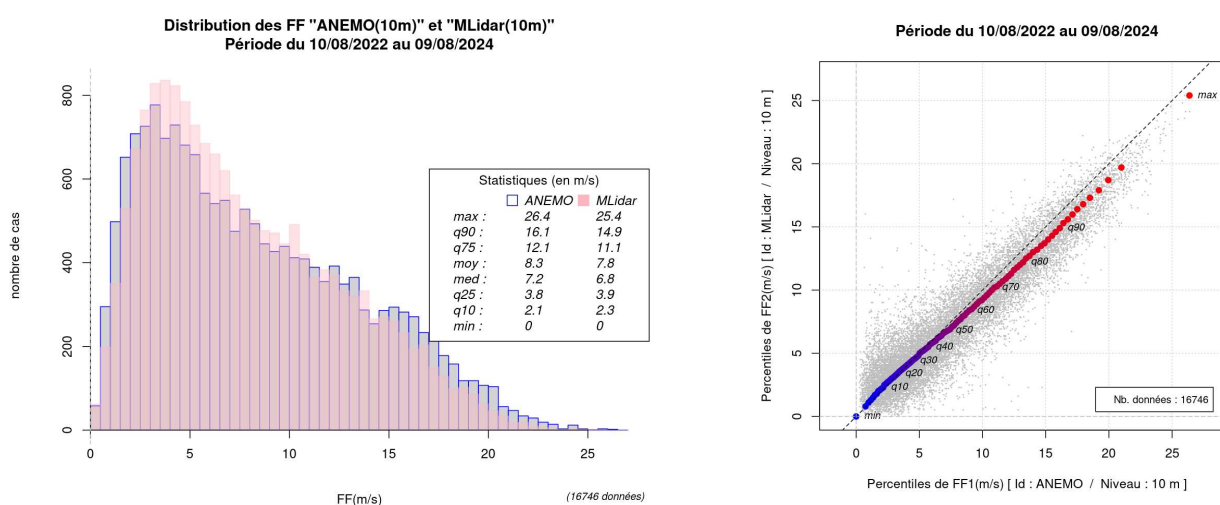


Illustration 25 : Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)

La rose des vents de l'anémomètre présente de nombreuses ressemblances avec celle du modèle AROME à 10 m. On observe toutefois des différences assez marquées avec notamment un décalage sur le vent de nord-ouest. On note une composante nord-nord-ouest beaucoup plus fréquente pour le modèle (+4,7%).

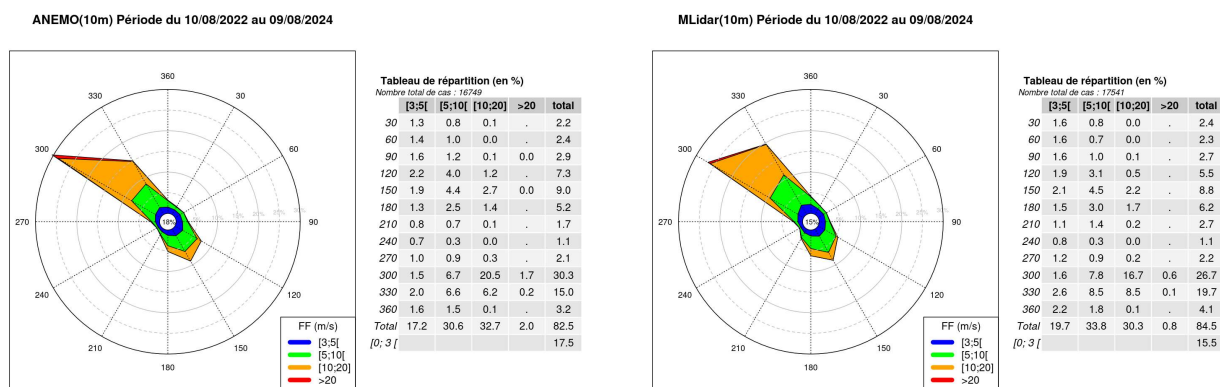


Illustration 26 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre

5 Conclusion

Pendant la période effective de la campagne de mesures, nous avons pu établir que les mesures de vent de surface et d'altitude, étaient parfaitement cohérentes avec les données du modèle AROME.

Nous avons toutefois constaté une légère sous-estimation du modèle par rapport à l'observation d'environ 0,2 m/s et un très léger biais sur les directions de moins de 1°.

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

Suite à ce contrôle, une série complète de vent horaire à 100 m a pu être créée, corrigée de certaines valeurs aberrantes et estimée sur quelques périodes manquantes.

6 Bibliographie

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

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.

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Climatologie du 10 août 2022 au 9 août 2024.....	40
Annexe 2 : Situation du 7 février 2023 (coup de vent de secteur sud-est).....	51
Annexe 3 : Situation du dimanche 21 juillet 2024 (situation orageuse de nord-ouest).....	53
Annexe 4 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	55
Annexe 5 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	60
Annexe 6 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR.....	65
Annexe 7 : Roses des vents mensuelles du LiDAR à 100m (données brutes).....	66
Annexe 8 : Profils de vent du LiDAR.....	71
Annexe 9 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	76
Annexe 10 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	81

Annexe 1 : Climatologie du 10 août 2022 au 9 août 2024

La station météorologique de référence pour qualifier la climatologie de la zone étudiée est située à Perpignan (66). La période sur laquelle portent les statistiques s'étend de 2001 à 2020.

1) Le vent

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

Les roses de vent observées pendant l'été 2022 et celles des périodes estivales 2001-2020 sont très similaires. Les vents dominants proviennent toujours d'un large secteur nord-ouest (280°/340°) avec un maximum de cas pour la direction 300°, au détriment de la direction 320°. Ces vents du 320° sont bien moins présents (11,3 % en 2022 contre 19,8 % sur 20 ans), en particulier les vents modérés (compris entre 4.5 et 8.0 m/s) avec 5,9 % contre 10,1 % et les plus forts (> 8.0 m/s) avec 2,1 % contre 5,3 %.

Le large flux d'est (040°/140°) devient plus marqué (26,8 % en 2022 contre 24,0 % sur 20 ans) tout comme le flux de sud-ouest (11,8 % contre 9,6 %).

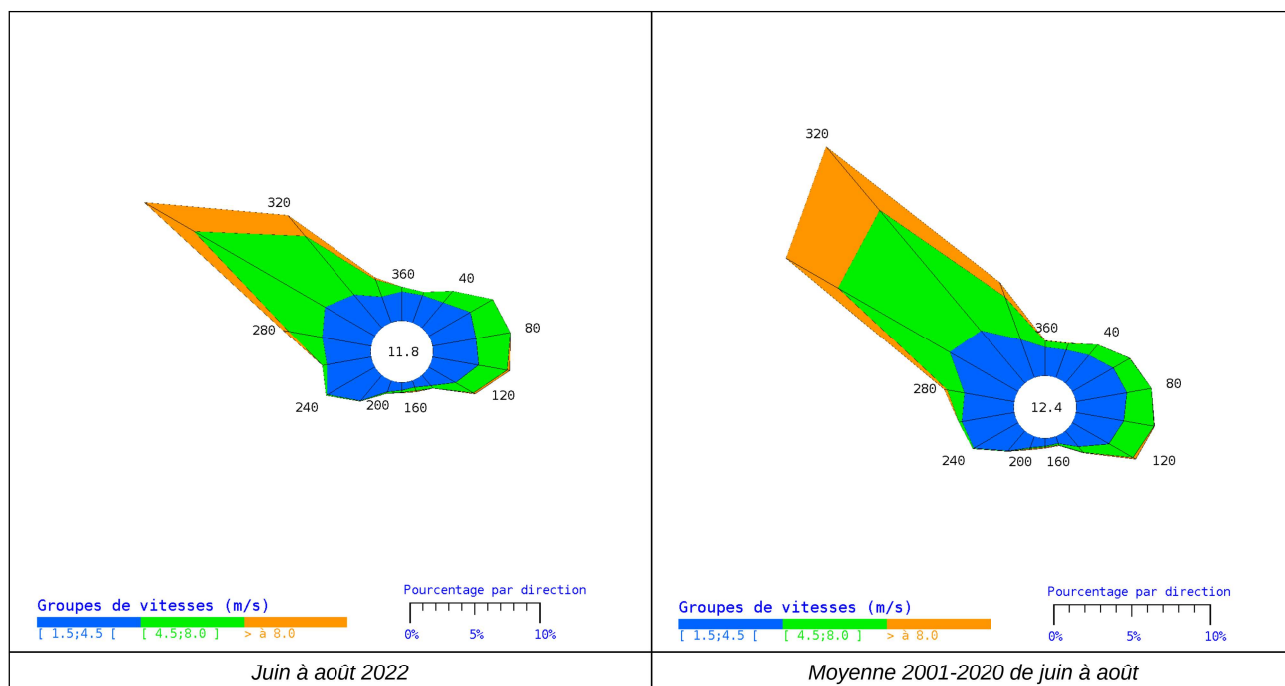


Illustration 27: Roses des vents en été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

b) Analyse de l'automne 2022 (septembre à novembre 2022)

Ici également les formes des deux roses de vent (2022 et 2001-2020) sont très similaires. Parmi les différences, on notera comme la saison précédente une forte diminution des vents en provenance de l'axe 320° (plus de la moitié des cas, 8 % en 2022 au lieu des 17,1 % habituels), avec des vents forts presque inexistants (0,9 % contre 5,7 %).

Cela entraîne une hausse des vents faibles (1.5 à 4.5 m/s), toutes directions confondues, qui deviennent majoritaires (54,3 % en 2022 contre 44,1 % sur 20 ans).

Concernant le large flux d'est en augmentation (23,6 % en 2022 contre 20 %), la répartition s'articule davantage sur l'axe 040°/100° à la place de l'axe 120°/160°.

Le flux de sud-ouest est également plus présent (17,6 % contre 12,7 %).

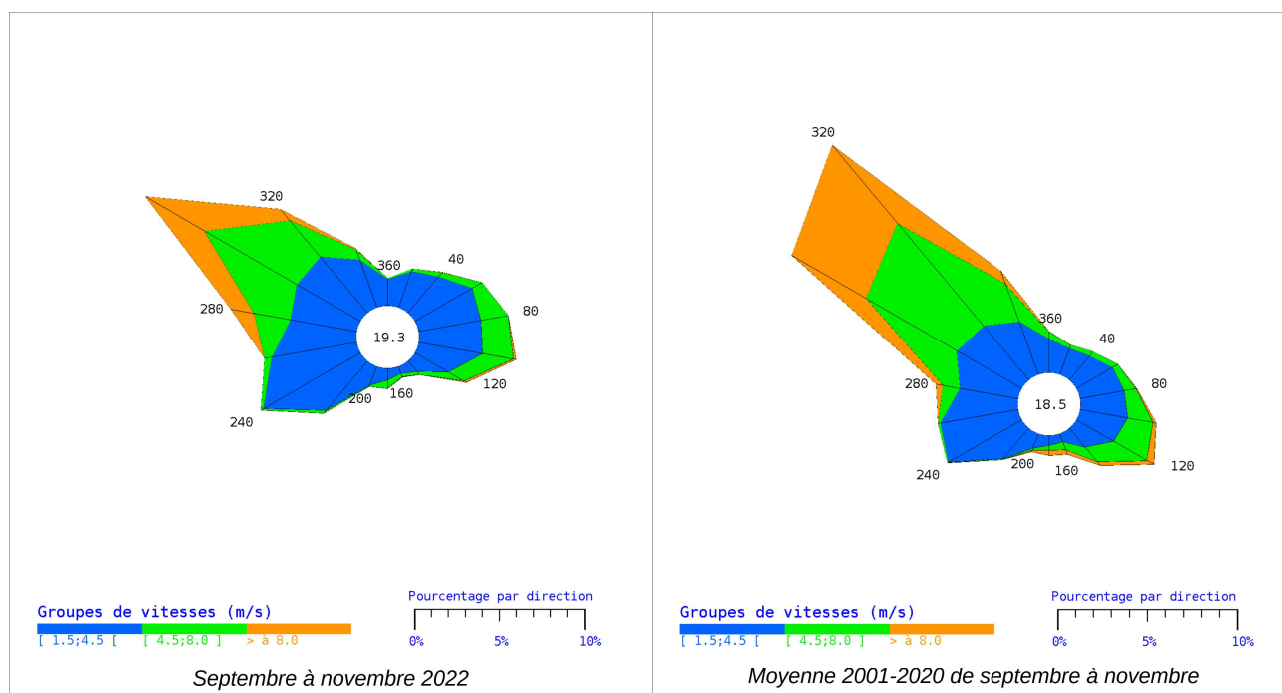


Illustration 28: Roses des vents à l'automne 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan

c) Analyse de l'hiver 2022 (décembre 2022 à février 2023)

Les vents venant d'un large secteur nord-ouest sont légèrement moins présents sur cette saison que lors des années 2001 à 2020 (45,2 % des cas contre 50,6 %) avec une augmentation du nombre de cas pour l'axe 280°/300° (29,8 % contre 23,6 %) au détriment de l'axe 320°/340° (15,4 % contre 27,0 %).

Le régime de sud-ouest est en hausse de près de 50 % par rapport à 2001-2020 tandis que le large secteur est resté dans les normes avec une distribution axée plus 040°/100° que 120°/140°.

Les vents modérés (4,5 à 8 m/s) sont en nette baisse (14,6 % contre 21,1 %) au profit des vents faibles (1,5 à 4,5 m/s) avec 48,7 % contre 39,5 %. Nous observons également une légère baisse des vents les plus forts (18,1 % contre 20,8 %). En revanche, les vents très faibles se maintiennent (< 1,5 m/s) avec 18,6 % des cas.

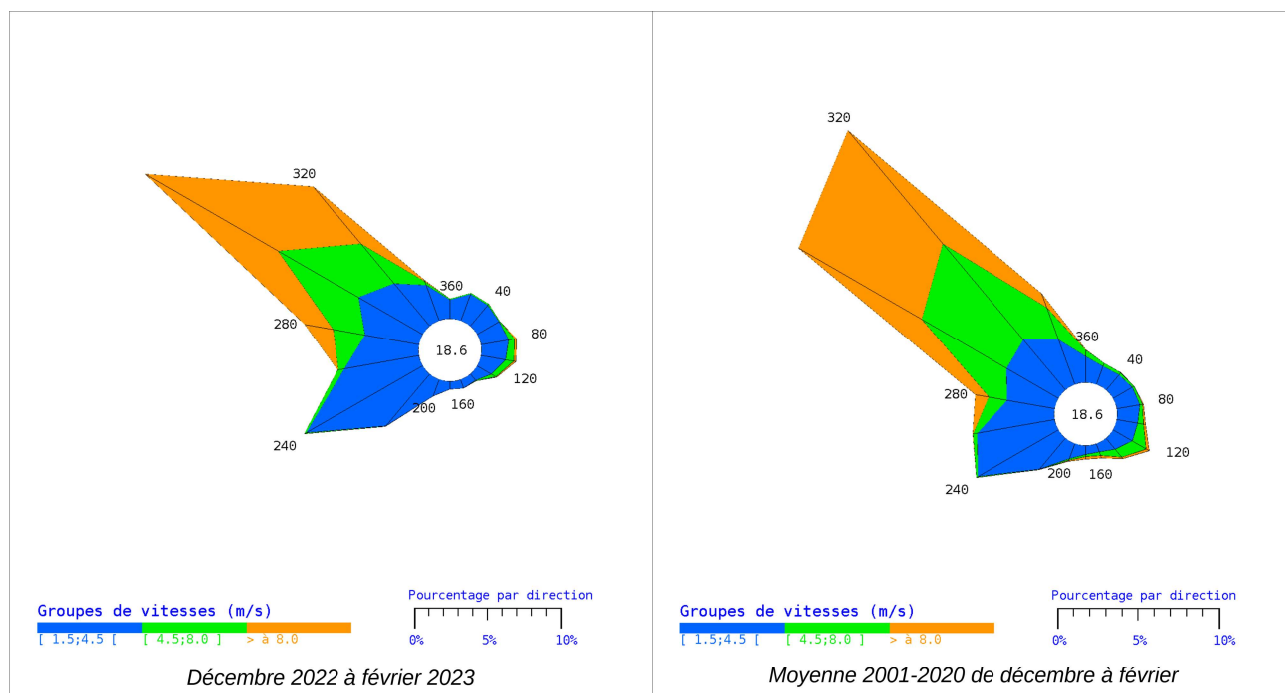


Illustration 29 : Roses des vents à l'hiver-2022-2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan

d) Analyse du printemps 2023 (mois de mars à mai 2023)

Les situations météorologiques avec des vents d'un large secteur nord-ouest (280°/340°) ont été plus nombreuses sur cette période avec 54,5 % des cas contre 47,3 % pour la période 2001-2020. On peut souligner que les vents issus de l'axe 300° représente 30 % des cas totaux, avec notamment la partie vents modérés qui a quasiment doublé et celle des valeurs > 8 m/s qui a plus que doublé.

Si le flux de sud-ouest reste dans les normes au sens large, là aussi les cas sont plus nombreux autour d'un axe en particulier : le 240° qui se détache.

Quant au secteur est, on note une diminution de la fréquence (18 % contre 23,2 %), surtout autour de l'axe 120°.

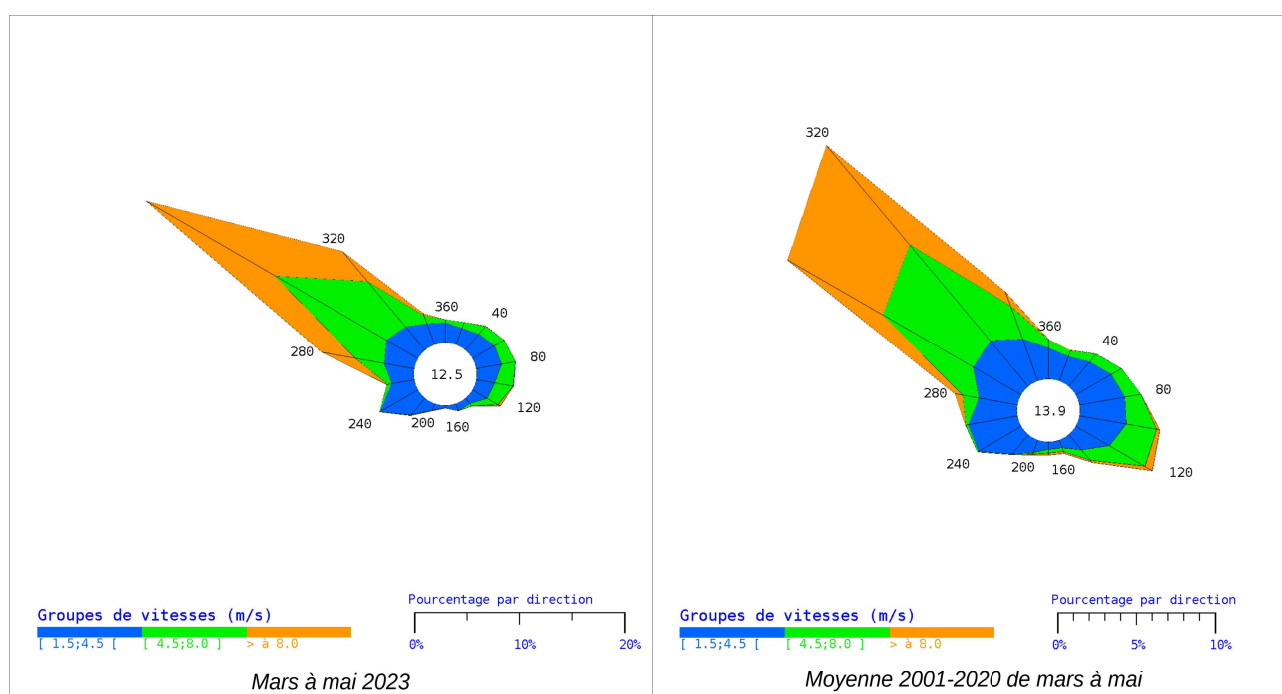


Illustration 30 : Roses des vents au printemps 2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

e) Analyse de l'été 2023 (mois de juin à août 2023)

L'été 2023 a connu des situations similaires à celui de 2022 en termes de direction avec toujours un déficit des vents du 320° en comparaison à la période 2001-2020 (10,4 % contre 19,8 %), avec une légère compensation pour l'axe 300° (25,5 % contre 17,2 %).

Le courant d'est (avec 27 % en 2023 contre 24 % sur 2001-2020) se situe dans les mêmes proportions que l'été précédent, tandis que le flux de sud-ouest retrouve des valeurs entre 9 et 10 %.

En termes de force de vent, les vents faibles (1,5 à 4,5 m/s) sont en baisse de 3 points au profit des vents modérés (4,5 à 8 m/s). Le nombre de cas de vent très faibles (< 1,5 m/s) et forts (> 8 m/s) demeurent dans les normes.

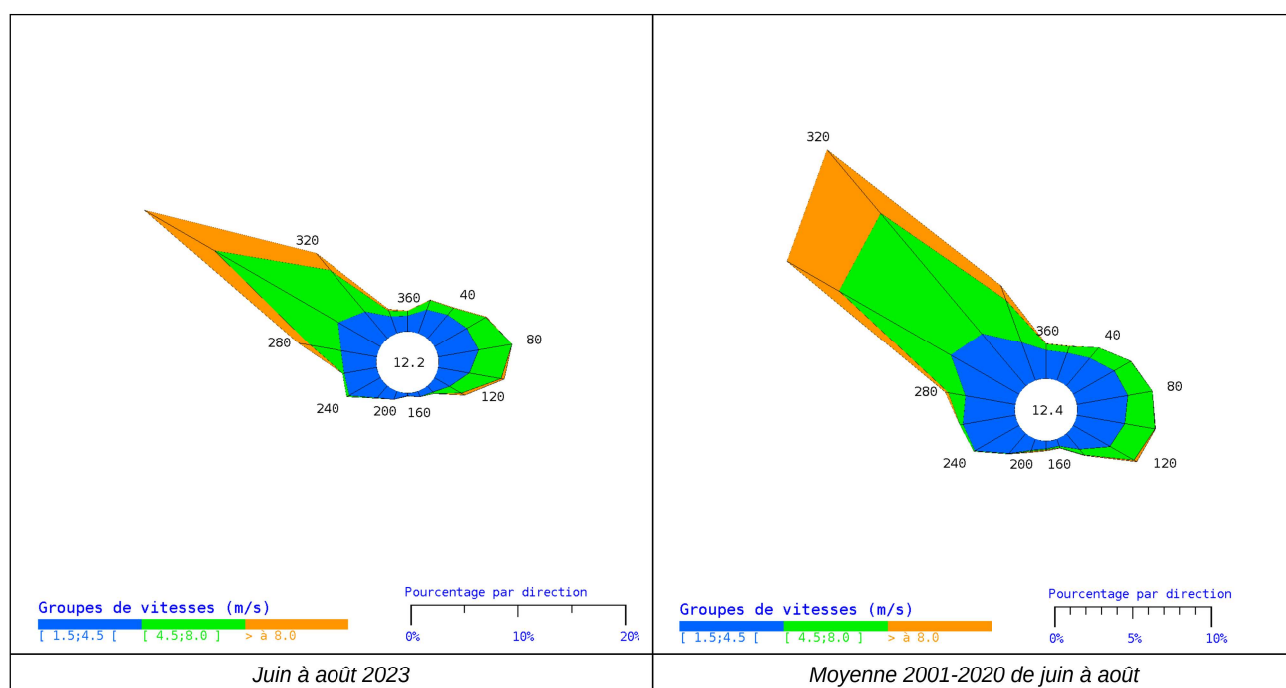


Illustration 31 : Roses des vents en été 2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

f) Analyse de l'automne 2023 (septembre à novembre 2023)

A l'instar de l'automne 2022, on retrouve peu de cas avec des vents modérés soufflant du 320° (3,3 % en 2023 contre 7,5 % sur 2001-2020) et forts (1,8 % contre 5,7 %), davantage en provenance du sud-ouest (16,4 % contre 12,7 %), et du secteur est (24,4 % contre 20,0 %) avec à nouveau une augmentation du nombre de mesures sur l'axe 040°/100° à la place de l'axe 120°/140°.

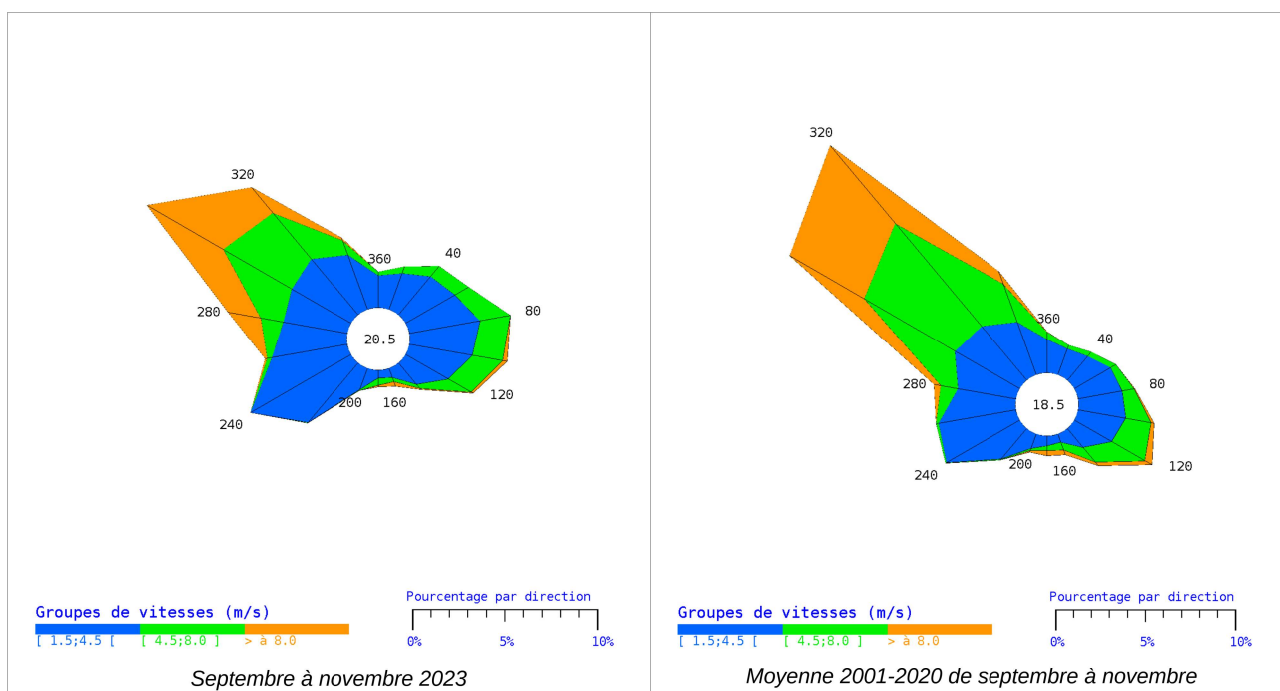


Illustration 32 : Roses des vents en automne 2023 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

g) Analyse de l'hiver 2023 (décembre 2023 à février 2024)

Les différences entre les normales 2001-2020 et l'hiver 2022 se retrouvent lors de ce dernier hiver :

- le régime de sud-ouest est en hausse de près de 50 % par rapport à 2001-2020 ;
- le large secteur est resté dans les normes avec une distribution axée plus 040°/100° que 120°/140° ;
- on observe même une continuité du renforcement des vents autour de l'axe 280°/300° (33,1 % contre 23,6%) au détriment de l'axe 320°/340° (13,3 % contre 27,0 %) ;
- les vents modérés (4,5 à 8 m/s) sont en nette baisse (16,3 % contre 21,1 %) au profit des vents faibles (1,5 à 4,5 m/s) avec 46,9 % contre 39,5 %. Légère baisse des vents les plus forts (18,9 % contre 20,8 %) et quasi maintien des vents très faibles (< 1,5 m/s) avec 17,9 % des cas en 2023-2024 contre 18,6 % des cas pour la période 2001-2020.

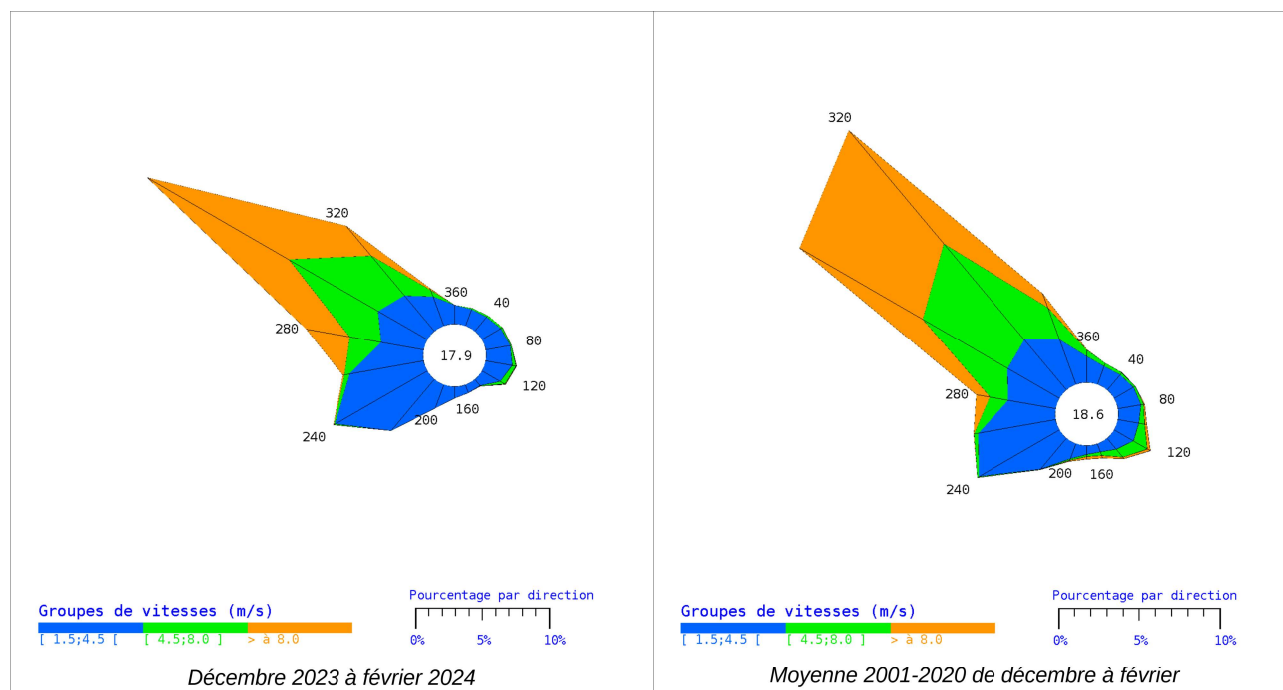


Illustration 33 : Roses des vents à l'hiver-2023-2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Perpignan

h) Analyse du printemps 2024 (mars à mai 2024)

Les roses de vent observé pendant le printemps 2024 et celles des périodes printanières 2001-2020 sont très similaires. On retrouve la dominance des vents de nord-ouest qui est toutefois en légère baisse (43,5 % des cas en 2024 contre 47,3 % sur 2001-2020) au profit des vents de sud-ouest, et comme les saisons étudiées précédemment axés davantage à 300°.

Les vents en provenance de l'est sont dans les normes et on peut remarquer une légère accentuation des vents modérés et forts de sud-sud-est (160°)

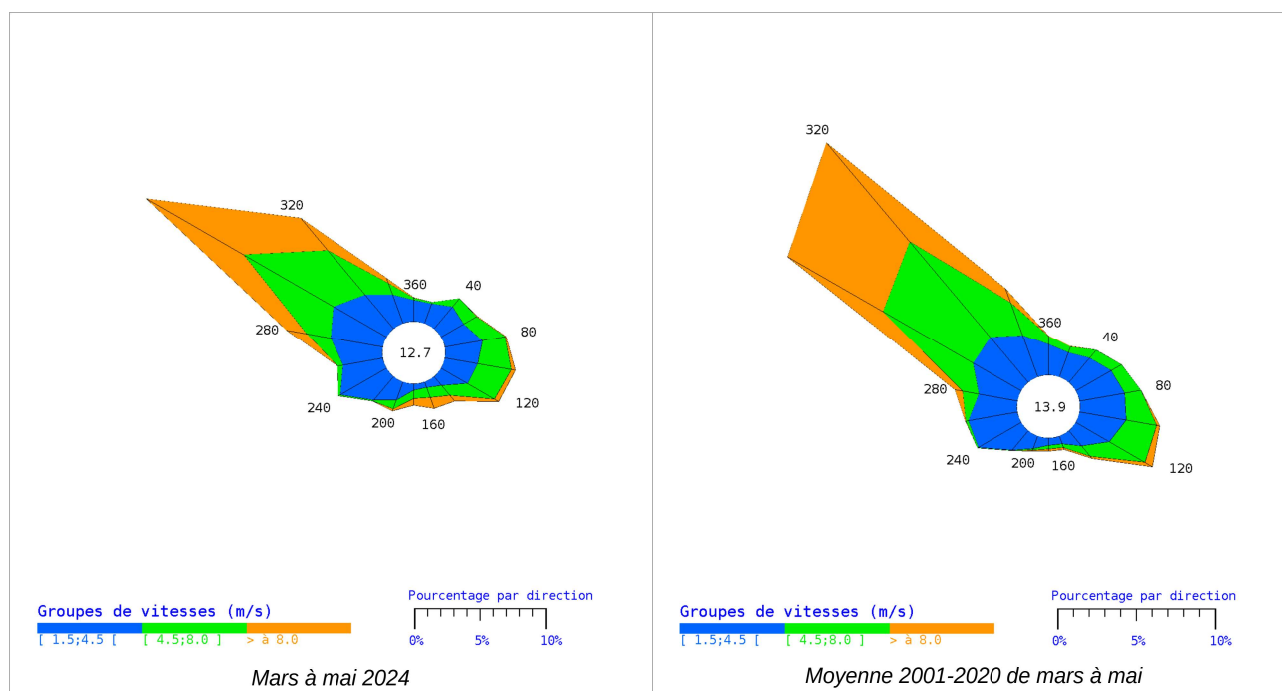


Illustration 34 : Roses des vents au printemps 2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

i) Analyse de l'été 2024 (mois de juin à août)

L'ensemble des vents de nord-ouest est conforme aux normales avec 48 % des cas. La différence notable concernant la répartition se situe toujours au niveau des axes 300° et 320°, avec une nette baisse des vents forts pour ce dernier (2,4 % en 2024 contre 5,3 pour 2001-2020).

Le large flux d'est (040°/140°) reste plus marqué avec des valeurs similaires aux deux étés précédents (27 % en 2024 contre 24,0 % sur 20 ans) et le flux de sud-ouest en léger déficit (7,6 % contre 9,6 %).

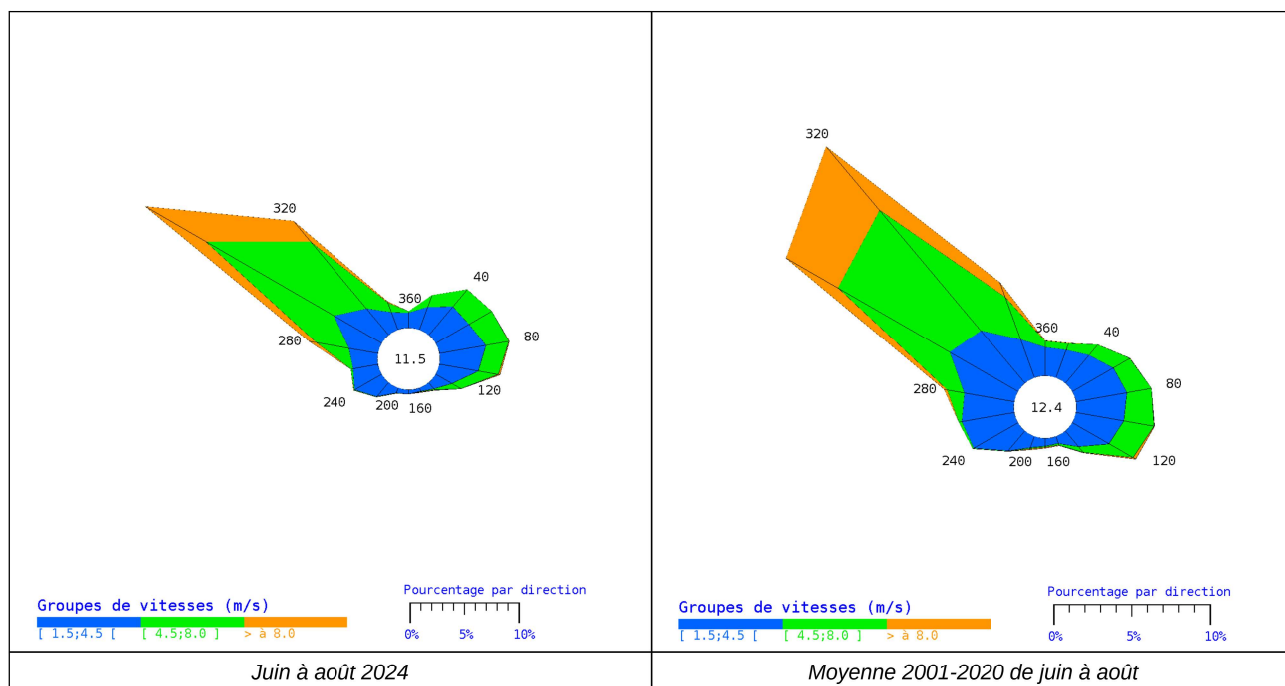


Illustration 35 : Roses des vents en été 2024 et en moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Perpignan

2) Les températures

Sur la période 2022-2024 de l'étude, seul le mois de mai 2024 est légèrement plus froid en globalité avec une baisse de 0,2 °C pour les moyennes de températures maximales et 0,3 °C pour les minimales. Le mois de janvier 2023 a connu une baisse de 0,4 °C pour les températures maximales et le mois suivant une baisse infime de 0,1 °C en températures minimales.

En dehors, on observe des anomalies positives de températures minimales et maximales sur toutes les autres données mensuelles avec des écarts parfois significatifs comme en février 2024, mois hivernal qui s'est distingué par sa douceur avec 3,5 °C au-dessus des normales de températures minimales et près de 4 °C de plus que les normales de températures maximales.

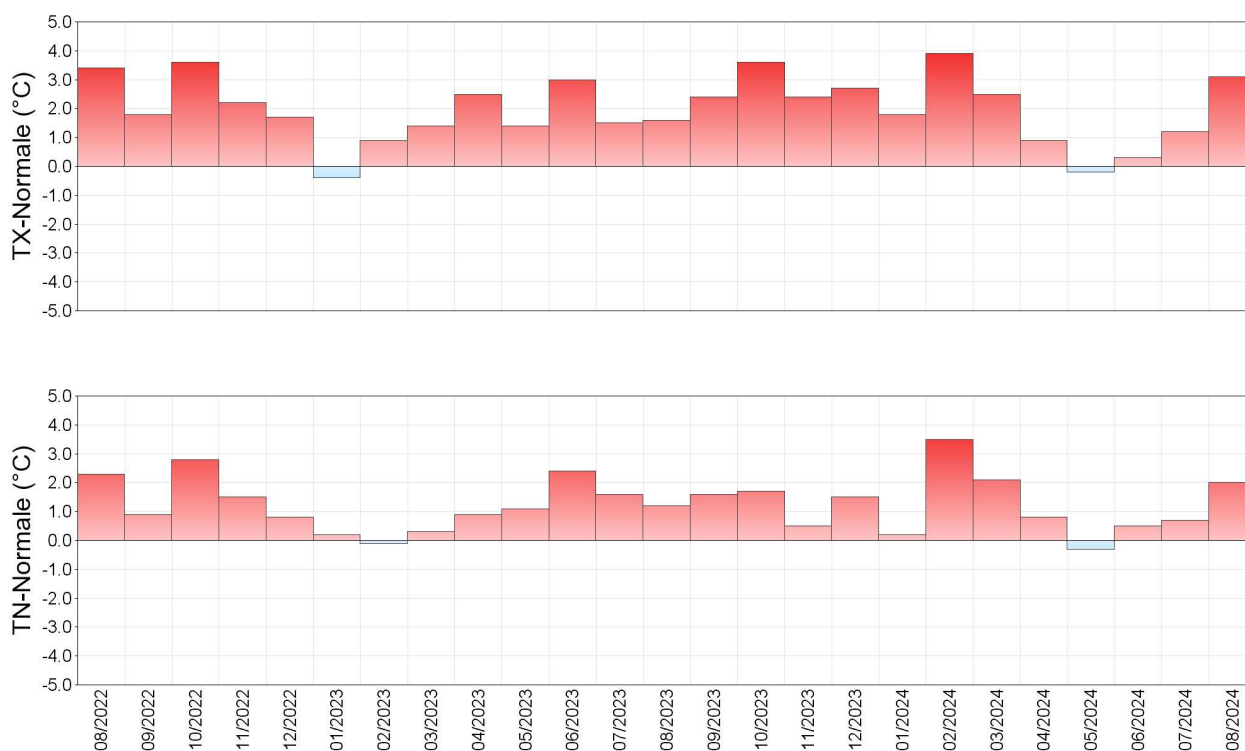


Illustration 36 : Anomalies mensuelles de températures minimales (TN) et maximales (TX) de août 2022 à août 2024 à la station de Perpignan – Période de référence : 1991 – 2020

3) Les précipitations

Les cumuls mensuels de précipitations ont été très contrastés avec une majorité de mois secs voire très secs pour Perpignan. Excepté le mois de juillet 2023 qui a reçu deux fois la normale, les mois de septembre proches des normales et les mois d'avril et juillet 2024 en léger excédent, les valeurs sont fortement en baisse, notamment pendant les hivers, engendrant un exceptionnel épisode de sécheresse dans cette partie de la France.

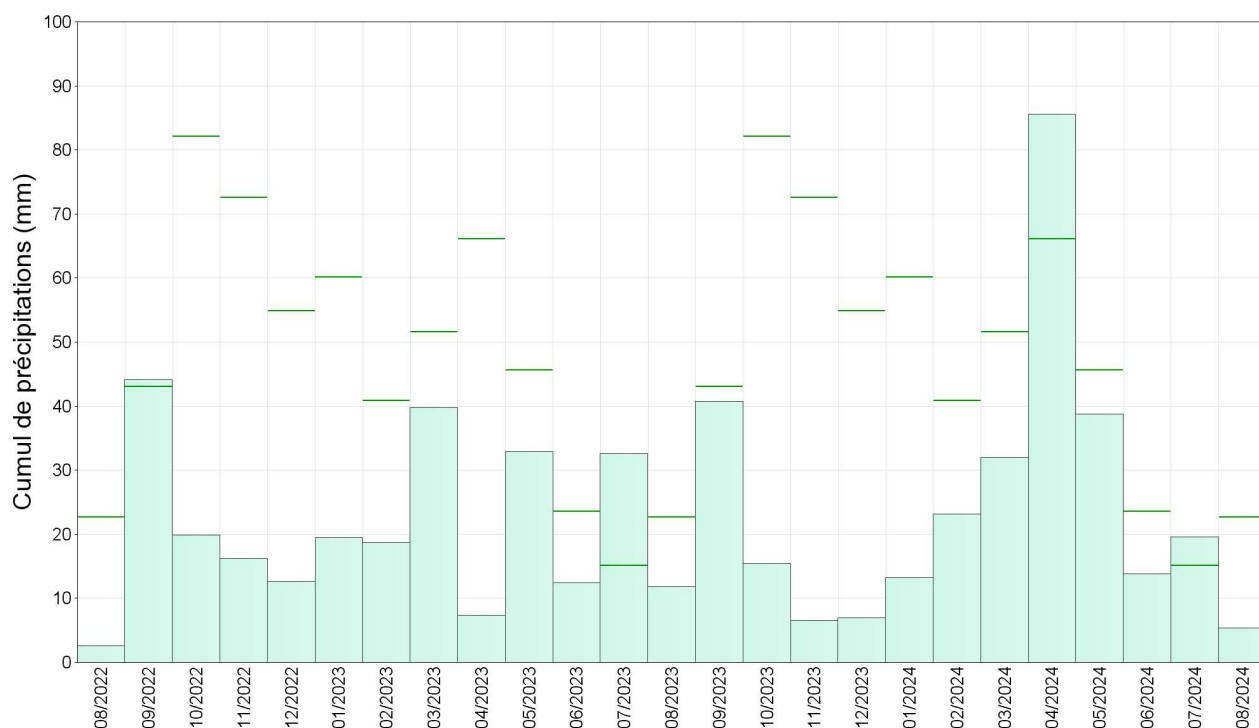


Illustration 37 : Cumuls mensuels de précipitations de août 2022 à août 2024 à la station de Perpignan (66) (histogrammes) et normale de précipitations (segments en vert) - Période de référence : 1991 – 2020

Annexe 2 : Situation du 7 février 2023 (coup de vent de secteur sud-est)

La dépression « Isaac » centrée sur la Sardaigne le 6 février 2023 génère un fort flux de nord sur le golfe du Lion et se décale vers l'ouest en se comblant. On la retrouve le 7 à 00UTC sur les Baléares avec un vent mollissant rapidement en s'orientant au secteur est. Elle continue de perdre en intensité vers l'ouest tandis que l'anticyclone de Sibérie se renforce. Entre ces deux centres d'action le champ isobarique se resserre rapidement sur le golfe du Lion générant un flux de sud-est fraîchissant rapidement de faible à fort.

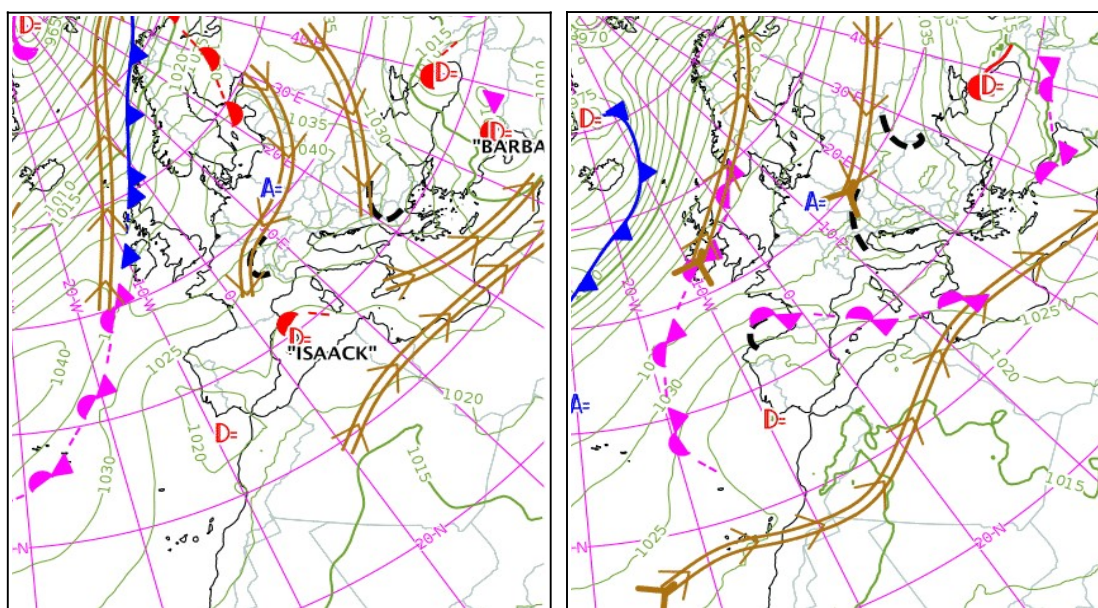


Illustration 38 : Anasygs du mardi 07 février 2023 à 00UTC (à gauche) et 18 UTC (à droite)

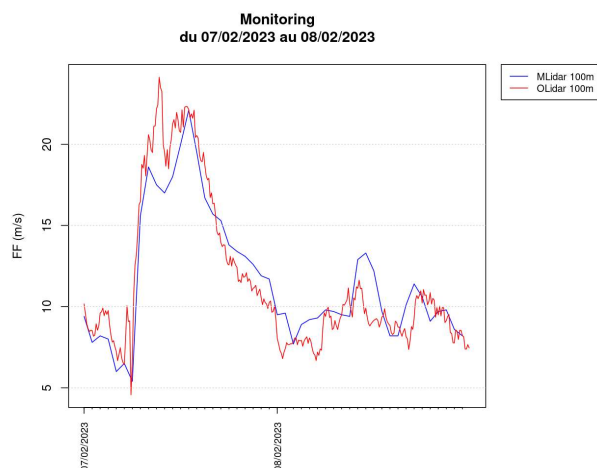


Illustration 39 : Comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME les 7 et 8 février 2023

On observe une très bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. La contiguïté des courbes dans la phase d'accélération du flux traduit une excellente concordance des données, que ce soit en termes d'intensité des vents ou de synchronisation temporelle. On remarque toutefois que le modèle AROME minimise les valeurs les plus fortes établies le 7 et présente un biais plus important en fin de période qui s'explique par des variations rapides et localisées du gradient de pression.

Annexe 3 : Situation du dimanche 21 juillet 2024 (situation orageuse de nord-ouest)

Une dépression au nord des îles britanniques se prolonge par un thalweg vers la France associée à un front froid actif (courbes avec triangles bleus sur la figure ci-dessous à gauche). Ce front traverse le golfe du Lion le 21 juillet en fin de matinée dans un flux de nord-ouest fort avec rafales, et est dynamisé par un forçage d'altitude (trait noir à gauche du front), intensifiant l'activité orageuse et les rafales de vent lors de son passage au niveau de la bouée. À l'arrière, le vent mollit temporairement assez fort avant de reprendre.

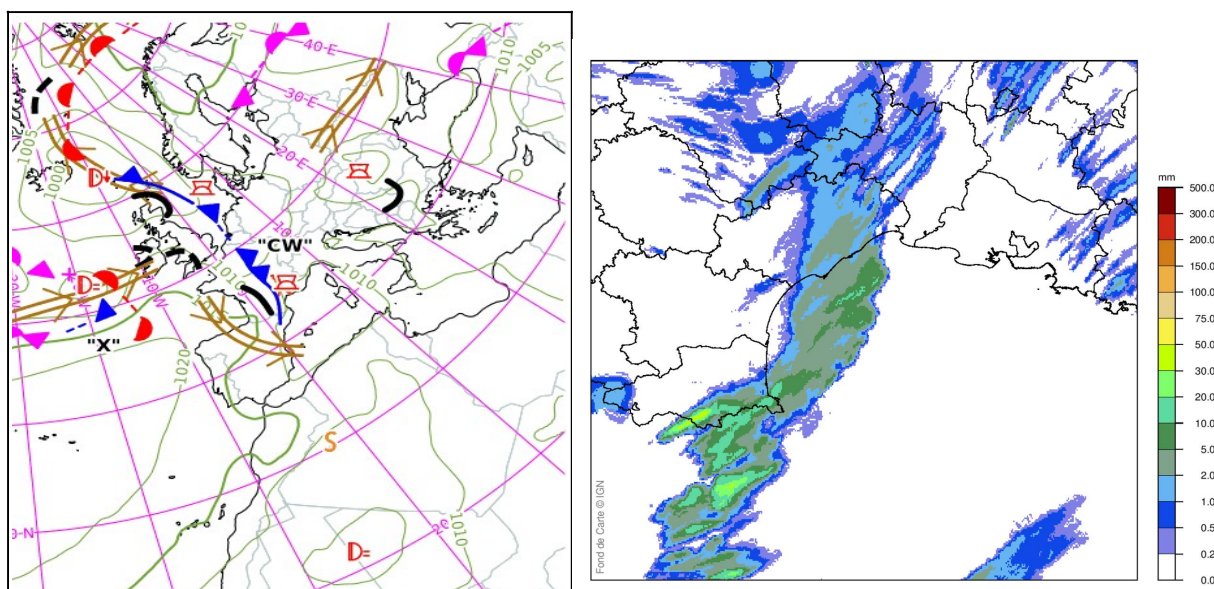


Illustration 40 : à gauche, anasyg du dimanche 21 juillet 2024 à 06UTC, à droite, lame d'eau (1 h) ANTILOPE à 09 UTC.

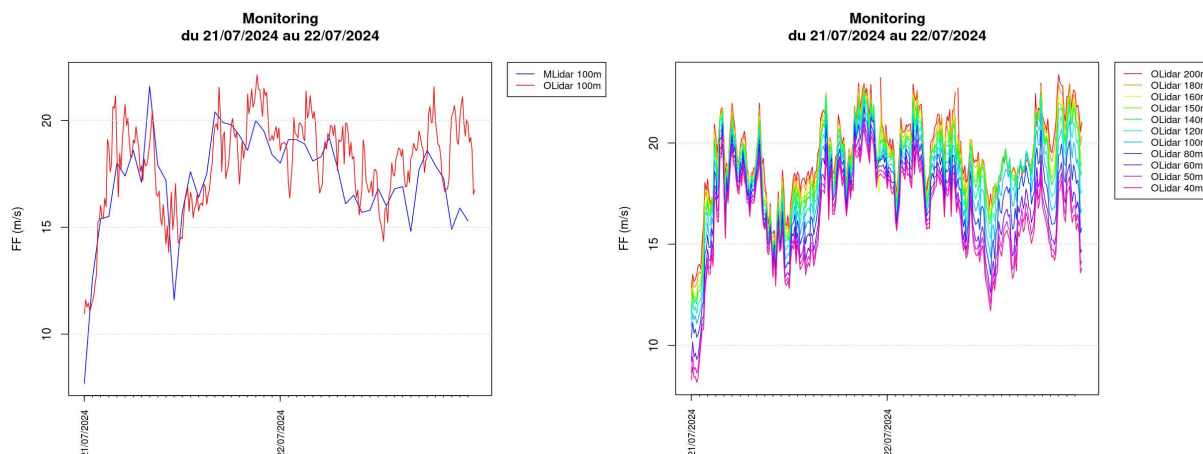
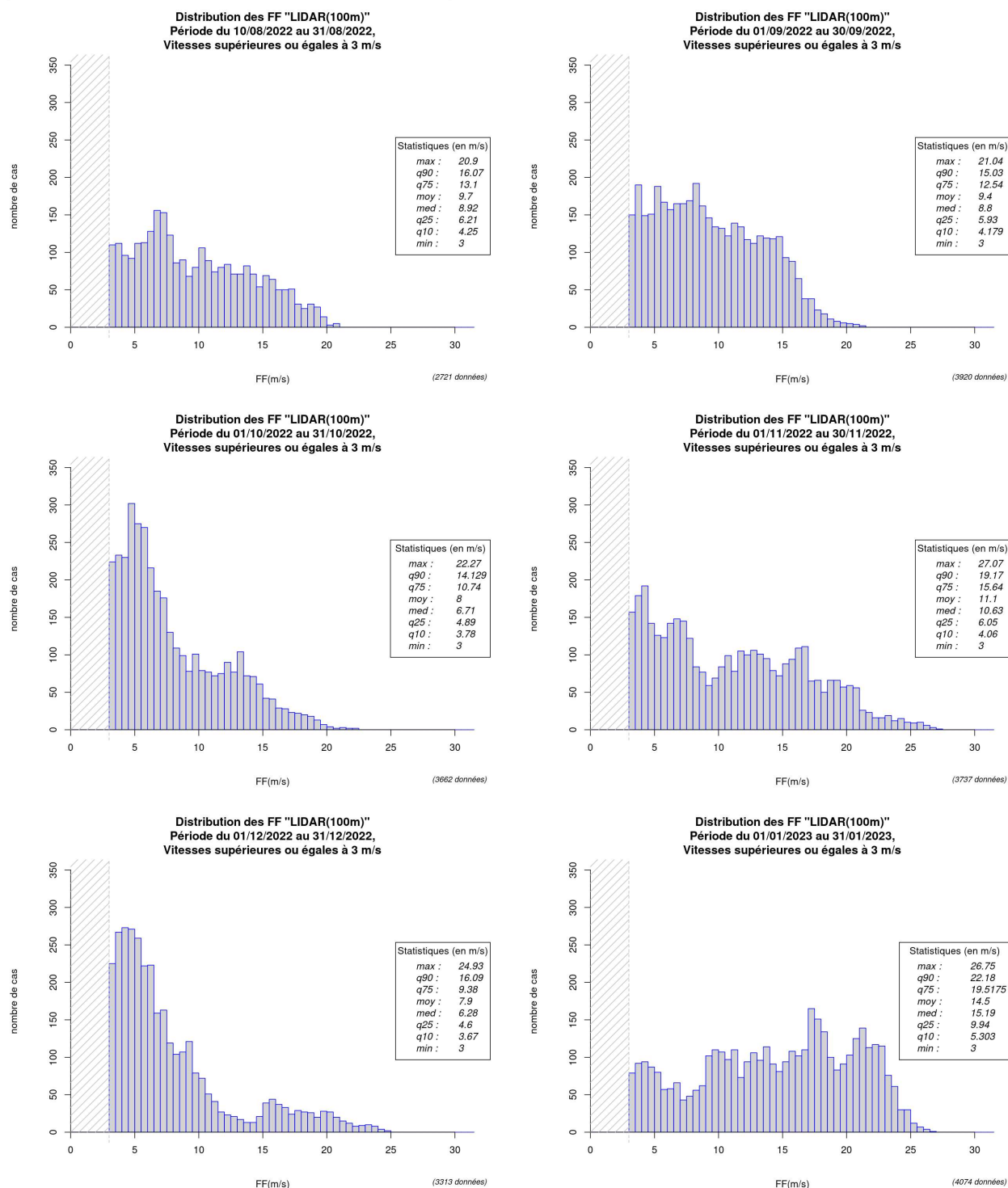


Illustration 41 : à gauche, comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME les 21 et 22 juillet 2024, à droite, visualisation des vents mesurés par le LiDAR à différentes hauteurs entre 40 et 200 m.

Les valeurs observées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME démontrent une bonne corrélation, tant sur la phase d'accélération du vent à l'approche et au passage du front orageux, que sur les phases de dévente à l'arrière en milieu de journée du 21/07/2024, puis de reprise.

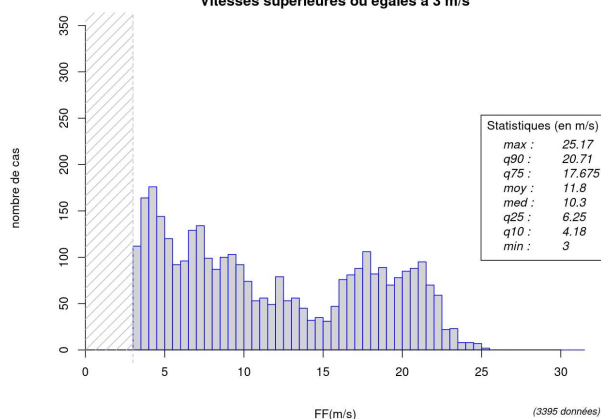
Les différences visibles le 21 en fin de journée et le 22 s'expliquent par une variation rapide du vent sur l'altitude, comme on peut le voir sur le graphique des mesures entre 40 et 200 m.

Annexe 4 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

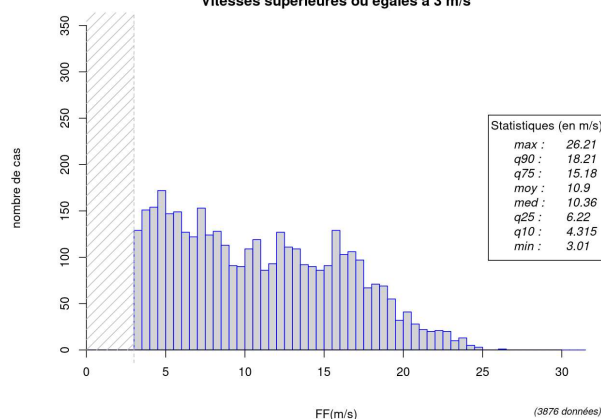


Rapport final Lot 6a AO6 Méditerranée Zone 3

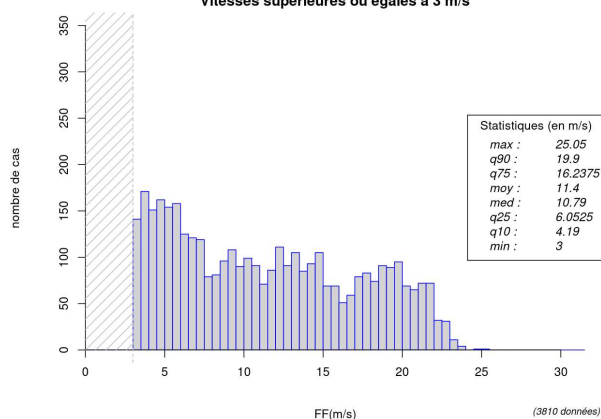
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



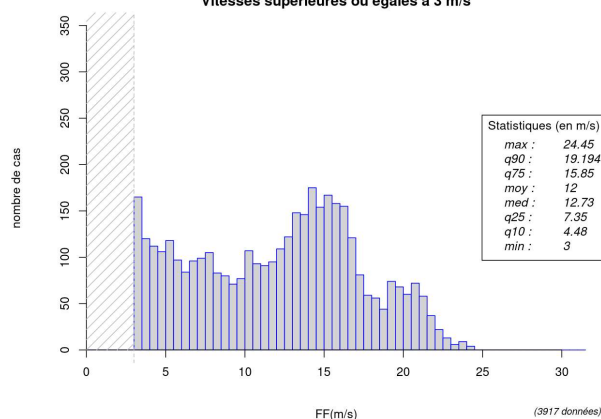
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



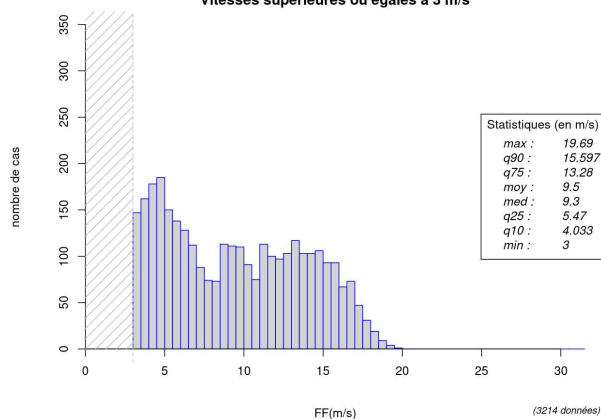
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



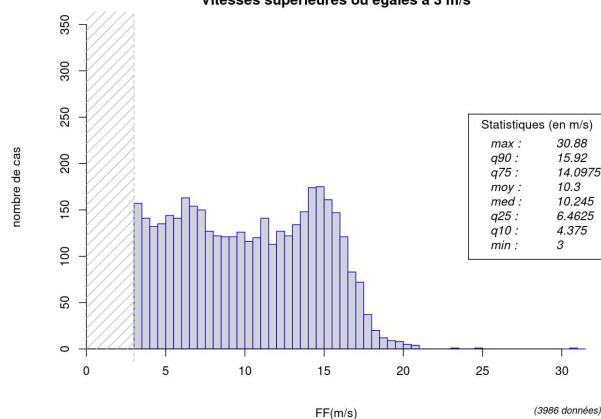
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2023 au 31/05/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



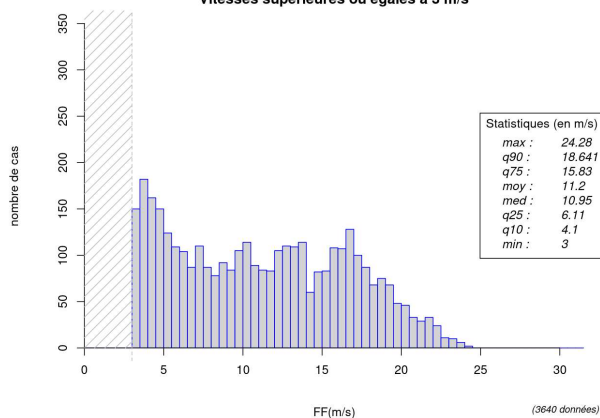
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/06/2023 au 30/06/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



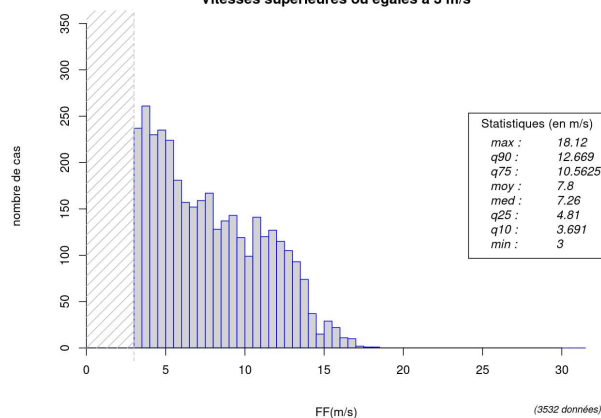
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



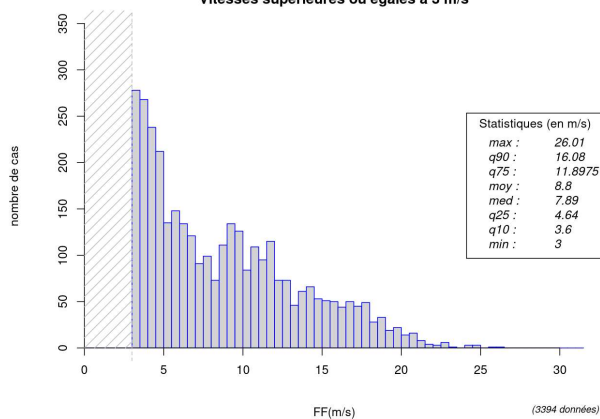
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



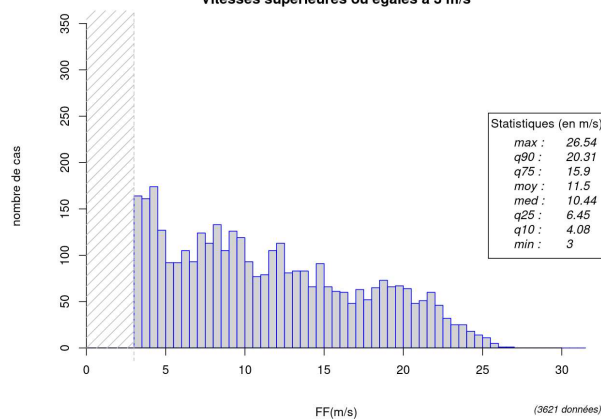
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



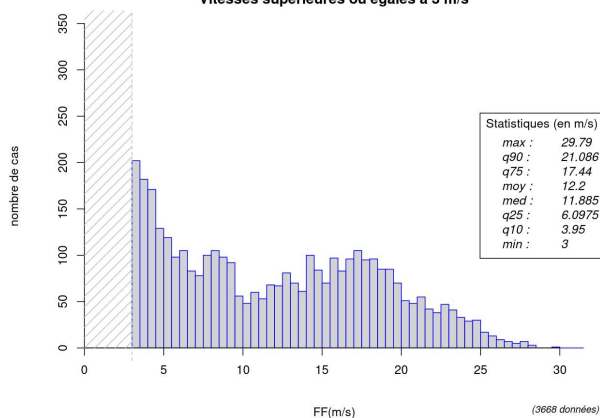
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



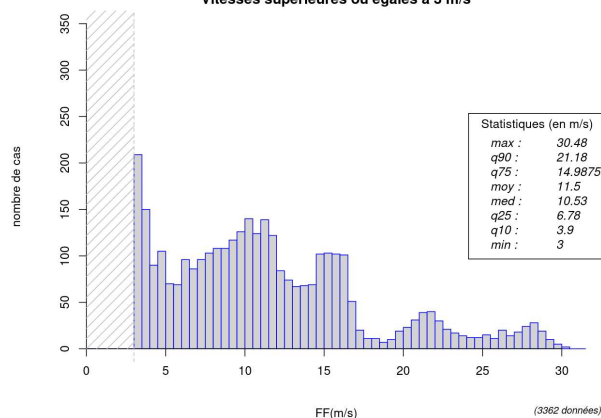
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

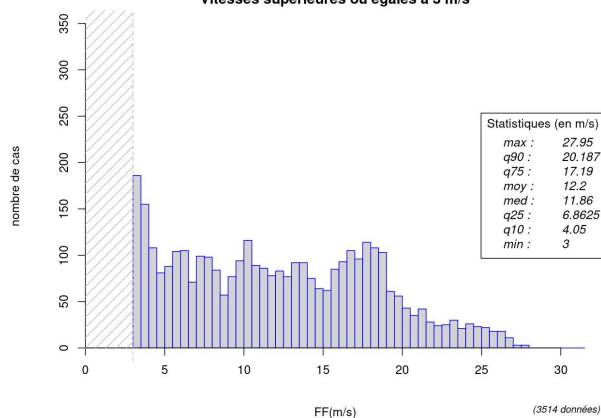


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

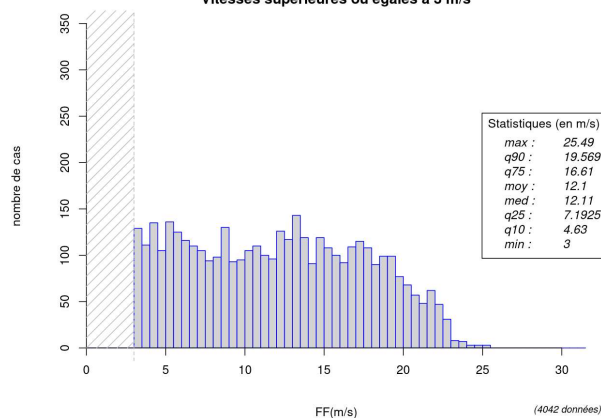


Rapport final Lot 6a AO6 Méditerranée Zone 3

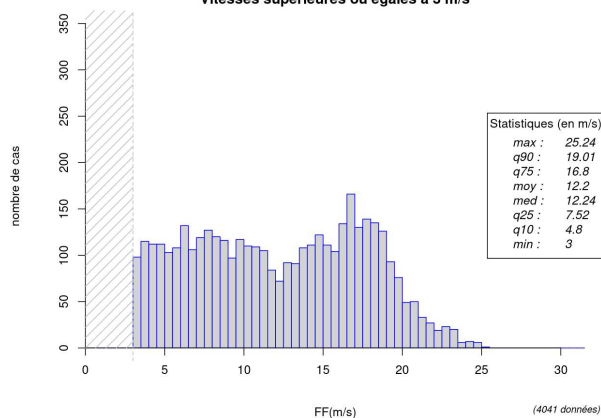
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



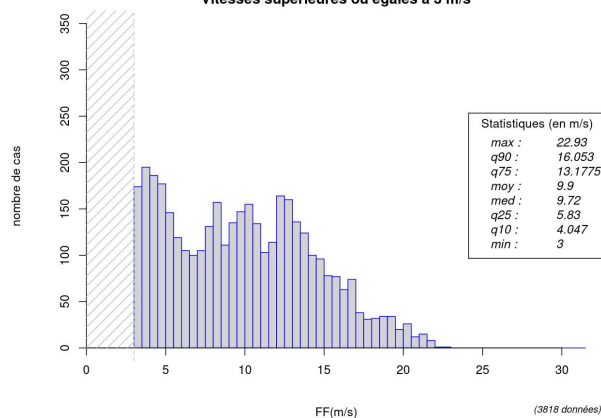
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



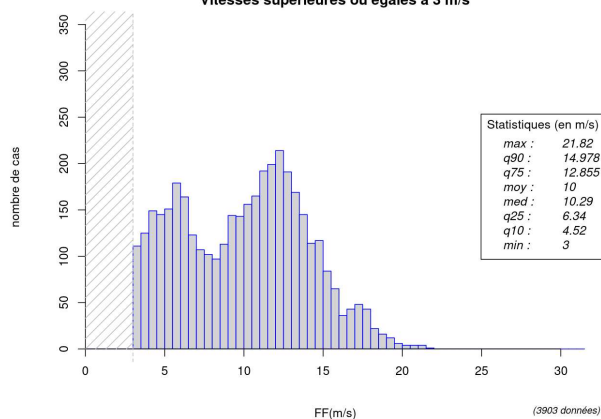
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



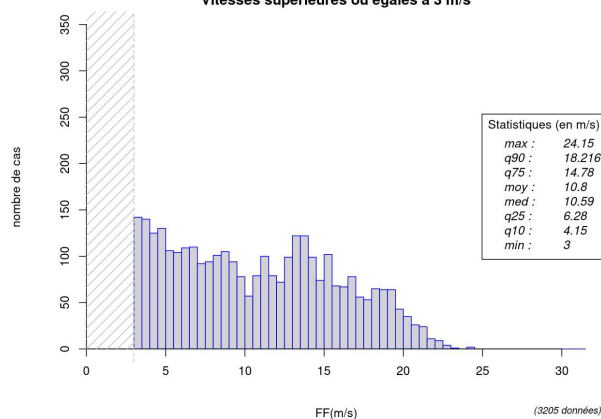
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

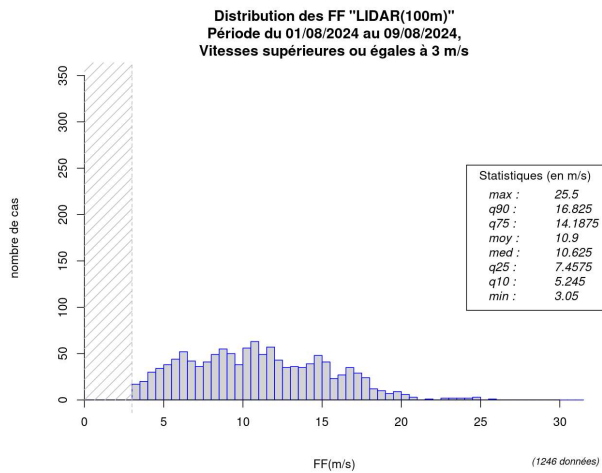


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/06/2024 au 30/06/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



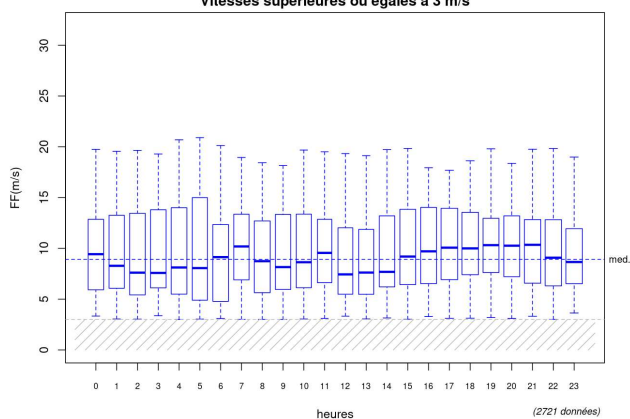
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/07/2024 au 31/07/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



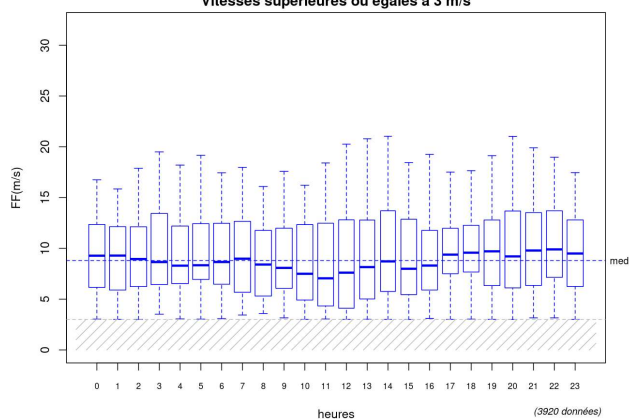


Annexe 5 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

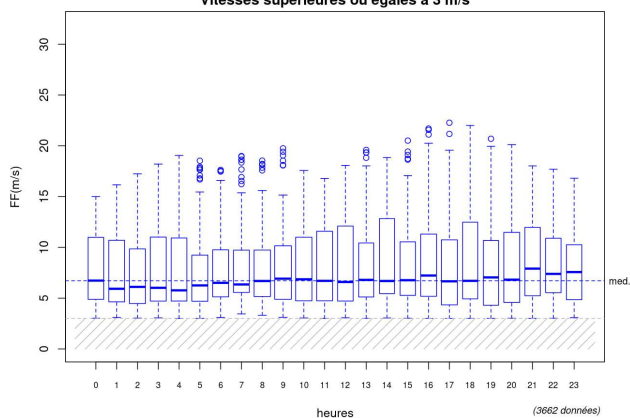
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 10/08/2022 au 31/08/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



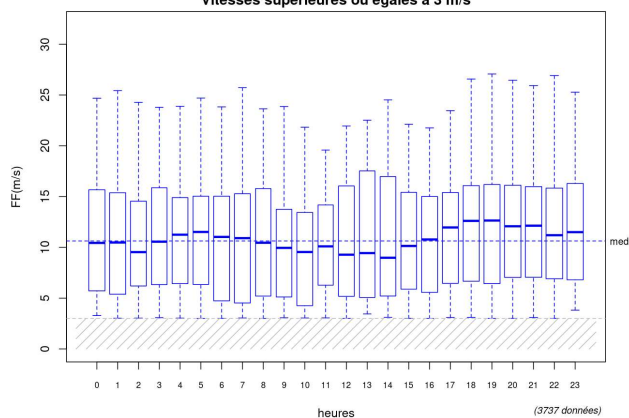
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2022 au 30/09/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



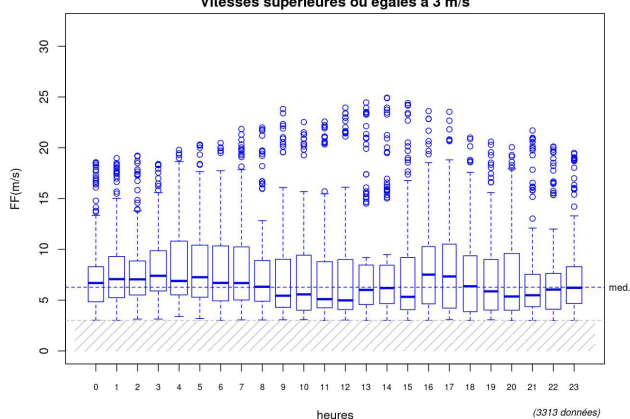
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2022 au 31/10/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



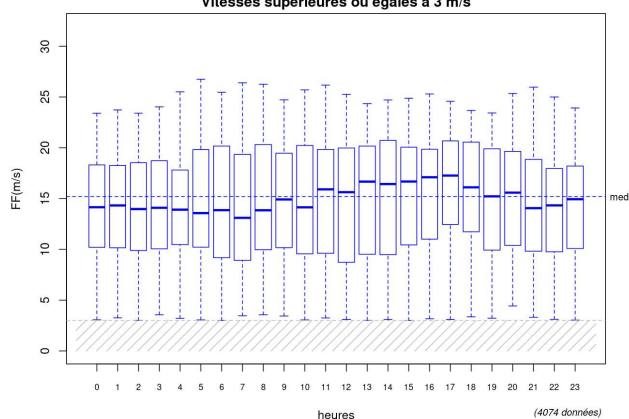
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2022 au 30/11/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



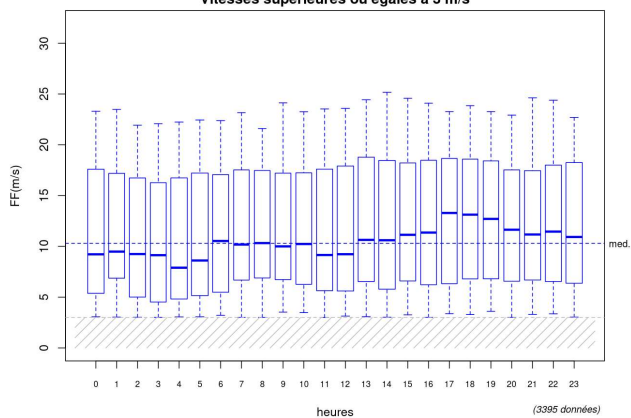
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2022 au 31/12/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



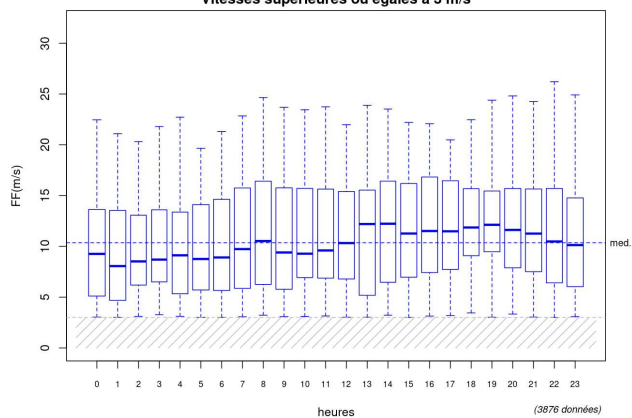
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2023 au 31/01/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



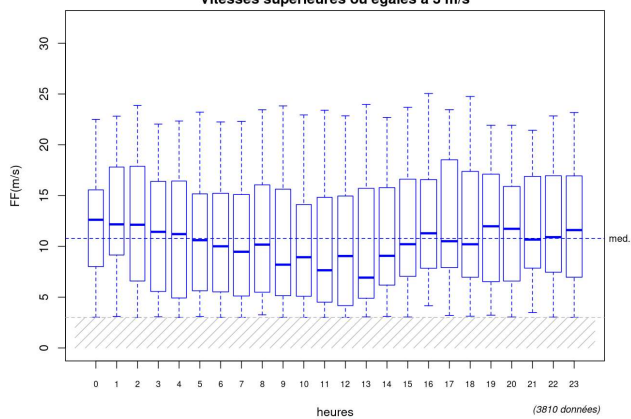
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



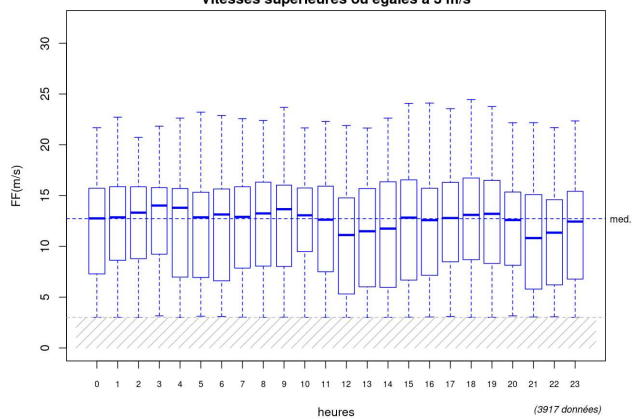
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



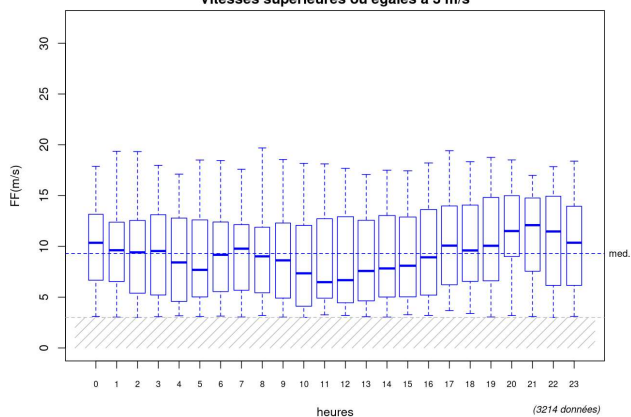
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



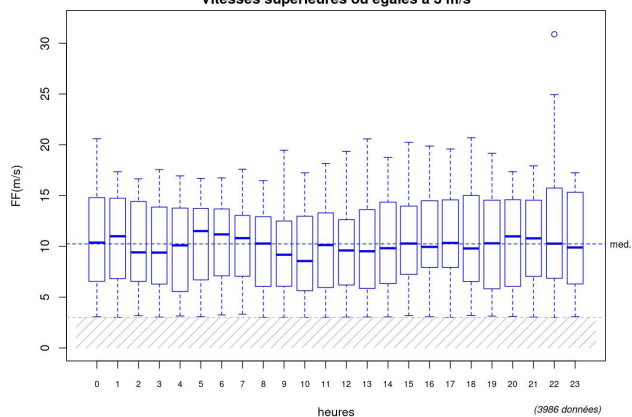
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2023 au 31/05/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2023 au 30/06/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

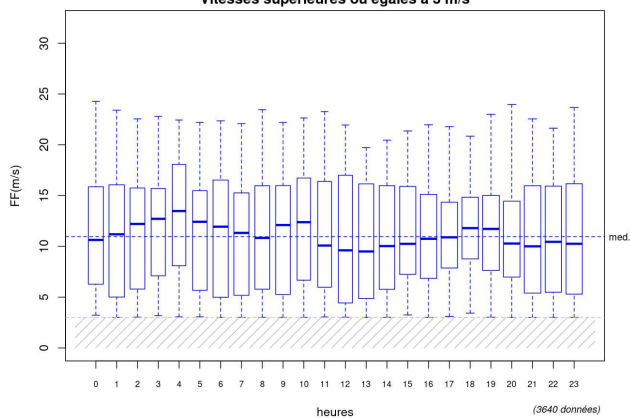


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

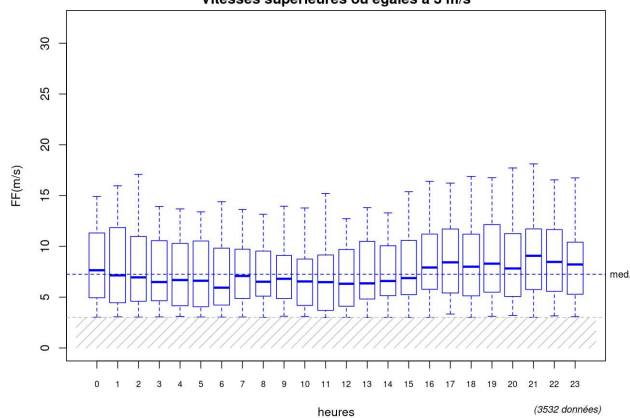


Rapport final Lot 6a AO6 Méditerranée Zone 3

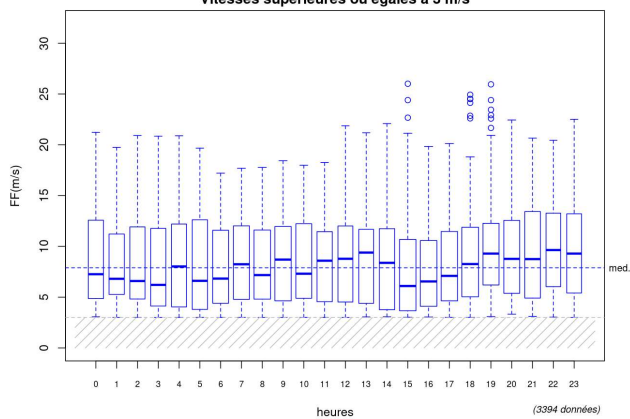
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



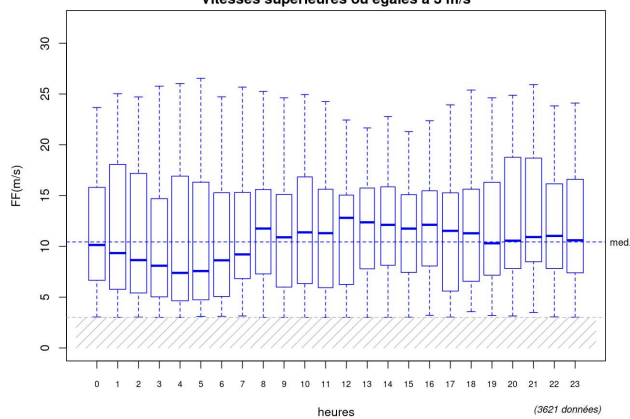
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



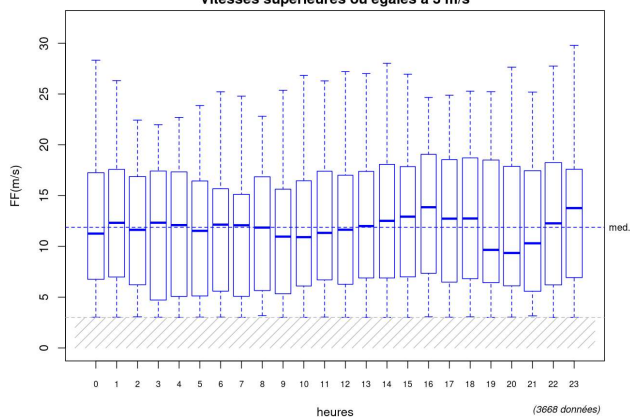
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



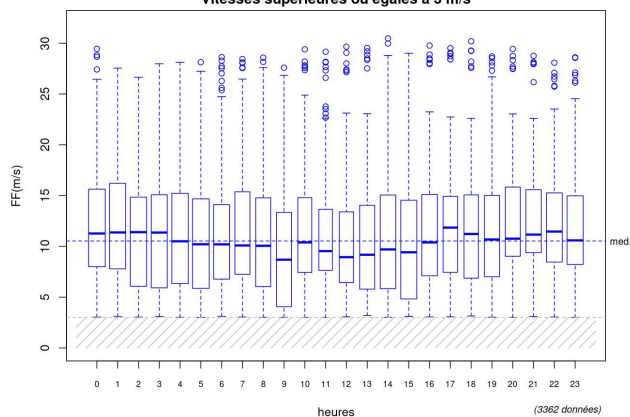
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



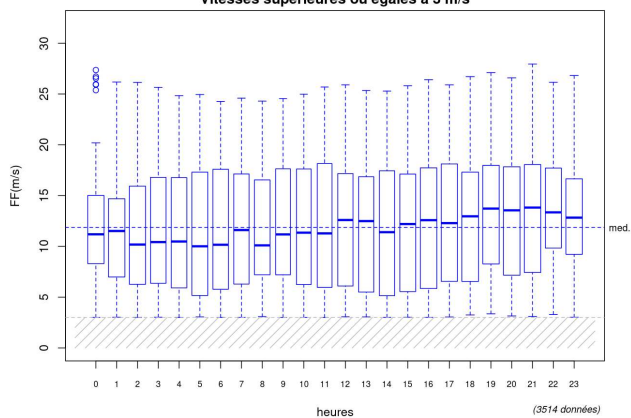
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



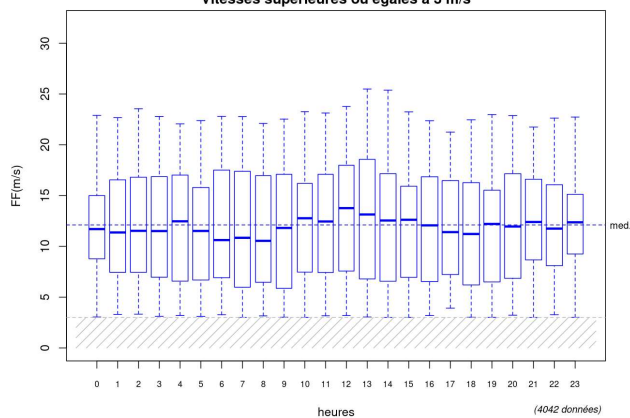
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



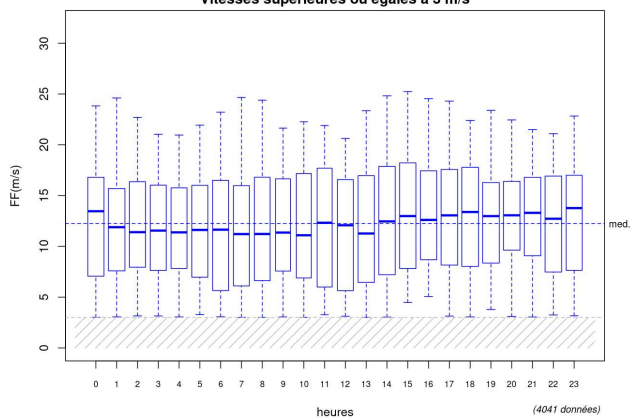
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



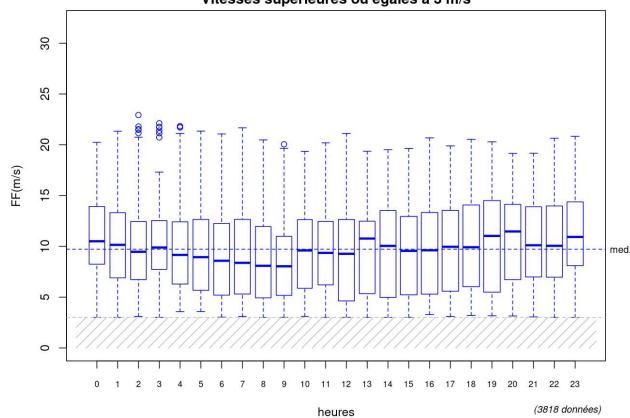
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



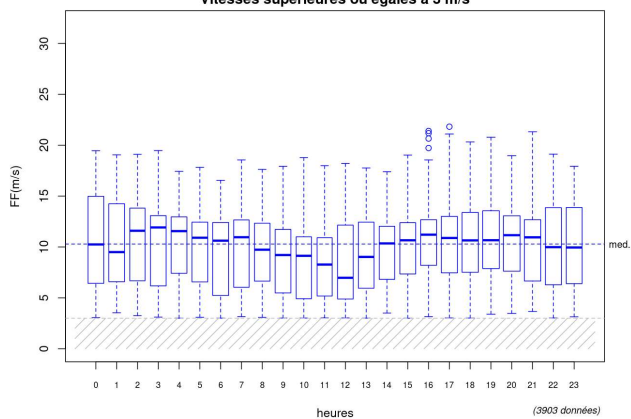
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



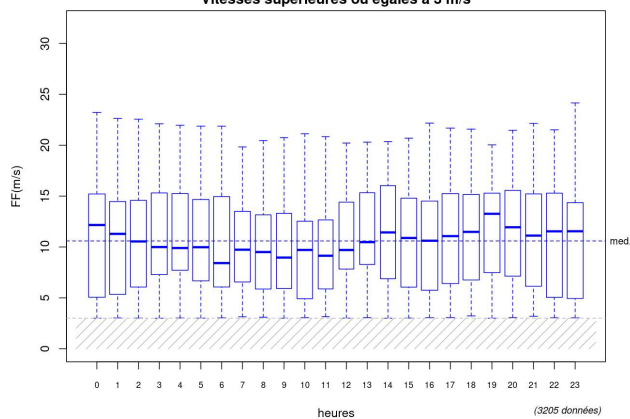
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

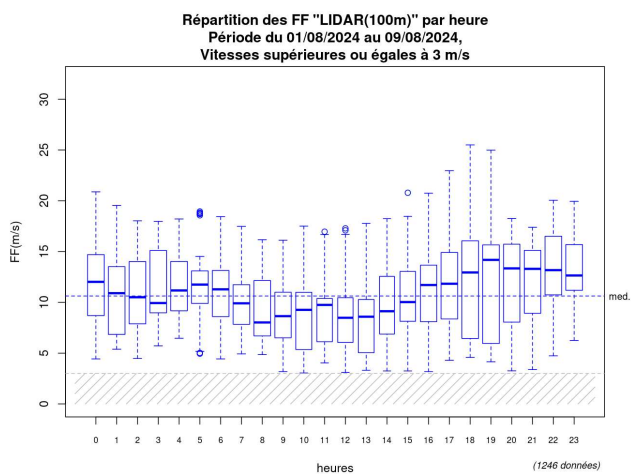


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2024 au 30/06/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2024 au 31/07/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





Annexe 6 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR

	Directions en degrés												Total
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	0,0	.	0,0	.	.	0,0
[29,30[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,2	.	.	0,2
[28,29[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,5	0,0	.	0,5
[27,28[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,6	0,0	.	0,6
[26,27[	.	.	.	.	.	0,0	.	.	.	0,8	0,1	.	0,9
[25,26[	.	.	.	.	0,0	0,0	.	.	.	1,3	0,2	.	1,5
[24,25[	.	.	.	0,0	0,0	0,1	.	.	.	2,2	0,7	.	3,1
[23,24[	.	.	.	0,0	0,0	0,1	.	.	0,0	3,8	1,4	.	5,2
[22,23[	.	.	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	.	.	6,5	2,3	.	9,2
[21,22[	.	.	0,1	0,1	0,2	0,4	.	.	.	9,1	4,2	.	14,0
[20,21[	.	.	0,1	0,1	0,3	0,7	0,0	.	0,0	10,7	4,9	.	16,7
[19,20[	.	.	0,1	0,2	0,5	1,1	0,1	.	0,0	13,1	5,6	0,0	20,7
[18,19[	0,0	.	0,1	0,2	0,8	1,7	0,1	.	0,0	15,2	7,2	0,1	25,4
[17,18[	.	0,0	0,0	0,3	1,3	2,3	0,2	0,0	0,0	18,0	8,7	0,1	30,9
[16,17[	0,0	.	0,0	0,4	2,2	2,4	0,2	.	0,0	20,9	10,2	0,0	36,6
[15,16[	0,1	.	0,0	0,4	3,4	2,8	0,2	.	0,1	21,7	10,8	0,1	39,5
[14,15[	0,1	.	0,0	0,9	4,2	2,9	0,4	0,0	0,2	21,0	11,6	0,2	41,5
[13,14[	0,1	.	0,1	1,3	6,9	3,3	0,4	0,0	0,2	19,7	14,0	0,3	46,2
[12,13[	0,1	.	0,1	2,1	6,3	3,3	0,5	0,0	0,3	18,8	15,5	0,3	47,3
[11,12[	0,1	0,2	0,3	2,8	7,8	3,8	0,7	0,1	0,4	14,4	14,9	0,5	45,9
[10,11[	0,4	0,3	0,4	3,9	7,6	5,1	0,9	0,1	0,4	12,1	15,9	0,9	48,0
[9,10[	0,5	0,4	0,7	3,9	8,1	6,2	1,6	0,3	0,6	9,7	15,9	1,5	49,3
[8,9[	1,0	0,8	1,0	4,7	8,0	5,8	1,8	0,3	0,8	8,9	13,8	2,4	49,4
[7,8[	1,6	1,7	1,6	6,0	9,1	5,9	1,9	0,8	1,3	7,3	12,9	4,2	54,2
[6,7[	1,9	2,6	3,2	6,3	9,5	5,6	2,6	1,0	2,2	6,6	11,5	5,5	58,5
[5,6[	3,7	4,6	4,3	6,9	9,1	5,9	3,6	1,9	3,3	5,9	8,5	6,5	64,1
[4,5[	6,1	5,9	5,4	7,9	8,7	6,1	3,8	3,0	4,0	5,7	8,5	8,1	73,1
[3,4[	6,6	7,6	8,1	7,8	7,4	5,6	4,3	3,3	4,2	5,8	7,8	8,6	77,0
[0,3[	12,0	12,5	14,0	13,5	12,1	10,5	9,4	10,4	10,4	11,2	11,8	12,6	140,3
Total	34,2	36,5	39,4	69,8	113,4	81,6	32,8	21,3	28,6	271,7	219,0	51,7	1000

Nombre de cas : 103351

*Analyse de répartition du vent LiDAR observé à 100 m sur la période du 10 août 2022 au 9 août 2024
(en pour mille)*

Les vents inférieurs à 3 m/s (non comptabilisés dans les statistiques) apparaissent ici en surligné dans le tableau. Ils représentent 14 % des cas.

Annexe 7 : Roses des vents mensuelles du LiDAR à 100m (données brutes)

AOÛT 2022 - LIDAR (100m)

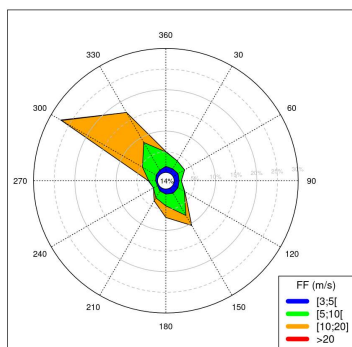


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 3167

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.3	2.2	.	.	3.5
60	1.4	1.8	.	.	3.2
90	1.2	0.5	.	.	1.7
120	1.4	1.8	0.1	.	3.3
150	1.5	6.2	2.8	.	10.5
180	1.2	2.8	2.8	.	6.9
210	0.9	1.9	0.8	.	3.6
240	0.3	1.1	.	.	1.5
270	0.5	1.7	0.1	.	2.2
300	0.7	3.8	22.6	0.3	27.4
330	0.9	7.7	8.4	.	17.1
360	1.5	3.5	0.1	.	5.1
Total	12.9	35.0	37.7	0.3	85.9
[0; 3[					14.1

SEPTEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

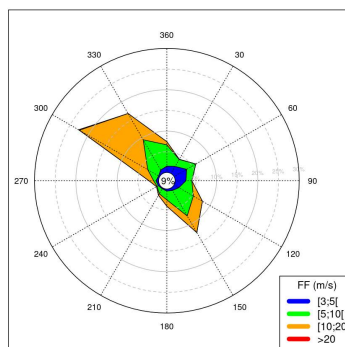


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4317

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.0	1.9	0.0	.	4.0
60	3.5	2.5	.	.	6.1
90	2.6	1.4	.	.	4.0
120	1.4	4.0	2.5	.	7.9
150	0.7	7.1	4.7	.	12.5
180	0.5	2.1	1.5	.	4.2
210	0.3	1.4	0.4	.	2.1
240	0.4	0.3	0.1	.	0.9
270	0.6	0.6	1.1	.	2.3
300	0.3	3.0	19.1	0.2	22.7
330	1.0	8.4	7.3	.	16.8
360	1.5	5.1	0.8	.	7.4
Total	14.8	38.1	37.6	0.2	90.8
[0; 3[					9.2

OCTOBRE 2022 - LIDAR (100m)

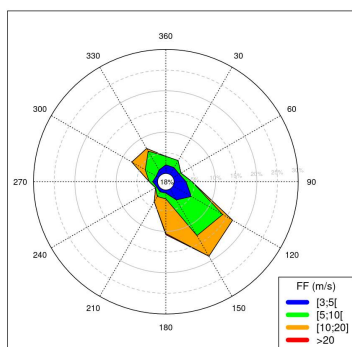


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4402

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.9	1.9	.	.	3.9
60	1.7	0.5	.	.	2.2
90	2.9	1.4	.	.	4.3
120	5.1	8.7	2.8	.	16.6
150	3.1	10.0	5.8	.	18.8
180	0.8	1.4	8.4	0.3	10.8
210	0.8	1.3	1.5	.	3.6
240	0.5	0.3	.	.	0.9
270	1.2	0.8	.	.	2.0
300	0.7	3.0	3.8	.	7.5
330	1.3	5.3	0.7	.	7.3
360	2.1	2.0	.	.	4.1
Total	22.2	36.7	22.9	0.3	82.1
[0; 3[					17.9

NOVEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

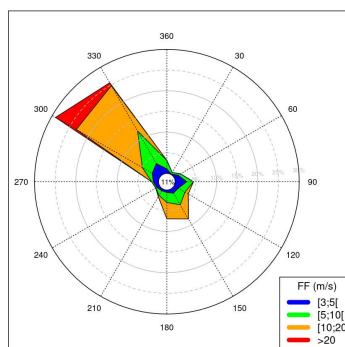


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4203

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.2	0.4	.	.	0.6
60	1.1	0.6	.	.	1.8
90	2.8	1.6	.	.	4.4
120	1.2	1.9	0.9	.	3.9
150	1.2	3.3	3.9	.	8.4
180	0.6	2.4	3.9	.	7.0
210	0.5	1.3	0.3	.	2.1
240	0.8	0.3	0.0	.	1.1
270	1.3	0.4	.	.	1.7
300	2.1	2.7	18.4	5.8	29.1
330	3.1	9.1	12.7	0.8	25.6
360	1.1	2.0	.	.	3.1
Total	15.9	26.1	40.3	6.7	88.9
[0; 3[					11.1

DÉCEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

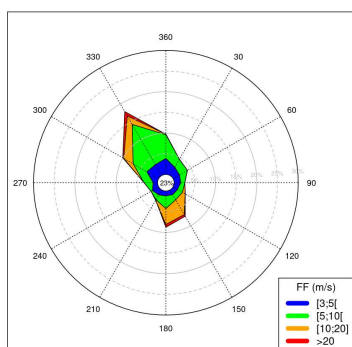


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4328

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.3	2.2	.	.	4.5
60	1.8	2.2	.	.	4.0
90	1.6	1.0	.	.	2.6
120	1.2	1.4	0.8	.	3.4
150	1.3	1.4	4.1	0.5	7.4
180	1.2	3.1	3.8	0.7	8.8
210	1.4	1.3	0.2	.	2.9
240	1.8	0.4	.	.	2.1
270	1.1	2.2	.	.	3.3
300	3.3	3.8	2.6	0.3	10.0
330	3.1	11.2	2.4	1.2	17.9
360	3.9	5.7	0.1	.	9.7
Total	23.9	36.0	14.0	2.7	76.6
[0; 3[					23.4

JANVIER 2023 - LIDAR (100m)

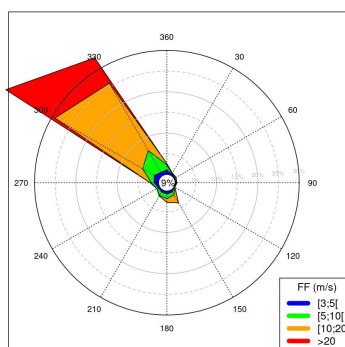


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4459

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.3	0.2	0.2	.	0.7
60	0.3	0.2	0.0	.	0.6
90	0.2	0.2	0.0	.	0.4
120	0.1	0.1	.	.	0.2
150	0.6	0.9	2.2	.	3.6
180	0.8	1.1	0.9	.	2.8
210	0.6	1.0	0.1	.	1.7
240	0.4	0.4	.	.	0.8
270	1.1	0.7	0.3	0.0	2.1
300	1.5	3.2	24.5	13.7	43.0
330	0.9	6.1	18.8	7.1	32.9
360	1.1	1.2	0.3	.	2.6
Total	7.9	15.3	47.3	20.9	91.4
[0; 3[					8.6

FÉVRIER 2023 - LIDAR (100m)

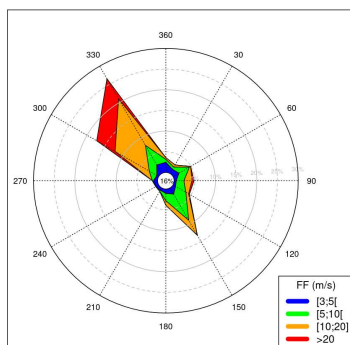


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4027

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.2	0.6	0.6	.	2.4
60	1.7	2.9	0.3	.	4.9
90	0.5	1.8	1.9	0.5	4.8
120	0.7	2.9	0.8	0.2	4.6
150	1.7	7.3	4.2	.	13.2
180	1.1	1.8	1.1	.	3.9
210	0.7	0.3	.	.	0.9
240	0.8	.	.	.	0.8
270	1.0	0.2	.	.	1.3
300	0.5	2.1	9.5	5.1	17.3
330	2.4	5.5	13.0	5.6	26.5
360	2.5	0.7	0.4	.	3.6
Total	14.8	26.1	31.9	11.5	84.3
[0; 3[					15.7

MARS 2023 - LIDAR (100m)

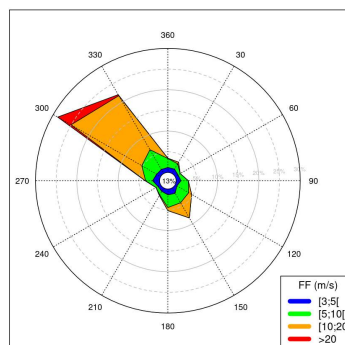


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4458

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.2	1.5	0.4	.	3.2
60	0.8	0.6	.	.	1.4
90	1.2	1.8	.	.	2.9
120	0.5	3.3	0.8	.	4.6
150	1.5	2.6	4.2	.	8.4
180	1.4	3.1	0.7	.	5.2
210	1.0	1.0	0.2	.	2.1
240	0.8	0.5	.	.	1.3
270	1.7	1.7	0.1	0.0	3.5
300	1.1	4.1	19.8	3.7	28.8
330	1.1	5.5	15.1	0.3	22.0
360	1.2	2.2	0.1	.	3.4
Total	13.6	27.9	41.4	4.1	86.9
[0; 3[					13.1

AVRIL 2023 - LIDAR (100m)

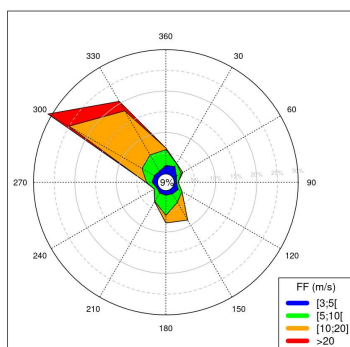


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4185

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.3	0.8	0.0	.	3.2
60	1.0	1.4	0.4	.	2.7
90	0.5	0.4	.	.	1.0
120	1.5	1.0	.	.	2.5
150	1.2	2.4	4.9	.	8.5
180	1.1	4.9	1.8	.	7.8
210	1.0	2.3	0.1	.	3.4
240	0.6	0.7	.	.	1.2
270	1.3	1.4	0.1	.	2.8
300	1.2	3.4	20.4	5.9	30.9
330	1.1	4.6	12.3	2.7	20.5
360	2.1	3.8	0.4	.	6.3
Total	14.9	27.0	40.5	8.6	91.0
[0; 3[					9.0

MAI 2023 - LIDAR (100m)

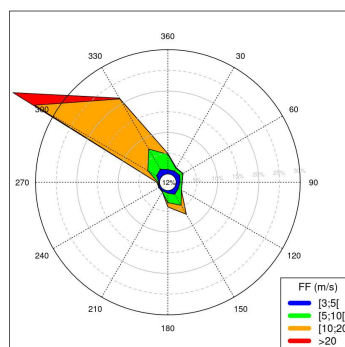


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4459

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	0.8	0.2	.	2.0
60	1.3	0.9	0.0	.	2.2
90	1.0	0.5	0.0	.	1.5
120	0.9	0.8	.	.	1.8
150	1.4	3.0	2.5	.	6.9
180	0.7	2.3	1.0	.	3.9
210	0.5	0.2	0.0	.	0.7
240	0.4	0.1	0.0	.	0.5
270	0.2	0.2	0.3	.	0.7
300	1.1	2.4	31.6	6.1	41.2
330	1.6	5.6	14.0	0.2	21.4
360	1.1	3.7	0.2	.	4.9
Total	11.3	20.4	49.9	6.3	87.8
[0; 3[					12.2

JUIN 2023 - LIDAR (100m)

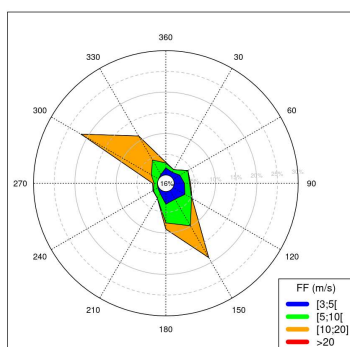


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3835

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	0.7	.	.	1.8
60	1.9	2.2	0.0	.	4.1
90	2.5	1.3	0.2	.	4.0
120	3.3	1.8	0.2	.	5.3
150	2.4	7.4	8.8	.	18.7
180	3.1	4.5	1.5	.	9.1
210	0.8	1.3	.	.	2.1
240	0.2	1.3	0.1	.	1.6
270	0.1	0.8	0.3	.	1.2
300	0.1	2.0	19.6	.	21.7
330	0.4	4.1	6.7	.	11.2
360	1.7	1.2	0.2	.	3.1
Total	17.5	28.6	37.7	.	83.8
[0; 3[					16.2

JUILLET 2023 - LIDAR (100m)

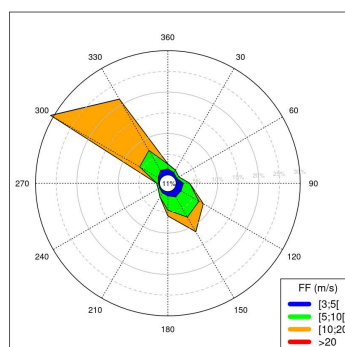


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4454

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	0.7	0.0	.	1.7
60	0.4	0.6	.	.	1.1
90	1.8	1.5	.	.	3.3
120	1.7	5.0	1.2	.	7.9
150	1.8	5.7	4.0	0.1	11.5
180	1.1	3.5	1.4	0.0	5.9
210	0.7	1.1	.	.	1.8
240	0.3	0.4	0.0	0.0	0.7
270	0.3	0.4	0.0	0.0	0.7
300	0.7	5.2	24.8	0.1	30.8
330	1.6	5.6	14.3	0.0	21.5
360	1.5	1.1	0.1	.	2.7
Total	12.7	30.7	45.8	0.3	89.5
[0; 3[					10.5

Rapport final Lot 6a AO6 Méditerranée Zone 3

AOÛT 2023 - LIDAR (100m)

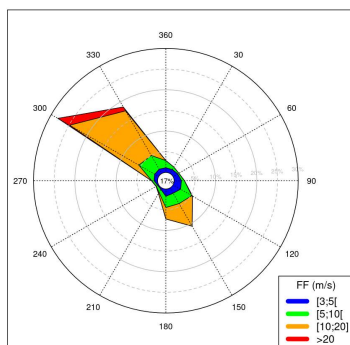


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4406

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.1	0.7	-	-	1.8
60	1.3	0.3	-	-	1.6
90	1.8	0.7	-	-	2.5
120	2.1	3.1	0.2	-	5.4
150	1.5	2.9	6.3	-	10.7
180	1.8	2.7	2.8	-	7.2
210	0.4	0.9	0.2	-	1.5
240	0.3	0.4	0.0	-	0.7
270	0.9	0.6	0.0	-	1.5
300	1.1	4.4	19.3	3.3	28.2
330	1.2	3.8	12.5	1.1	18.6
360	1.1	1.7	-	-	2.9
Total	14.6	22.2	41.4	4.4	82.6
[0; 3]					17.4

SEPTEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

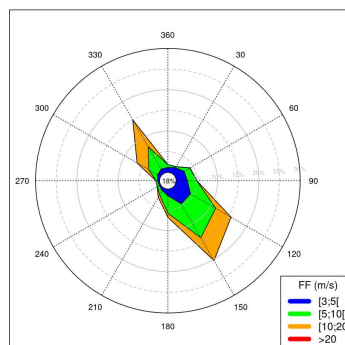


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4316

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.6	0.3	0.0	-	1.9
60	2.5	1.6	0.1	-	4.2
90	2.7	2.3	-	-	5.0
120	4.3	7.0	4.3	-	15.6
150	4.5	9.5	6.3	-	20.3
180	1.6	4.2	1.0	-	6.8
210	0.8	1.2	0.7	-	2.6
240	0.3	0.6	0.0	-	0.9
270	0.5	0.4	0.0	-	0.9
300	0.9	2.5	3.2	-	6.6
330	1.3	6.2	7.5	-	15.0
360	1.2	0.7	-	-	1.9
Total	22.3	36.3	23.2	-	81.8
[0; 3]					18.2

OCTOBRE 2023 - LIDAR (100m)

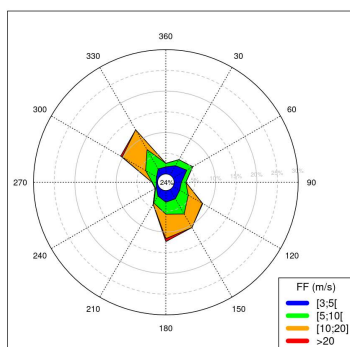


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4458

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	2.6	1.7	-	-	4.3
60	3.8	1.6	-	-	5.5
90	1.7	1.1	-	-	2.8
120	1.9	2.4	3.9	0.1	8.3
150	2.6	4.2	3.8	-	10.6
180	2.8	2.9	5.9	0.7	12.3
210	1.8	2.0	0.3	0.0	4.1
240	0.7	0.2	0.1	-	1.0
270	0.3	1.0	0.1	-	1.4
300	0.6	3.0	6.6	0.4	10.6
330	1.7	5.4	5.5	-	12.6
360	1.7	0.9	-	-	2.6
Total	22.3	26.3	26.2	1.3	76.1
[0; 3]					23.9

NOVEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

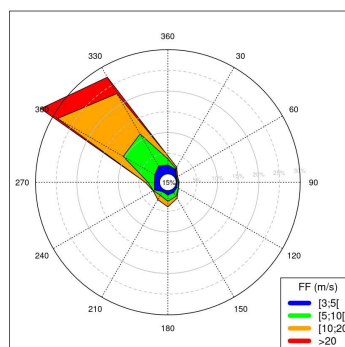


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4279

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.6	0.2	0.4	-	2.2
60	0.3	0.2	0.3	-	0.7
90	0.3	0.3	0.2	-	0.7
120	0.5	0.4	-	-	0.9
150	0.9	1.1	0.5	-	2.5
180	1.1	1.5	1.3	-	3.9
210	0.6	1.0	1.2	-	2.9
240	1.7	0.4	0.0	-	2.1
270	1.3	1.5	0.7	-	3.5
300	1.6	8.9	18.3	4.8	33.5
330	2.5	8.9	11.2	4.6	27.3
360	2.2	1.4	0.6	-	4.4
Total	14.6	25.8	34.9	9.3	84.6
[0; 3]					15.4

DÉCEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

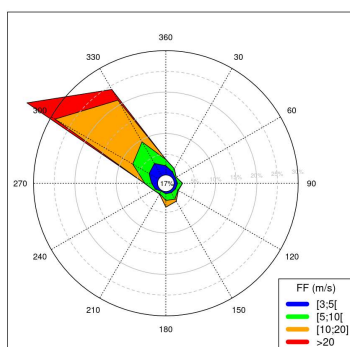


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4396

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.2	0.9	-	-	2.0
60	0.6	0.3	-	-	0.9
90	0.8	1.2	-	-	2.0
120	0.7	0.7	0.1	-	1.5
150	0.6	1.8	0.6	-	3.0
180	0.5	1.6	1.6	-	3.8
210	0.2	0.7	0.1	-	1.0
240	0.9	0.5	-	-	1.4
270	1.5	1.6	0.1	-	3.2
300	2.7	4.6	21.7	7.8	36.8
330	3.5	6.0	11.6	3.0	24.1
360	2.2	1.5	0.0	-	3.8
Total	15.6	21.2	35.8	10.8	83.4
[0; 3]					16.6

JANVIER 2024 - LIDAR (100m)

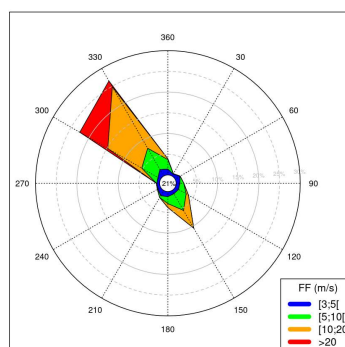


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4270

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.6	0.1	-	-	0.7
60	1.4	0.0	-	-	1.4
90	0.9	0.9	-	-	1.9
120	1.0	2.1	0.7	-	3.7
150	0.9	4.7	4.9	-	10.5
180	1.2	1.7	1.0	-	3.9
210	1.5	0.5	-	-	2.0
240	0.8	0.1	-	-	0.9
270	0.7	0.1	0.0	-	0.8
300	0.8	4.5	9.5	7.8	22.6
330	1.8	5.9	17.1	1.7	26.5
360	1.4	2.3	0.2	-	3.9
Total	13.0	22.9	33.3	9.5	78.7
[0; 3]					21.3

FÉVRIER 2024 - LIDAR (100m)

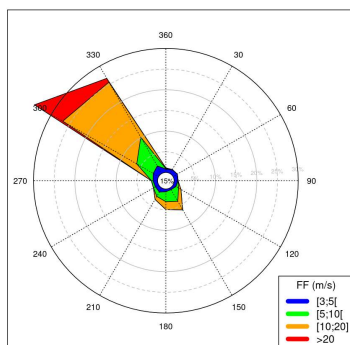


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4129

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	0.0	.	.	1.1
60	1.2	.	.	.	1.2
90	0.9	0.0	.	.	0.9
120	0.8	0.7	0.7	.	2.2
150	0.5	3.2	2.4	.	6.1
180	0.7	2.4	1.9	.	5.0
210	1.2	1.2	0.8	.	3.2
240	0.9	0.5	.	.	1.5
270	1.1	0.4	0.0	.	1.5
300	1.5	4.6	20.7	7.9	34.7
330	2.1	8.0	15.4	1.1	26.6
360	0.8	0.1	0.2	.	1.1
Total	12.8	21.2	42.0	9.0	85.1

[0; 3 [

MARS 2024 - LIDAR (100m)

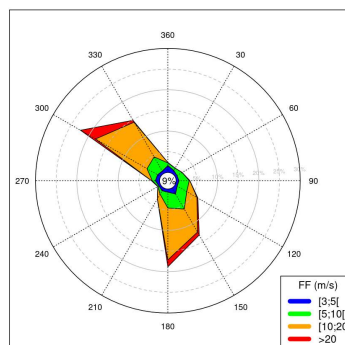


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4458

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	0.6	0.0	.	1.5
60	0.5	1.4	.	.	2.0
90	0.7	2.5	0.2	.	3.3
120	0.6	2.7	2.8	0.2	6.4
150	1.7	4.2	6.4	0.8	13.2
180	0.8	3.8	12.5	1.7	18.8
210	0.8	1.0	1.3	0.0	3.1
240	0.5	0.3	0.0	.	0.8
270	1.0	0.7	0.2	.	2.0
300	0.9	2.9	14.4	4.2	22.4
330	0.7	3.9	9.7	0.5	14.9
360	1.7	0.7	0.1	.	2.4
Total	10.8	24.7	47.6	7.5	90.7

[0; 3 [

AVRIL 2024 - LIDAR (100m)

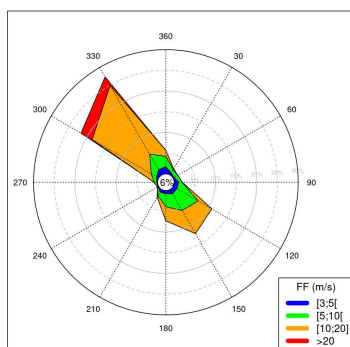


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4317

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.6	1.0	0.2	.	1.7
60	0.3	1.0	0.0	.	1.3
90	1.1	0.8	0.0	.	1.9
120	1.1	5.9	3.8	.	10.8
150	1.2	4.7	6.4	.	12.3
180	0.8	3.1	3.4	.	7.3
210	0.8	1.0	0.4	.	2.2
240	0.2	0.1	.	.	0.3
270	0.2	0.6	0.0	.	0.8
300	0.6	1.5	16.5	3.1	21.7
330	1.5	4.3	19.1	2.4	27.4
360	1.8	2.5	1.5	.	5.7
Total	10.1	26.5	51.4	5.6	93.6

[0; 3 [

MAI 2024 - LIDAR (100m)

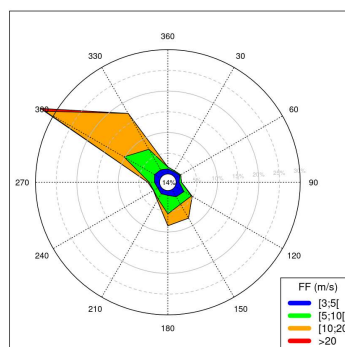


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4458

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.0	0.2	.	.	1.2
60	1.3	0.2	.	.	1.6
90	0.7	0.5	.	.	1.3
120	2.5	2.1	0.2	.	4.8
150	2.0	2.1	3.9	.	8.0
180	1.2	4.5	2.9	.	8.5
210	1.2	1.5	0.4	.	3.1
240	0.8	1.1	0.0	.	2.0
270	1.2	1.3	0.3	.	2.9
300	1.7	8.6	22.0	1.4	33.6
330	1.5	5.7	10.0	.	17.2
360	1.2	0.4	.	.	1.7
Total	16.4	28.2	39.7	1.4	85.7

[0; 3 [

JUIN 2024 - LIDAR (100m)

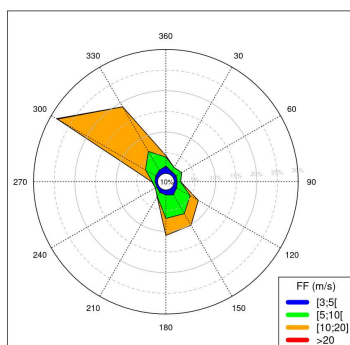


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4315

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.8	1.1	.	.	2.0
60	0.9	1.5	.	.	2.4
90	0.8	0.8	0.0	.	1.6
120	1.0	3.8	2.3	.	7.0
150	1.6	5.3	3.2	.	10.2
180	1.2	5.7	4.1	.	11.0
210	1.0	1.2	0.1	.	2.2
240	0.5	0.4	.	.	0.9
270	0.6	0.6	0.1	.	1.4
300	0.8	2.9	24.6	0.3	28.5
330	1.2	5.3	12.4	0.0	18.9
360	1.8	2.2	0.3	.	4.3
Total	12.3	30.7	47.2	0.3	90.5

[0; 3 [

JUILLET 2024 - LIDAR (100m)

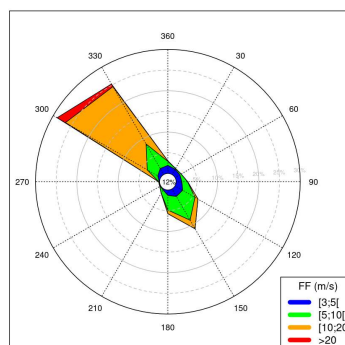
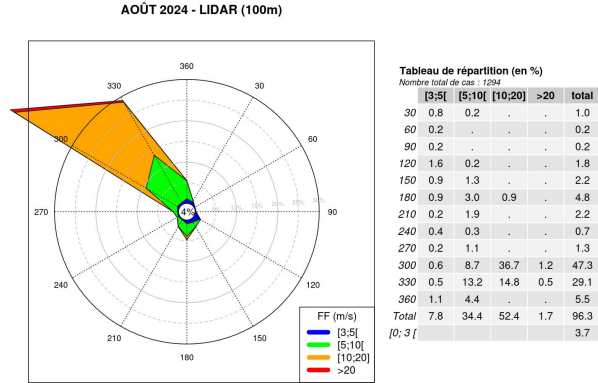


Tableau de répartition (en %)

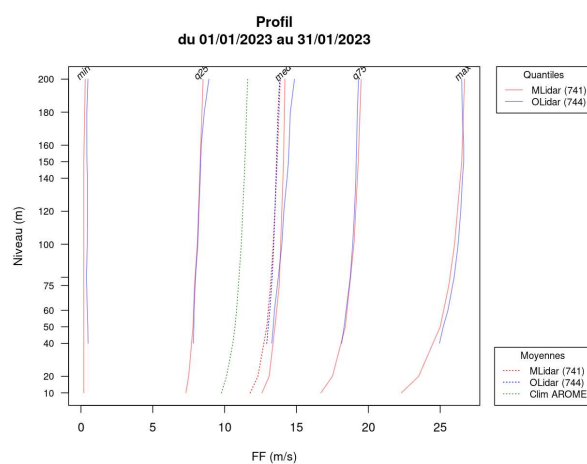
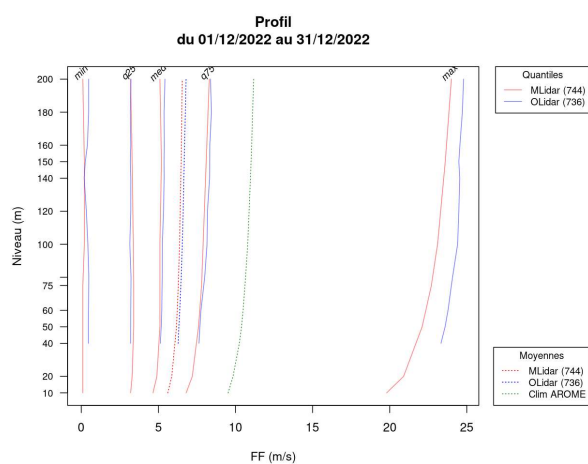
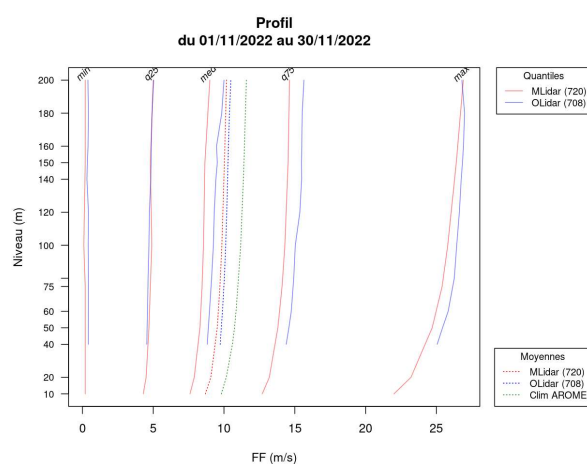
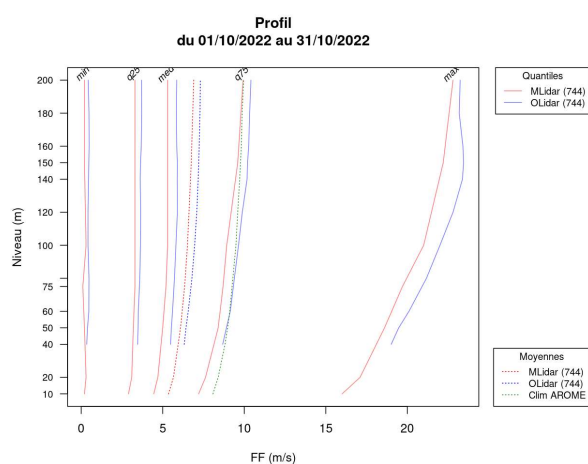
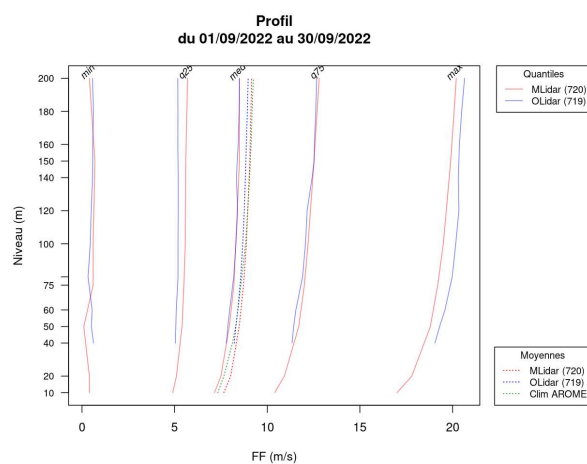
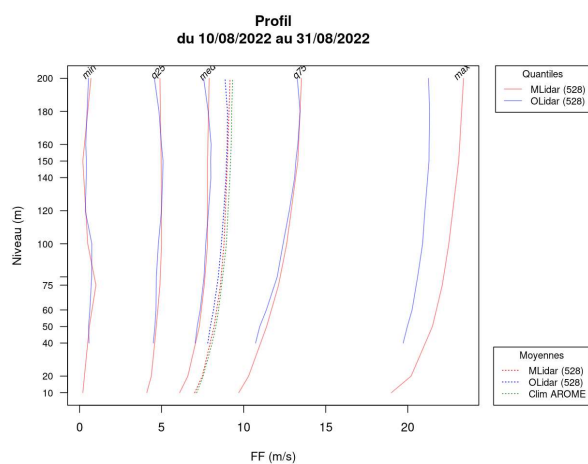
Nombre total de cas : 3639

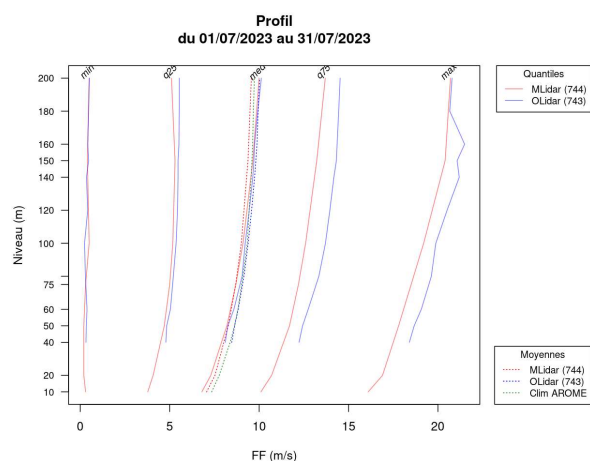
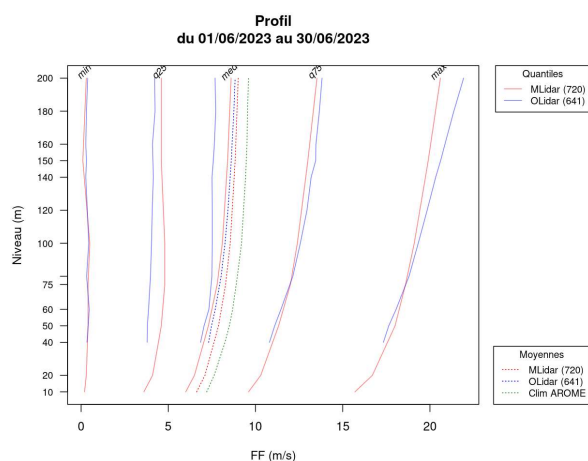
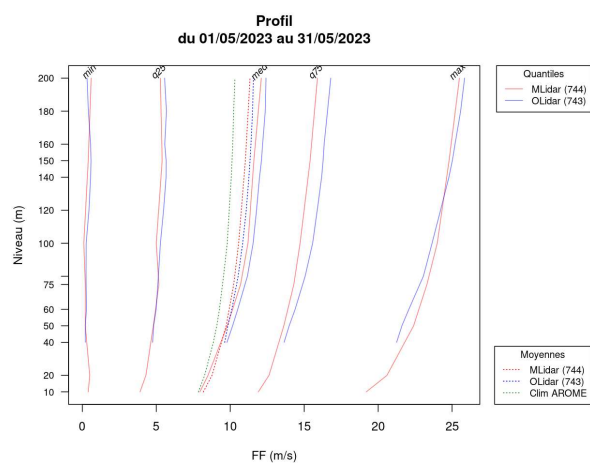
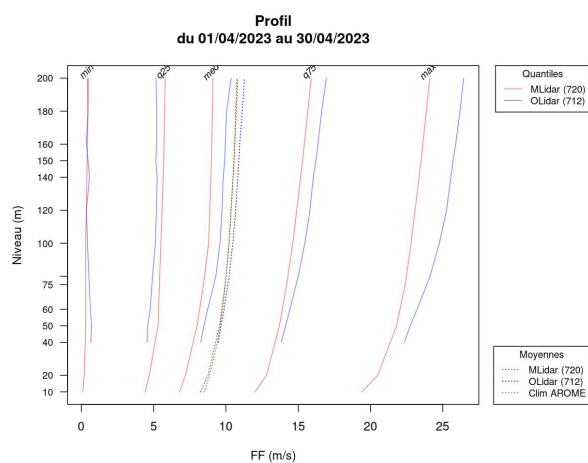
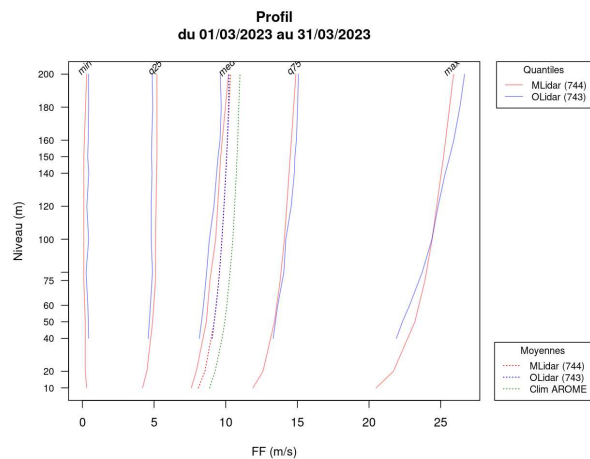
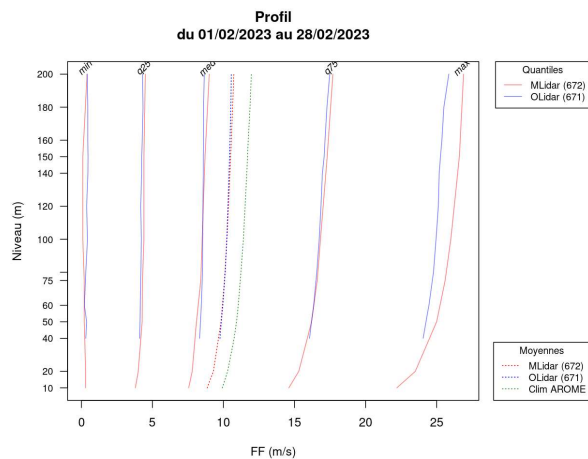
	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.5	0.2	.	.	1.7
60	1.4	0.4	.	.	1.7
90	1.4	1.4	0.0	.	2.8
120	2.1	3.4	0.8	.	6.4
150	2.1	6.6	2.4	.	11.1
180	1.3	3.6	0.9	.	5.7
210	0.3	0.9	.	.	1.2
240	0.2	0.1	.	.	0.2
270	0.1	0.1	.	.	0.2
300	0.8	2.9	22.8	2.3	28.9
330	1.7	6.8	16.0	0.7	25.3
360	2.0	1.0	0.1	.	3.0
Total	14.8	27.4	43.1	3.1	88.4

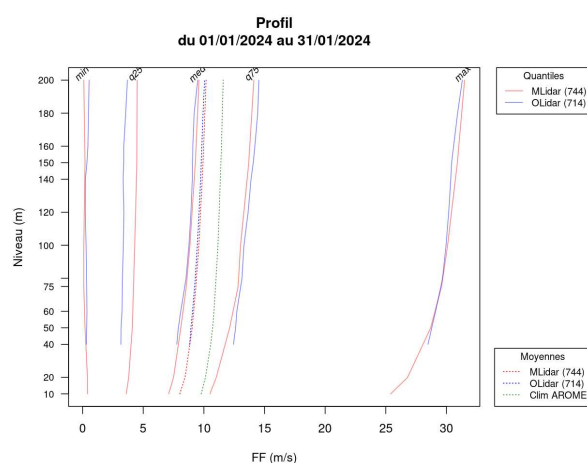
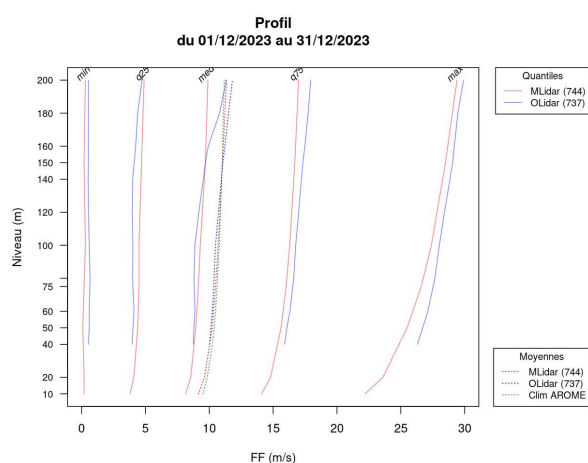
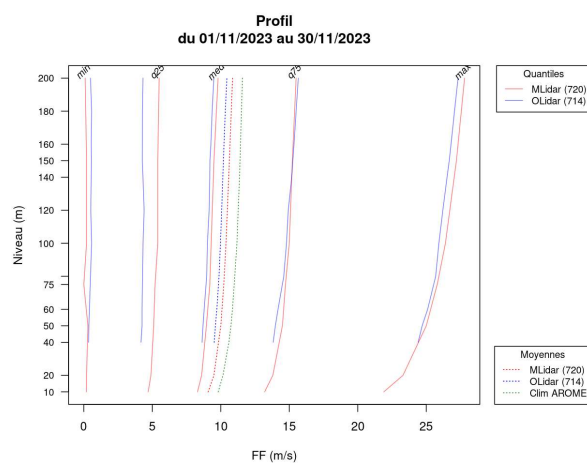
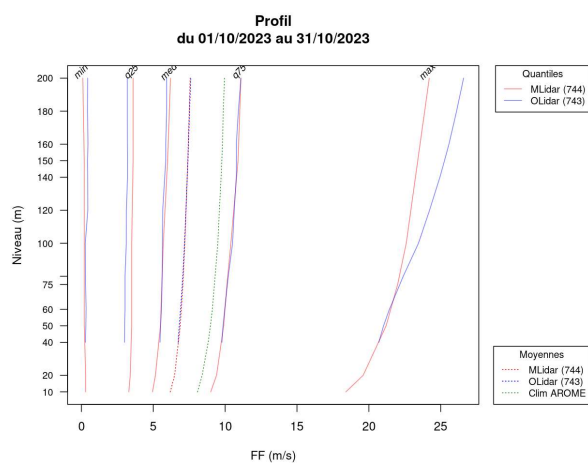
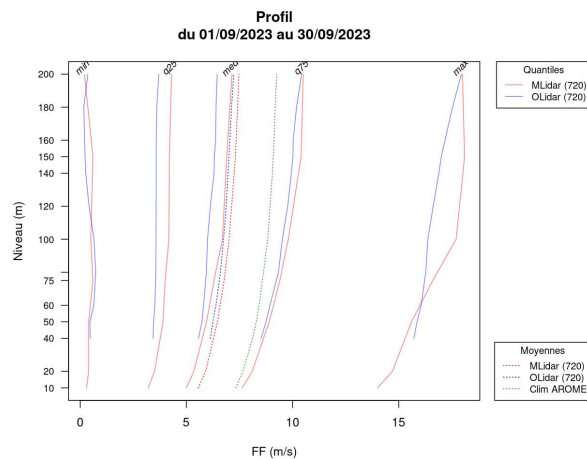
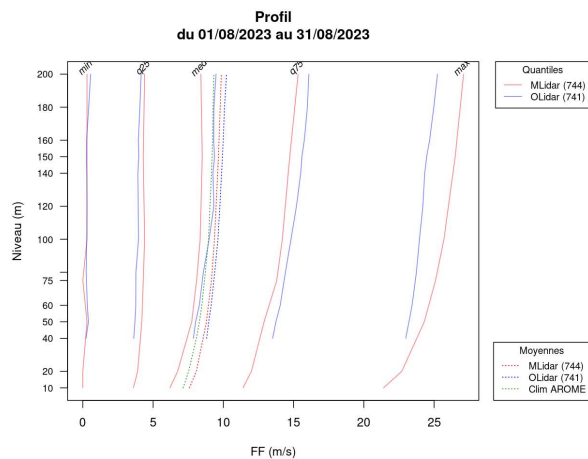
[0; 3 [

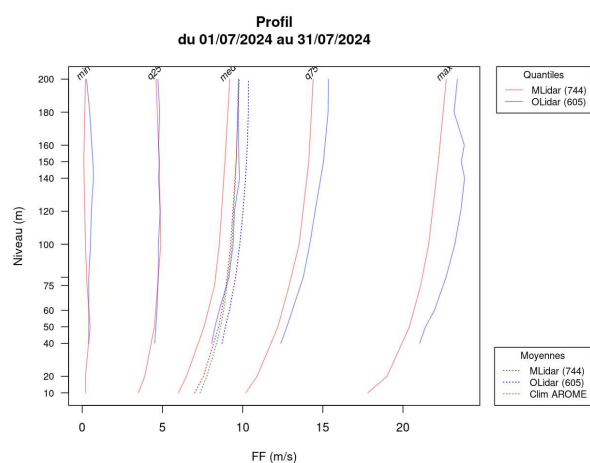
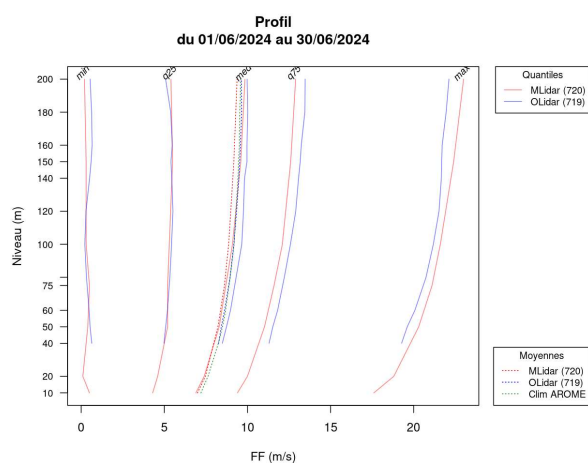
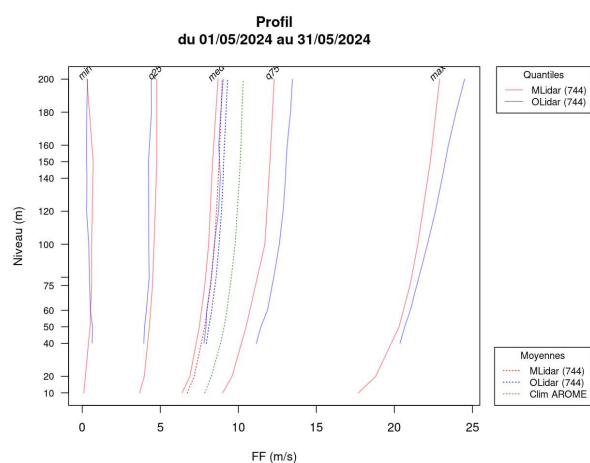
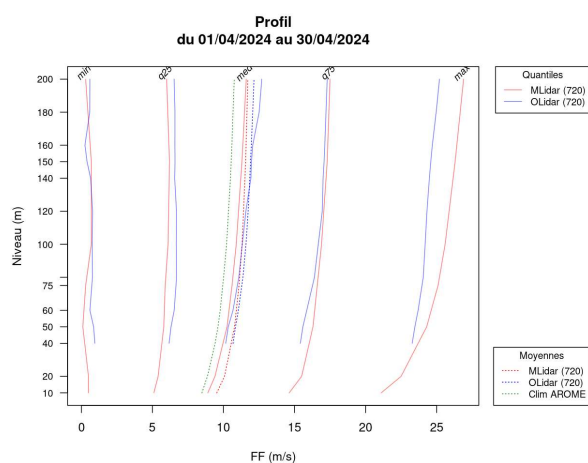
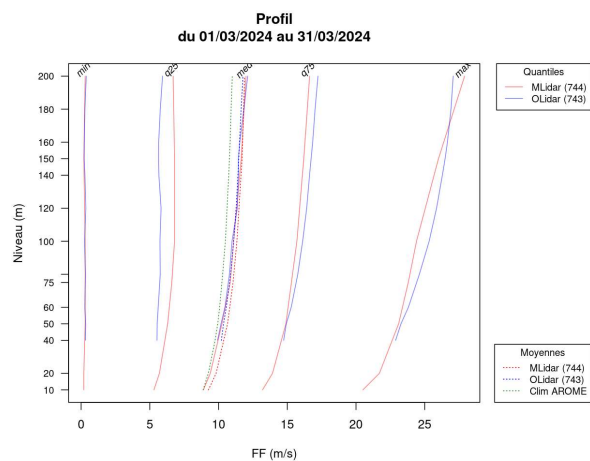
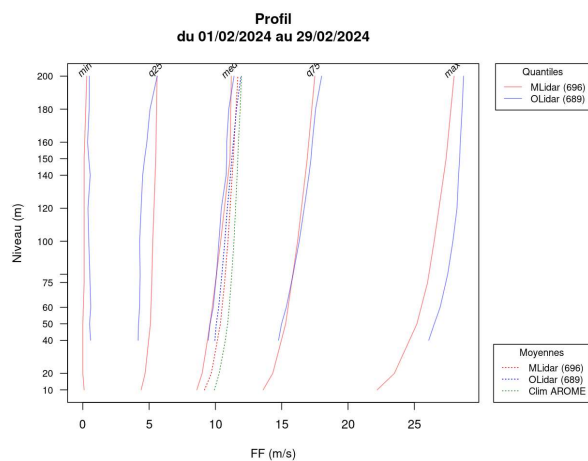


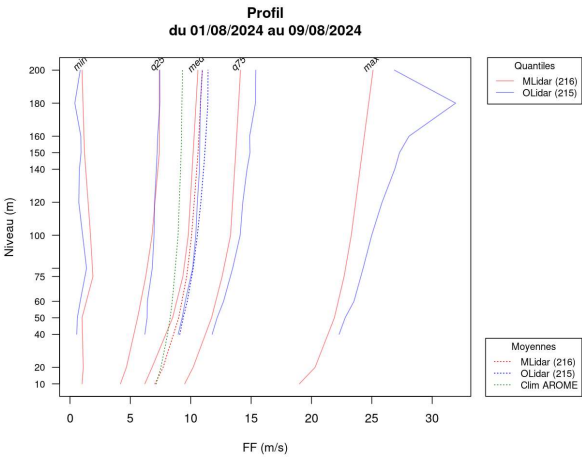
Annexe 8 : Profils de vent du LiDAR



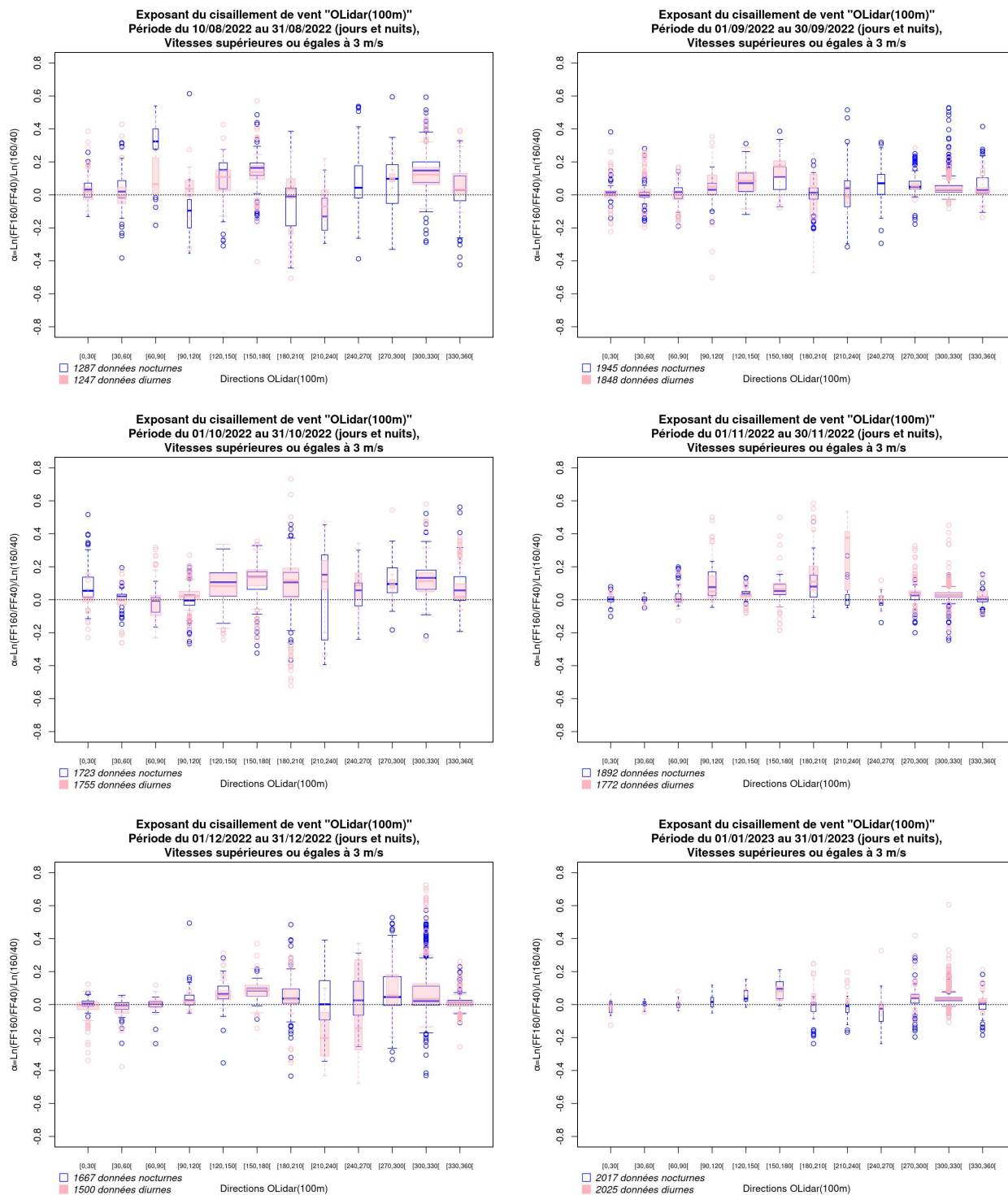




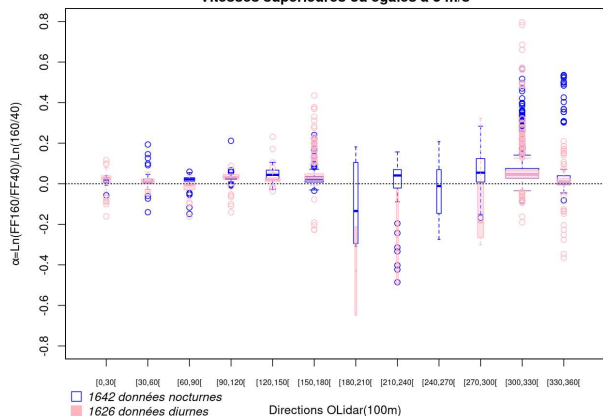




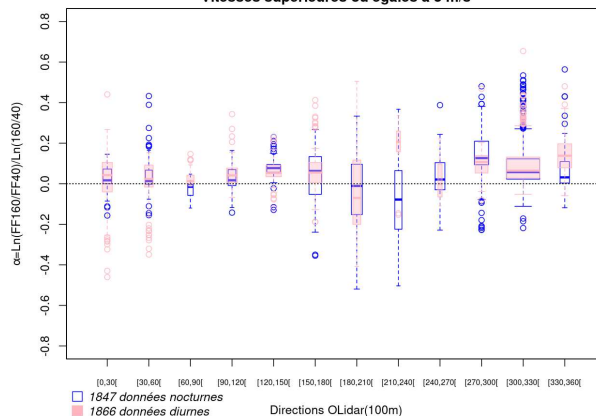
Annexe 9 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



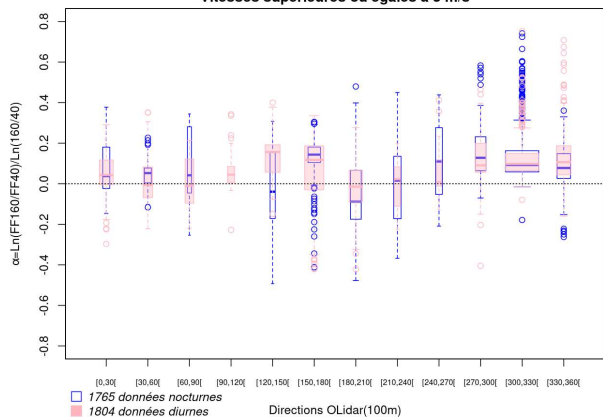
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



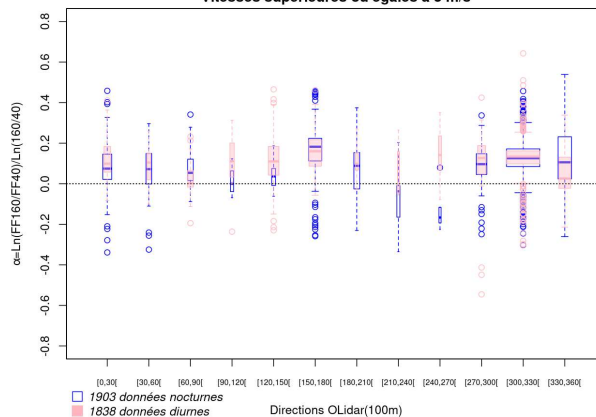
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



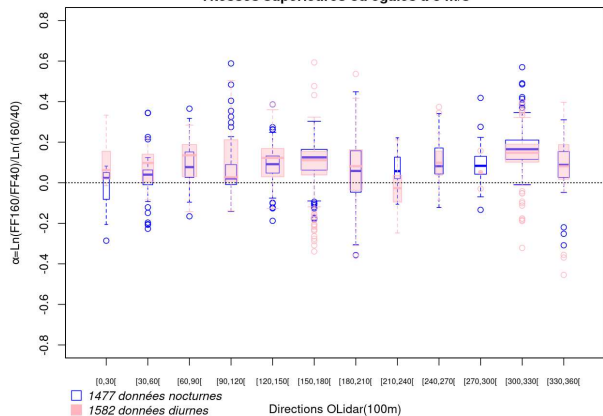
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



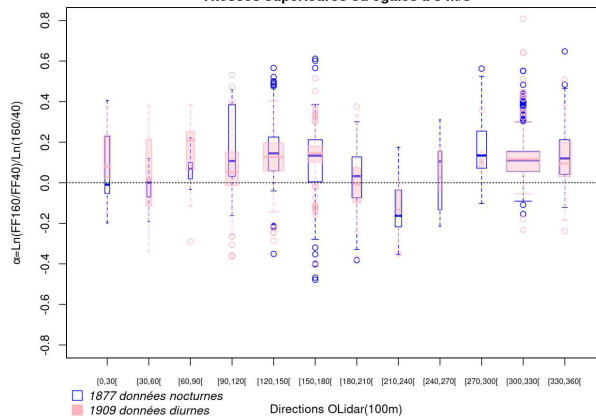
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/05/2023 au 31/05/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



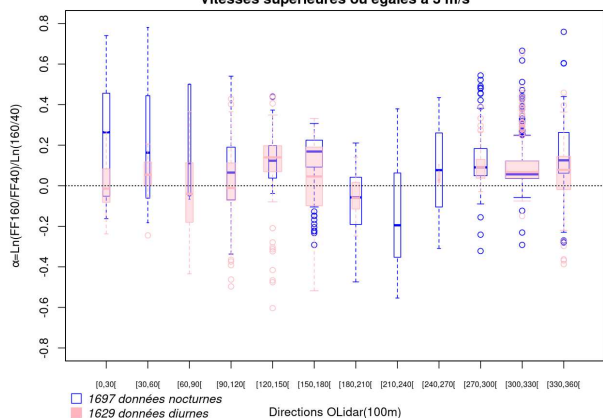
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/06/2023 au 30/06/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



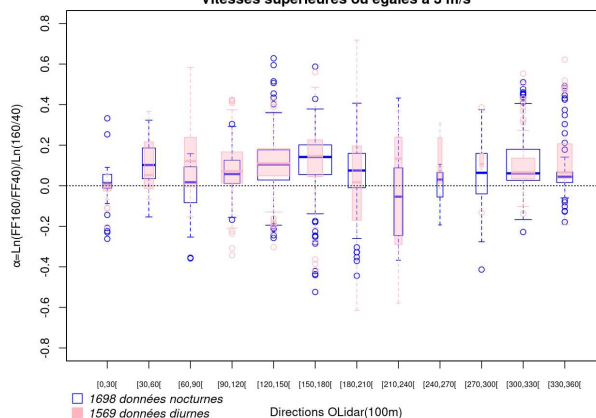
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



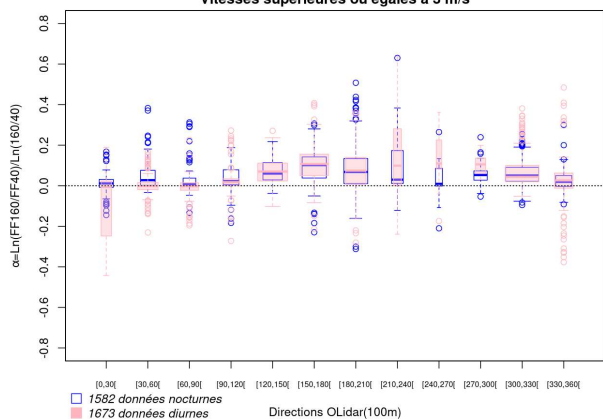
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



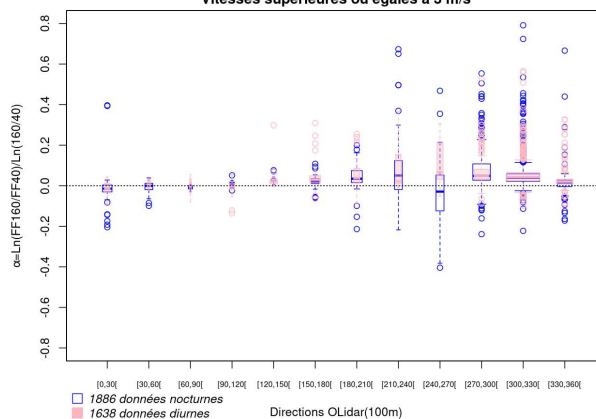
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



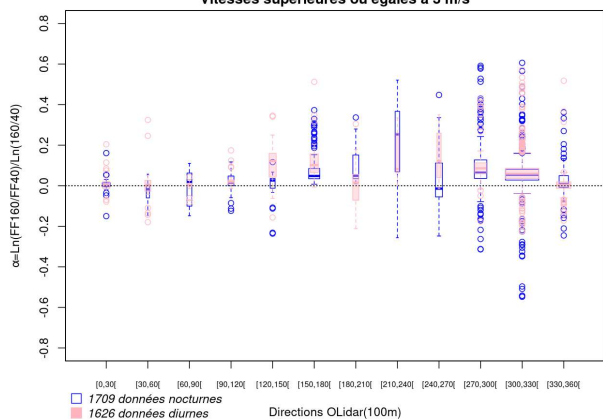
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



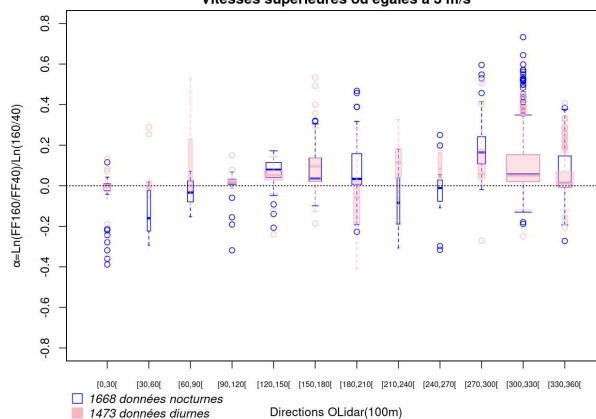
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



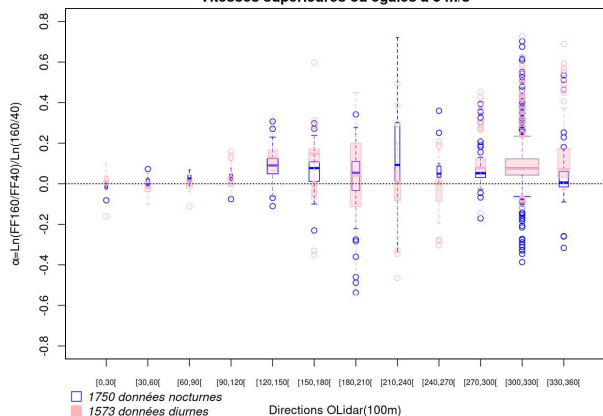
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



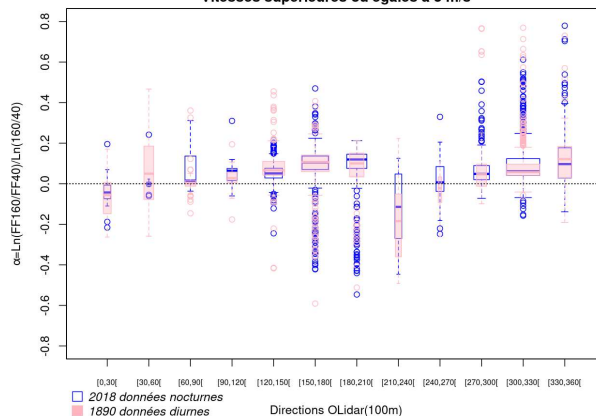
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



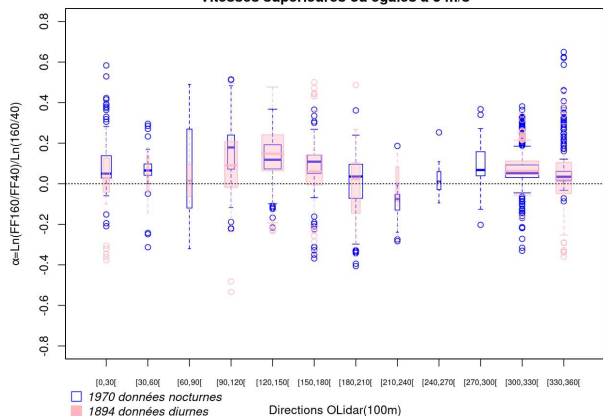
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



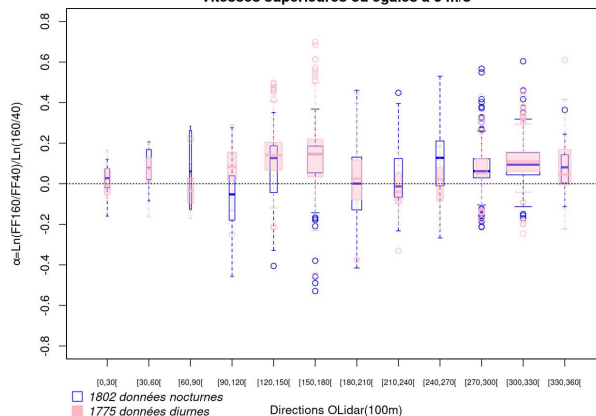
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



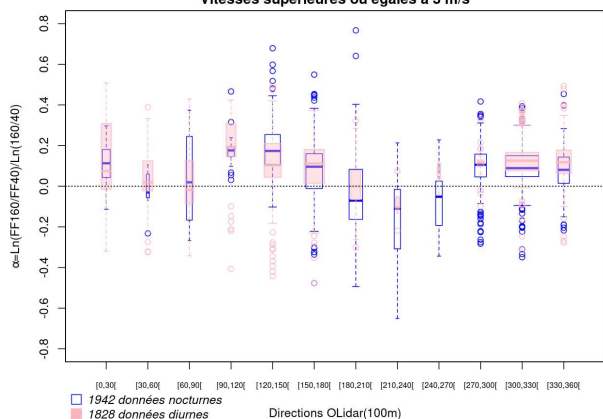
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



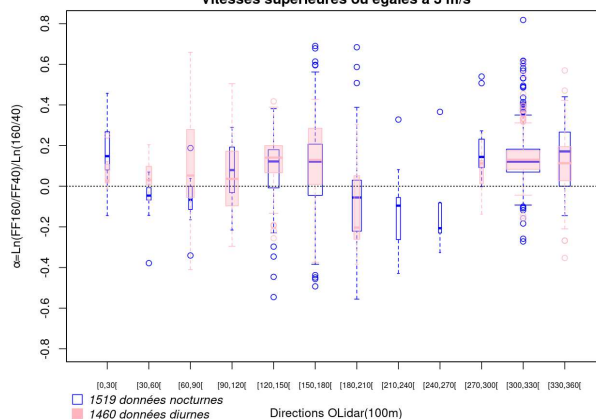
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

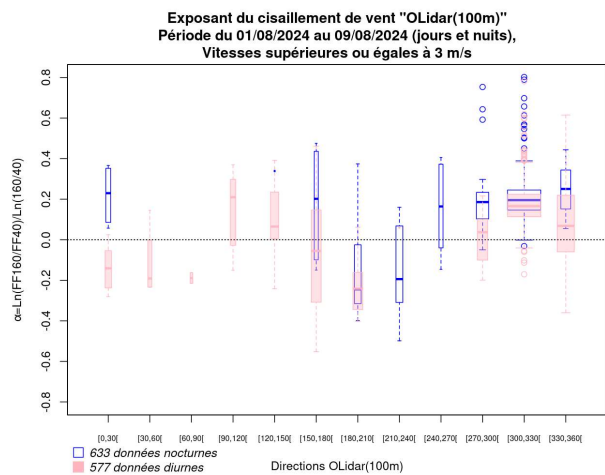


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/06/2024 au 30/06/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



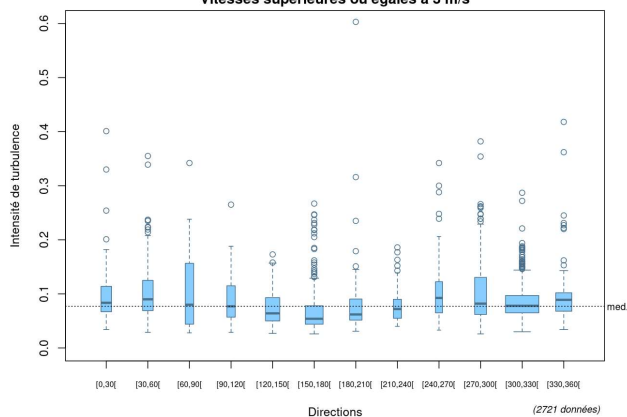
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/07/2024 au 31/07/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



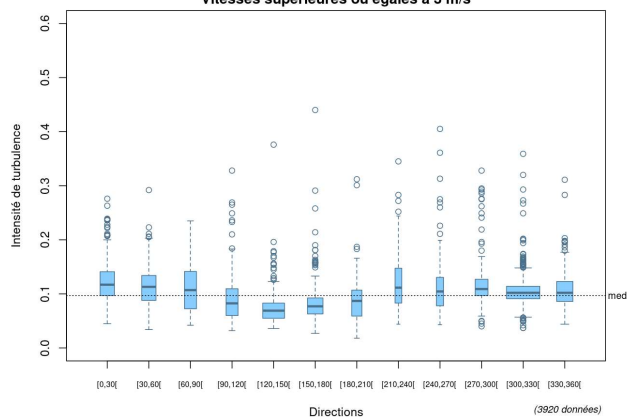


Annexe 10 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

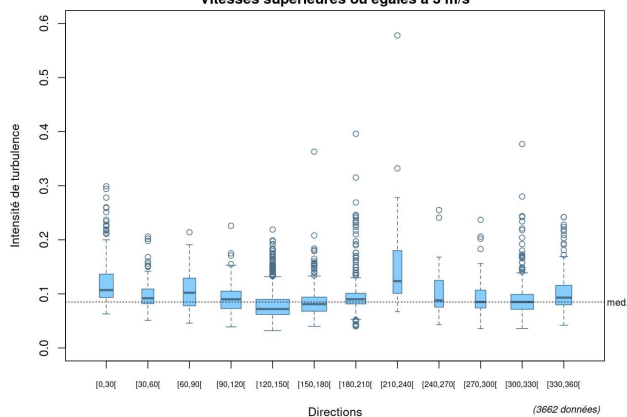
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 10/08/2022 au 31/08/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



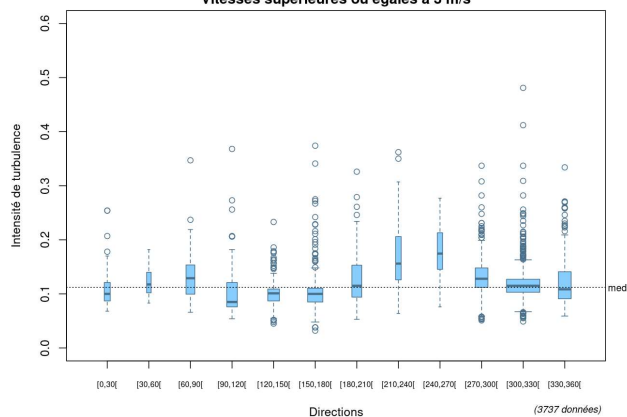
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2022 au 30/09/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



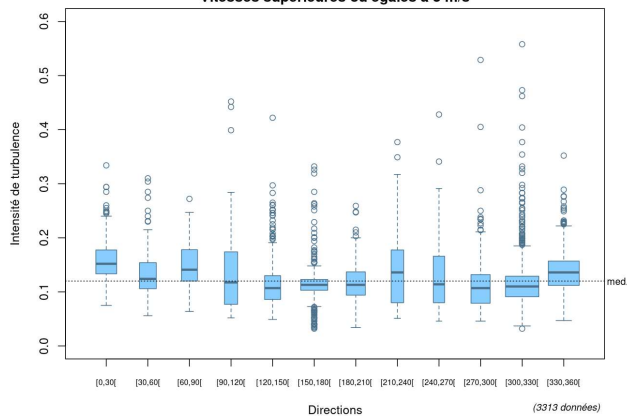
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2022 au 31/10/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



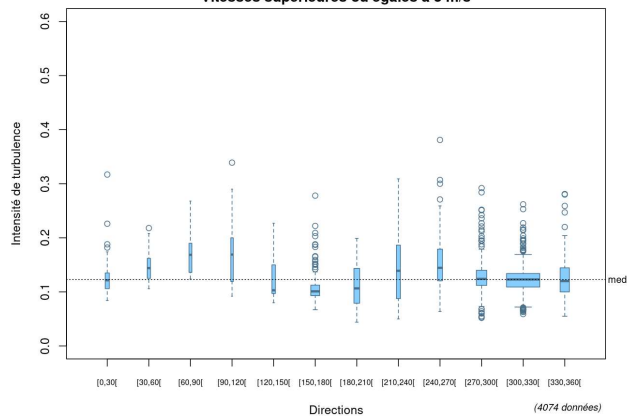
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2022 au 30/11/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



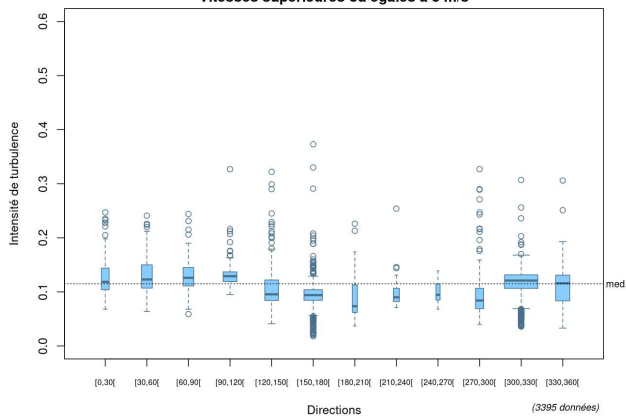
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2022 au 31/12/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



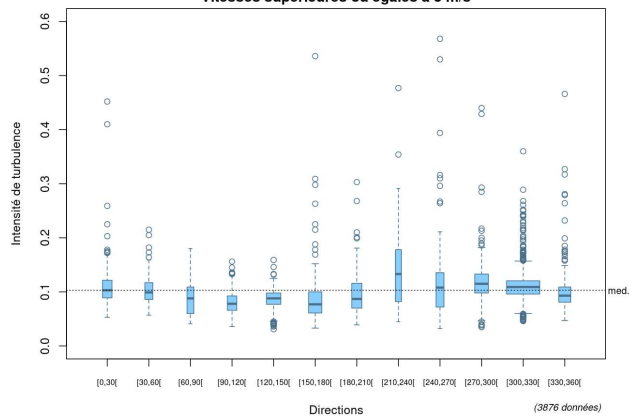
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2023 au 31/01/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



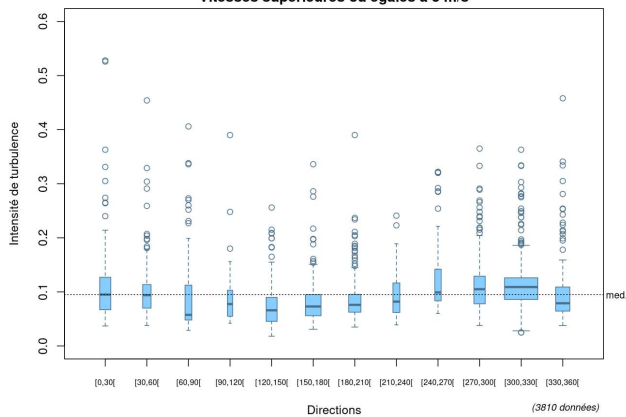
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



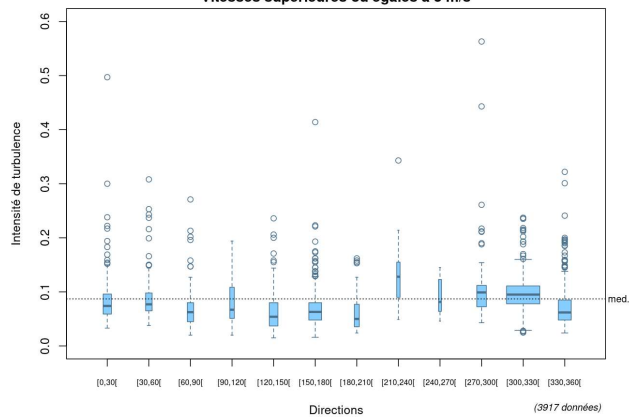
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



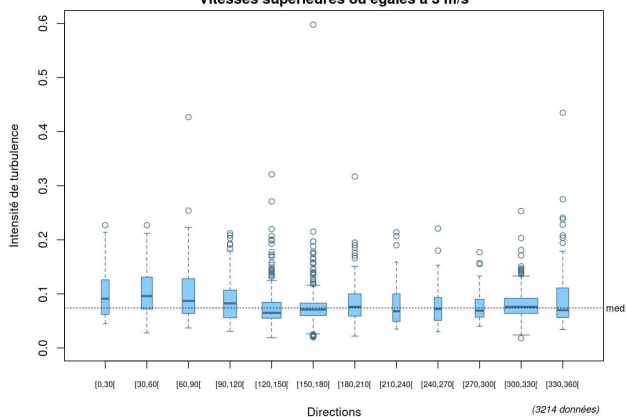
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



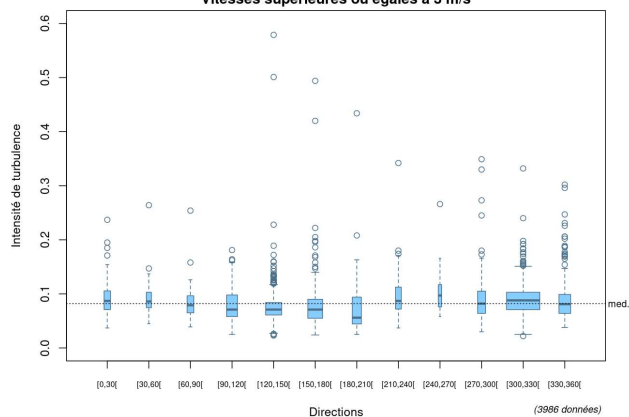
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2023 au 31/05/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



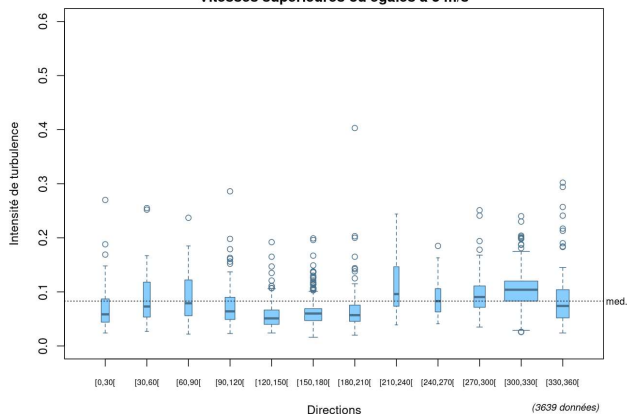
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2023 au 30/06/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



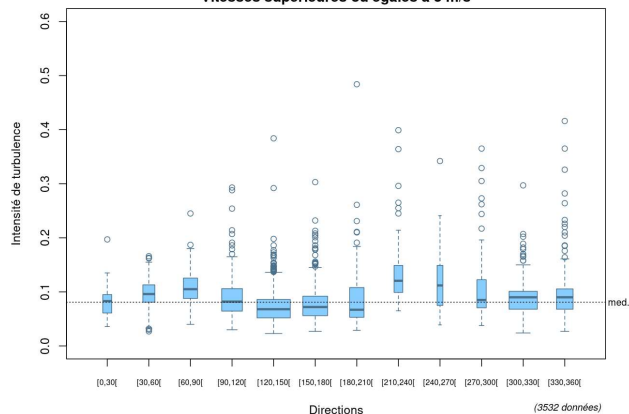
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



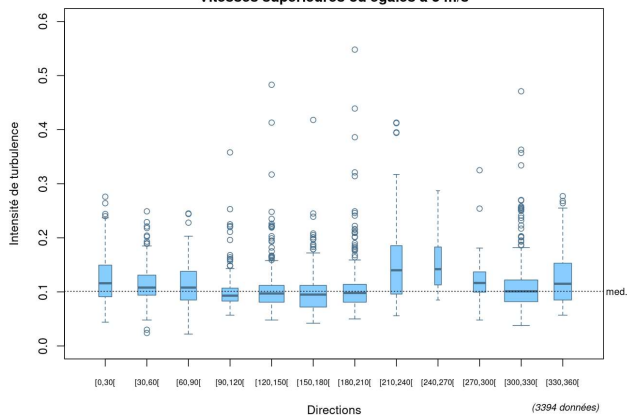
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



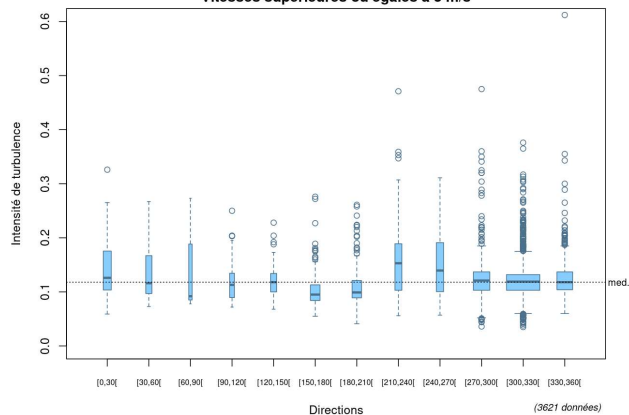
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



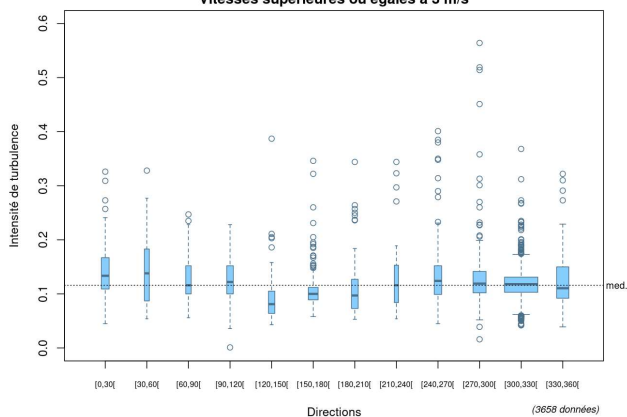
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



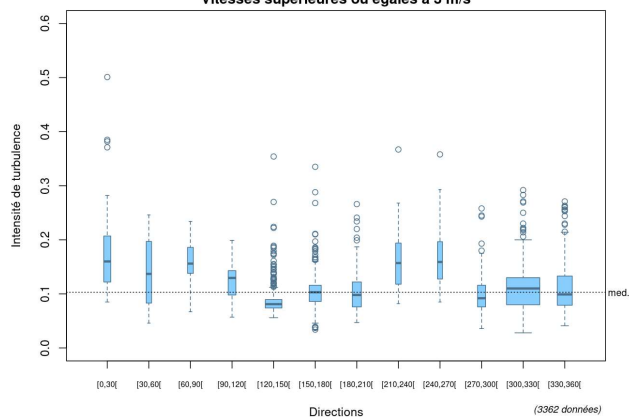
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



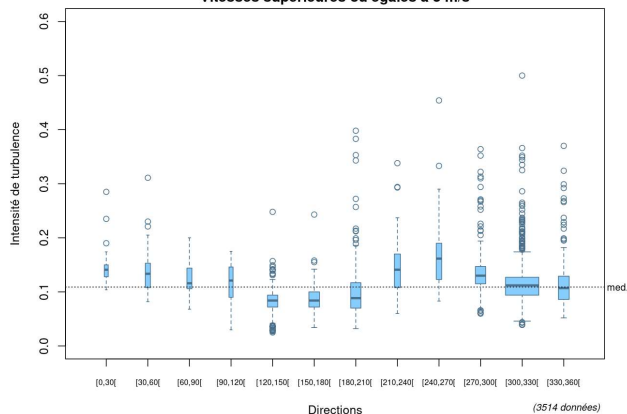
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



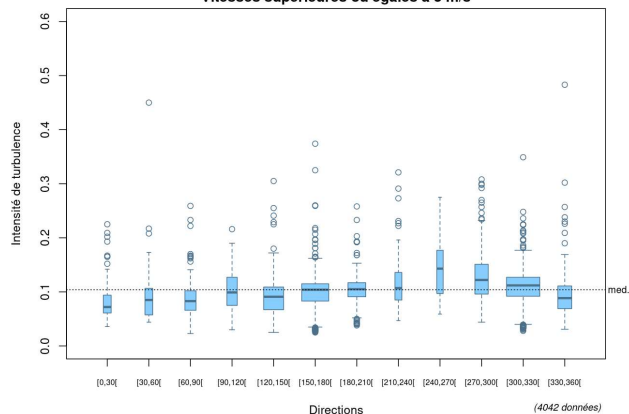
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



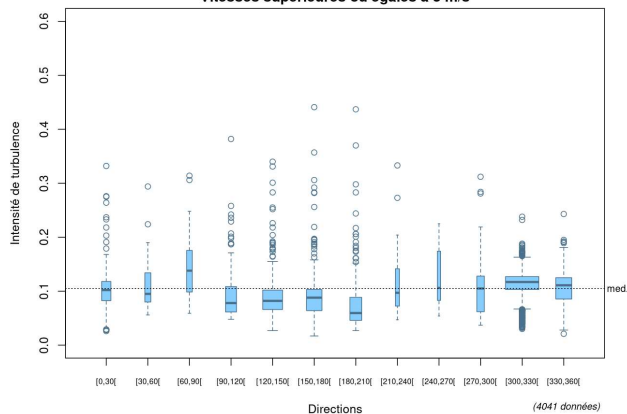
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



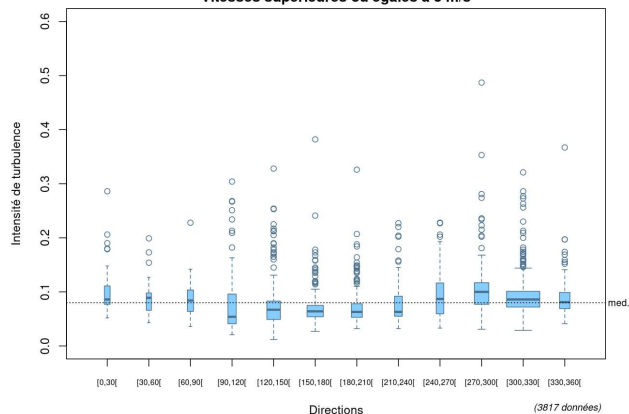
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



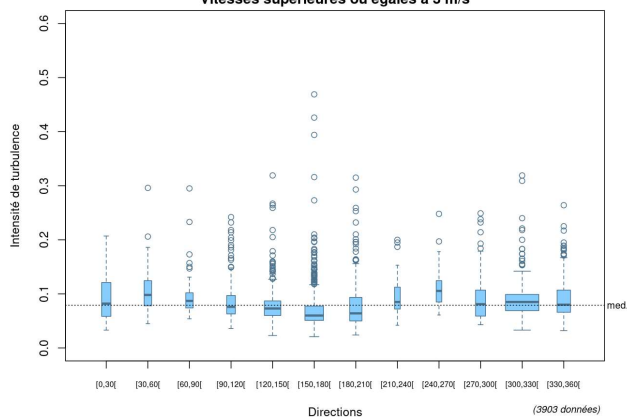
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



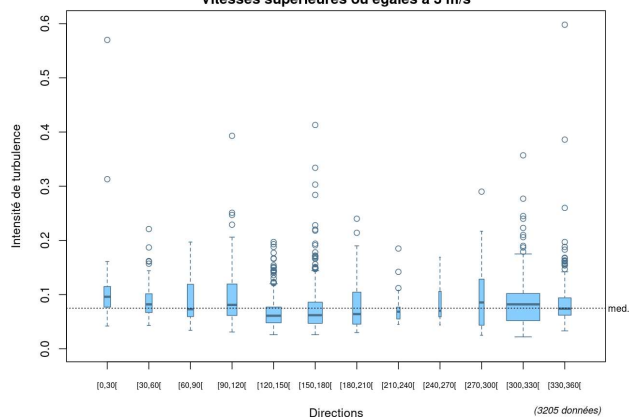
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

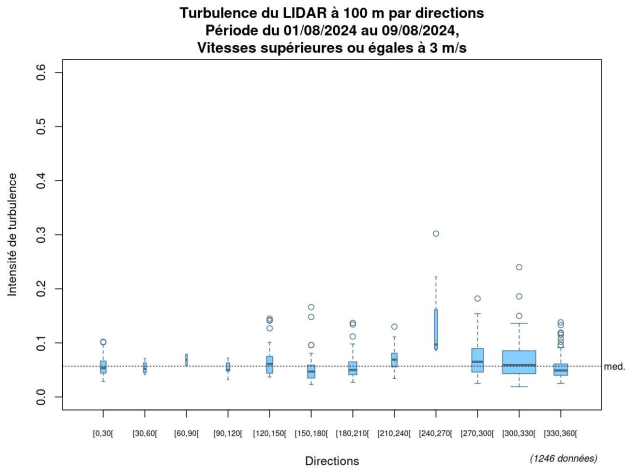


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2024 au 30/06/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2024 au 31/07/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





FIN DE DOCUMENT
