

Rapport final Lot 6a

AO6 Zone 2



Version A du 27/02/2025

Client : Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de la Transition Écologique		 MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE <i>Liberté Égalité Fraternité</i>
Responsable commercial : Météo-France D2C Toulouse		 METEO FRANCE À VOS CÔTÉS, DANS UN CLIMAT QUI CHANGE
Responsable technique : Météo France DSM/CS/D		

- 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	Projet de parc éolien off-shore au large du golfe de Fos	AO6_Mediterranée_Zone2_Lot4_Rapport-annuel_V1_20230526	05/06/2023	V1

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
AO6_Zone2_Lot6a_Rapport-final_20220710-20240709_A1	29/01/2025	B1	Livraison initiale
AO6_Zone2_Lot6a_Rapport-final_20220710-20240709_B2	19/02/2025	B2	Corrections de forme suite relecture CEREMA
AO6_Zone2_Lot6a_Rapport-final_20220710-20240709_A	27/02/2025	A	Version validée



Table des matières

1 Contexte	1
1.1 Zone d'étude	1
1.2 Descriptif de la solution retenue pour l'acquisition des mesures sur site	7
2 Méthodologie appliquée	9
2.1 Type de données fournies par le LiDAR	10
2.2 Les outils statistiques	11
2.2.1 Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI	11
2.2.1.1 Seuils de référence	12
2.2.1.2 Adaptation des seuils à l'anémomètre et au LiDAR	12
2.2.1.3 Codes qualité	13
2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure	14
3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR	15
3.1 Suivi des données	15
3.1.1 Disponibilité des données brutes	15
3.1.2 Monitoring des données FF brutes	17
3.1.3 Monitoring des erreurs	19
3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses	21
3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure	23
3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure	23
3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré	28
3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR	28
3.3.2.2 Distributions	31
3.3.2.3 Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires)	32
3.3.2.4 Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires)	33
3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)	39
3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires)	40
3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)	42
3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m	44
3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI à 100 m	46
4 Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre	47
5 Origine de la diminution du biais du modèle entre la campagne de mesure initiale et son extension	50
6 Conclusion	52
7 Bibliographie	52
Annexes	53

Liste des illustrations

Illustration 1 : Situation géographique de la zone (source www.geoportail.gouv.fr)	1
Illustration 2: Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Beziers (34209002) sur la période 2001/2020	4
Illustration 3: Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Arles (13004003) sur la période 2001/2020	5
Illustration 4 : Carte marine du large de PACA (source portail Data - SHOM)	6
Illustration 5 : Emplacement du LiDAR et de la zone d'étude du futur parc éolien (source OpenStreetMap)	6
Illustration 6 : Photo de la plateforme de mesure	7
Illustration 7 : Photo du LiDAR	8
Illustration 8 : Localisation des points de grille AROME (croix rouges), des stations météorologiques cotières (points bleus) et du LiDAR (étoile jaune et rouge). Fond de carte source OpenStreetMap	10
Illustration 9 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données	15
Illustration 10 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite)	18
Illustration 11 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge)	20
Illustration 12 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle	24
Illustration 13 : Diagramme « quantile-quantile »	25
Illustration 14 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)	26
Illustration 15 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR	27
Illustration 16 : Distributions des vents horaires du LiDAR	31
Illustration 17 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR	32
Illustration 18 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données	34
Illustration 19 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	39
Illustration 20 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR	41
Illustration 21 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)	42
Illustration 22 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR	44
Illustration 23 : Turbulence du LiDAR	45
Illustration 24: Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR	46
Illustration 25 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle	48
Illustration 26: Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche)et diagramme « quantile-quantile » (à droite)	48
Illustration 27 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre	49
Illustration 28 : Anasyg du 09 mars 2024 à 00 UTC	54
Illustration 29 : carte grand public pour avis de vent fort, fortes vagues, précipitations importantes	55
Illustration 30 : carte de vigilance de la nuit du 9 au 10 mars	55

Illustration 31 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 9 au 10 mars 2024	55
Illustration 32: Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers	56
Illustration 33: Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles	56
Illustration 34 : Roses des vents de septembre à novembre et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	57
Illustration 35 : Roses des vents de septembre à novembre et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	57
Illustration 36 : Roses des vents de décembre 2022 à février 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	58
Illustration 37 : Roses des vents de décembre 2022 à février 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	59
Illustration 38: Roses des vents de mars 2023 à mai 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	59
Illustration 39: Roses des vents de mars 2023 à mai 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	60
Illustration 40: Roses des vents de juin à août 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	60
Illustration 41: Roses des vents de juin à août 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	61
Illustration 42: Roses des vents de septembre à novembre 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	61
Illustration 43: Roses des vents de septembre à novembre 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	62
Illustration 44: Roses des vents de décembre 2023 à février 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	62
Illustration 45: Roses des vents de décembre 2023 à février 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	63
Illustration 46 : Roses des vents de mars à mai 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	63
Illustration 47: Roses des vents de mars à mai 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	64
Illustration 48: Roses des vents du mois de juin 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers	64
Illustration 49: Roses des vents du mois de juin 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles	65
Illustration 50: Anomalies mensuelles de températures minimales et maximales de juillet 2022 à juillet 2024 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020	66
Illustration 51: Anomalies de précipitations de juin 2021 à août 2022 à la station de Béziers - Période de référence : 1991 - 2020	67

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taux de présence (en %) des données (DD,FF) 10 minutes du LiDAR. Les cases colorées en vert ou rouge indiquent respectivement la validité ou l'invalidité par rapport aux deux KPI.	17
Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR	22
Tableau 3: Classes de vitesses par mois. Taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR	30
Tableau 4: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2022-2024 (en italique, en %) des forces de vent de la station d'Arles ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale	36
Tableau 5: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2022-2024 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Béziers ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale	38
Tableau 6: Valeurs de l'exposant α en fonction de la nature du terrain (source http://eolienne.f4jr.org/vent)	43

Glossaire

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

1 Contexte

La Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) a sollicité Météo-France pour la réalisation d'études de vent dans la zone de l'AO6 Méditerranée – zone 2 au large du golfe de Fos (cf. Illustration 1). Le but est d'identifier et de lever les risques susceptibles de se présenter dans la zone retenue comme favorable au développement de l'éolien off-shore.

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

Une première campagne de mesures dans le cadre du « lot4 » (10/06/2021 - 09/07/2022) a été menée sur site à partir d'un appareil de type LiDAR pour différentes hauteurs d'intérêt dont la hauteur 100 m revêtant un caractère important pour la production éolienne. 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 mesures en mer a été commandée par la DGEC à Météo-France, dans le cadre du « lot6 ». Le présent rapport traite des 24 mois de mesures effectuées au cours de cette extension. Celle-ci a débuté officiellement à compter du 10 juillet 2022 et s'est terminée le 9 juillet 2024.

1.1 Zone d'étude

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

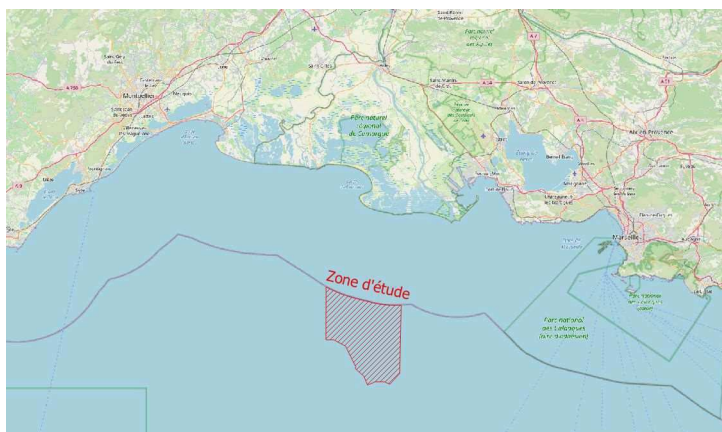


Illustration 1 : Situation géographique de la zone
(source www.geoportail.gouv.fr)

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

- le mistral :

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



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

- la tramontane :

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

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

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

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

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

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

- le marin :

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

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

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

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

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

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

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

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

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 des postes de Béziers et de Arles observé sur la période 2001-2020 :

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

ressort sur toutes les roses, c'est au printemps qu'il est le plus important, ainsi qu'en été mais un cran en dessous ; le secteur Est est lui également assez fréquent l'automne, et encore un peu plus l'hiver.

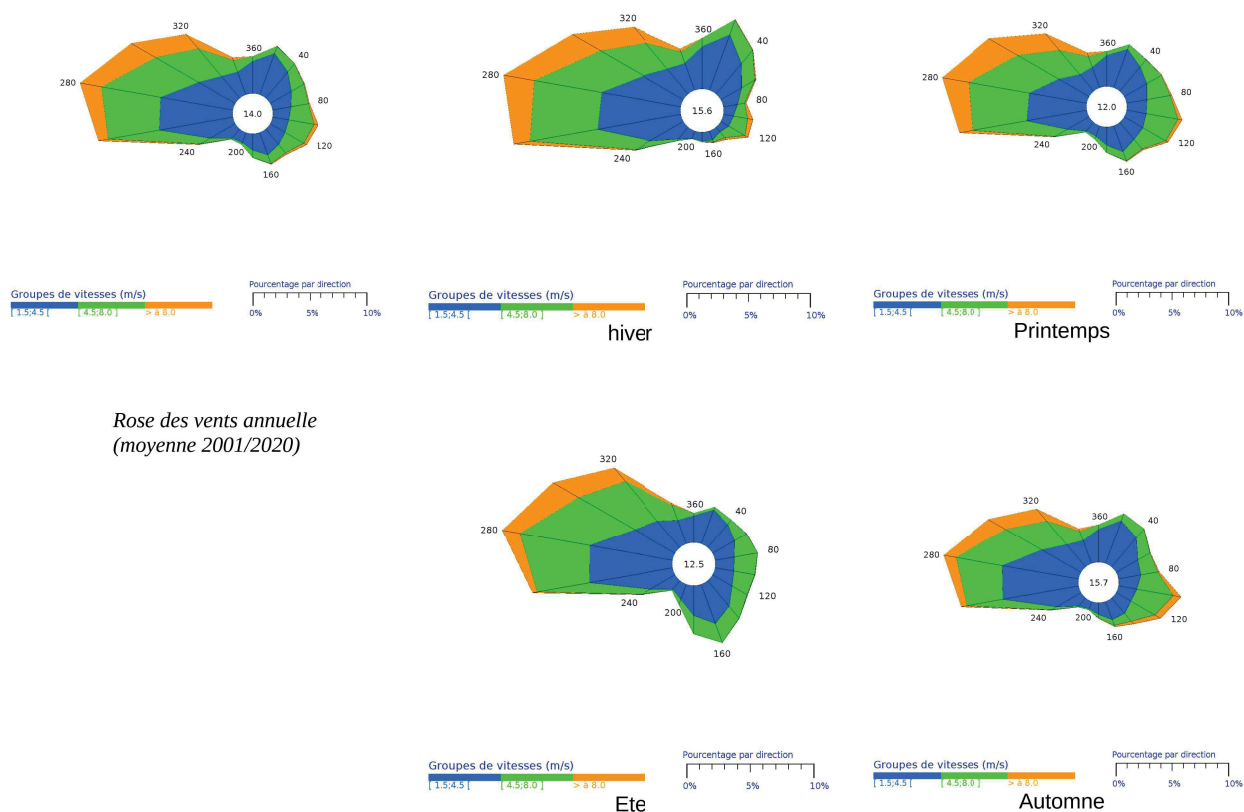


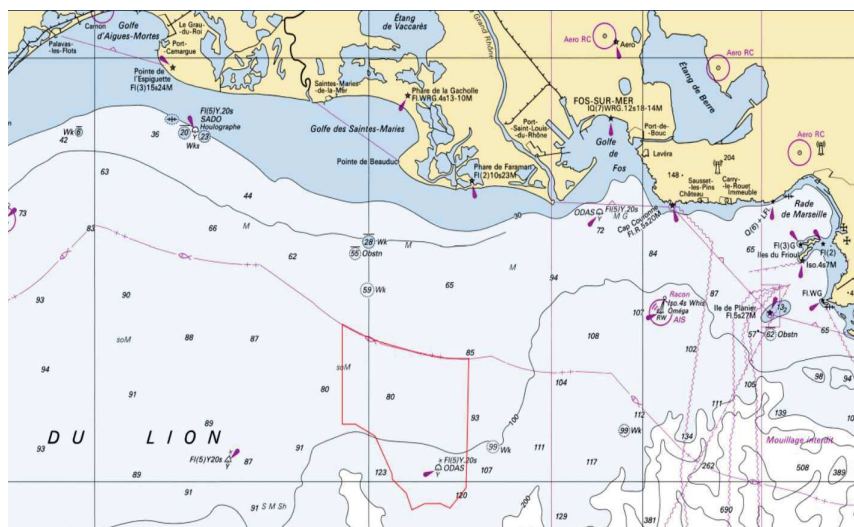
Illustration 2: Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Beziers (34209002) sur la période 2001/2020

1 Contexte



Illustration 3: Roses des vents annuelle et saisonnières de la station de Arles (13004003) sur la période 2001/2020

D'un point de vue de la géographie marine, la zone d'étude se situe au niveau du plateau continental de faible pente vers le large et d'une profondeur variant entre 80 et 120 mètres. Les fonds sont réguliers.



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 mesures.

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



Illustration 6 : Photo de la plateforme de mesure

La plateforme flottante embarque des instruments pour effectuer différentes mesures :

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

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

impulsions permettent de calculer la vitesse et la direction du vent sur la base du décalage de leur longueur d'onde dû à l'effet Doppler. Ces mesures sont réalisées sur 11 hauteurs différentes à répartir entre 40 et 200 mètres.

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



Illustration 7 : Photo du LiDAR

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

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

Enfin, la plateforme est également équipée d'un houlographe (les caractéristiques techniques de l'appareil sont décrites dans le document « AANDERAA_Motus_Wave_Sensor_5729_Specification.pdf »), d'un courantomètre fournissant des informations à différents niveaux de profondeurs (caractéristiques techniques décrites dans le document « SPEC ADCP Nortek Signature250.pdf ») et d'un profondimètre (caractéristiques techniques décrites dans le document « Echorange_Specification.pdf »). L'analyse de ces différents paramètres océanographiques fait l'objet d'un rapport spécifique rédigé par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM).

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

2 Méthodologie appliquée

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

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

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

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

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

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

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

2.1 Type de données fournies par le LiDAR

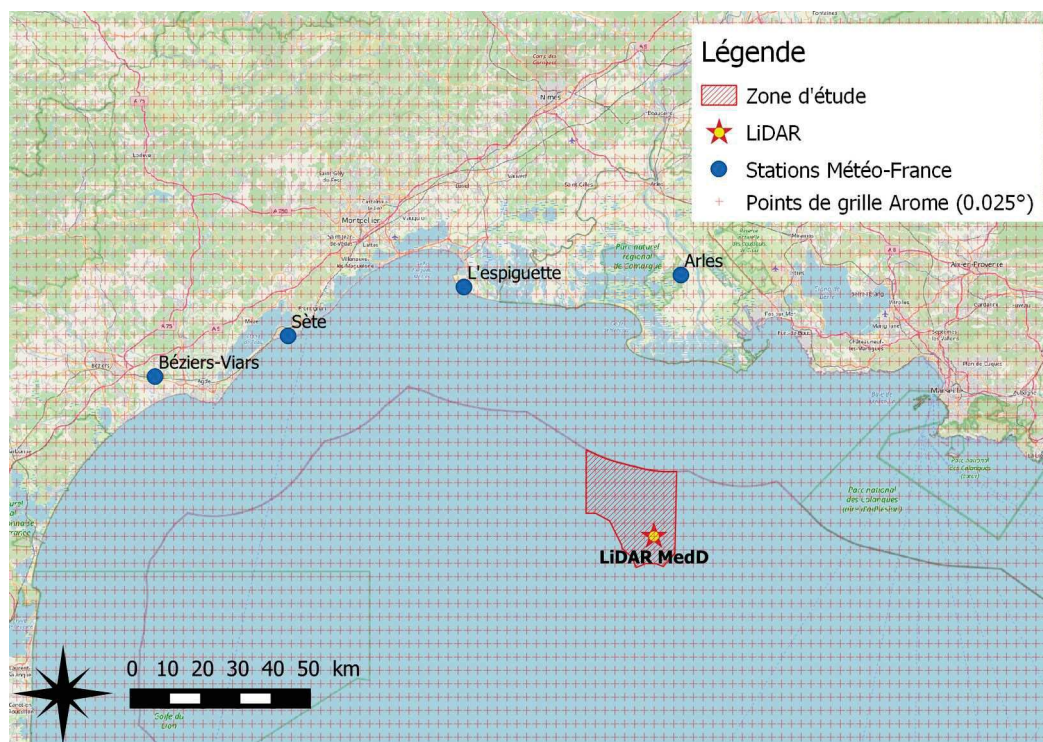


Illustration 8 : Localisation des points de grille AROME (croix rouges), des stations météorologiques cotières (points bleus) et du LiDAR (étoile jaune et rouge). Fond de carte source OpenStreetMap)

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

- Les données **reconstituées**
 - Données moyennées sur 10 minutes non corrigées (fichier *.sta) et corrigées par la prise en compte du mouvement du LiDAR par rapport au nord magnétique (fichiers *lidar_{N}.csv). Ces données incluent :
 - Vitesse en m/s et direction du vent horizontal moyennées sur 10 minutes, minimum, maximum, et écart type,
 - Vitesse verticale en m/s du vent moyennée sur 10 minutes, minimum, maximum, écart type.
- Les données **brutes** (1 seconde)
 - Données brutes non corrigées du nord magnétique (fichiers *.rtd),
 - Données de cap du LiDAR (fichiers *trimble_{N}.csv).

Les autres données présentes dans ces trames sont :

- Nombre de mises en route automatiques du balai d'essuie-glace indiquant le nettoyage du capteur,
- Rapport signal sur bruit (CNR) du LiDAR : valeur minimale et moyenne (pour les données reconstituées et les données brutes). Cette mesure permet de quantifier la qualité du signal et de la mesure.
- Disponibilité des mesures des données reconstituées (data_availability) : cette valeur est donnée en pourcentage et indique le taux de données brutes (autrement-dit, les données au pas de temps seconde) utilisé pour l'élaboration de la donnée reconstituée (moyennée sur 10 minutes). Pour Météo-France, la donnée reconstituée est dite fiable lorsqu'au moins 30% des données brutes sont présentes. Les fichiers *.sta et *.csv présentent cette valeur permettant de juger directement de la fiabilité de la mesure pour chaque niveau de hauteur.

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

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

2.2 Les outils statistiques

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

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

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

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

- FF : Vent moyenné sur 10 minutes (en m/s et 1/10)
- DD : Direction du vent moyenné sur 10 minutes (en °)
- FXI : Maximum du vent instantané sur 10 minutes, également nommé rafale (en m/s)

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

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

2.2.1.1 Seuils de référence

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2.1.3 Codes qualité

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

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

Séries DD, FF :

Afin de disposer de séries DD et FF horaires complètes au niveau 100 m, toute donnée manquante devra être estimée. Si le manque est ponctuel (une seule échéance manquante), on effectuera une simple moyenne des mesures précédente et suivante à laquelle on donnera le code qualité '2'. Pour des périodes plus importantes, on remplacera par les données du modèle AROME en donnant aux nouvelles valeurs, le code qualité '21'.

Pour une donnée dite douteuse (cf. §2.2.1.2), on affectera le code qualité '3'.

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

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

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

Série FXI :

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

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

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

Les codes qualités définis plus haut sont fournis dans une des colonnes du fichier « MedD_SerieLidarH100_20220710-20240709.csv ».

2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR

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

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

- OLidar : Données d'observation au point LiDAR
- MLidar : Données modèle au point LiDAR

3.1 Suivi des données

3.1.1 Disponibilité des données brutes

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

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

La présence des données du LiDAR est rapidement vérifiée aux différents niveaux à l'aide de tableaux mensuels indiquant le nombre de données 10 minutes disponibles par heure (cf. Illustration 9). 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.

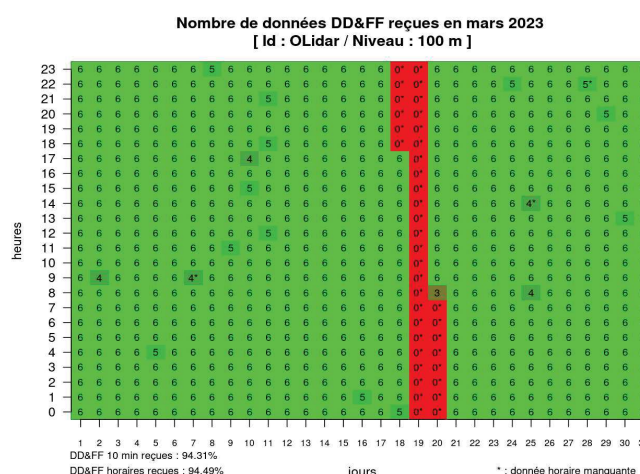


Illustration 9 : Exemple de tableau mensuel de disponibilité des données

Le taux de présence des données du LiDAR décroît naturellement avec l'altitude, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Cependant, la décroissance de ce taux est quasi nulle entre 40 et 160 m et reste très limitée au delà. Elle est de l'ordre de 4 % entre 40 et 200 m. (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 doit être supérieur à 85 %.

A l'issue de la campagne, le taux de disponibilité global est supérieur au taux de 85 % de données attendu sur les trois niveaux 60, 100 et 160 m. Les taux de disponibilité mensuels sont également respectés.

		40 m	50 m	60 m	80 m	100 m	120 m	140 m	150 m	160 m	180 m	200 m	MOY (60, 100 et 160m)
2022	7 (22j)	97,41	97,41	97,41	97,32	97,22	96,88	96,43	96,09	96,02	95,71	94,89	96,89
	8	94,56	94,58	94,6	94,6	94,6	94,56	94,18	94,02	93,75	92,83	92,14	94,32
	9	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6	86,6	86,55	86,27	86,6
	10	85,13	85,13	85,13	85,06	84,97	84,66	84,39	84,09	83,76	82,93	81,07	84,62
	11	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05	93,68	92,64	94,05
	12	97,8	97,87	97,87	97,87	97,87	97,87	97,87	97,85	97,74	97,2	95,18	97,83
2023	1	99,6	99,57	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,55	99,08	98,3	99,58
	2	99,08	99,08	99,08	99,13	99,13	99,08	99,03	99,03	99,03	98,69	98,14	99,08
	3	94,31	94,31	94,31	94,31	94,31	94,31	94,29	94,27	94,22	93,32	92,05	94,28
	4	97,04	96,99	97,01	97,08	96,99	96,85	96,62	96,57	96,39	95,42	93,45	96,8
	5	92,59	92,54	92,45	92,32	92,27	92,18	91,89	91,38	90,7	89,18	86,87	91,81
	6	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,42	99,17	99,42
	7	97,16	97,16	97,16	97,16	97,16	97,13	97,07	96,98	96,91	96,37	94,67	97,07
	8	98,34	98,34	98,34	98,32	97,6	95,45	93,3	92,45	91,78	90,79	88,1	95,91
	9	99,35	99,35	99,35	99,35	99,35	99,31	98,84	98,84	98,36	97,87	97,29	99,02
	10	99,37	99,37	99,37	99,37	99,37	99,37	99,35	99,31	99,19	98,92	98,52	99,31
	11	91,67	91,67	91,67	91,67	91,67	91,64	91,6	91,48	91,13	90,07	88,45	91,49
	12	98,92	98,86	98,84	98,66	98,41	98,03	97,27	96,39	95,14	91,13	86,18	97,46
0	1	99,44	99,42	99,48	99,4	99,17	98,84	98,41	98,07	97,63	96,03	93,44	98,76
	2	95,86	95,98	95,98	95,95	95,62	95,52	95,35	95,28	94,95	93,44	90,95	95,51
	3	94,51	94,51	94,47	94,51	94,53	94,33	94,24	94,15	94,04	92,9	90,43	94,35
	4	96,09	96,11	96,11	96,11	96,11	96,09	96,02	96,02	95,95	95,53	94,58	96,06
	5	95,88	96,19	96,62	96,71	96,51	96,33	95,45	93,59	91,04	86,2	82,28	94,72
	6	89,49	89,49	89,49	89,49	89,49	89,4	88,96	88,61	88,19	86,6	83,59	89,06
	7 (9j)	96,68	96,68	96,68	96,68	96,68	96,68	96,6	95,83	93,83	90,05	82,95	95,73
MOY (731j)		95,56	95,57	95,59	95,58	95,49	95,31	95	94,74	94,36	93,24	91,43	95,15

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 09 et 10 mars 2024 lors d'un épisode méditerranéen avec un fort vent de sud-est. Précisons que la résolution temporelle des observations toutes les 10 minutes est bien plus fine que celle du modèle qui est horaire. On observe une très bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. La contiguïté des courbes traduit une bonne concordance des données que ce soit en termes d'intensité des vents ou de synchronisation temporelle, surtout lors de l'intensification du phénomène

le 09 mars. On remarque toutefois une légère sous-estimation des vents les plus forts et un biais un peu plus important le 10/03 au matin s'expliquant par des vents qui deviennent alors plus faibles et plus variables en direction et en force.

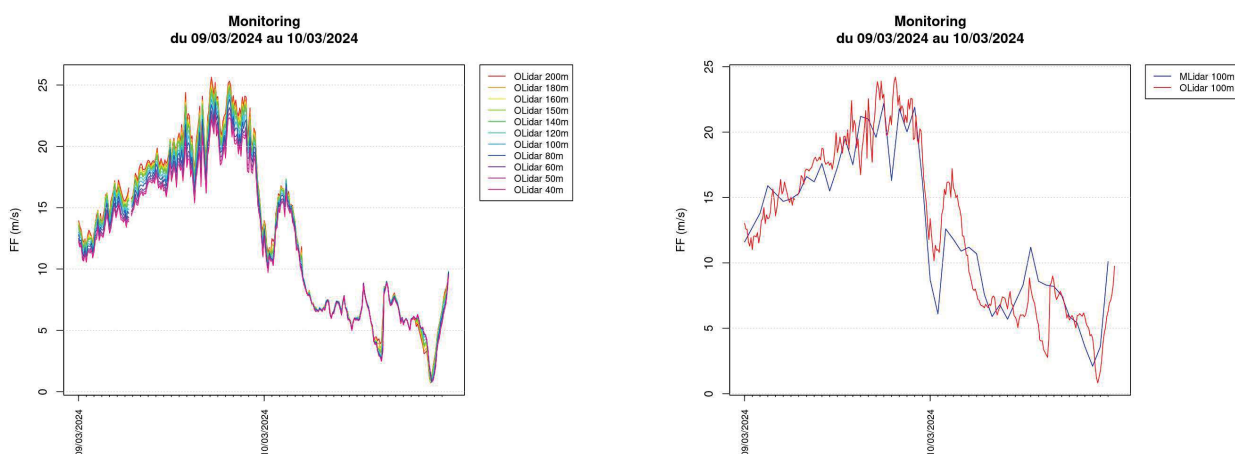


Illustration 10 : Monitoring des données 10 minutes sur les 11 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle à 100 m (à droite)

3.1.3 Monitoring des erreurs

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

Nous effectuons un suivi mensuel des moyennes glissantes sur 24 heures des erreurs sur les forces FF et les directions DD afin de déceler d'éventuelles dérives. Les éventuels 'pics d'erreur' ainsi détectés doivent être interprétés avec précaution, notamment pour les directions. Un pic pouvant être dû à plusieurs raisons :

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

Les graphiques de monitoring mis à disposition dans le livrable accompagnant ce rapport sont donc à mettre en regard avec le code qualité des données LiDAR et avec la force du vent moyen. Ces informations peuvent être retrouvées dans le fichier MedD_SerieLidarH100_20220710-20240709.csv

L'exemple de monitoring pour le mois de mars 2023 en est une bonne illustration (cf illustration 11).

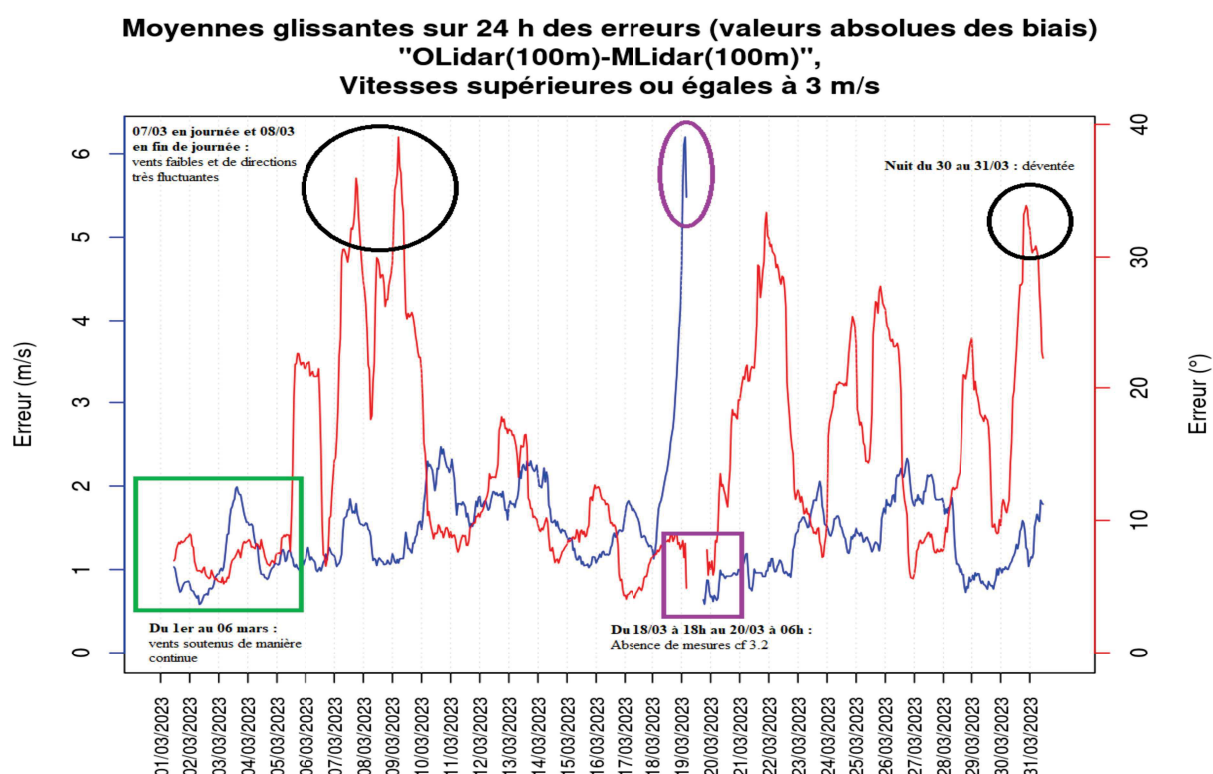
Il convient de préciser que le calcul sur 24 heures glissantes est centré sur l'heure en abscisse, autrement-dit les données des 12 heures précédentes et des 12 heures suivantes sont prises en compte.

Analyse des « pics » de l'illustration 11 :

- Le premier pic en direction sur 24 heures glissantes intervient le 07/03/2023 en fin de journée. En effet, les données du modèle sont en écart de plus de 30° sur la direction par rapport à l'observation LiDAR durant toute la journée du 07 mars (de 08 à 18h). Cette journée se caractérise par un vent faible généralement compris entre 1 et 3 m/s avec des secteurs de vent très variables toute la journée. Les écarts se font plus rares durant la nuit suivante avec un vent qui forçit.
- Un deuxième pic également pour les directions est visible le 09/03 en début de journée. Celui-ci est dû à des écarts systématiques de plus de 30° entre le modèle et le LiDAR durant la fin de journée du 08/03 (à partir de 17h), également caractérisée par des vents assez faibles devenant quasiment nuls entre 20 et 23h.
- Le troisième pic quant à lui porte sur une erreur de force significative sur le vent moyen. Ceci est notable car très rare (contrairement aux erreurs sur les directions souvent imputables à des périodes de vent faible et variable en secteur). Toutefois ce pic le 19/03 à 02h ne signifie pas une erreur marquée continue du modèle pendant de nombreuses heures. En effet, la bouée a subi un arrêt de son système d'acquisition entre le 18/03 à 18h et le 20/03 à 06h (cf 3.1.1 et 3.2). Ainsi, seules 3 données horaires sont considérées lors du calcul qui donne ce pic. Du reste, ces 3 valeurs horaires effectivement en écart sont associées à un code les qualifiant de données douteuses dans la série

MedD_SerieLidarH100_20220710-20240709.csv. Ces écarts peuvent venir d'une erreur du modèle (en l'occurrence une sous-estimation de la force du vent) mais aussi d'un caractère douteux des données mesurées par le LiDAR juste avant une panne. Ce cas est mis en évidence en violet dans l'illustration 11.

- Enfin le 4ème pic porte sur une erreur en direction en fin de journée le 30/03. Il s'avère que qu'il s'agit à nouveau d'une plage de temps partiellement déventée : le vent est compris durant la nuit du 30 au 31/03 entre 1 et 3m/s.



*Illustration 11 : Monitoring des erreurs de forces (courbe bleue)
et de directions (courbe rouge)*

- A contrario la période du 1^{er} au 06 mars a été ventée avec des forces de vent soutenues : les forces de vent horaires excèdent 10 m/s sur les 3/4 de la période (les forces de vent sont même au-dessus de 7m/s pour 90 % des valeurs horaires durant cette période) sans que la force de vent ne descende jamais en dessous de 5 m/s. Les résultats s'avèrent alors nettement en dessous des seuils. Ce cas est mis en évidence en vert dans l'illustration 11.

3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses

Le LiDAR fournit moins de données d'observations lorsque l'altitude augmente, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Au-dessus de 160 m, les manques deviennent plus nombreux.

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

	Incidents techniques impactant la mesure du LiDAR
Juillet 2022	RAS
Août 2022	RAS
Septembre 2022	Absence de données de cap empêchant une correction de la direction du vent du 24 au 26/09
Octobre 2022	Absence de données de cap empêchant une correction de la direction : - du 16 au 19/10 - le 26 et 27/10
Novembre 2022	RAS
Décembre 2022	RAS
Janvier 2023	RAS
Février 2023	RAS
Mars 2023	Défaillance du système d'acquisition des données entre le 18/03 et le 20/03 Impact sur les données de l'ensemble des capteurs
Avril 2023	RAS
Mai 2023	Données indisponibles du 30/04 au 02/05, cause technique non précisée par le prestataire de mesures.
Juin 2023	RAS
Juillet 2023	RAS
Août 2023	RAS
Septembre 2023	RAS
Octobre 2023	RAS
Novembre 2023	RAS
Décembre 2023	Arrêt de l'équipement d'enregistrement des données de la station météo (mais pas d'impact sur le LiDAR) les 21 et 22/12/23.
Janvier 2024	RAS
Février 2024	RAS
Mars 2024	RAS
Avril 2024	RAS
Mai 2024	RAS
Juin 2024	Absence de données de cap empêchant une correction de la direction du vent du 28/06 au 01/07/24

Juillet 2024	Fin de campagne de mesure le 09/07/2024
---------------------	---

Tableau 2 : Récapitulatif des problèmes techniques rencontrés sur le LiDAR

3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure

3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure

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

Environ 9 % des valeurs enregistrées par le LiDAR sortent des seuils fixés, à savoir un écart de force de vent supérieur à 5 m/s et/ou un écart en direction supérieur à 30° (cf. Illustration 12). Ce nombre de données hors seuil est identique à celui constaté lors de la première campagne de mesure dans le cadre du « lot4 » (10/06/2021 – 09/07/2022).

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

- des dépassements du seuil de direction persistent, y compris pour des vents modérés et forts (y compris au-delà de 10 m/s)
- des dépassements concernant le seuil de force de vent sont beaucoup plus marginaux mais sont toutefois plus nombreux que dans le cadre des autres campagnes effectuées sur d'autres zones pour le compte de la DGEC. Le constat avait été fait lors de la première campagne de mesures que les dépassements se produisaient surtout lors de situations de vent fort (> 10m/s) avec dans la grande majorité de ces cas, un relevé LiDAR supérieur à la valeur du modèle AROME (cf carrés orange et rouge sur le graphique de gauche). En lien avec ce constat, un biais de sous-estimation du modèle sur la force du vent de 0,52 m/s était constaté. Il est intéressant de noter qu'au cours de cette 2^{ème} campagne, le pourcentage de dépassements concernant le seuil de force de vent (2%) reste comparable à celui de la campagne initiale mais le biais de sous-estimation par le modèle apparaît moins systématique (0,35m/s). Les carrés orange et rouge des deux côtés de la bissectrice sont par ailleurs bien plus équilibrés sur le graphique de gauche que lors de la précédente campagne.

Le constat d'écarts entre le modèle et les observations LiDAR lors de situations de vent fort reste d'actualité avec le plus souvent une sous-estimation du modèle mais dans des proportions moindres que précédemment.

À noter qu'une amélioration du biais ne signifie pas forcément une amélioration de la qualité générale du modèle (une surestimation pouvant compenser une sous-estimation sans pour autant que les valeurs modélisées soient plus proches en valeur absolue des observations). Dans l'ensemble, les performances du modèle restent assez comparables d'une campagne à l'autre (% de données hors seuils comparables, erreur quadratique moyenne stable).

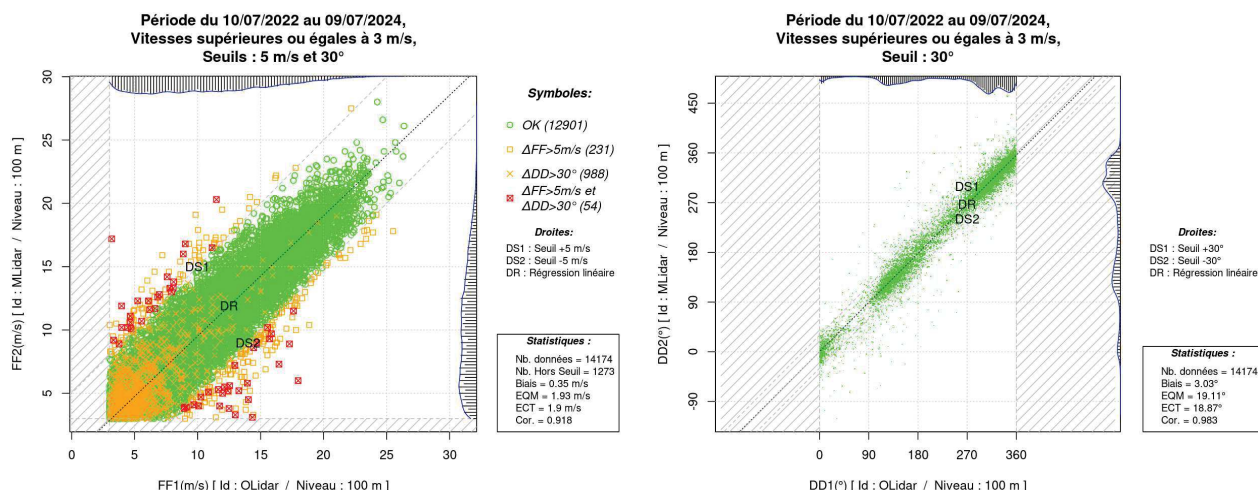


Illustration 12 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent entre l'échantillon observé et celui du modèle AROME se situe légèrement sous la première bissectrice jusqu'au Q70 et s'en éloigne plus nettement au-delà. En d'autres termes, les vents relevés par le LiDAR sont globalement plus forts que ceux fournis par le modèle AROME, cette différence augmentant avec la force du vent mais dans des proportions beaucoup moins nettes que lors de la première campagne, où l'éloignement à la bissectrice était plus marqué.

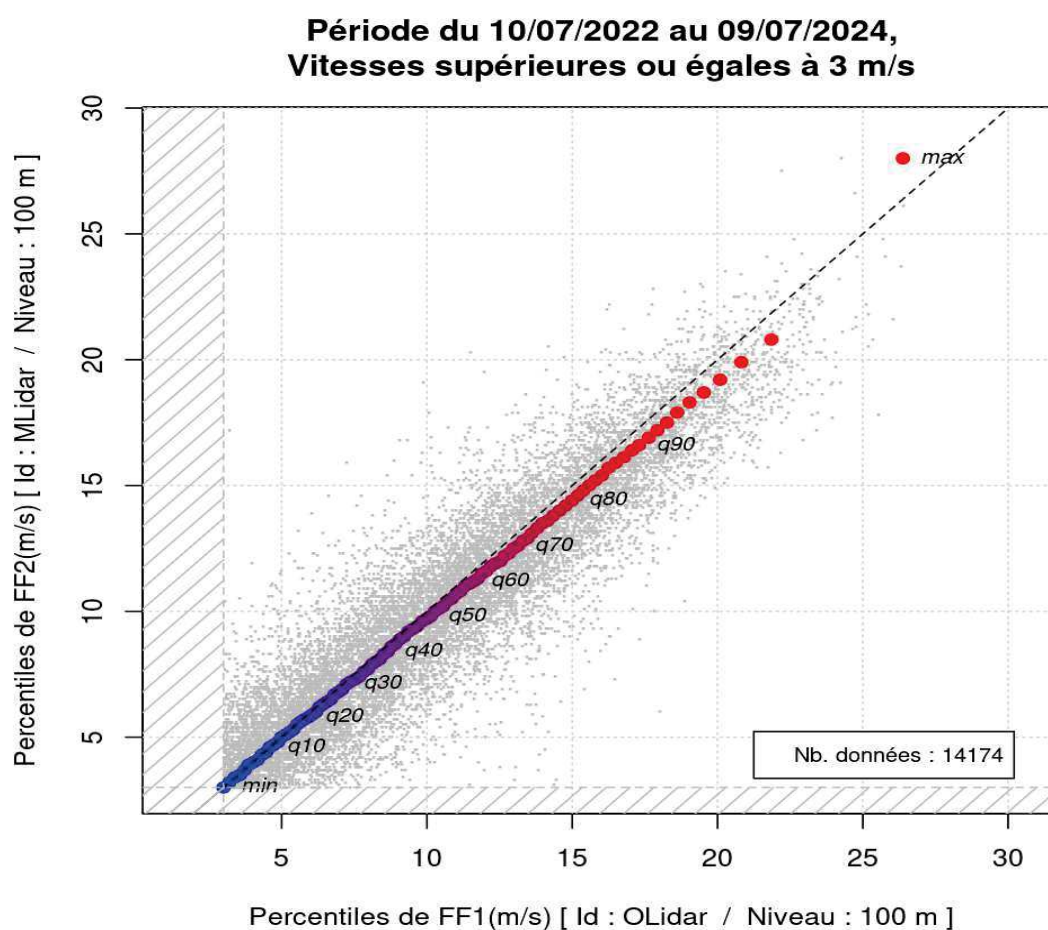


Illustration 13 : Diagramme « quantile-quantile »

Quelle que soit l'heure, le modèle ne présente qu'un très faible biais non systématique sur les directions, de moins de 5° par rapport à l'observation (cf illustration 14 à gauche). De plus, pour la moitié des données (intervalle inter-quartile des boîtes à moustaches), les différences de direction entre le LiDAR et le modèle n'excèdent jamais 5 à 12°. A noter que les valeurs apparaissant comme aberrantes, matérialisées par des ronds, correspondent à des différences quasiment systématiquement > 30°. Il s'agit ainsi des données qualifiées de douteuses car hors seuil (cf paragraphe 2.2.1.3).

Aucun biais n'émerge selon la direction considérée si ce n'est pour le secteur nord-est, avec une surreprésentation du modèle de l'ordre de 7° (composante plus est pour le modèle). Ceci doit cependant être tempéré par le fait que les vents venant de ce secteur ont été très rares (2 % des cas). Pour les secteurs dominants Nord, Nord-Ouest et Sud-Est, le biais n'excède pas 4,3° (avec même un biais quasi-nul pour le secteur sud-est).

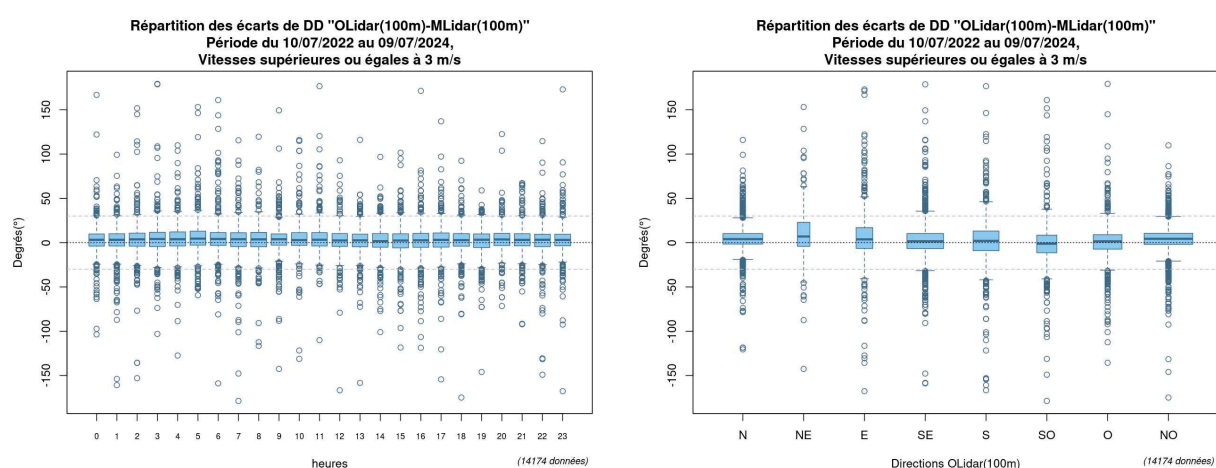


Illustration 14 : Répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

Les dépassements du seuil pour la force du vent (écart > 5 m/s entre le LiDAR et le modèle) restent rares : ils représentent en moyenne (tous secteurs confondus) moins de 2,1 % des données sans dépasser 2,7 % pour un secteur donné (vents de secteur « Est » qui est peu représentatif). A noter également que seuls 108 des 285 cas de dépassement du seuil de vitesse (histogrammes bleus/histogrammes roses sur le graphique de gauche de l'illustration 15) sont attribués à une force plus importante du modèle AROME. Ainsi, 37 % des cas de dépassement du seuil sont dus à une force plus importante simulée par AROME qu'observée et a contrario 63 % des cas de dépassement du seuil sont dus à une sous-estimation du modèle. Toutefois ce déséquilibre (sous-estimation du modèle) apparaît moins important que lors de la campagne du lot 4 (les ratios étaient de 20 % - 80%). Ceci confirme le constat effectué précédemment à l'illustration 12 (le modèle ayant tendance à s'éloigner des relevés du LiDAR lors de situations de vent fort en simulant la plupart du temps des forces de vent plus faibles que l'observation LiDAR mais avec un biais moins net que lors de la précédente campagne).

D'une manière générale, 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

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR



les vitesses les plus faibles tandis que pour des vitesses supérieures à 10 m/s , on enregistre des dépassements du seuil de direction dans moins de 3% des cas.

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.

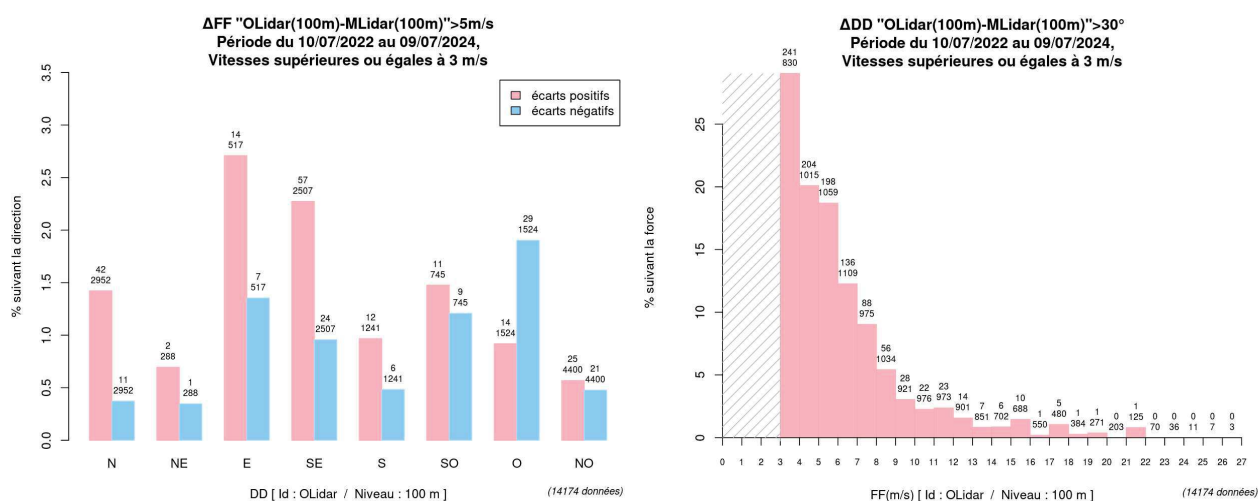


Illustration 15 : Dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR

3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré

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

3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR

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

Sur l'ensemble de la campagne, le tableau suivant permet de constater que les forces de vent se distribuent de manière identique que l'on regarde les données mesurées toutes les 10 minutes ou seulement les données horaires (cf tableau 3). En effet, quelle que soit la classe de vitesse de vent ou le mois considéré, les taux ne diffèrent pas de plus de 2,1 %. Les seuls écarts un peu plus importants concernent les mois d'octobre 2022 et mai 2023. Ceci peut s'expliquer par des problèmes techniques ayant empêché les mesures du LiDAR durant plusieurs jours durant ces deux mois (cf Tableau 2).

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

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR



Année	Mois	Nombre de cas	0 à 3m/s	3 à 5m/s	5 à 10m/s	10 à 15m/s	15 à 20 m/s	20 à 25m/s	25 à 30m/s	30 à 35m/s
2022	7	3102	19,6 %	17,5 %	35,1 %	23,9 %	3,9 %			
		528	19,3 %	17,6 %	34,5 %	24,6 %	4%			
	8	4223	13,7 %	19,2 %	34,8 %	25,9 %	6,3 %	0,1 %		
		744	14,8 %	19,8 %	34,8 %	25%	5,6 %			
	9	3762	3,6 %	14,2 %	39,6 %	26,3 %	15,7 %	0,6 %		
		720	3,5 %	12,1 %	41,7 %	27,1 %	15%	0,7 %		
	10	3793	15%	22,8 %	40,2 %	19,8 %	2,2 %			
		744	14,2 %	21,9 %	39%	22,8 %	2%			
	11	4113	7,9 %	12,1 %	29,6 %	29,6 %	17,3 %	3,5 %		
		720	8,1 %	12,9 %	28,9 %	29,3 %	17,5 %	3,3 %		
	12	4397	7,3 %	13,3 %	42,3 %	30,9 %	6,2 %			
		744	7,8 %	13,3 %	42,7 %	30,1 %	6%			
2023	1	4447	3,2 %	6,5 %	19,9 %	36%	28,7 %	5,6 %	0,1 %	
		744	3,5 %	7%	19,2 %	34,9 %	29,4 %	5,9 %		
	2	4002	23,6 %	15,3 %	17,5 %	18,9 %	16,2 %	8,3 %	0,1 %	
		672	23,4 %	15,6 %	17,3 %	18,9 %	16,4 %	8,5 %		
	3	4226	8,8 %	11,5 %	32,3 %	33%	11,4 %	3%		
		744	9,7 %	11,3 %	32,3 %	32,7 %	11,4 %	2,7 %		
	4	4223	9,7 %	10,4 %	33%	28,5 %	17%	1,4 %		
		720	9%	11,2 %	32,9 %	28,2 %	16,9 %	1,7 %		
	5	4120	15,4 %	17,7 %	38,3 %	14,8 %	12,7 %	1,2 %		
		744	14,4 %	17,2 %	36,2 %	18,4 %	12,9 %	0,9 %		
	6	4295	18,3 %	17,3 %	31,8 %	22,3 %	10,2 %	0%		
		720	18,5 %	16,8 %	32,2 %	21,8 %	10,7 %			
	7	4367	11%	13%	34,1 %	29,2 %	12,3 %	0,3 %		
		744	12,9 %	11,7 %	34,1 %	28,6 %	12,4 %	0,3 %		
	8	4410	17,3 %	14,8 %	30,6 %	19,1 %	13,9 %	4,4 %		
		744	17,5 %	14,8 %	30,2 %	18,8 %	14,7 %	4%		
	9	4293	27,4 %	16,9 %	31,7 %	17,6 %	6,4 %	0%		
		720	27,8 %	16,7 %	31,1 %	17,9 %	6,5 %			
	10	4438	12,1 %	20,6 %	32,3 %	19,6 %	13,7 %	1,6 %	0%	
		744	11,8 %	21,5 %	31,2 %	20%	13,6 %	1,9 %		
	11	3993	8,4 %	9,5 %	25,8 %	29,2 %	21,8 %	5,3 %		
		720	9%	10,1 %	27,2 %	28,1 %	19,9 %	5,7 %		
	12	4405	8,1 %	12,7 %	28,1 %	27,3 %	16,8 %	6,9 %	0,1 %	
		744	7,9 %	12%	28,2 %	28%	16,5 %	7,1 %	0,3 %	
2024	1	4427	9,1 %	16,5 %	30,4 %	29,6 %	9,3 %	5,1 %		
		744	8,6 %	17,7 %	29%	30,2 %	9,9 %	4,4 %		
	2	3996	4,9 %	10,4 %	32,1 %	31,3 %	20,6 %	0,8 %		
		696	4,7 %	11,2 %	31,3 %	32%	20,1 %	0,6 %		
	3	4222	8,3 %	7,9 %	24,7 %	28,1 %	24,8 %	5,4 %	0,9 %	
		744	7,8 %	7,8 %	26,7 %	28,2 %	23,8 %	4,7 %	0,9 %	

Rapport final Lot 6a
AO6 Méditerranée Zone 2

	4	4152	5,1 %	7,3 %	25,7 %	26,5 %	27%	8,4 %		
		720	5,1 %	7,1 %	26%	27,8 %	26,7 %	7,4 %		
	5	4311	18,1 %	19,7 %	28,5 %	27%	6,7 %	0,1 %		
		744	17,1 %	20,7 %	28,1 %	27,8 %	6,2 %	0,1 %		
	6	3867	3,7 %	11,1 %	39,9 %	37%	7,9 %	0,3 %	0,1 %	
		720	3,9 %	11,1 %	40,8 %	36,5 %	7,2 %	0,3 %	0,1 %	
	7	1253	4,1 %	8,8 %	31,2 %	25,1 %	25,1 %	5,7 %		
		216	4,6 %	6,9 %	32,4 %	26,4 %	24,1 %	5,6 %		
Total		100837	11,5 %	14%	31,5 %	26,3 %	14%	2,7 %	0,1 %	
		17544	11,5 %	14%	31,5 %	26,6 %	13,8 %	2,6 %	0,1 %	

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

3.3.2.2 Distributions

La comparaison des distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 100 m sont proches mais montrent un biais général du modèle avec des forces de vent globalement plus faibles pour AROME (cf. Illustration 16) :

- les quantiles apparaissant ci-dessous (cf illustration 16) dans l'encart montrent systématiquement des valeurs plus faibles (ou égales) pour le modèle ;
- en comparant les histogrammes, on constate tout d'abord que les distributions deviennent très comparables et sont plus proches que lors de la campagne initiale. Toutefois les vents les plus forts, supérieurs à 15 m/s, sont sous-représentés par AROME.

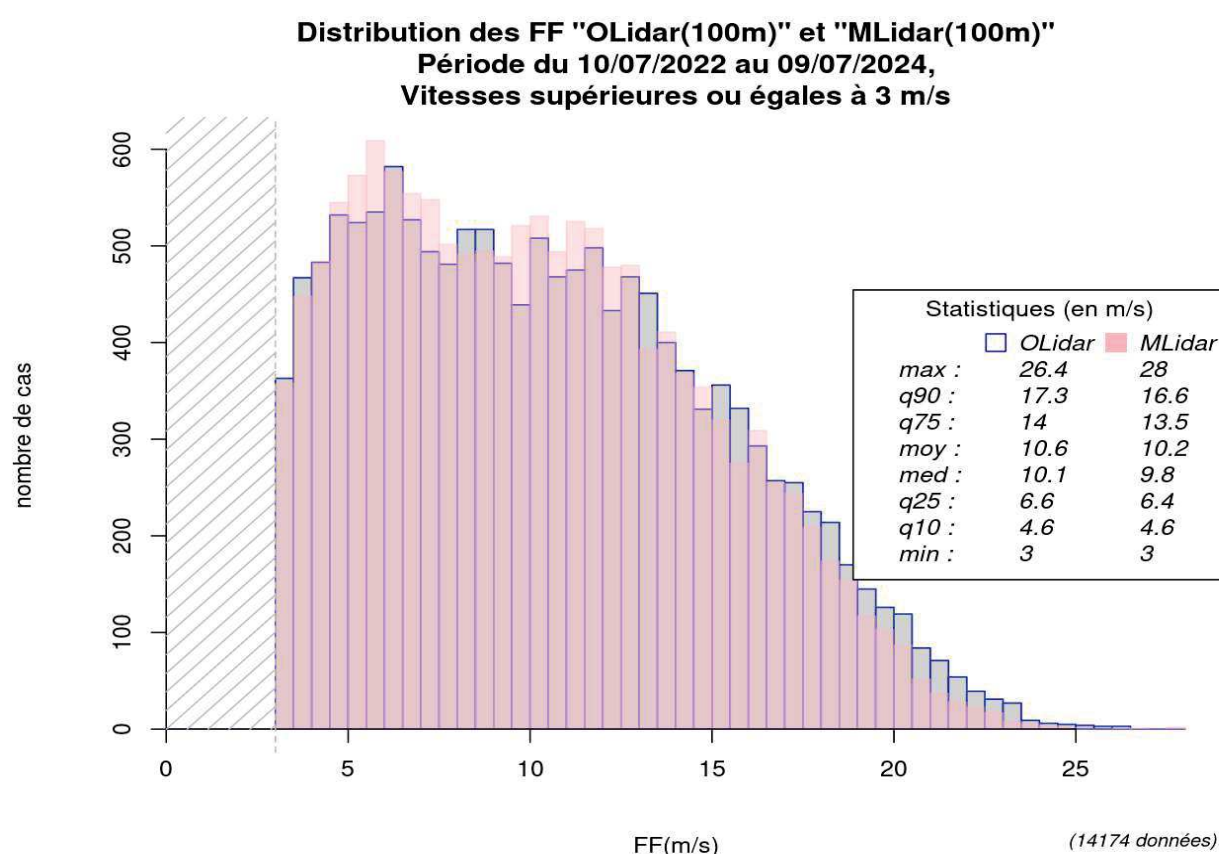


Illustration 16 : Distributions des vents horaires du LiDAR

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

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

On constate dans l'illustration 17 un cycle diurne/nocturne probablement par effet de brises. Au cours de la nuit et jusqu'en matinée (globalement de 21h à 7h UTC), les médianes horaires des observations et du modèle sont supérieures à la médiane de la période totale (en pointillés). En journée (de 11h à 19h), on observe l'effet inverse.

Répartition des FF "OLidar(100m)" et "MLidar(100m)" par heure
Période du 10/07/2022 au 09/07/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

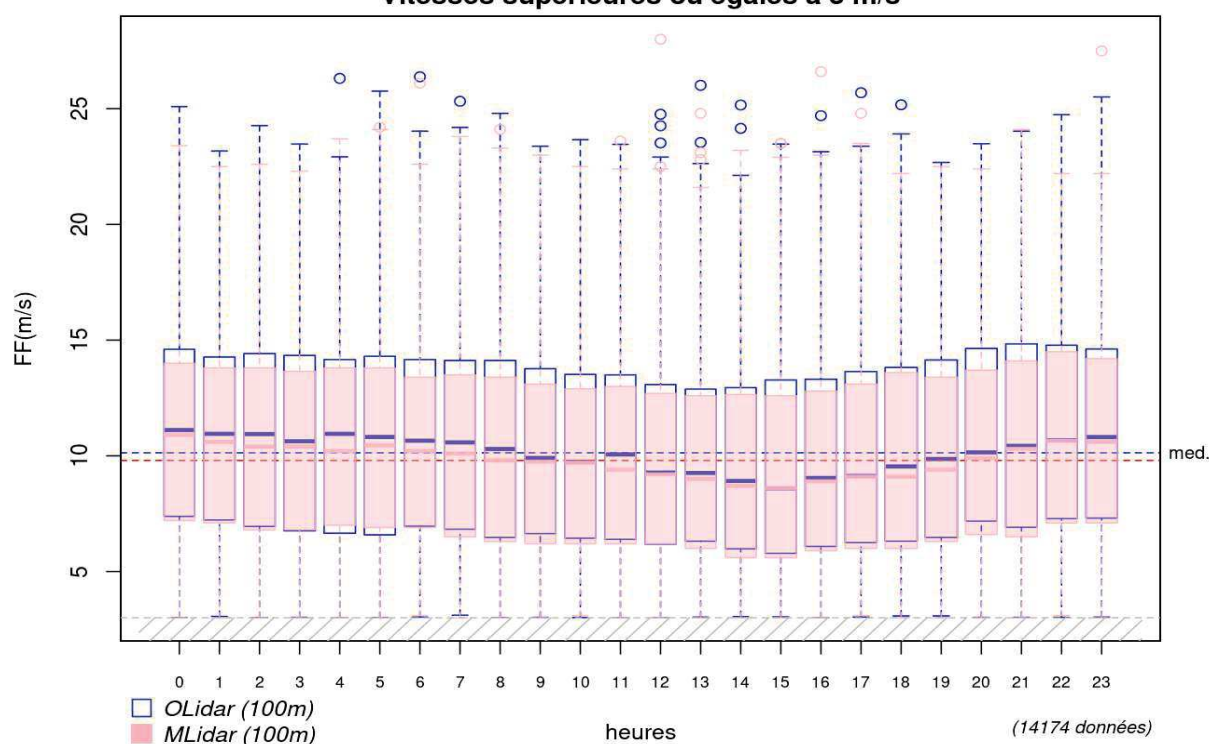


Illustration 17 : Répartitions horaires des forces du vent du LiDAR

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

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

On observe des disparités sur les répartitions mensuelles (cf. Illustration 18).

Par la climatologie, il est attendu que les vents les plus forts se produisent plutôt durant les mois hivernaux. Un cycle annuel modéré se dessine en effet mais les contrastes entre étés et hivers ne sont pas très marqués. En effet, les hivers 2022-2023 et 2023-2024 ont été globalement plus calmes que la normale (cf plus bas Tableau 4 et Tableau 5). Le mois de décembre 2022 a par exemple été atypique et particulièrement déventé avec une médiane mensuelle se retrouvant en dessous de la médiane des forces de vent sur l'ensemble de la campagne. A contrario l'été 2023 et juin 2024 ont été plutôt agités par rapport à la normale (cf Tableau 4 et Tableau 5), les médianes observées pour ces mois sont ainsi proches de la médiane sur l'ensemble de la campagne. (le mois de juillet 2024 ne comprend que les 9 premiers jours et doit être considéré avec précaution).

Il est intéressant de noter que les boîtes à moustaches issues des données du modèle (en rose) sont quasi systématiquement inférieures (médiane, intervalle inter-quartile et moustaches) aux boîtes à moustaches établies à partir des données du LiDAR. Une nouvelle fois, ceci atteste d'un biais de sous-estimation des vents les plus forts par le modèle AROME. Seuls les mois d'octobre et décembre 2022 échappent à ce constat. Ces deux mois ont été particulièrement déventés (cf Tableau 4 et Tableau 5). Ainsi en l'absence de vents forts, le biais du modèle devient beaucoup moins visible, voire inexistant.

Précisons que les lignes pointillées dans cette illustration 18 montrent les médianes des forces de vent sur l'ensemble des 2 ans de la campagne mais ne doivent pas être confondues avec une normale climatologique. Par conséquent, l'illustration 18 doit être mise en regard avec les Tableau 4 et Tableau 5 pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation. Par exemple, la médiane des forces de vent au mois de janvier 2024 est équivalente à la médiane des forces de vent sur l'ensemble de la campagne mais ce mois hivernal n'a pas été aussi venté que d'habitude. Au contraire, il a été particulièrement calme pour un mois de janvier (cf tableau 4 et 5).

**Répartition des FF "OLidar(100m)" et "MLidar(100m)" par mois
Période du 10/07/2022 au 09/07/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s**

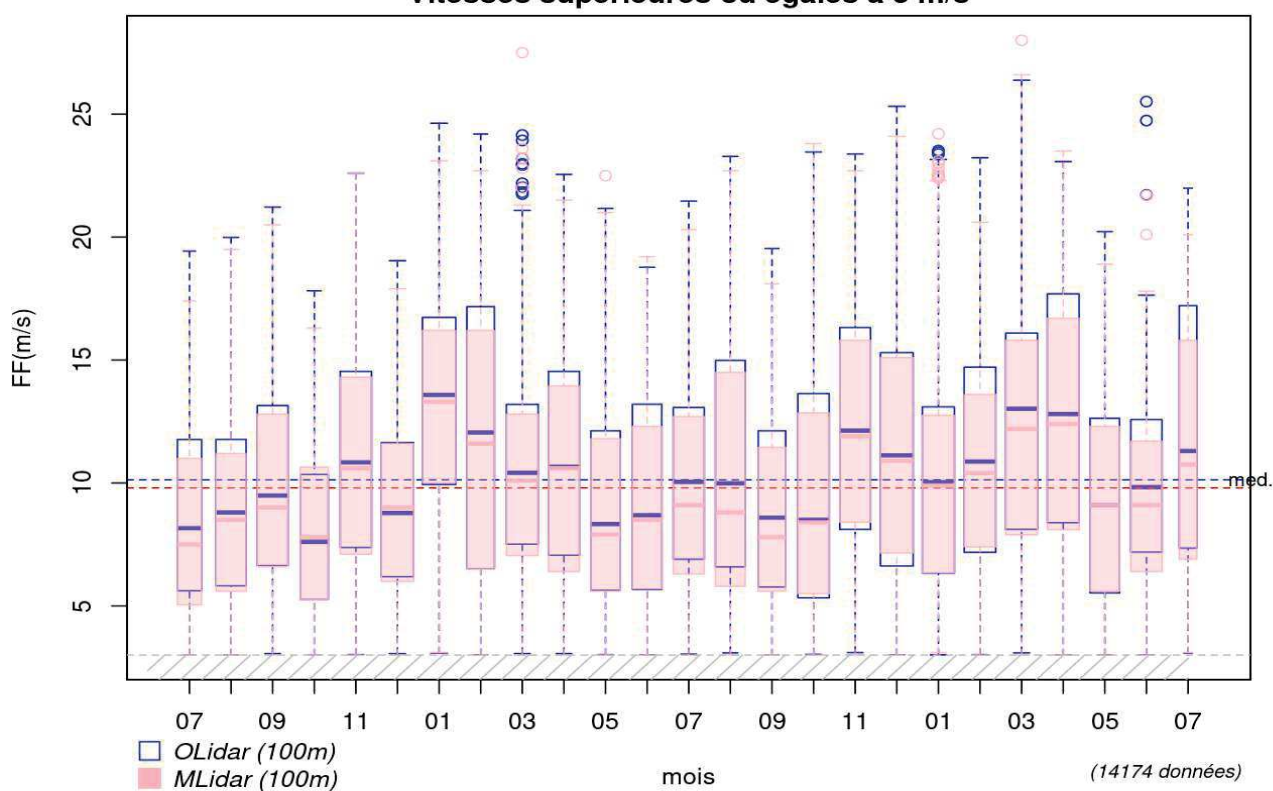


Illustration 18 : Répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR ; la largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données

Afin de comparer de manière plus générale la période de la campagne de mesure à la climatologie 2001-2020, nous avons effectué une analyse fréquentielle mensuelle de la vitesse du vent horaire pour les stations de Béziers et Arles (stations choisies comme référence du LiDAR au § 1.1).

Pour Arles, caractéristique des vents de secteur Sud et Nord, les valeurs des forces de vent sur l'ensemble des 2 ans de campagne sont globalement plus faibles que la climatologie. En effet, tout au long de la campagne, exceptés janvier 2023 et avril 2024 qui ont été agités, les mois se succédant ont été soit déventés (voire très déventés pour juillet 2022, octobre 2022, décembre 2022, septembre 2023 ou mai 2024), soit proches de la normale.

Pour Béziers, choisie pour sa représentativité des vents de secteurs Est et Ouest, les valeurs sur l'ensemble des 2 ans de campagne de mesure sont très proches de la climatologie avec des mois plus agités que la normale comme août 2023, avril 2024, juin et juillet 2024 contre-balançant des périodes déficitaires (octobre 2022, décembre 2022, février 2023 ou mai 2024).

Les résultats et les ordres de grandeur pour les forces de vent observées durant cette deuxième campagne vis-à-vis de la normale rappellent ceux de la campagne lot 4 pour les deux stations : un déficit de vent pour Arles et des relevés proches de la normale pour Béziers.

Les conditions de vents rencontrées durant les deux campagnes semblent donc s'être perpétuées. L'amélioration du biais constaté au paragraphe 3.3.1 (moins de sous-estimation des vents forts par AROME) ne semble donc pas imputable à des conditions de vents qui auraient différé notablement entre la campagne initiale et la présente campagne. L'homogénéité des conditions de vent (en force mais aussi en direction) entre les deux campagnes se vérifie d'autant plus grâce à la prise en compte de 2 stations avec Arles et Béziers permettant une analyse distincte des vents dominants dans la région.

Plus en détail, la deuxième moitié de l'année 2022 a été globalement calme voire très calme sur les deux stations avec des mois de juillet, octobre et décembre, voir même novembre particulièrement déventés. A contrario le mois de janvier 2023 a été marqué par de nombreux épisodes de tramontane et mistral avant que le mois de février 2023 ne soit à nouveau assez calme. Des disparités existent ensuite entre les deux stations (printemps et été 2023 plutôt plus ventés que la normale sur Béziers mais un constat plutôt inverse sur Arles) jusqu'à l'automne 2023 et l'hiver 2023-2024 peu agités dans leur ensemble sur les deux stations de mesures. Le printemps 2024 a ensuite été contrasté avec un mois d'avril particulièrement venté laissant place à un mois de mai calme. La campagne se terminant par des mois de juin et juillet 2024 plus agités que la normale en particulier pour la station de Béziers.

		Vitesses en m/s			
		[0, 1.5[	[1.5, 4.5[	[4.5, 8.0[	>8
2022	Juillet	12,0	43,9	34,2	10,0
		19,5	50,9	27,8	1,7
	Août	12,9	47,5	30,9	8,7
		14,0	49,7	32,1	4,2
	Septembre	13,2	47,9	25,6	13,2
		6,4	46,5	34,9	12,2
	Octobre	10,5	46,4	28,1	15,0
		18,1	56,5	18,4	7,0
	Novembre	8,3	45,1	28,4	18,2
		10,3	48,3	31,1	10,3

	Décembre	7,4	46,4	28,9	17,2
		10,2	58,3	23,8	7,7
2023	Janvier	7,8	43,5	29,5	19,2
		6,7	34,3	34,0	25,0
	Février	7,5	39,9	30,4	22,2
		14,4	44,6	18,3	22,6
	Mars	8,6	41,0	29,6	20,8
		8,6	45,2	35,9	10,3
	Avril	8,7	40,5	33,4	17,4
		8,8	35,8	36,8	18,6
	Mai	10,4	40,1	33,5	16,0
		13,2	48,5	24,7	13,6
	Juin	12,4	43,3	31,8	12,5
		14,6	50,6	26,8	8,1
	Juillet	12,0	43,9	34,2	10,0
		16,9	45,6	34,1	3,4
	Août	12,9	47,5	30,9	8,7
		19,1	43,3	25,5	12,1
2024	Septembre	13,2	47,9	25,6	13,2
		19,7	55,1	21,5	3,6
	Octobre	10,5	46,4	28,1	15,0
		15,1	49,6	21,4	14,0
	Novembre	8,3	45,1	28,4	18,2
		15,3	44,0	24,7	16,0
	Décembre	7,4	46,4	28,9	17,2
		9,7	48,8	30,1	11,4
2024	Janvier	7,8	43,5	29,5	19,2
		10,8	50,3	26,7	12,2
	Février	7,5	39,9	30,4	22,2
		7,3	45,3	29,6	17,8
	Mars	8,6	41,0	29,6	20,8
		8,9	35,8	30,7	24,5
	Avril	8,7	40,5	33,4	17,4
		5,7	37,8	25,3	31,2
2024	Mai	10,4	40,1	33,5	16,0
		14,8	48,9	30,5	5,8
	Juin	12,4	43,3	31,8	12,5
		11,9	44,4	36,9	6,7
2024	Juillet	12,0	43,9	34,2	10,0
		11,6	41,2	37,5	9,7
Total		10,0	43,8	30,4	15,9
		12,4	46,5	28,5	12,5

Tableau 4: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2022-2024 (en italique, en %) des forces de vent de la station d'Arles ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR



		Vitesses en m/s			
		[0, 1.5[	[1.5, 4.5[	[4.5, 8.0[	>8
2022	Juillet (22J)	11,0	47,7	34,8	6,5
		16,1	48,5	33,9	1,5
	Août	13,3	50,5	31,1	5,1
		13,0	55,0	28,8	3,2
	Septembre	16,1	53,3	25,5	5,0
		12,8	55,7	27,1	4,4
2023	Octobre	14,8	49,6	28,7	6,8
		17,5	60,9	20,8	0,8
	Novembre	12,9	48,3	30,3	8,5
		15,4	53,3	26,2	5,0
	Décembre	16,5	49,1	26,7	7,7
		24,7	54,2	20,4	0,7
	Janvier	14,1	46,2	29,9	9,9
		7,9	46,4	32,4	13,3
	Février	13,3	44,0	30,2	12,4
		18,3	46,6	29,0	6,1
	Mars	12,3	44,5	30,6	12,6
		14,7	43,8	28,4	13,2
2024	Avril	10,3	45,6	35,1	9,0
		14,3	41,1	28,9	15,7
	Mai	10,8	47,2	32,9	9,2
		10,3	45,2	31,0	13,4
	Juin	11,6	49,8	32,6	6,0
		10,7	46,5	37,4	5,4
	Juillet	11,0	47,7	34,8	6,5
		10,0	42,3	41,4	6,4
	Août	13,3	50,5	31,1	5,1
		11,8	40,6	33,7	13,8
	Septembre	16,1	53,3	25,5	5,0
		22,1	52,3	24,2	1,4
2025	Octobre	14,8	49,6	28,7	6,8
		21,8	49,9	23,1	5,2
	Novembre	12,9	48,3	30,3	8,5
		15,3	46,1	28,5	10,1
	Décembre	16,5	49,1	26,7	7,7
		18,5	41,4	28,4	11,7
2026	Janvier	14,1	46,2	29,9	9,9
		17,1	52,2	23,1	7,7
	Février	13,3	44,0	30,2	12,4
2027	Mars	9,8	41,5	37,8	10,9
		12,3	44,5	30,6	12,6

		<i>11,8</i>	<i>42,4</i>	<i>31,4</i>	<i>14,4</i>
	Avril	10,3	45,6	35,1	9,0
		<i>7,8</i>	<i>40,1</i>	<i>35,3</i>	<i>16,8</i>
	Mai	10,8	47,2	32,9	9,2
		<i>11,2</i>	<i>54,7</i>	<i>27,0</i>	<i>7,1</i>
	Juin	11,6	49,8	32,6	6,0
		<i>6,2</i>	<i>49,0</i>	<i>39,4</i>	<i>5,3</i>
	Juillet (9J)	11,0	47,7	34,8	6,5
		<i>2,3</i>	<i>42,1</i>	<i>41,7</i>	<i>13,9</i>
	Total	13,1	48,0	30,7	8,2
		<i>14,0</i>	<i>47,8</i>	<i>30,0</i>	<i>8,2</i>

Tableau 5: Statistiques 2001-2020 (en gras, en %) et valeurs 2022-2024 (en italique, en %) des forces de vent de la station de Béziers ; surlignages rouge et bleu : excédent et déficit de plus de 5 % par rapport à la normale

Rappel : une analyse détaillée de la climatologie saisonnière, présentant les différences de vents par secteurs, figure en Annexe 2 .

3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)

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

La rose des vents issue des données modélisées par le modèle AROME (à droite dans l'illustration 19) et la rose des vents obtenue à partir des données observées par le LiDAR (à gauche dans l'illustration 19) sont ressemblantes. Des différences en termes de direction et d'intensité sont à noter :

- la direction Nord pure (360°) est sous représentée par le modèle à la faveur du secteur Nord / Nord-Ouest (330°) ;
- la tendance à une sous-estimation des vents forts se retrouve dans ces graphiques : -1,3 % pour les vents de plus de 20 m/s en moyenne sur l'ensemble des secteurs ;
- ainsi, les vents forts de secteurs Nord (360°) dans le domaine du mistral constituent la divergence la plus importante (les vents de plus de 10 m/s ne représentent que 4,8 % des cas pour AROME contre 7,6 % pour le LiDAR). On note également une sous-estimation des vents les plus forts venant de secteur 120° (Sud-Est) ;
- contrairement à la campagne initiale, le modèle AROME ne surestime plus les vents faibles (au contraire on note une légère sous-estimation de 0,5%)

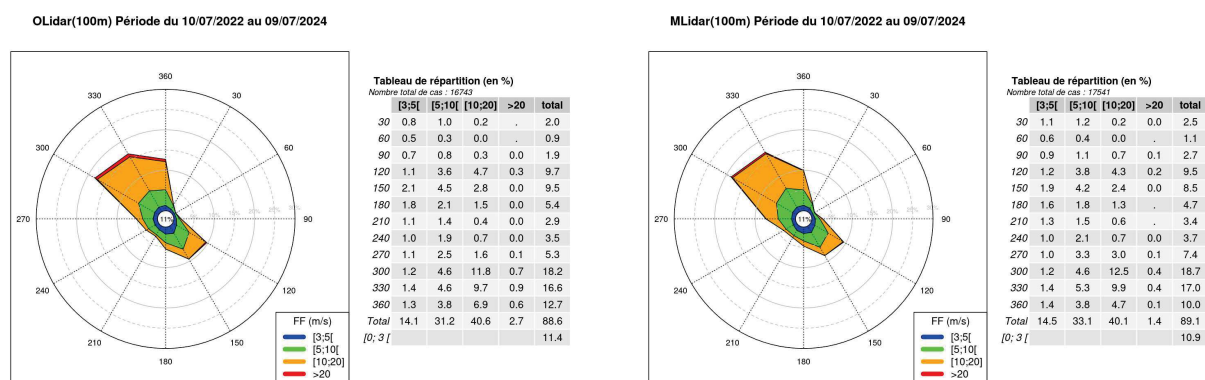


Illustration 19 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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

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

3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires)

Comme pour les roses des vents, **nous avons ici fait le choix de considérer toutes les données horaires du LiDAR.**

Les profils horaires modélisés sur la couche allant de 40 m à 200 m sont cohérents avec les profils horaires observés. Ces profils pour le Q25 sont même quasiment superposés (contrairement aux résultats du lot 4), mais un biais de sous-estimation apparaît ensuite pour la médiane et le Q75, quel que soit le niveau d'altitude. Ceci est également attesté par les vitesses du profil moyen observé (profil bleu en pointillés) supérieures d'environ 0,3 m/s par rapport à celles du profil moyen modélisé (profil rouge en pointillés).

Ce biais ressort d'autant plus nettement pour le Q75 et les plus hauts niveaux d'altitude. Ceci s'explique par les difficultés du modèle, déjà constatées précédemment, à bien évaluer les vents les plus forts.

Les différences sur les profils de valeurs maximales sont à considérer avec précaution. En effet, ces courbes sont obtenues avec une seule et unique valeur par niveau qui peuvent ne pas s'être produites au même moment (la date du maximum modélisé peut-être différente de la date du maximum observé). Dans le cas présent, le maximum observé se produit lors d'un épisode de vent fort de sud-est excédant 20 m/s de vent moyen le 26/03/2024 durant plusieurs heures sans discontinuer entre 01h et 14h avec une pointe à 26,4m/s à 06h. A noter que le maximum obtenu pour le modèle AROME (28 m/s) se produit bien le même jour mais un peu plus tardivement lors de ce même épisode (à 12h). A noter également que l'écart d'environ 1,5m/s sur ces valeurs maximales ne représente une erreur que de l'ordre de 7%.

A noter que les écarts entre les différents profils observés et modélisés sont moins marqués que lors de la campagne initiale.

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

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR

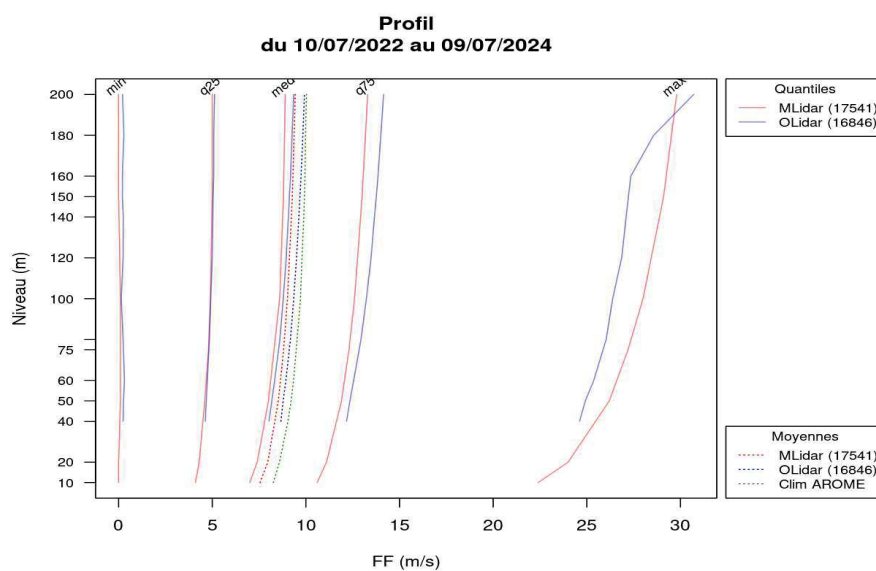


Illustration 20 : Profils des vents avec quantiles du LiDAR

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

3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, on observe un cisaillement de vent pour tous les secteurs (allant de 0,6 m/s à 1m/s, excepté pour le secteur Nord-Est (secteur par ailleurs peu fréquent sur la zone de mesure). Ce cisaillement est en particulier un peu plus marqué pour les secteurs de vents dominants que ce sont les directions Sud-Est (cisaillement de 0,93 m/s) et Nord-Ouest (cisaillement de 1m/s) (cf. Illustration 21). Ces directions témoignent de passages perturbés qui créent du cisaillement en altitude.

Nous avons décidé de représenter le cisaillement de vent du modèle entre les niveaux disponibles les plus proches, 50 m et 150 m. On constate que les caractéristiques du graphique modélisé (illustration 21 à droite) sont bien comparables à celles observées (illustration 21 à gauche) avec toutefois un cisaillement légèrement plus faible pour l'ensemble des directions.

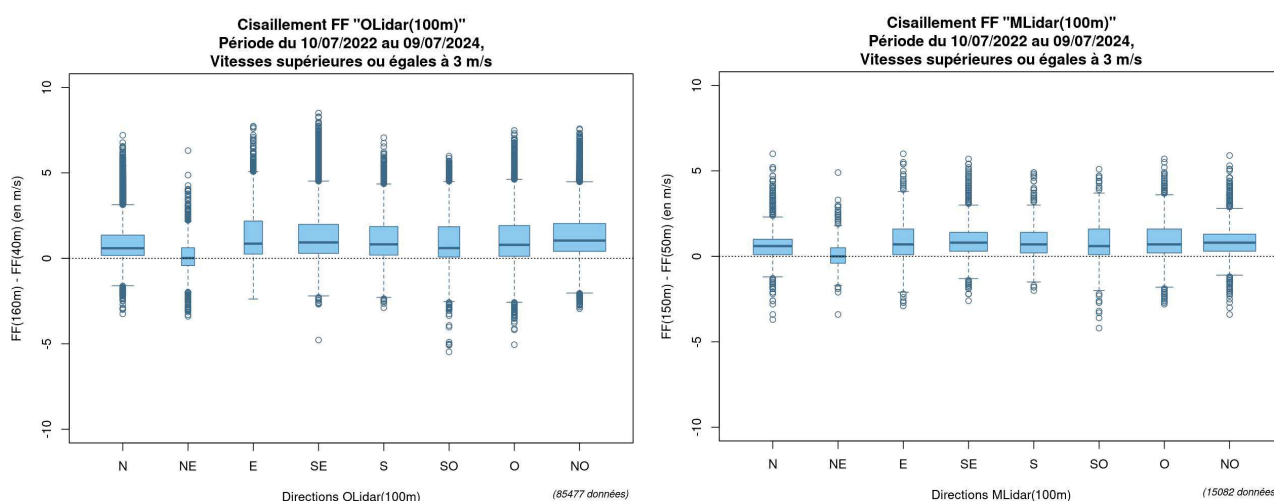


Illustration 21 : Cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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

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

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

Le coefficient α de cisaillement vertical de vent **dépend de la rugosité du sol**. C'est un nombre sans dimension qui varie selon la nature du terrain. Dans la littérature, des valeurs standards du coefficient α sont proposées (voir tableau 6) mais sans que soit précisée la couche verticale associée.

Nature du terrain	Exposant α
Plat : neige, glace, mer, marécages, herbes courtes	0.08 à 0.12
Mer formée	0.13
Peu accidenté : champs et pâturages, cultures	0.13 à 0.16
Rivage	0.16
Plaine	0.20
Accidenté : bois, zones peu habitées	0.20 à 0.23
Plaine boisée	0.24
Très accidenté : villes	0.25 à 0.4

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

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

Nous calculons et représentons sur l'illustration 22 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. Le coefficient α sera donc positif si la force du vent à 160 m est supérieure à celle à 40 m, négatif dans le cas contraire et nul s'il n'y a pas de cisaillement.

Comme le montrait l'illustration 21, tous les secteurs présentent un cisaillement positif. Sans surprise, l'illustration 22 montre des coefficients $\alpha > 0$ (dont les médianes oscillent entre 0,02 et 0,11), à l'exception du seul le secteur nord-est (30-60°) pour lequel la médiane du coefficient α vaut 0.

A contrario, les secteurs sud-ouest et ouest-sud-ouest sont les directions pour lesquelles le coefficient α présente les valeurs les plus élevées, en particulier pour les valeurs nocturnes (respectivement 0,11 et 0,09). Il est également intéressant de noter qu'un important cycle diurne/nocturne se matérialise pour ces secteurs avec des valeurs de cisaillement bien plus élevées la nuit.

Pour rappel, les différents secteurs de vent cités précédemment (nord-est et sud-ouest) sont marginaux en termes de fréquence de vent sur la zone.

Concernant les vents dominants, pour les vents de secteur sud-est (secteurs 90-120° et 120-150°), on ne constate pas ou peu de cycle diurne/nocturne et le coefficient α a une valeur médiane d'environ 0,08 pour ces deux secteurs.

Pour l'autre secteur prédominant de la zone, les vents de Nord-Ouest (300-330°) et de Nord/Nord-Ouest (330-360°), il est intéressant de noter que le coefficient α est plus faible mais présente en revanche un cycle diurne/nocturne plus net. Le coefficient α est en effet plus important la nuit que le jour (médiane de 0,04 à 0,06 la nuit, de 0,03 à 0,05 le jour). Ce phénomène pourrait s'expliquer par un possible effet de brise accentuant le cisaillement nocturne (brise de terre la nuit amplifiant les vents de secteur nord-nord-ouest et brise de mer le jour atténuant ceux-ci).

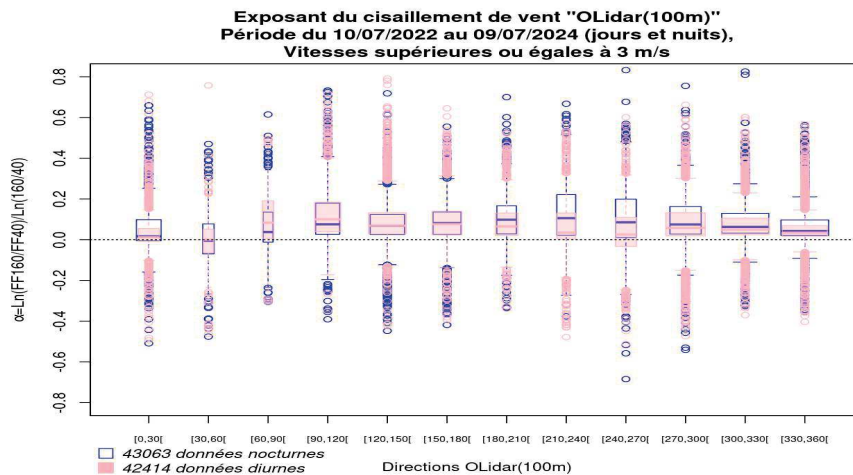


Illustration 22 : Exposant du cisaillement de vent du LiDAR

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

3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m

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

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

Sur la période de la campagne de mesures, on constate que les vents de secteur nord-nord-ouest à nord-est présentent une intensité de turbulence légèrement plus forte que pour les autres directions. (cf. Illustration 23). Ceci s'explique par les vents forts turbulents dus au mistral.

3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR

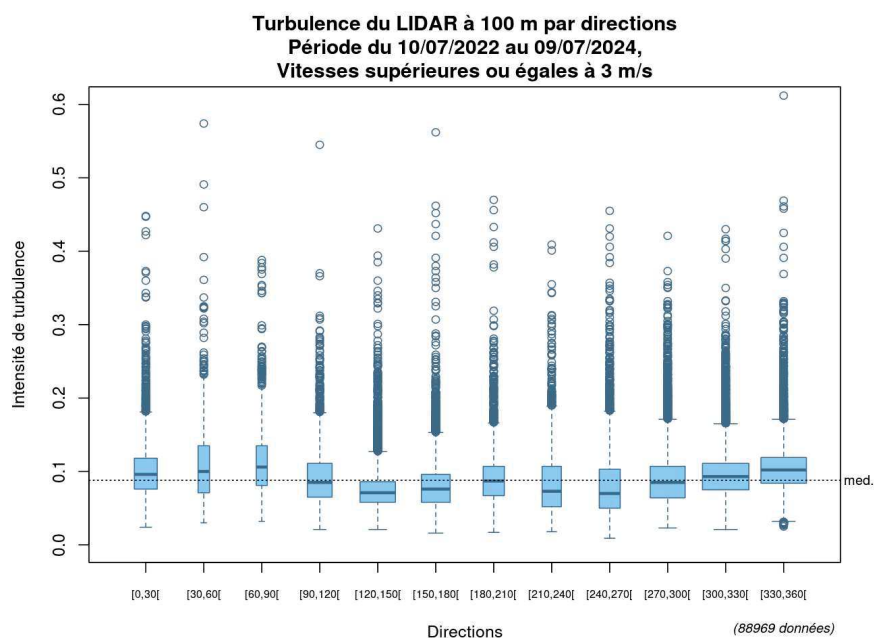


Illustration 23 : Turbulence du LiDAR

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

3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI à 100 m

Les séries horaires FF (vent moyen observé **ou estimé**) et FXI (vent maximal calculé) sont très cohérentes.

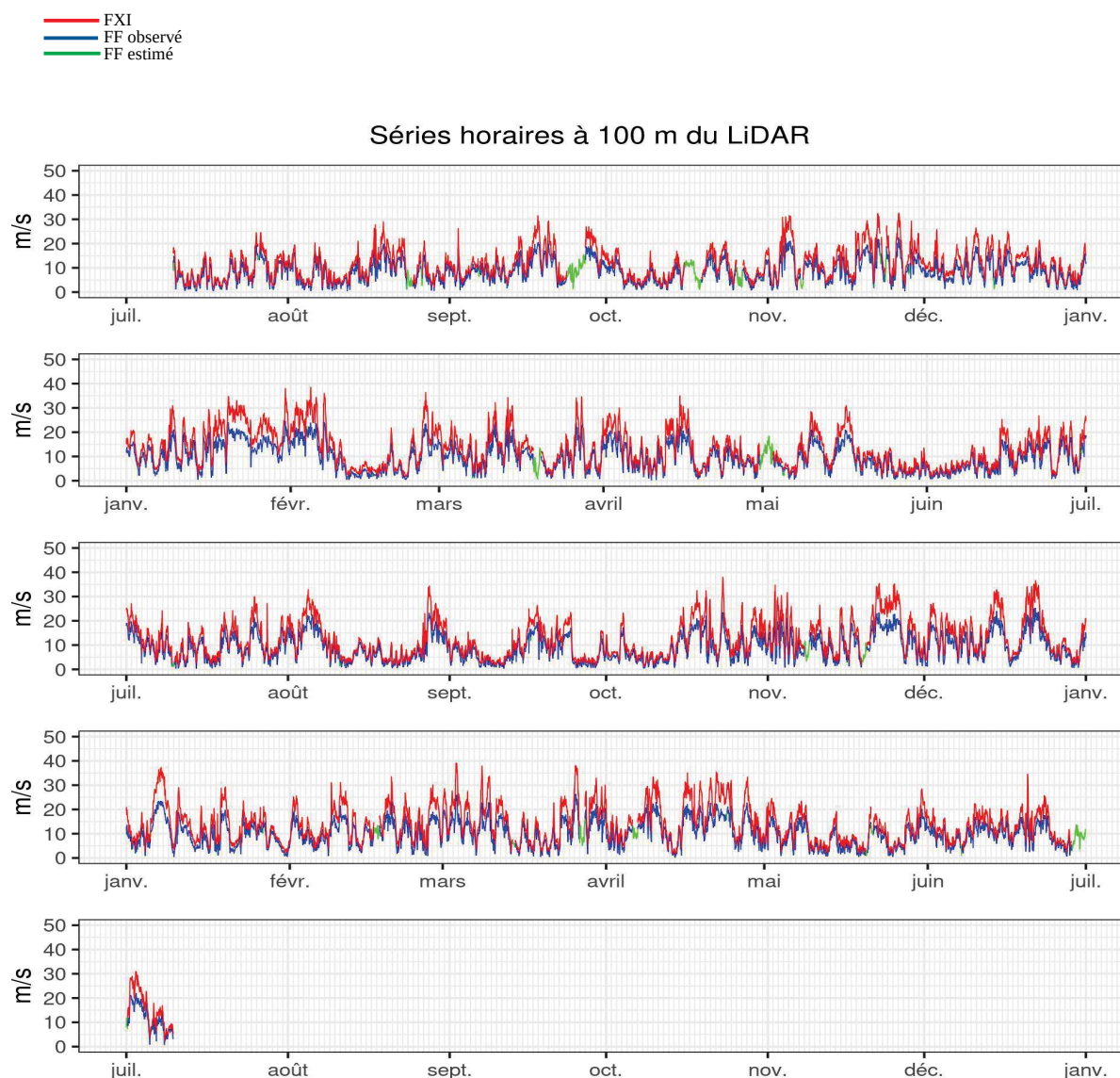


Illustration 24: Séries FF et FXI à 100 m du LiDAR

Météo-France fournit au travers du fichier « MedD_SerieLidarH100_20220710-20240709.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 10/07/2022 au 09/07/2024. Ces paramètres sont accompagnés des codes qualité QFF, QDD et QFXI (cf. § 2.2.1.3 Codes qualité).

4 Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre

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

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

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

Environ 24% des valeurs enregistrées par l'anémomètre et extrapolées à 10 m sortent des seuils (en très légère hausse par rapport à la campagne initiale), ce qui est nettement supérieur à ce qui a été constaté pour le LiDAR (9 %).

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

Pour la présente campagne, nous constatons sur l'illustration 25 que :

- à l'instar d'autres campagnes de mesures, les dépassements du seuil de direction sont nombreux, notamment lorsque les forces de vent sont relativement faibles, autrement-dit dans des situations où le flux n'est pas clairement établi, le vent prenant un caractère « variable » (les dépassements deviennent rares pour des vents > 7m/s) ;
- contrairement à d'autres campagnes de mesures, les dépassements sur le critère de force sont également assez fréquents (9,8 % des cas). Ces dépassements en force sont dus en majorité à des forces modélisées inférieures à celles relevées par l'anémomètre. Ces dépassements ont la particularité de se produire pour toutes les gammes de force de vent y compris lors de situations de vent fort (> 10 m/s ; cf carrés oranges sous la bissectrice qui restent nombreux dans l'illustration 25 de gauche) ;
- Comme pour le lidar à 100m, il est intéressant de noter qu'au cours de cette 2^{ème} campagne, le pourcentage de dépassements concernant le seuil de force de vent (proche de 10%) reste comparable à celui de la campagne initiale mais le biais de sous-estimation par le modèle est en légère diminution (0,66m/s contre 0,76m/s). Cette diminution du biais reste toutefois moins nette que celle constatée pour le LiDAR. À noter qu'une amélioration du biais ne signifie pas forcément une amélioration de la qualité générale du modèle (une surestimation pouvant compenser une sous-estimation sans pour autant que les

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.

valeurs modélisées soient meilleures). Dans l'ensemble les performances du modèle restent assez comparables d'une campagne à l'autre (% de données hors seuils comparables, erreur quadratique moyenne stable).

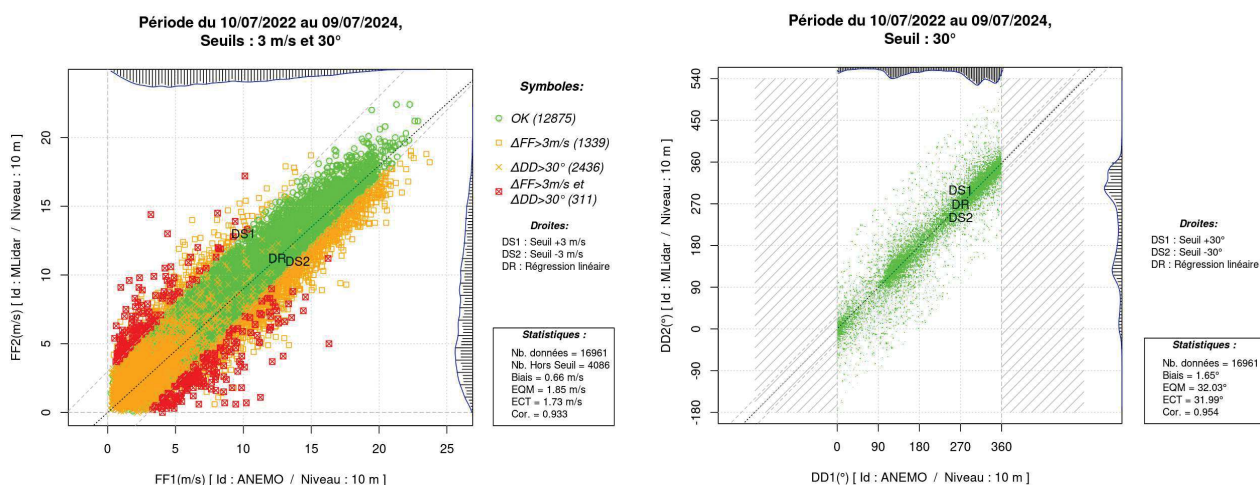


Illustration 25 : Comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle

Les distributions statistiques horaires des observations et du modèle à 10 m (cf illustration 26) montrent un plus grand nombre de cas de vents faibles proposés par le modèle (vents entre 3 et 5 m/s) et de vents modérés (entre 5 et 10 m/s) et un moins grand nombre de situations de vents forts (au-delà de 12 m/s).

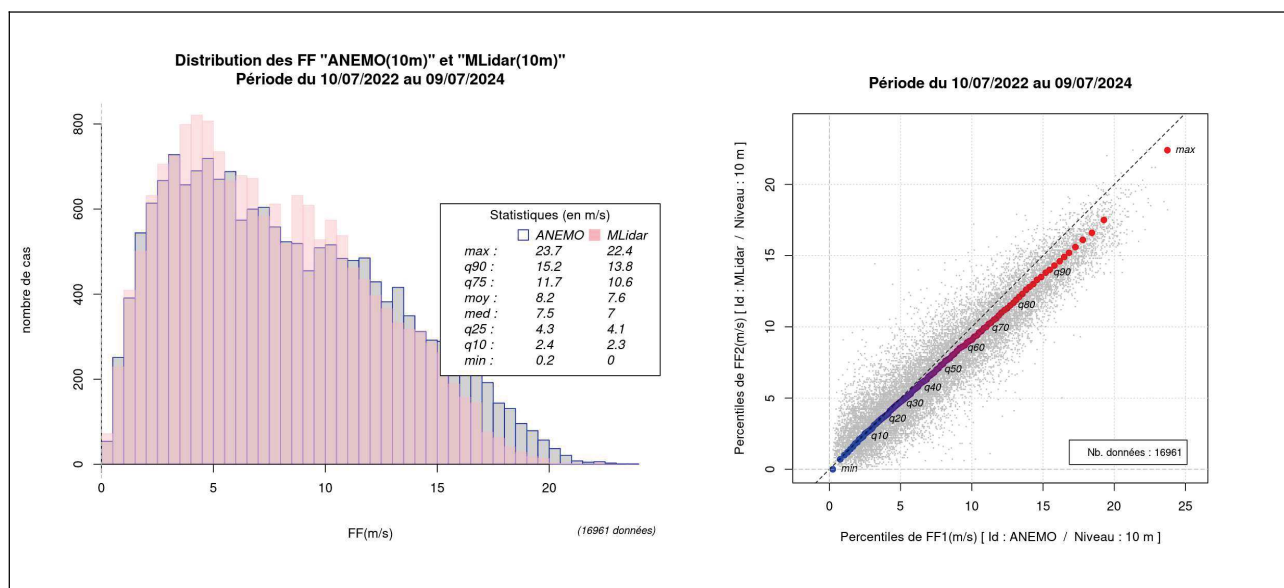


Illustration 26: Distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite)

4 Analyse des données de vent mesuré par l'anémomètre



De même le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent entre l'échantillon observé et celui du modèle AROME se situe sous la diagonale dès le Q40, sans toutefois s'en éloigner fortement jusqu'au Q60, à partir duquel l'éloignement à la diagonale se fait un peu plus marqué. En d'autres termes, les vents relevés par l'anémomètre sont globalement plus forts que ceux fournis par le modèle AROME, mais dans des proportions moins nettes que lors de la première campagne (où l'éloignement à la bissectrice était plus marqué). Cette différence devient d'autant plus significative que les vents sont forts. A noter toutefois la difficulté d'extrapolation de la mesure à 10 m.

La forme de la rose des vents de l'anémomètre présente de très nombreuses ressemblances avec celle du modèle AROME à 10 m. On note toutefois sensiblement moins de vent fort >10m/s pour le modèle (-5,7 %) et plus de vents assez faibles entre 3 et 5 m/s (+2 %).

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

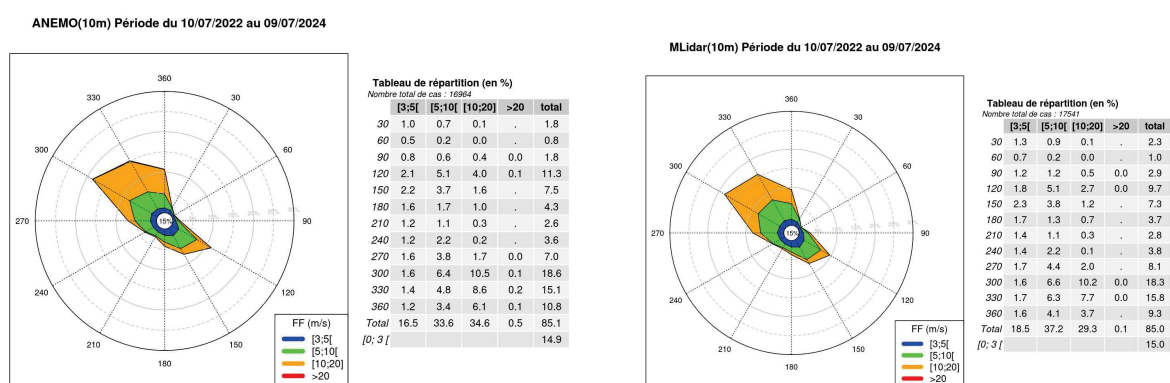


Illustration 27 : Roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre

5 Origine de la diminution du biais du modèle entre la campagne de mesure initiale et son extension

Pour rappel, le biais constaté sur la zone 2 en Méditerranée entre le modèle AROME et la mesure LIDAR lors de la campagne initiale (10/06/2021 – 09/07/2022) avait fait l'objet d'une étude complémentaire par Météo-France de sorte à déterminer si ce biais provenait d'une dérive du capteur de mesure ou bien de la modélisation. Pour ce faire, Météo-France avait comparé le modèle AROME avec une source de données tierce, à savoir un autre LiDAR flottant proche de la zone d'étude.

Cette étude avait mis en évidence que le biais provenait bien du modèle AROME. Les deux sources de données LiDAR étaient concordantes entre elles tandis que le modèle proposait des forces de vent plus faibles que ces deux LiDARs.

Enfin, le biais était essentiellement constaté sur les vents forts. Pour certains mois ou périodes déventés, ce biais pouvait apparaître de manière trompeuse en baisse en raison non pas de meilleures performances du modèle mais de la faible fréquence des conditions de vents les moins bien appréhendées par le modèle.

Les données collectées au cours de l'extension de deux ans de la campagne de mesure entre le 10/07/2022 et le 09/07/2024 montrent une atténuation de ce biais de sous-estimation par le modèle AROME.

- à 100 m, la comparaison entre les données du modèle et les observations LiDAR donne un biais de 0,35m/s, contre 0,52 m/s lors de la campagne initiale.
- à 10 m, la comparaison entre les données du modèle et les observations de l'anémomètre donne un biais de 0,66 m/s, contre 0,76 m/s lors de la campagne initiale.

Recherche de l'origine de la diminution du biais du modèle :

- Comme vu au paragraphe 3.3.2.4, les conditions de vents rencontrées durant la présente campagne ont été similaires à celles de la campagne initiale. L'amélioration constatée du biais ne peut donc pas s'expliquer par des conditions de vents qui auraient différé notablement entre la campagne initiale et la présente campagne.
- En revanche, une nouvelle version opérationnelle du modèle AROME a été déployée le 29/06/2022. En amont de ce déploiement, les scores établis par Météo-France sur le vent au niveau 10 m (absence de scores à 100 m en raison de l'absence d'observations) ont montré :
 - un biais de sous-estimation sur une bonne partie de la Méditerranée
 - une tendance à atténuer cette sous-estimation avec la nouvelle chaîne déployée en juin 2022
 - la nouvelle version de juin 2022 a ainsi eu un impact positif sur le vent moyen d'AROME à 10m, en réduisant la sous-estimation.
 - **Pour les vents à 100 m, l'hypothèse d'un impact positif du changement de cycle du modèle semble être très crédible.**

À noter toutefois qu'une amélioration du biais ne signifie pas automatiquement une amélioration de la qualité générale des valeurs modélisées : une prévision peut être erronée sans pour autant avoir de biais en

5 Origine de la diminution du biais du modèle entre la campagne de mesure initiale et son extension



moyenne (des surestimations dans certains cas peuvent compenser des sous-estimations dans d'autres cas par exemple).

Comme indiqué aux paragraphes 3.3.1 et 4, dans l'ensemble les performances du modèle restent assez comparables d'une campagne à l'autre (% de données hors seuils comparables, erreur quadratique moyenne stable)

6 Conclusion

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. Cette campagne n'a connu aucun problème technique majeur et a permis des taux de disponibilité élevés de données quelle que soit la saison de l'année.

Suite à ce contrôle, une série complète du vent horaire à 100 m a pu être créée et estimée sur quelques périodes manquantes.

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

- les données observées sur la zone d'étude au large du golfe de Fos étaient, dans leur ensemble, cohérentes avec celles du modèle AROME.
- le modèle AROME a toutefois une tendance à sous-estimer les forces de vent quel que soit le niveau d'altitude étudié comme cela était le cas lors de la campagne initiale. Ce constat est d'autant plus vrai lorsque les vents sont forts.
- le biais de sous-estimation de la force du vent sur la zone d'étude par le modèle AROME s'est atténué lors de la présente campagne que ce soit en altitude ou en surface. Cette amélioration est probablement due au déploiement d'une nouvelle version du modèle AROME en juin 2022.

7 Bibliographie

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

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Situation des 9 et 10 mars 2024 (Épisode méditerranéen).....	54
Annexe 2 : Climatologie du 1er juin 2022 au 30 juin 2024.....	56
Annexe 3 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	68
Annexe 4 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	73
Annexe 5 : Tableau de contingence des forces de vent du LiDAR.....	78
Annexe 6 : Roses des vents mensuelles du LiDAR à 100m (données brutes).....	79
Annexe 7 : Profils de vent du LiDAR.....	84
Annexe 8 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	89
Annexe 9 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s).....	94

Annexe 1 : Situation des 9 et 10 mars 2024 (Épisode méditerranéen)

Du samedi 9 jusqu'au dimanche 10 mars au matin, un épisode méditerranéen singulier, de printemps, lié à la dépression Monica circulant depuis le golfe de Gascogne a frappé le pourtour méditerranéen, en particulier pour le caractère précipitant, le Gard, la Lozère et la Provence orientale. En ce qui concerne l'environnement immédiat de la bouée, le département des Bouches-du-Rhône a été placé en Vigilance Vagues submersion. Les trois départements proches (Bouches-du-Rhône, Gard et Hérault) sont eux en vigilance vent. Un avis de fortes vagues est également présenté.

L'épisode méditerranéen et cévenol a causé de forts cumuls particulièrement inhabituels pour un mois de mars, mais pas exceptionnels par rapport aux épisodes méditerranéens rencontrés habituellement en automne ou en hiver.

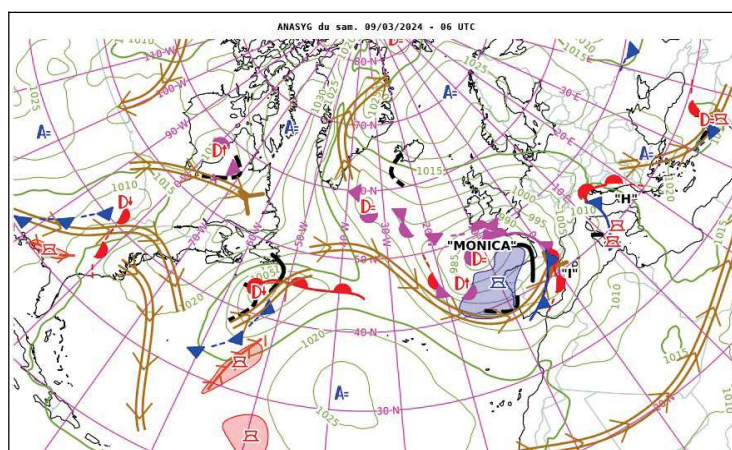


Illustration 28 : Anasyg du 09 mars 2024 à 00 UTC

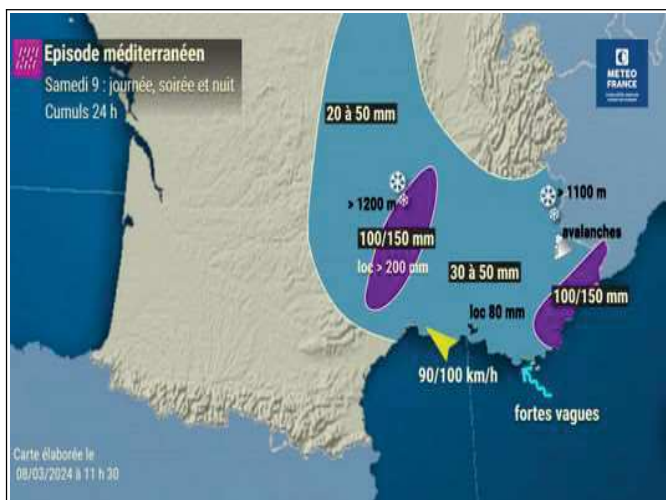


Illustration 29 : carte grand public pour avis de vent fort, fortes vagues, précipitations importantes

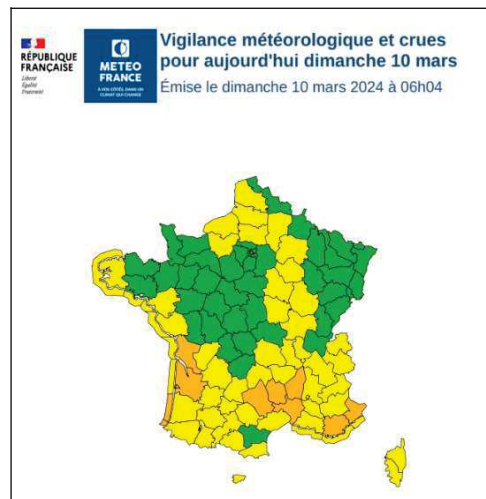


Illustration 30 : carte de vigilance de la nuit du 9 au 10 mars

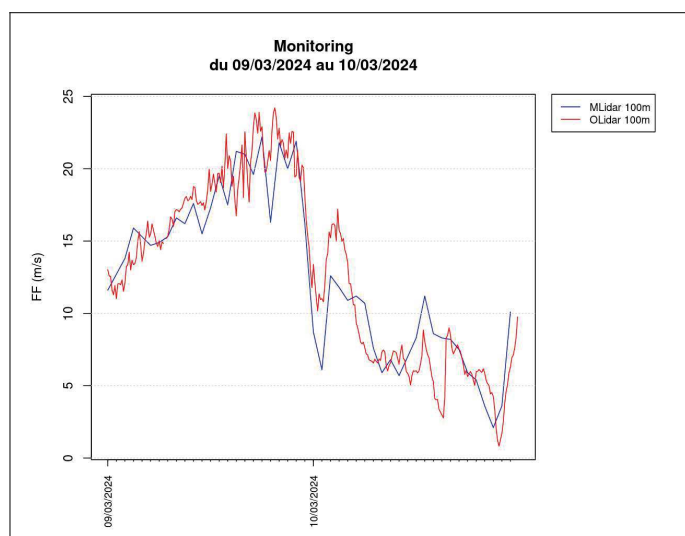


Illustration 31 : Comparaison des mesures du LiDAR avec le modèle AROME du 9 au 10 mars 2024

On observe une très bonne corrélation entre les valeurs enregistrées par le LiDAR et celles issues de la modélisation AROME. Les phases de renforcement et d'atténuation du vent sont en adéquation en termes d'intensité ou de chronologie. La contiguïté des courbes traduit une bonne concordance des données que ce soit en termes d'intensité des vents ou de synchronisation temporelle, surtout dans la montée. On remarque toutefois un biais un peu plus important à partir du 10/03 au matin s'expliquant par des vents qui deviennent alors plus faibles et plus variables en direction et en force.

Annexe 2 : Climatologie du 1er juin 2022 au 30 juin 2024

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

1) Le vent

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

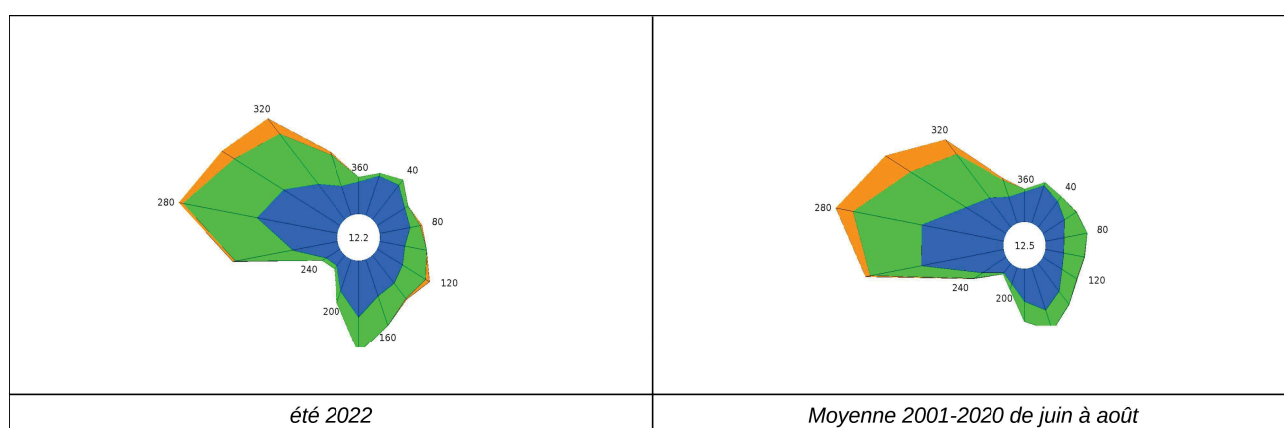


Illustration 32: Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station de Béziers

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

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



Illustration 33: Roses des vents de l'été 2022 et en moyenne sur la période 2001-2020 de la station d'Arles

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

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

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

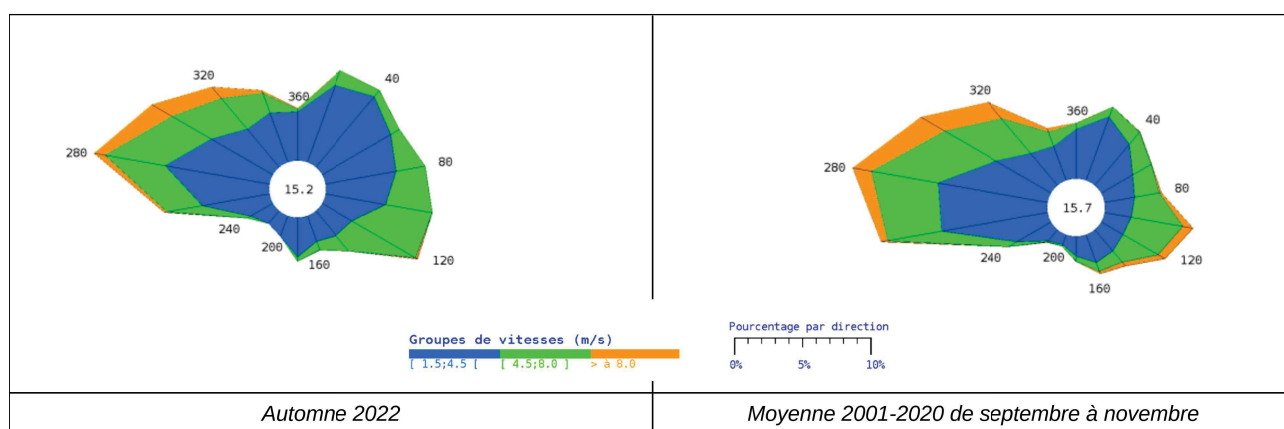


Illustration 34 : Roses des vents de septembre à novembre et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

La rose des vents observée à Béziers durant l'automne 2022 semble similaire par rapport à celle des moyennes pour la période sur 20 ans, surtout en termes de répartition des secteurs de vent. Néanmoins on peut noter que le vent a moins soufflé sur cette période dans un large secteur ouest 43 % contre 64,5 % pour les normales. A l'inverse le vent était plus fréquent dans un large secteur sud / sud-est 33,5 % pour l'observation contre 26,8 % pour les normales. On a également observé légèrement plus de vent de secteur nord-est, 23 % contre 19 %.

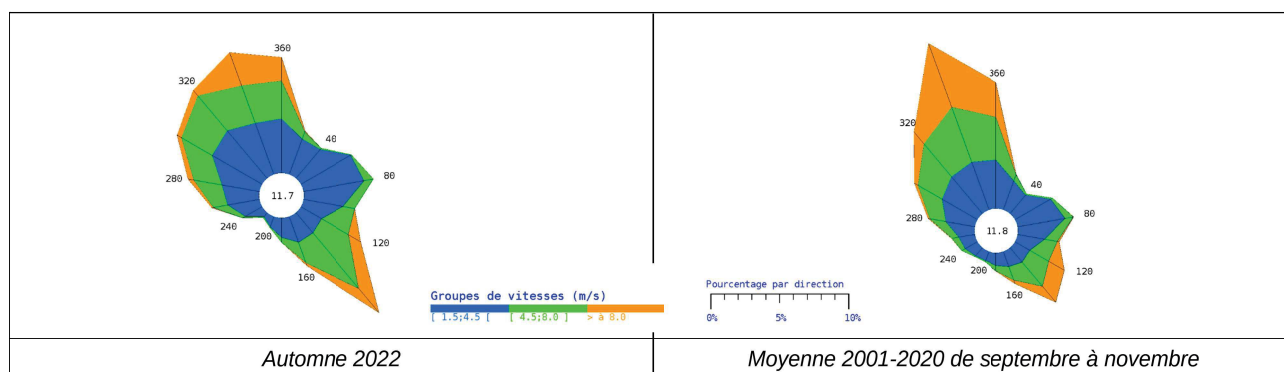


Illustration 35 : Roses des vents de septembre à novembre et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

On observe une concordance de répartition des secteurs de vent entre la rose des vents observée à Arles à celle des normales hivernales sur 20 ans. Dans le détail on remarque qu'il y a eu plus de vent de secteur sud-est (28,4 % pour l'observation contre 22,7 % pour les normales). Au détriment des vents de secteur nord à nord-ouest (43,3 % pour l'observation contre 53 % pour les normales). Les vents observés d'est (14,6 %) ainsi qu'ouest à sud-ouest (13,9 %) sont proches de la rose des vents saisonnière (12,8 % et 11,45 %).

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

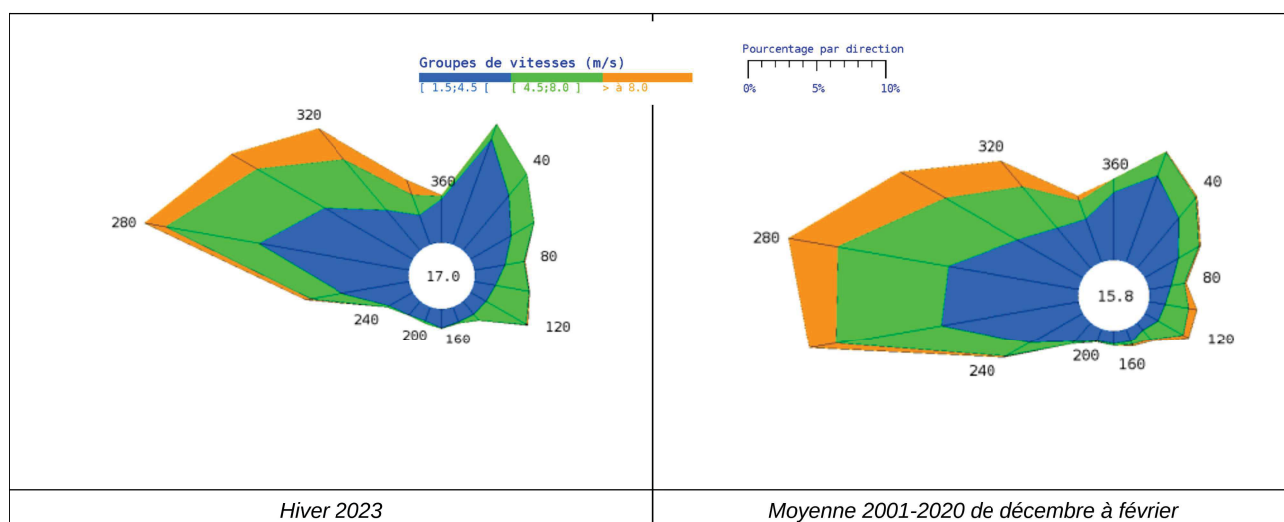


Illustration 36 : Roses des vents de décembre 2022 à février 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

La répartition de la rose des vents observée à Béziers lors de l'hiver 2023 met en évidence une prédominance des vents dans un large secteur Ouest à Nord-Ouest (du 260° au 340°), toutefois moins fréquent par rapport à la moyenne sur 20 ans 55,8 % contre 59 % des cas. Les vents dans les secteurs Sud à Sud-Ouest (du 160° au 240°) ont été moins observés cet hiver, 6,9 % des cas contre 10,2 % pour les normales de saison.

La répartition des vents forts > 8m/s a été moins fréquent 6,7 % des cas observés contre 9,9 % pour les normales.

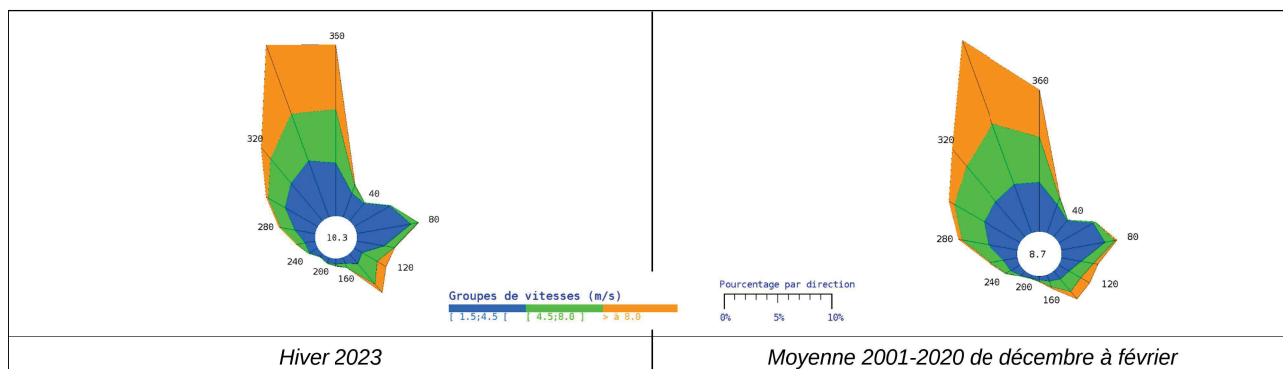


Illustration 37 : Roses des vents de décembre 2022 à février 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

La rose des vents de l'hiver 2023 à Arles est très ressemblante à la moyenne hivernale sur 20 ans. En effet les vents ont soufflé majoritairement dans un large secteur nord (du 300° au 20°), 60,9 % des cas en 2023 conformément à la moyenne saisonnière 61,3 % des cas. On observe cette année légèrement plus de vent de secteur est (du 40° au 100°) 18,7 % des cas contre 16,5 % pour la moyenne ainsi que de vent de secteur sud-est (du 120° au 160°) 11 % pour l'observation contre 9,1 % pour la moyenne. Au détriment du secteur sud-ouest (du 280° au 180°) qui représente 9,3 % des cas observés en hiver 2023, contre 12,9 % pour la moyenne saisonnière.

On note qu'il y a eu plus de vent faible sur la tranche [0 ; 4,5 [m/s qui représente 56,1 % des cas observés contre 51 % des moyennes saisonnières.

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

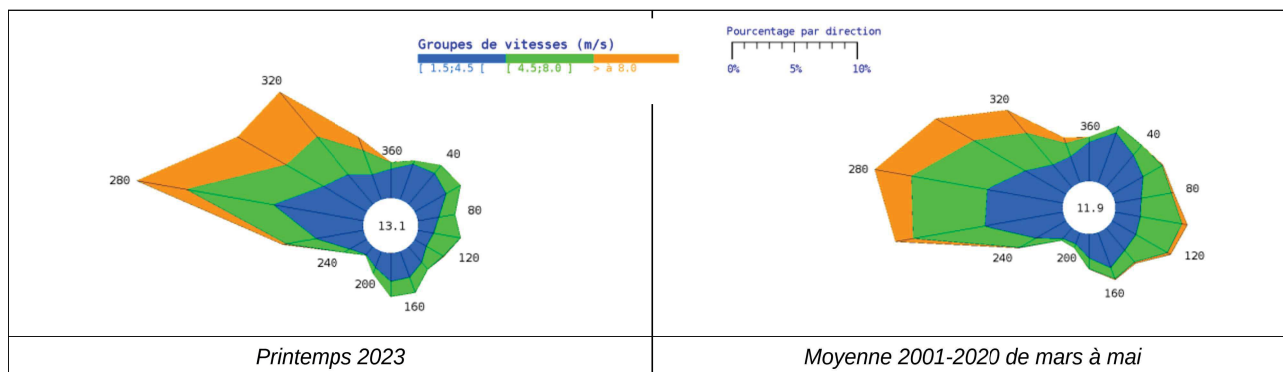


Illustration 38: Roses des vents de mars 2023 à mai 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

Bien que la rose des vents observée du printemps 2023 soit ressemblante à celle de la moyenne sur 20 ans, on note que les vents d'un large secteur ouest à nord-ouest (du 260° au 340°) ont été plus fréquents l'année observée : 59 % des cas mesurés contre 51 % des cas des normales printanières. Également les vents des secteurs est à sud-est (du 80° au 140°) ont été moins observés 12,5 % contre 18,9 % des cas pour les moyennes.

De plus, les vents mesurés >8m/s sont plus marqués de 14,1 % contre 10,3 % pour les normales de saison.

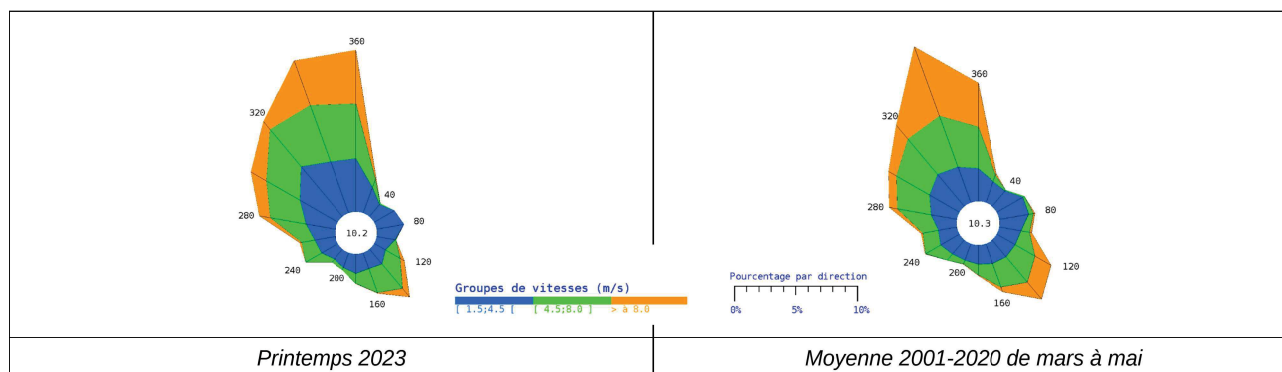


Illustration 39: Roses des vents de mars 2023 à mai 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

A nouveau la rose des vents du printemps 2023 à Arles est similaire en termes de répartition des secteurs ventés à la rose des vents des moyennes printanières. Dans le détail, les vents dans un large secteur nord (du 300° au 020°) sont largement dominants et plus fréquents pour les observations de cette année 56,9 % contre 48,5 % pour les normales saisonnières. A l'inverse les vents de secteur sud-est sont moins représentés cette année 16,5 % des cas observés contre 21,3 % pour les normales.

Également on observe moins de vents forts >8m/s au printemps 2023 : 14,1 % et 18,1 % pour les moyennes sur 20 ans.

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

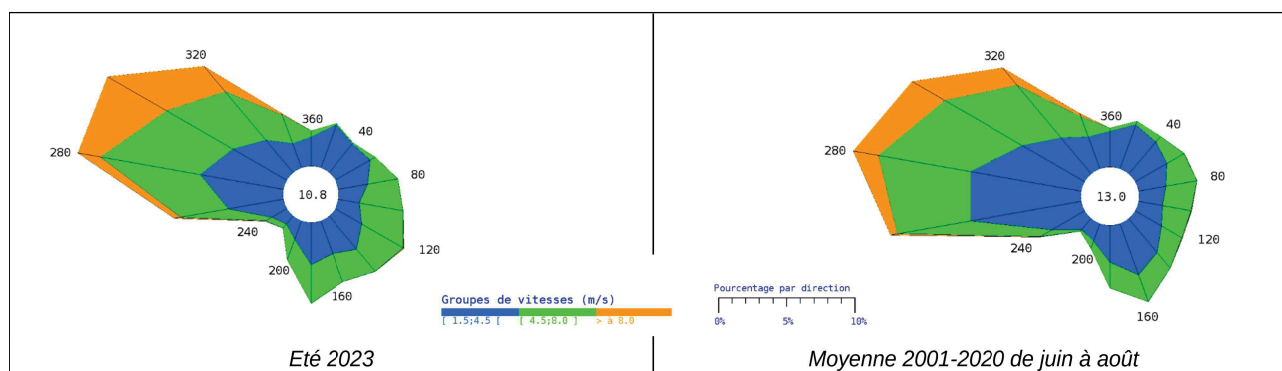


Illustration 40: Roses des vents de juin à août 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

On observe sur la rose des vents de Béziers pour l'été 2023 une fréquence des vents majoritaires de secteur ouest/nord-ouest (du 260 au 340°) légèrement en dessous des moyennes sur 20 ans: 51,8 % contre 55,3 %. Néanmoins les vents dans les secteurs est et sud (du 60 au 200°) ont été plus fréquents cette année 36,7 % contre 30,8 % pour les normales estivales.

On note que les vents >8 m/s sont au-dessus des moyennes de l'été : 8,6 % contre 5,8 %. A l'inverse les vents faibles $[0;4,5[$ m/s sont moins fréquents cet été 2023 : 53,9 % contre 61,3 % pour les normales.

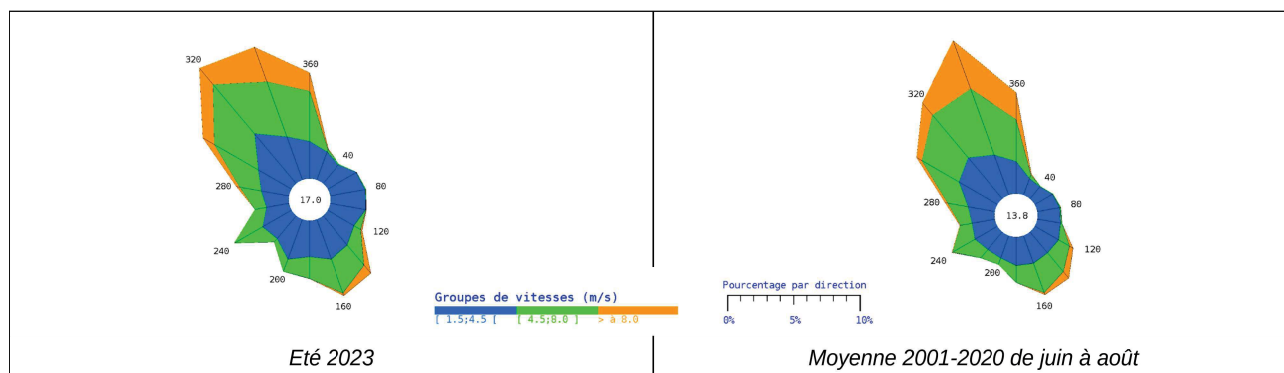


Illustration 41: Roses des vents de juin à août 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

Concernant la rose des vents observée à Arles en été 2023 est toujours très similaire aux moyennes sur 20 ans. Les vents majoritaires dans un large secteur nord ($300-20^\circ$) sont moins présents à l'été 2023, représentent 45,78 % par rapport aux normales estivales sur 20 ans correspondant à 50 % des cas étudiés. Les vents dans un secteur est du ($40-100^\circ$) ont été plus fréquents cette année représentant 11,45 % contre 8,5 % pour les moyennes de saison. Dans les secteurs sud-est et sud-ouest les vents sont similaires aux normales.

De ce fait on retrouve une fréquence de vents faibles de $[0;4,5[$ m/s plus importante à l'été 2023 de 63,4 % par rapport aux normales de saison correspondant à 57,3 %.

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

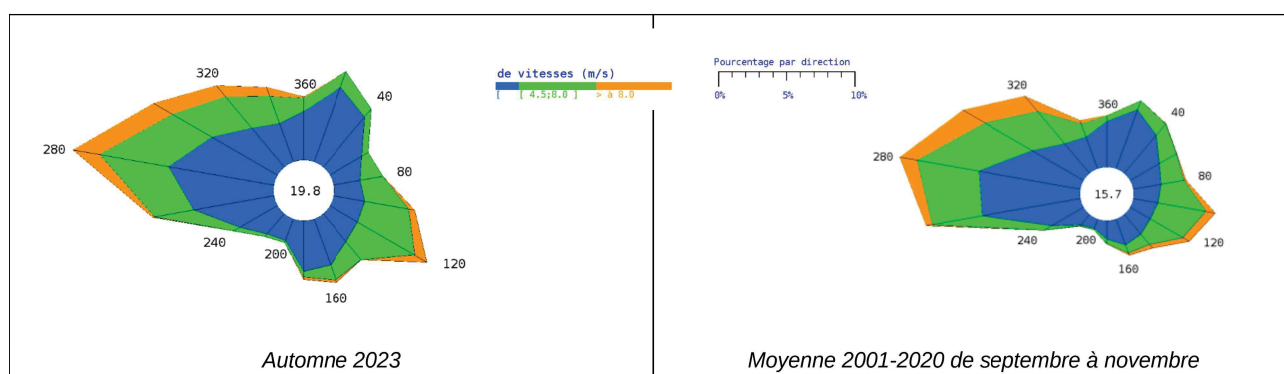


Illustration 42: Roses des vents de septembre à novembre 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

Les deux roses de vent à Béziers de l'automne 2023 ainsi que la moyenne saisonnière 2001-2020 sont ressemblantes. Dans le détail on observe un vent majoritaire dans un large secteur ouest ($260-340^\circ$) moins fréquent pour l'automne observé correspondant à 44,5 % des cas étudiés contre 50,3 % pour les normales saisonnières. Les vents observés dans un large secteur sud ($160-240^\circ$) ont été plus fréquents que la

moyenne sur 20 ans : 15,1 % contre 10,7 % et les vents dans un large secteur est (360-140°) sont semblables.

A noté les vents faibles [0;1,5 [m/s ont été plus fréquents à l'automne 2023 19,8 % contre 15,7 % pour les moyennes.

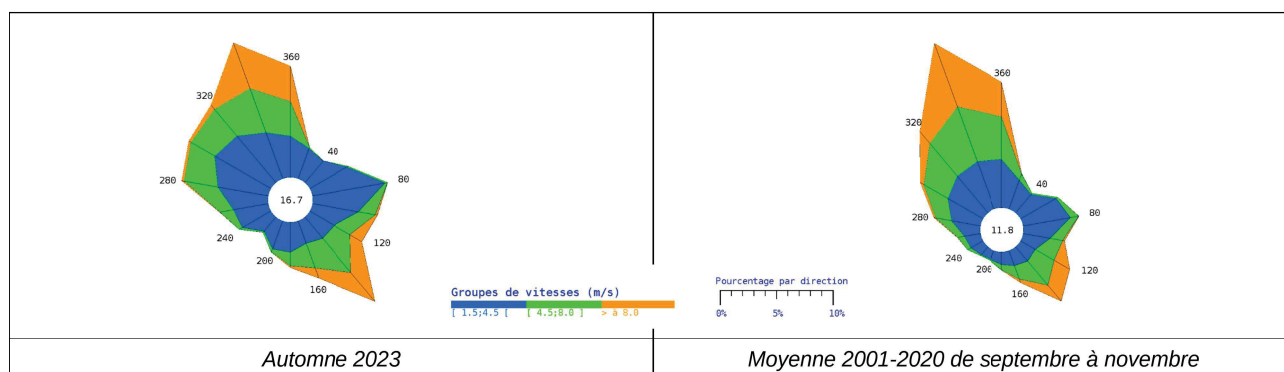


Illustration 43: Roses des vents de septembre à novembre 2023 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

La rose des vents relevés à Arles à l'automne 2023 semble plus « écrasée » que la rose des vents représentant les moyennes saisonnières sur 20 ans. En effet les vents dominants dans un large secteur nord (300-20°) sont moins fréquents cet automne représentant 40,2 % des cas étudiés contre 53 % pour les normales. Les vents dans le secteur sud-est (120-180°) plus fréquents correspondent à 22,9 % des cas contre 18,4 % pour les moyennes saisonnières.

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

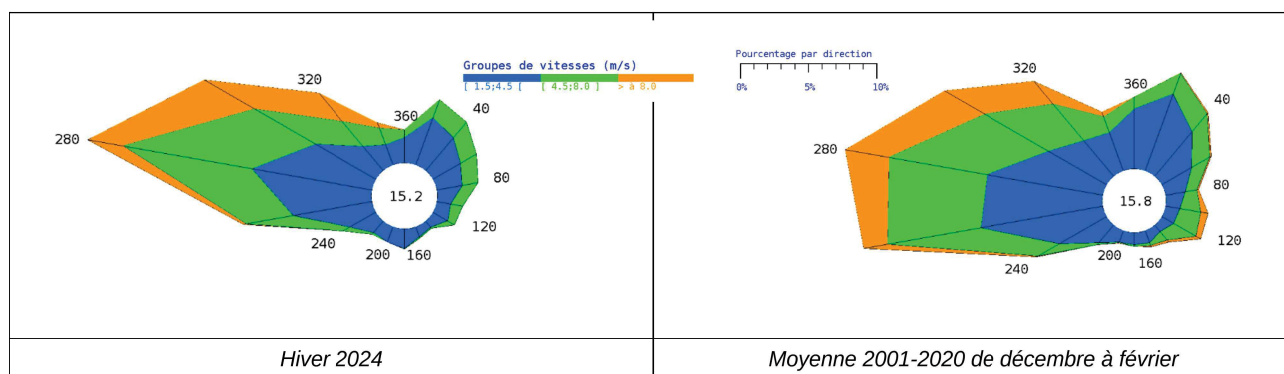


Illustration 44: Roses des vents de décembre 2023 à février 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

L'hiver 2024 sur la station de Béziers est marqué par des vents forts de secteur ouest, on le retrouve sur la rose des vents observée de décembre 2023 à février 2024 par une fréquence de 64,4 % des cas étudiés en comparaison aux normales hivernales sur 20 ans représentant une part de 59 %. Les vents dans un large

secteur est (360-140°) sont moins fréquents cet hiver 2024 avec une fréquence de 26,9 % contre 30,9 % des moyennes saisonnières.

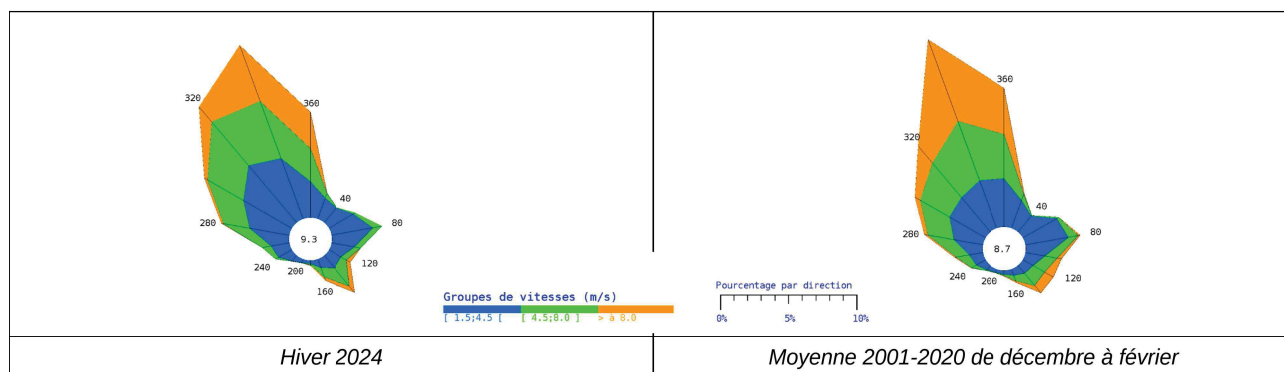


Illustration 45: Roses des vents de décembre 2023 à février 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

La fréquence des vents majoritaires de secteur nord sur la rose des vents d'Arles pour l'hiver 2024 est similaire à celle des normales de saison : 61 % pour les deux. On peut toutefois noter que les vents > 8m/s sont moins fréquents cette année de 13,7 % contre 19,4 % pour les moyennes sur 20 ans.

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

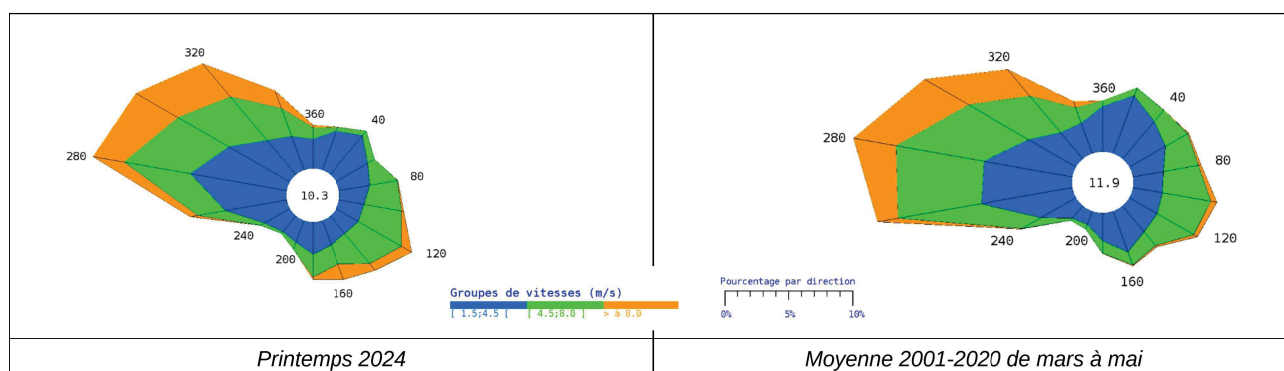


Illustration 46 : Roses des vents de mars à mai 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

La fréquence des vents majoritaires d'un large secteur ouest (du 260° au 340°) sur rose des vents de Béziers du printemps 2024 est similaire à celle des normales de saison sur 20 ans et représente 50 % des cas étudiés pour les deux roses de vent. Ce printemps il y a eu moins de vent de secteur nord-est (Du 360° au 60°) : 13,8 % des cas étudiés contre 16,8 % pour les moyennes printanières. Au contraire, les vents dans un secteur sud-est (du 80° au 180°) ont été plus fréquents ce printemps 2024 : 29,3 % des observations contre 25,5 % des moyennes printanières sur 20 ans.

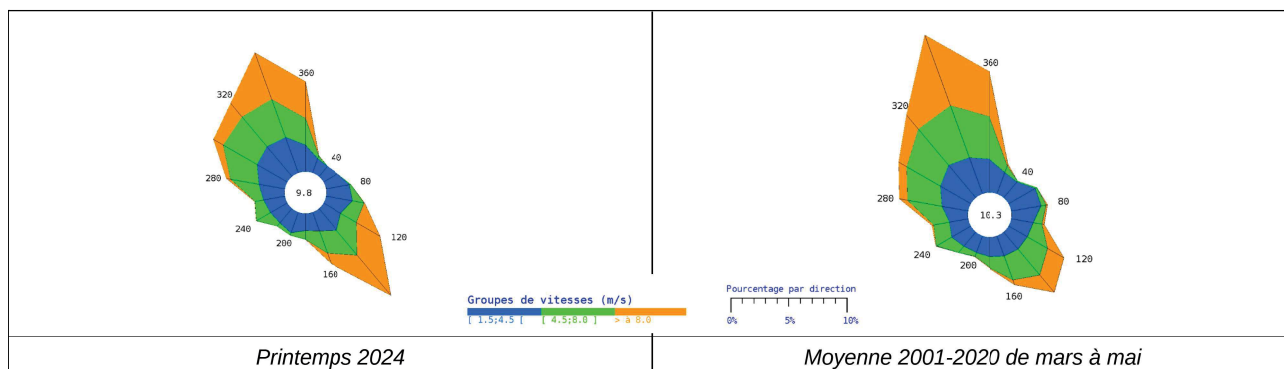


Illustration 47: Roses des vents de mars à mai 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

La rose des vents de la station d'Arles pour le printemps 2024 semble plus « étirée » que la moyenne sur 20 ans. En effet ce printemps on observe moins de vent dans un secteur nord (du 300° au 20°) : 44 % des cas étudiés contre 48,5 % pour les normales de saison. Aussi on observe une fréquence des vents de secteur sud-est (du 120 au 180°) plus importante au printemps 2024 : 27,5 % des observations contre 21,3 % des moyennes printanières sur 20 ans.

i) Analyse du mois de juin 2024

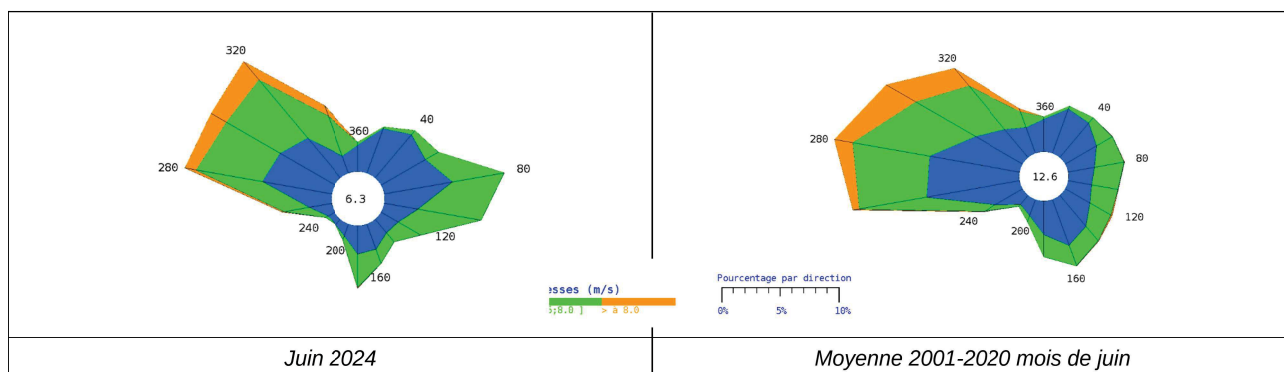


Illustration 48: Roses des vents du mois de juin 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station de Béziers

La rose des vents du mois de juin 2024 est relativement différente par rapport à celle de la moyenne sur la période sur 20 ans. En effet on remarque moins de vent de secteur ouest (du 260 au 340°) en juin 2024, représentant 46,9 % des cas que pour les normales du mois de juin : 52 % des cas. À l'inverse ce mois-ci il y a eu plus de vent dans un large secteur est (du 40 au 140°), à savoir 34,9 % des observations contre 25 % pour les moyennes sur la période.

Les vents faibles [0 ; 1,5 [m/s ont été deux fois moins fréquents ce mois-ci que pour les normales.

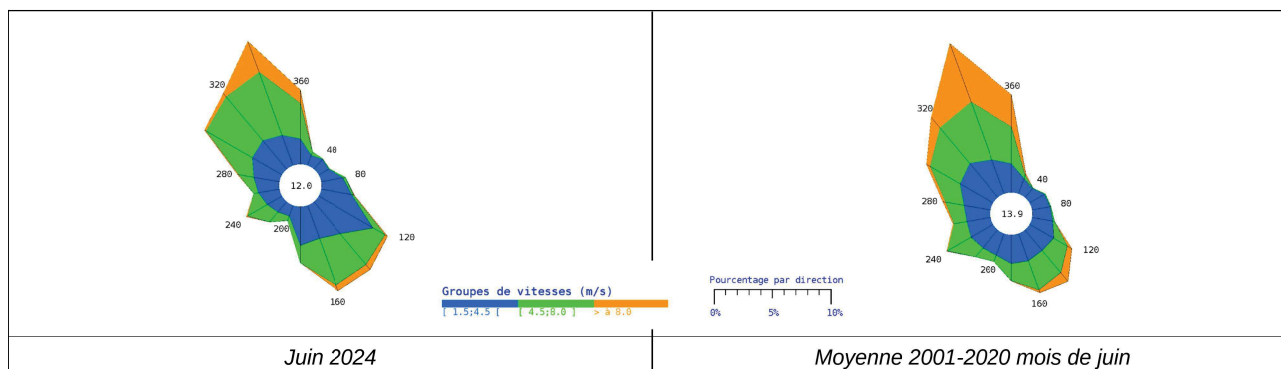


Illustration 49: Roses des vents du mois de juin 2024 et moyenne sur la période 2001-2020 pour la station d'Arles

Sur la rose des vents de juin 2024 on observe une occurrence de vent de secteur nord (du 300° au 20°) moins importante que pour les normales du mois de juin sur 20 ans : 42,5 % contre 47,7 %. Néanmoins les vents dans un secteur Sud-Est (du 120° au 180°) sont plus présents ce mois de juin 2024 : 32,8 % des cas étudiés contre 23,3 % pour les moyennes sur la période.

A noter qu'il y a eu moins de vents forts > 8 m/s ce mois de juin 2024 (qui représente 6,7 % des cas) en comparaison aux normales (12,5 % des cas).

j) Tempêtes / coups de vents

Pour Arles, sur la période de juillet 2022 à juillet 2024, le nombre de vents très forts (rafales supérieures à 28 m/s) est inférieur à la moyenne (4) pour la station d'Arles. On notera les situations de tramontanes (vents de Nord-Ouest) suivantes :

- le 31/01/2023, enregistrement de rafales à 30,7 m/s soit 110 km/h
- le 04/02/2023, enregistrement de rafales à 32,3 m/s soit 116 km/h
- le 24/11/2023, enregistrement de rafales à 28,3 m/s soit 102 km/h
- le 19/01/2024 , enregistrement de rafales à 28,7 m/s soit 103 km/h

Pour Béziers, une seule situation sur la même période a engendré des situations de vents forts :

- le 15/04/2024 , enregistrement de rafales à 28,8 m/s soit 103 km/h (tramontane)

2) Les températures

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

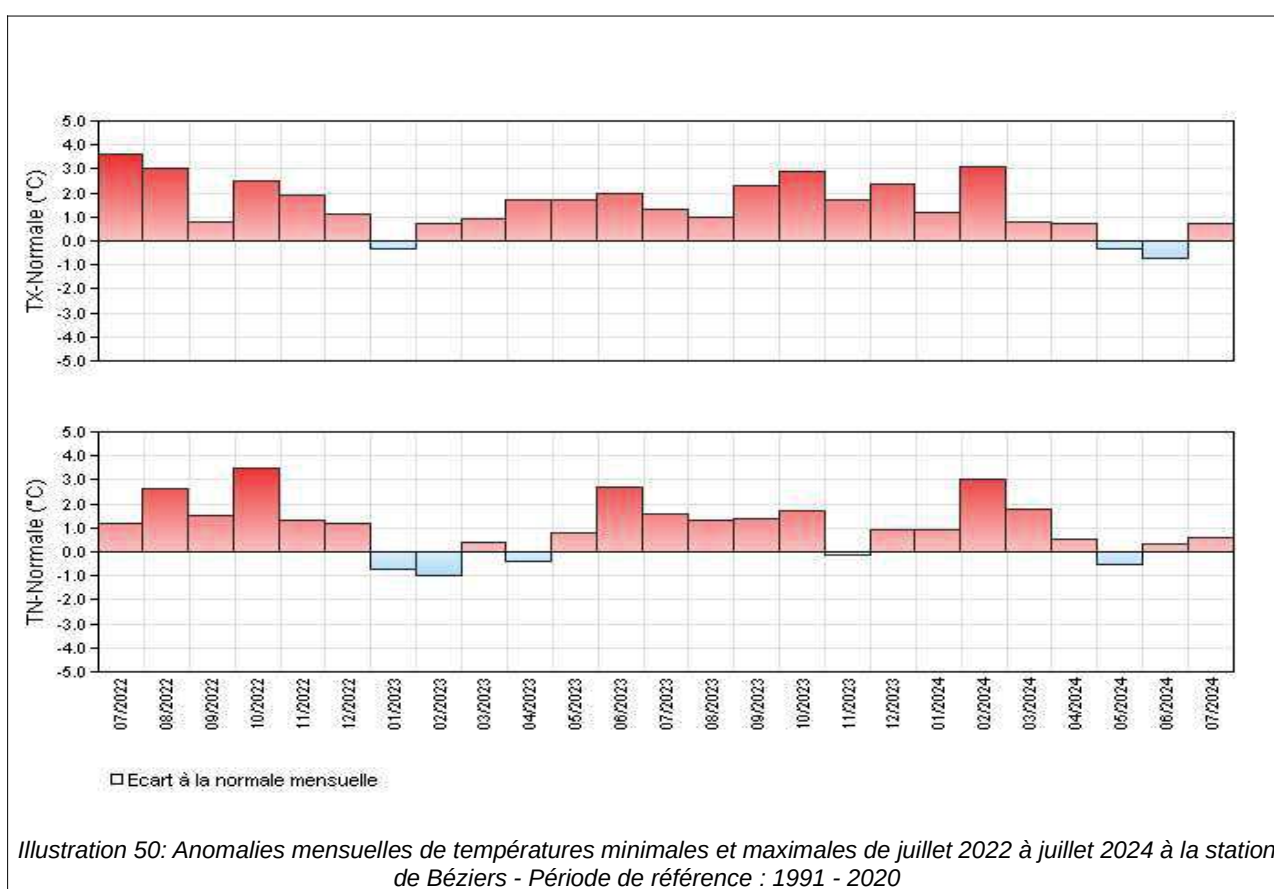
Concernant les températures maximales, exceptés les mois de janvier 2023, mai 2024, et juin 2024, légèrement déficitaires, l'ensemble de la période a été très largement supérieur aux normales établies sur 1991-2020. Les excédents sont particulièrement remarquables de juillet à août 2022 (anomalie de

Température de +3,5 °C), à l'automne 2022 (+ 2 °C), à l'automne 2023 (+2,5 °C), ainsi que pendant l'hiver 2024 avec une anomalie mensuelle +3,0 °C en février 2024.

On observe la même tendance sur le graphe des températures minimales, avec seulement quelques mois déficitaires : janvier / février 2023 (-1°C), avril 2023 / mai 2024, tous deux très proches des normales et novembre 2023, tout juste sous la normale. Tous les autres mois sont excédentaires.

Concernant les températures saisonnières, toutes les saisons sont plus chaudes que les moyennes saisonnières, mais les étés et automnes 2022 et 2023 présentent l'anomalie maximale avec 2°C d'excédent.

La constance et l'intensité de ces excédents de températures sont clairement la marque du changement climatique en cours.



3) Les précipitations

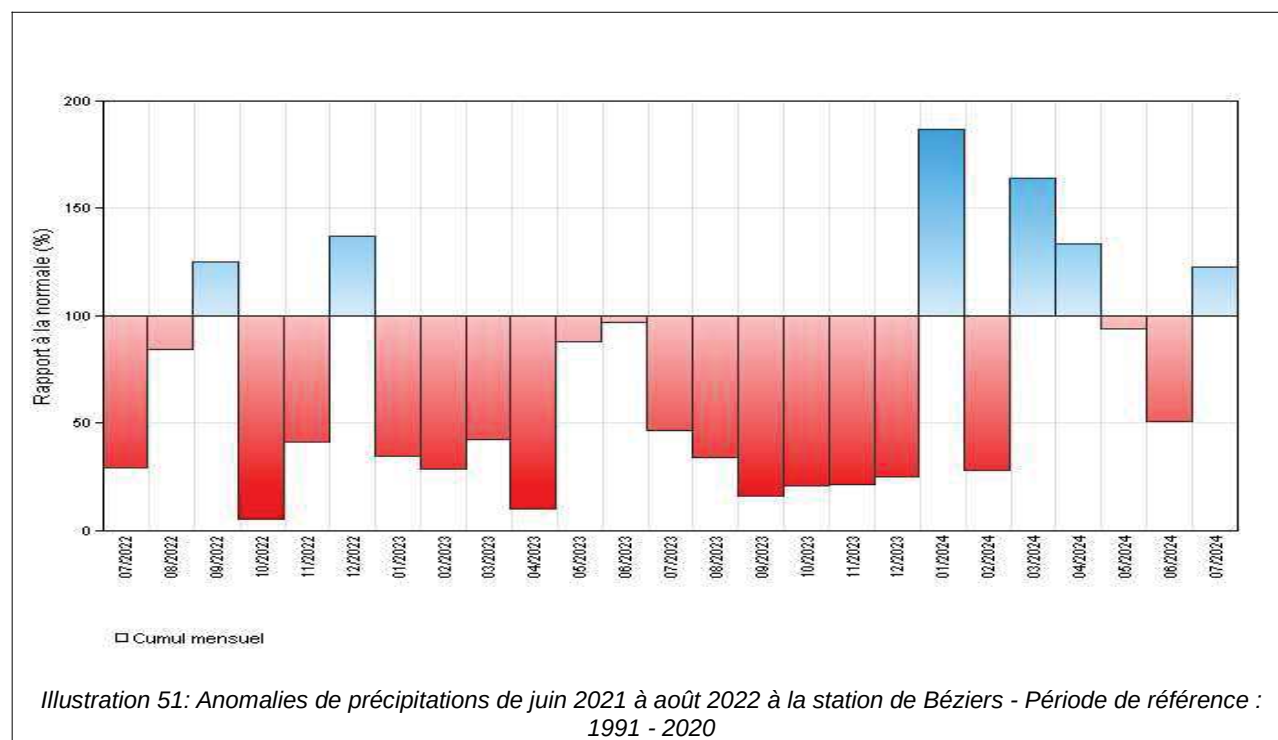
Pour ce paramètre, encore une fois nous ne considérerons que la station de Béziers.

Cette période totale de juillet 2022 à juillet 2024 est globalement plus sèche que la normale 1991-2020, avec uniquement quelques sous-périodes plus arrosées.

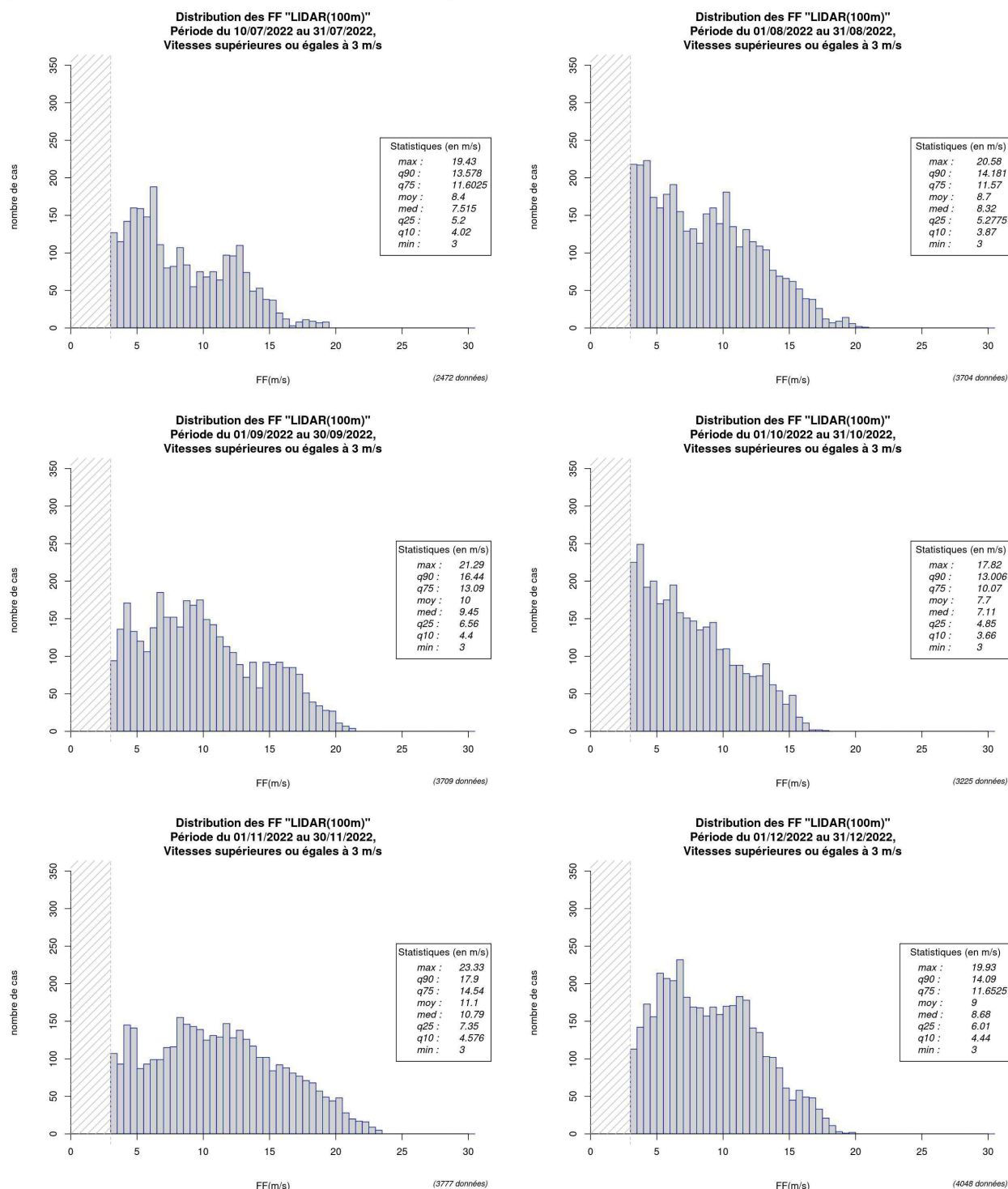
Pour la période sèche, de juillet 2022 à décembre 2023, on note fréquemment des déficits importants supérieurs à 50%, par exemple en octobre 2022 (-95 %), en avril 2023 (-90 %), de l'été à l'automne 2023 (-70% à -80 %).

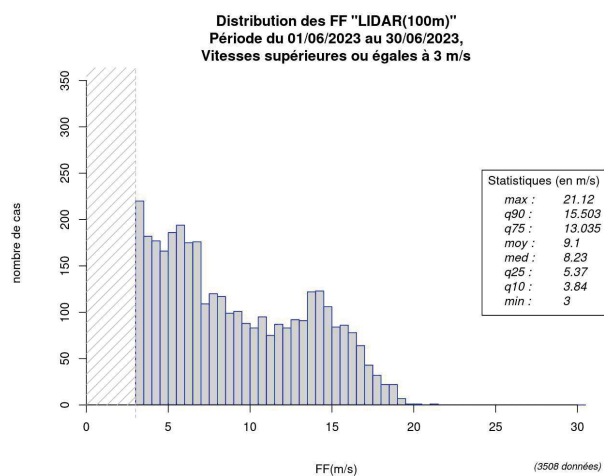
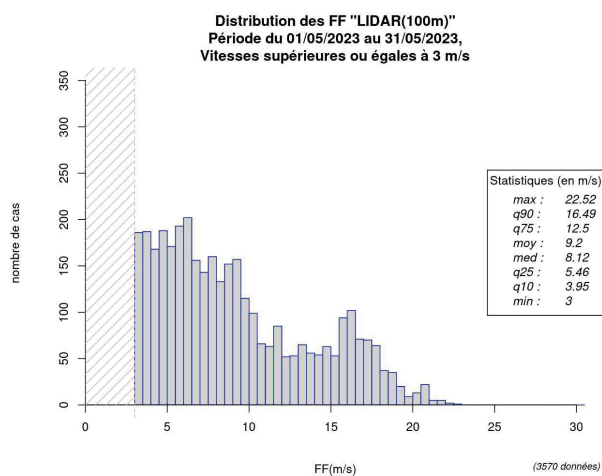
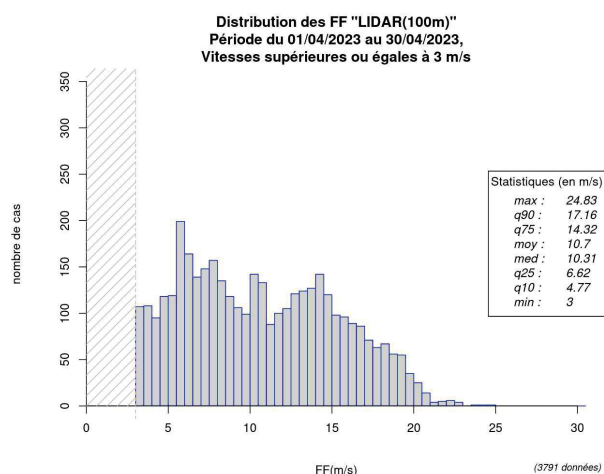
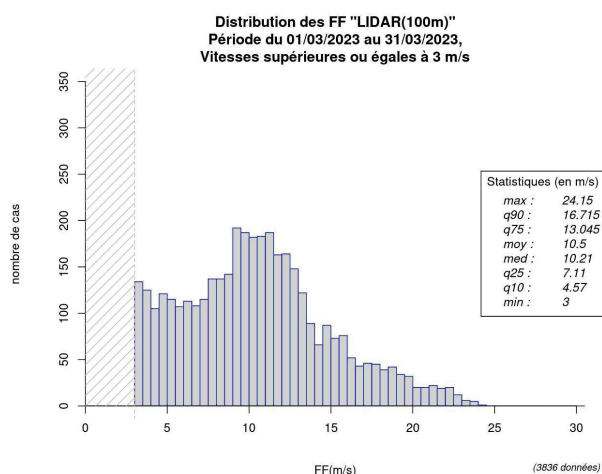
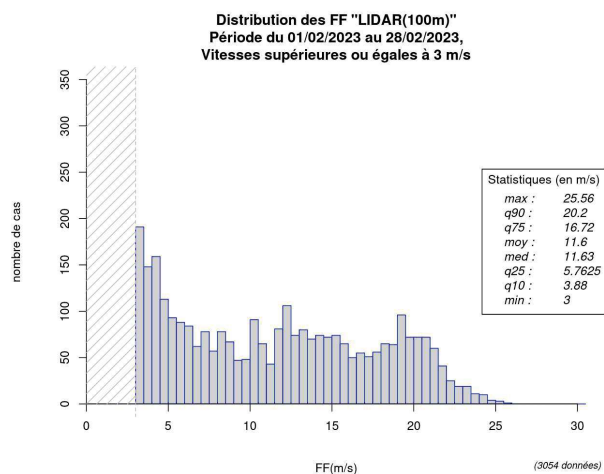
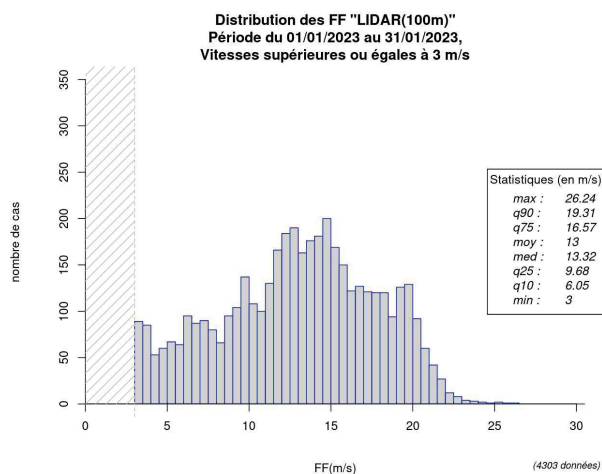
Pour les mois plus humides que les normales, l'excédent de pluie est principalement sur le début d'année 2024 avec des mois de janvier et mars 2024 respectivement à +185 % et + 160 % en juillet 2021. Malgré ces mois arrosés, l'ensemble du début de l'année 2024 semble atteindre tout juste les normales.

En résumé, sur les deux années de mesure, on note une grande corrélation entre les anomalies de température largement positives et un large déficit de précipitation.

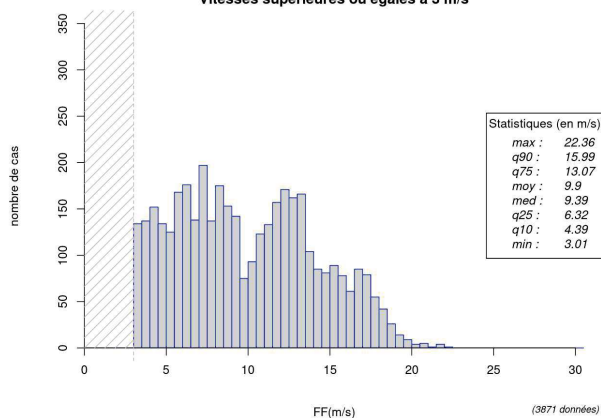


Annexe 3 : Distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

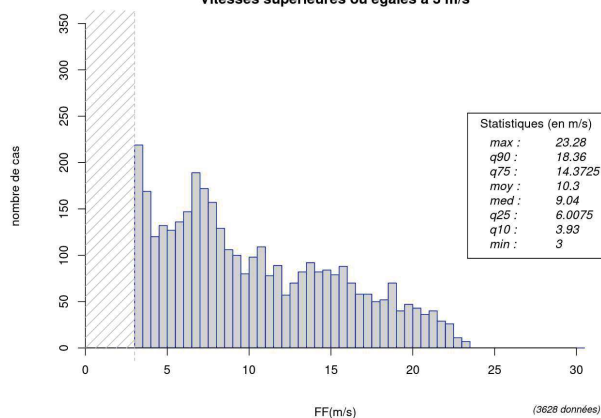




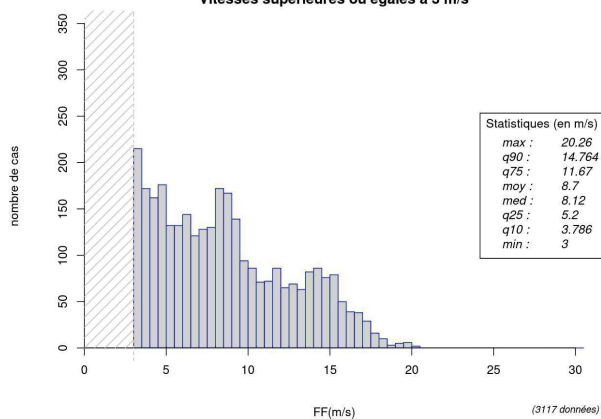
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



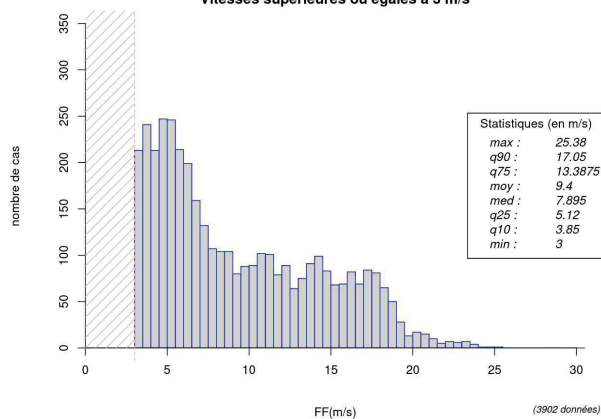
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



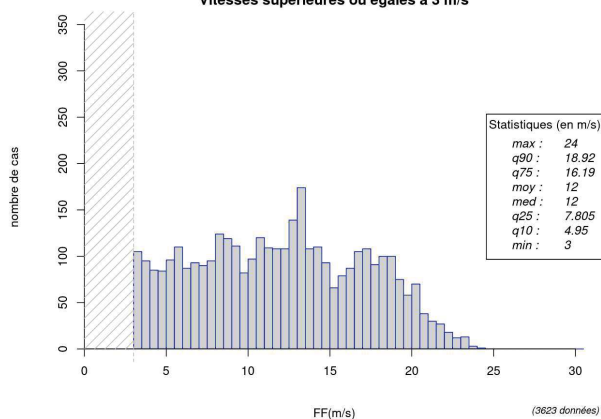
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



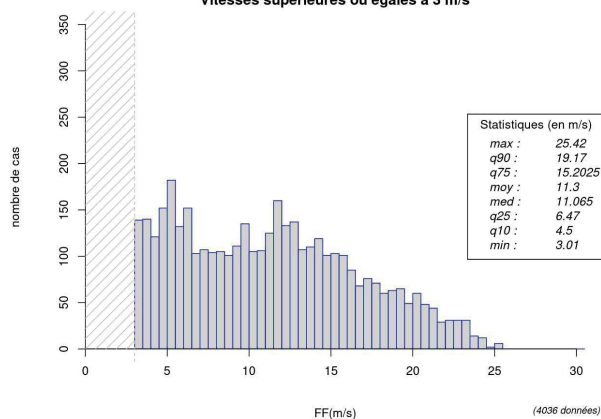
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



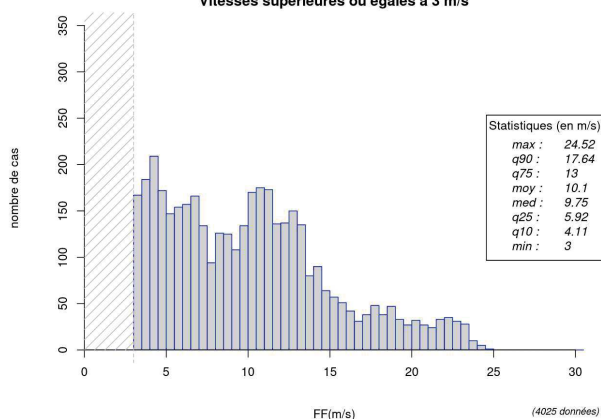
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



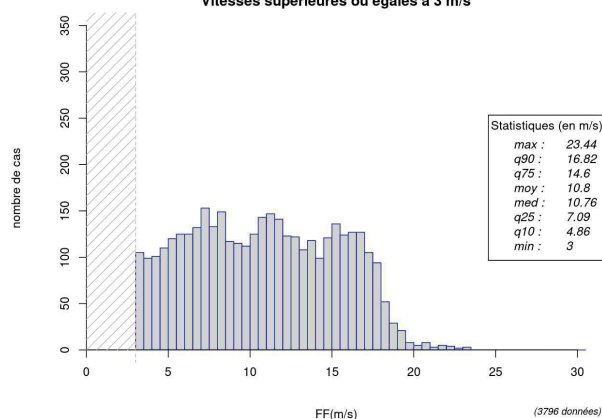
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



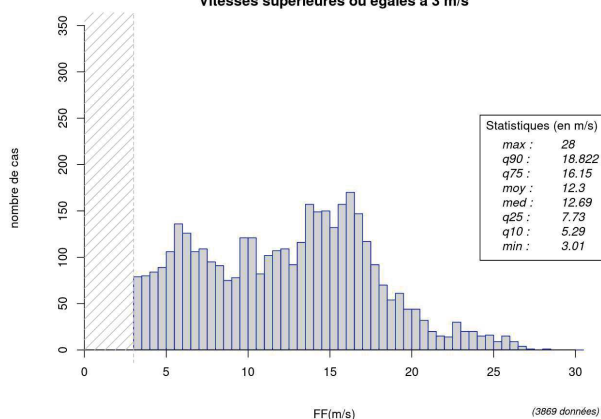
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



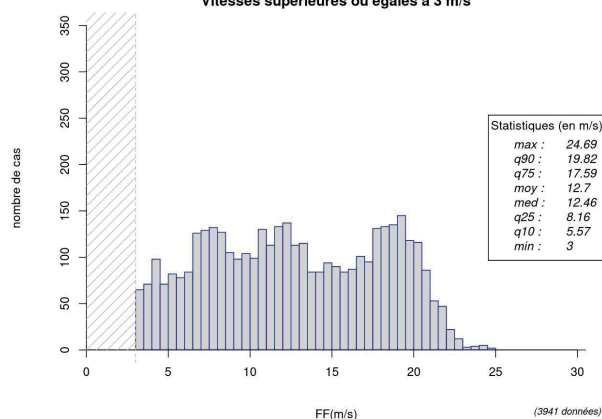
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



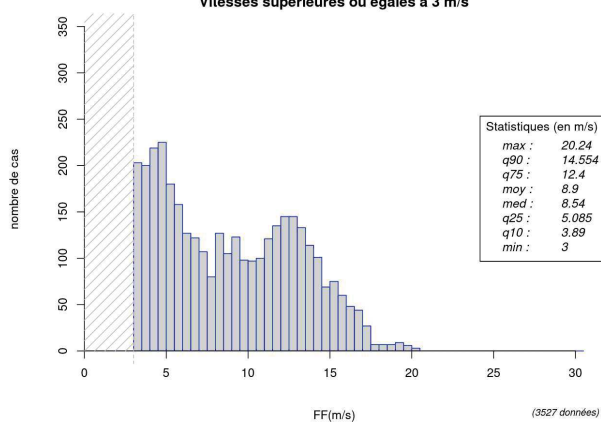
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



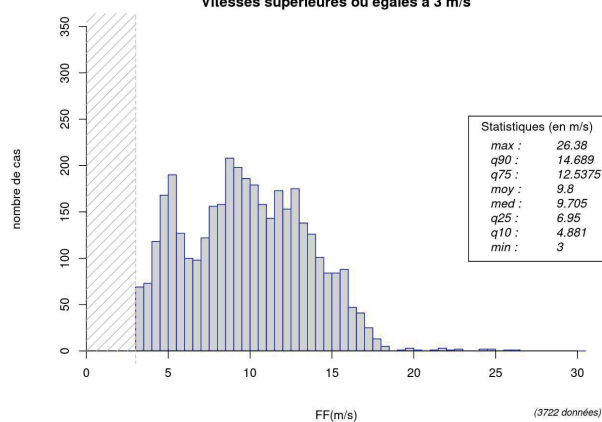
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

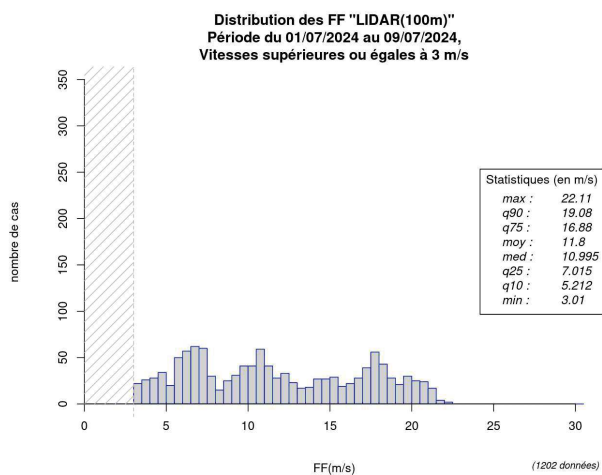


Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



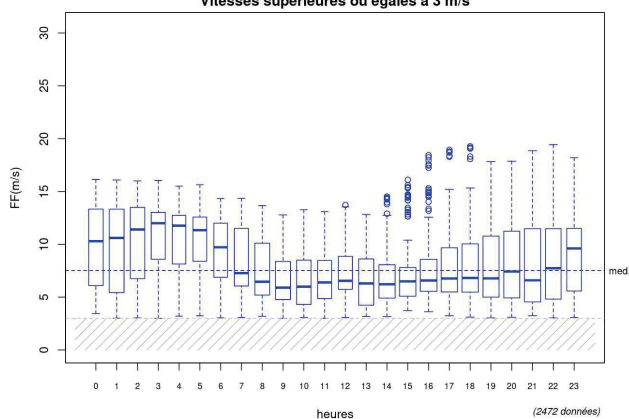
Distribution des FF "LIDAR(100m)"
Période du 01/06/2024 au 30/06/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



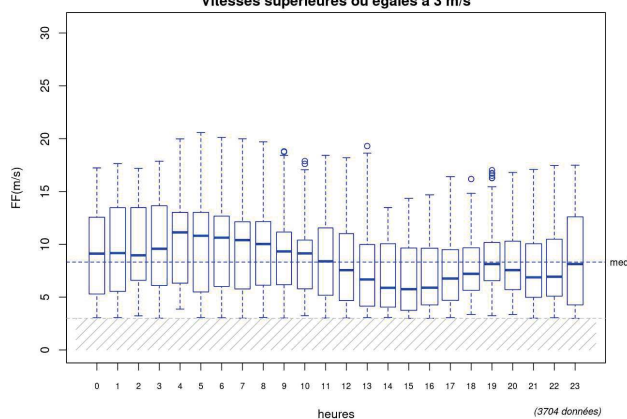


Annexe 4 : Répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

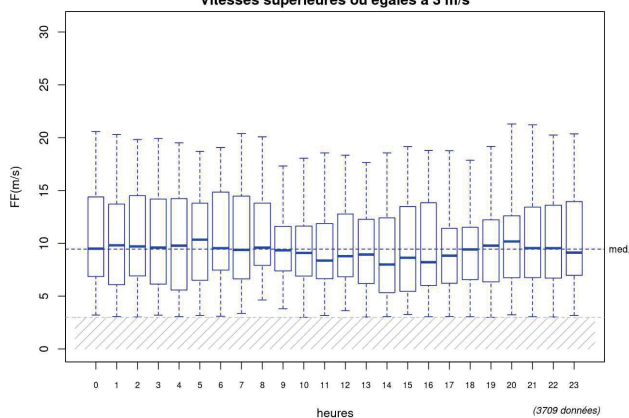
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 10/07/2022 au 31/07/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



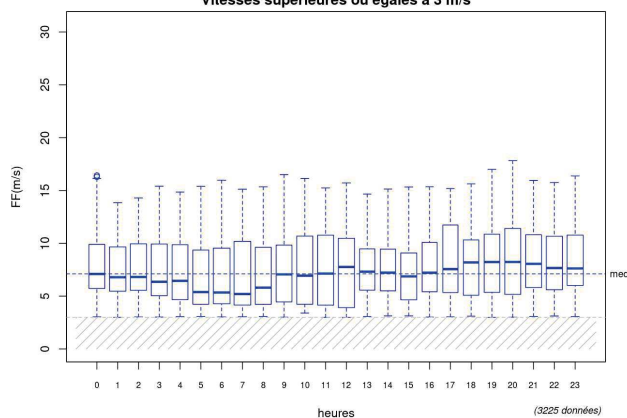
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2022 au 31/08/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



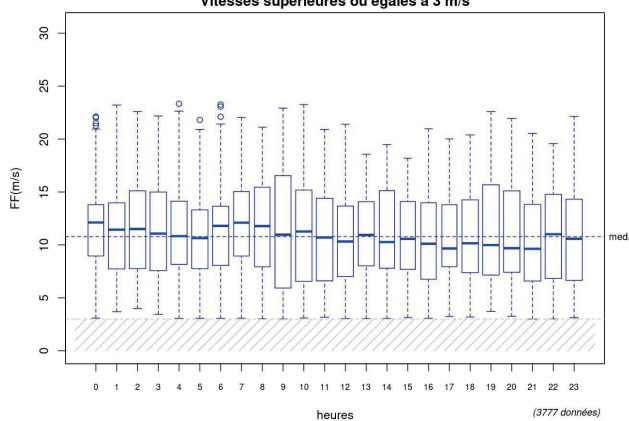
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2022 au 30/09/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



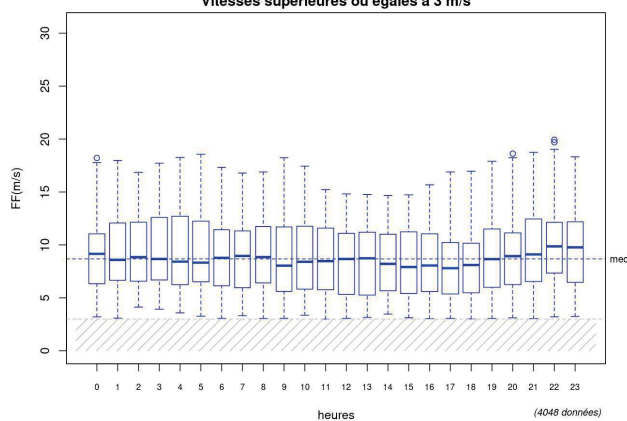
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2022 au 31/10/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



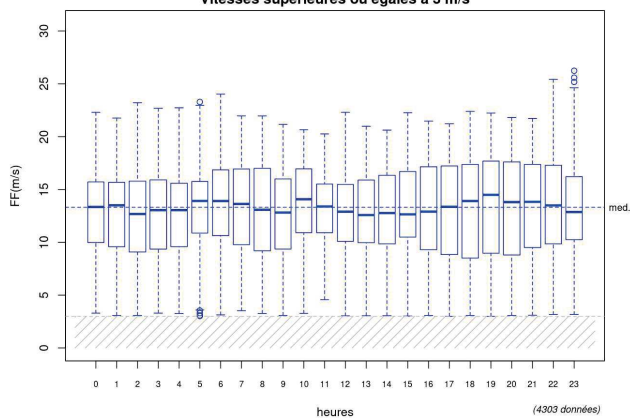
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2022 au 30/11/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



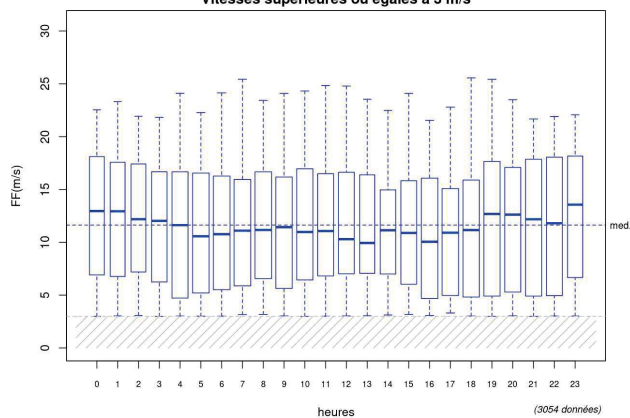
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2022 au 31/12/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



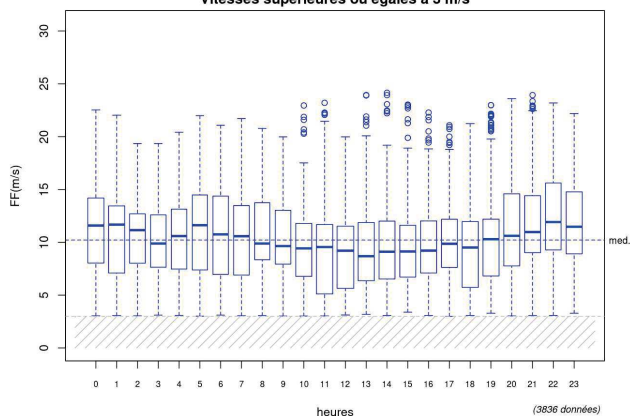
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2023 au 31/01/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



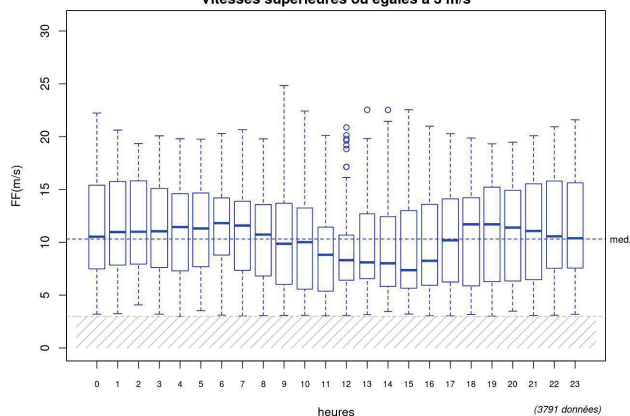
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



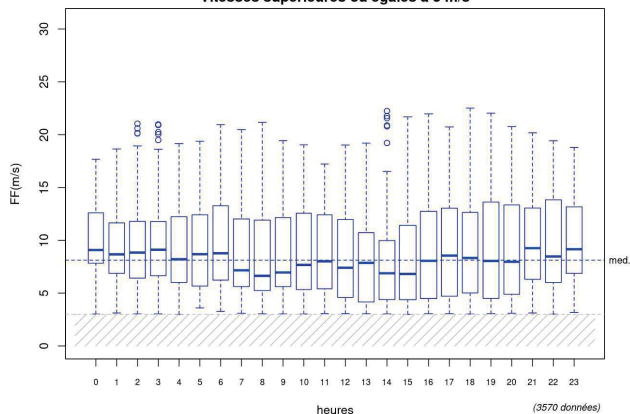
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



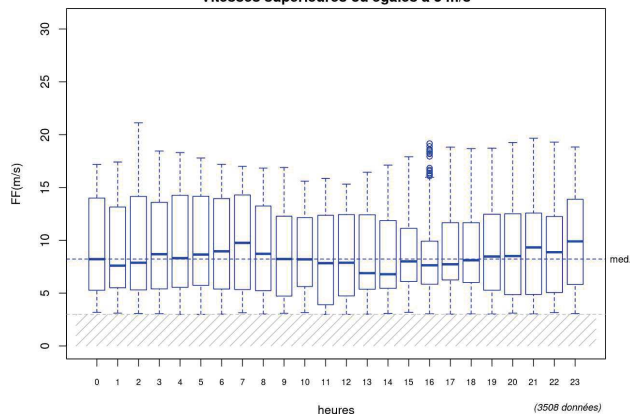
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



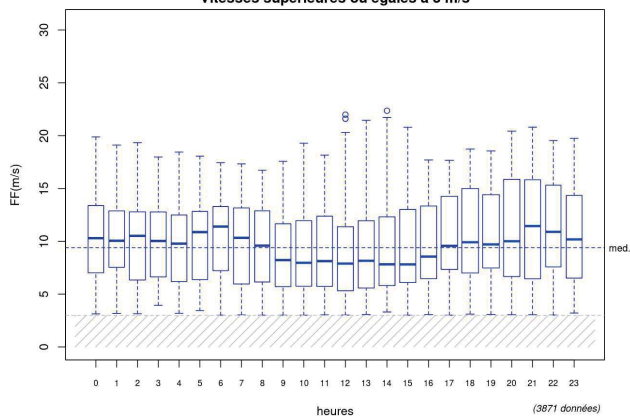
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2023 au 31/05/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



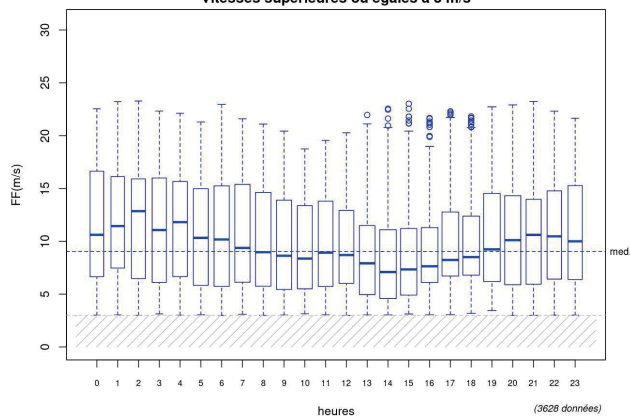
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2023 au 30/06/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



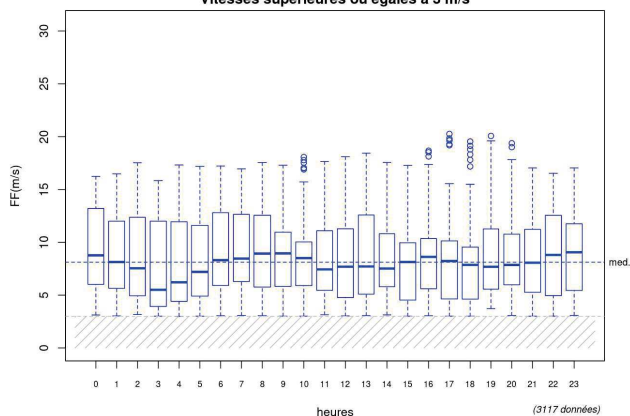
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2023 au 31/07/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



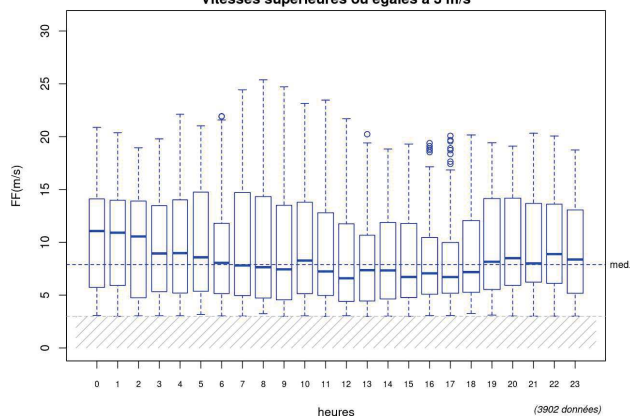
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2023 au 31/08/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



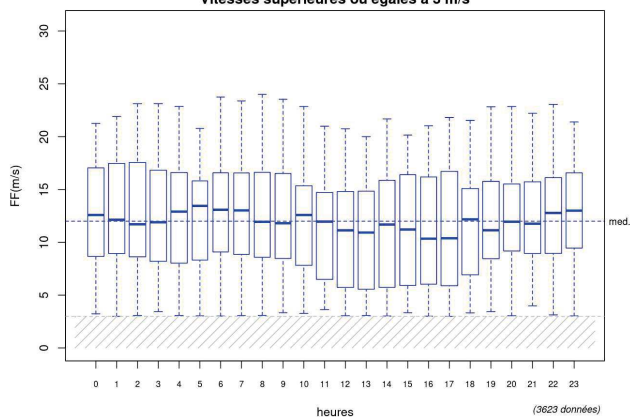
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2023 au 30/09/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



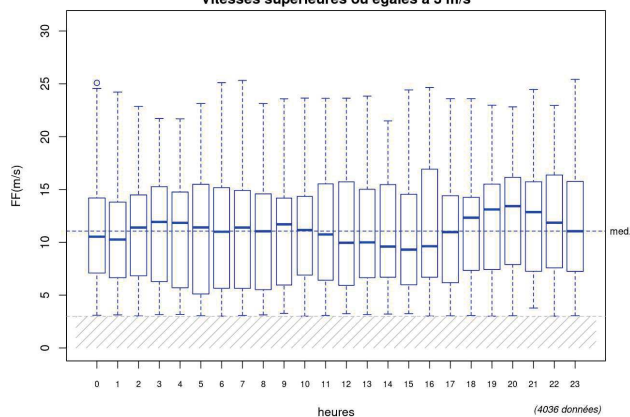
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2023 au 31/10/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



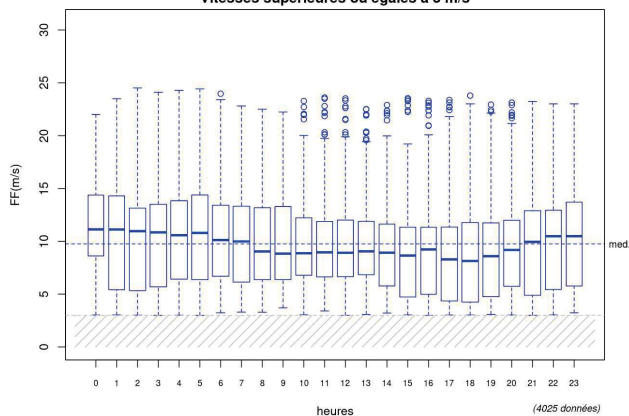
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



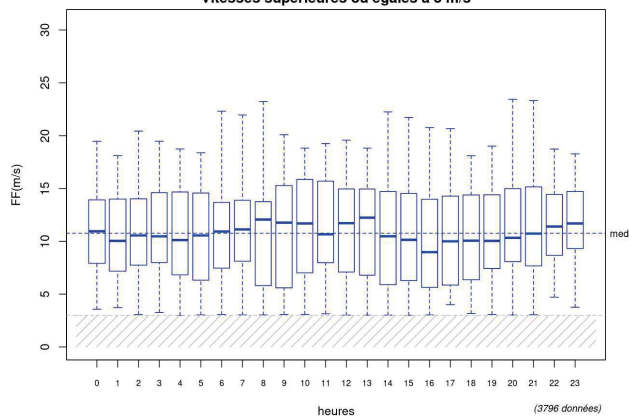
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



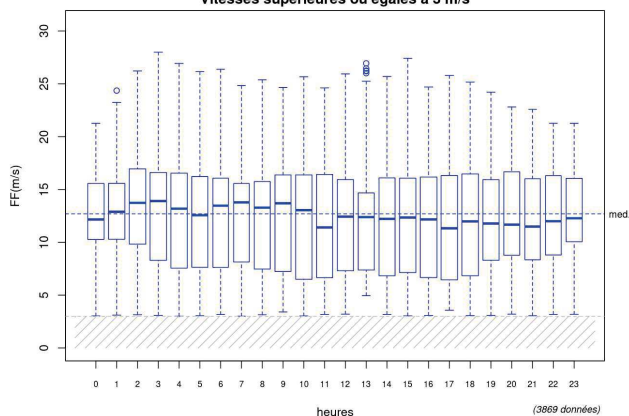
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



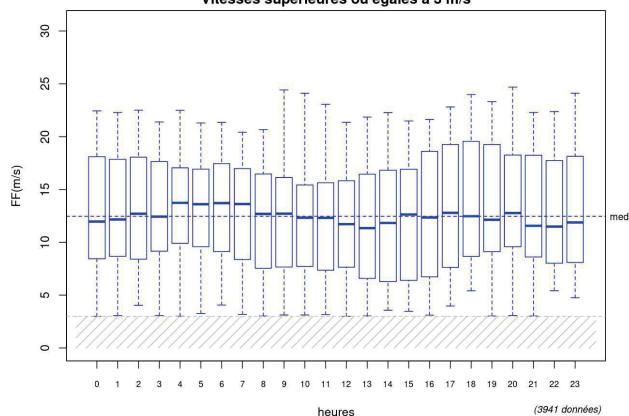
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



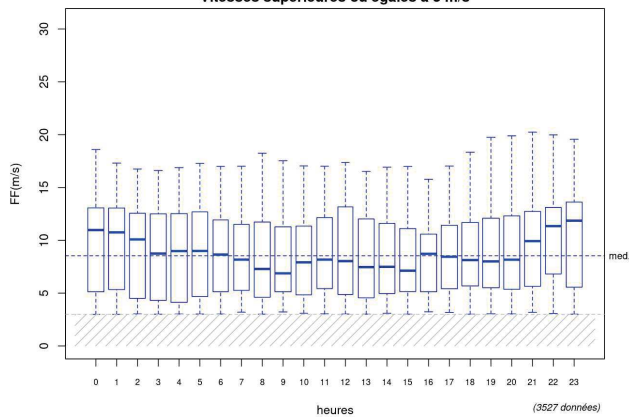
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



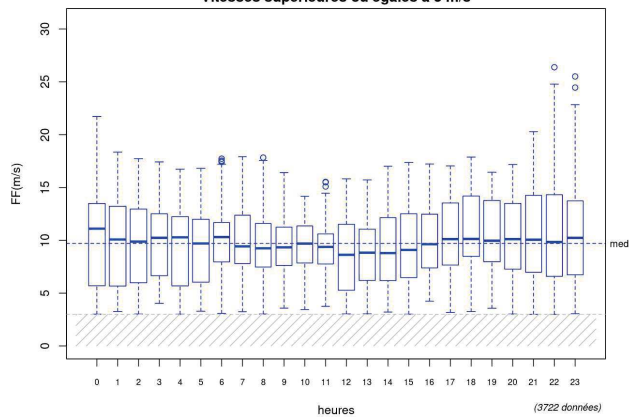
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

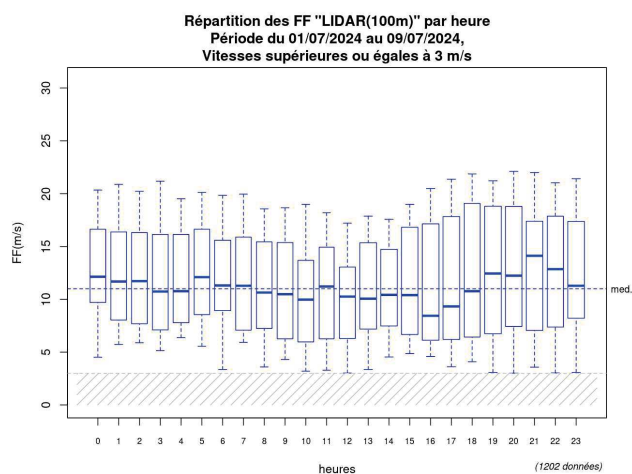


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



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





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

	Directions en degrés												Total
	30,0	60,0	90,0	120,0	150,0	180,0	210,0	240,0	270,0	300,0	330,0	360,0	
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[29,30[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[28,29[	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	0
[27,28[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	0
[26,27[	.	.	.	0,1	.	.	.	.	.	.	0,1	.	0,1
[25,26[	.	.	0	0,1	.	.	.	.	.	0,1	0,1	0	0,4
[24,25[	.	.	0,1	0,3	0	.	.	.	0	0,2	0,2	0,1	0,8
[23,24[	.	.	0,1	0,4	0	0	.	.	0	0,7	0,6	0,3	2,2
[22,23[	.	.	0,1	0,5	0,1	0,1	0	.	0,1	1,2	1,6	0,6	4,3
[21,22[	.	.	0	0,7	0,1	0	0	0	0,2	2	2,3	1,6	7,1
[20,21[	.	.	0	1,3	0,2	0,1	0,1	0	0,3	3,4	3,5	3,4	12,4
[19,20[	.	.	0	1,2	0,2	0,1	0,1	0	0,5	5,3	4,7	4,8	17,2
[18,19[	0	.	0,1	1,6	0,4	0,4	0,3	0	0,7	8	6	4,4	21,8
[17,18[	0	.	0,1	2,1	0,7	0,7	0,2	0,1	0,9	10,5	7,7	5,3	28,3
[16,17[	0	.	0,2	2,9	0,8	1,1	0,3	0,1	1,1	12,1	9,1	5,7	33,4
[15,16[	0,1	0	0,4	4,1	1,3	1,7	0,2	0,2	1,4	13,6	9	7	39
[14,15[	0,2	0	0,4	5,6	1,9	2,1	0,4	0,2	1,5	15,1	9,6	7,2	44,2
[13,14[	0,2	0,1	0,5	7,1	2,5	2	0,5	0,5	1,9	15,4	11,7	7,8	50,1
[12,13[	0,4	0,1	0,4	7,7	4,7	2,5	0,5	1	2,2	14,1	13	8,8	55,4
[11,12[	0,3	0,1	0,5	7,6	7,1	2,2	0,8	1,8	2,4	12,3	12,6	8,7	56,4
[10,11[	0,4	0,1	0,7	7,7	7,1	2,1	0,9	2,3	3,1	11,2	12,4	9,3	57,2
[9,10[	0,7	0,2	1	8	6,7	2,4	1,1	2,8	4,1	10,3	12	8,2	57,5
[8,9[	1,1	0,2	1,4	8,6	7	3,3	1,6	3	5,1	10,5	10	8,9	60,8
[7,8[	2	0,4	1,1	7,5	8,2	3,9	2,8	3,8	5,1	9,3	8,7	7,7	60,4
[6,7[	2,8	0,9	1,5	6,9	11,4	5,1	3,5	4,4	6,2	9,3	8,2	7,4	67,7
[5,6[	3	1	2,4	6,2	11,6	7,3	5,1	4,9	5,4	7	7,6	6,9	68,5
[4,5[	3,3	2,2	2,9	5,3	10,1	9,3	5,9	5,4	5,7	6,5	6,6	6,7	69,9
[3,4[	4,2	3,8	3,7	6,1	10,1	8,2	5,3	5	5,2	5,8	6,5	5,7	69,8
[0,3[	8	7,7	7,7	9,1	12,7	13,4	10,5	8,6	8,7	8,9	9,9	9,8	114,9
Total	26,6	16,9	25,6	108,6	104,7	68,1	40,4	44,2	62	193	173,6	136,4	1000

Nombre de cas : 100837

Analyse de répartition du vent LiDAR observé à 100 m sur la période du 10 juillet 2022 au 09 juillet 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 11,5 % des cas.

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

JUILLET 2022 - LIDAR (100m)

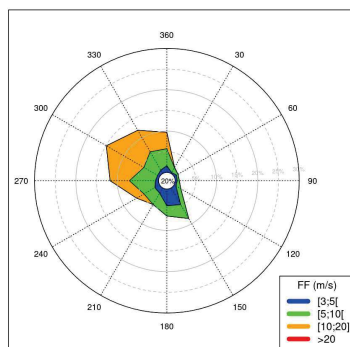


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3080

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.3	1.4	0.1	.	1.7
60	0.7	0.4	.	.	1.1
90	0.5	0.5	.	.	1.0
120	0.6	1.3	.	.	1.9
150	4.7	3.9	.	.	8.5
180	4.1	2.4	.	.	6.5
210	1.5	3.1	.	.	4.6
240	1.4	3.0	2.0	.	6.4
270	0.8	6.3	4.7	.	11.7
300	0.6	3.8	10.5	.	14.9
330	1.0	5.1	6.0	.	12.1
360	1.7	4.1	4.0	.	9.7
Total	17.7	35.4	27.2	.	80.3
[0; 3 [					19.7

AOÛT 2022 - LIDAR (100m)

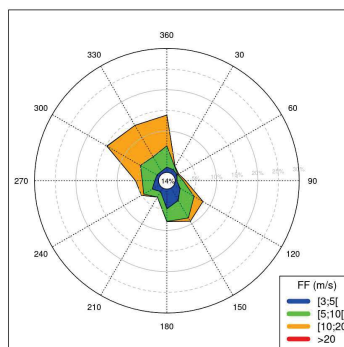


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4223

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	0.8	0.1	.	2.0
60	0.9	0.1	0.3	.	1.3
90	0.4	1.5	0.6	.	2.5
120	1.7	3.9	2.5	.	8.1
150	3.5	4.9	0.9	.	9.3
180	4.8	3.0	0.0	.	7.9
210	1.0	1.5	.	.	2.6
240	2.1	2.4	0.6	.	5.1
270	0.9	3.0	1.6	.	5.6
300	0.8	4.6	9.3	0.1	14.8
330	0.6	4.0	8.8	.	13.5
360	1.3	5.1	7.4	.	13.9
Total	19.2	34.8	32.2	0.1	86.3
[0; 3 [					13.7

SEPTEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

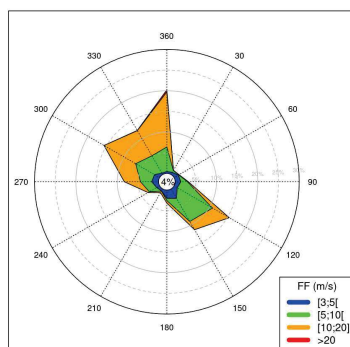


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3747

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.6	0.5	0.1	.	1.2
60	1.2	0.1	0.1	.	1.4
90	1.4	1.6	0.2	.	3.2
120	0.9	9.8	4.7	.	15.4
150	2.6	6.4	2.3	.	11.4
180	2.0	0.5	0.6	.	3.2
210	0.6	0.1	0.4	.	1.0
240	0.9	2.0	0.3	.	3.2
270	1.7	2.7	3.9	.	8.3
300	1.4	5.3	8.8	.	15.5
330	0.4	4.8	7.0	0.1	12.3
360	0.5	5.9	13.3	0.5	20.2
Total	14.3	39.8	41.7	0.6	96.4
[0; 3 [					3.6

OCTOBRE 2022 - LIDAR (100m)

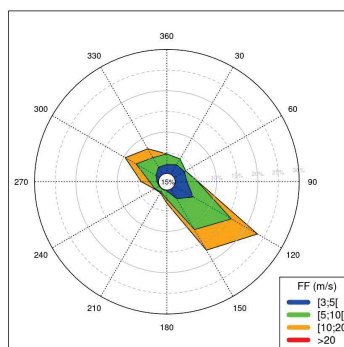


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3793

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.7	1.6	.	.	4.4
60	2.9	0.3	.	.	3.2
90	2.9	2.6	0.1	.	5.5
120	5.4	10.6	7.3	.	23.3
150	2.7	8.6	5.7	.	17.1
180	0.2	2.0	1.0	.	3.2
210	0.1	0.8	0.2	.	1.1
240	0.2	1.2	0.1	.	1.5
270	0.4	1.8	2.0	.	4.2
300	1.0	5.6	3.0	.	9.6
330	2.1	2.6	2.5	.	7.2
360	2.2	2.6	.	.	4.7
Total	22.8	40.2	22.0	.	85.0
[0; 3 [					15.0

NOVEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

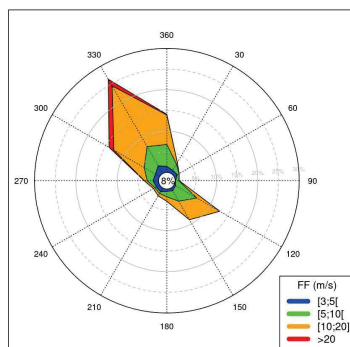


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4093

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	1.7	0.4	.	3.1
60	0.9	0.5	.	.	1.4
90	0.1	0.8	0.1	.	1.0
120	0.4	6.0	6.4	.	12.7
150	0.8	2.9	5.2	.	8.9
180	0.6	1.3	1.1	.	3.0
210	1.0	0.5	0.7	.	2.2
240	1.0	0.4	0.4	.	1.7
270	1.4	1.4	0.7	0.1	3.5
300	1.2	3.1	8.5	1.4	14.2
330	2.2	5.3	17.0	1.8	26.3
360	1.5	5.3	7.1	0.2	14.1
Total	12.0	29.2	47.5	3.4	92.1
[0; 3 [					7.9

DÉCEMBRE 2022 - LIDAR (100m)

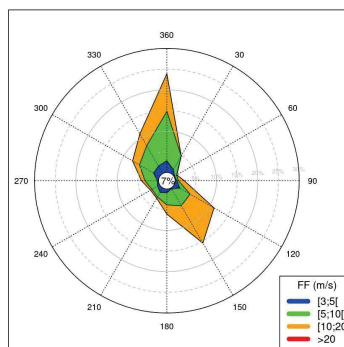


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4389

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	3.8	.	.	4.9
60	0.2	0.5	0.1	.	0.8
90	0.4	0.4	1.4	.	2.2
120	1.6	2.9	6.7	.	11.2
150	0.3	4.7	10.4	.	15.4
180	0.9	2.9	2.2	.	6.1
210	1.3	1.3	0.3	.	2.9
240	0.6	1.6	0.4	.	2.6
270	0.3	3.0	0.8	.	4.1
300	1.7	3.9	1.9	.	7.6
330	2.1	5.7	3.3	.	11.1
360	2.8	11.9	9.1	.	23.8
Total	13.4	42.6	36.7	.	92.7
[0; 3 [					7.3

JANVIER 2023 - LIDAR (100m)

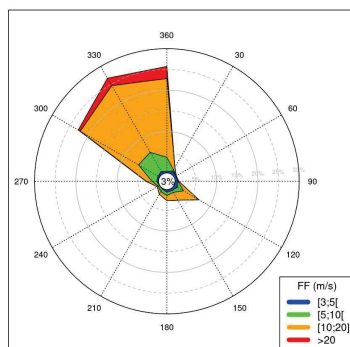


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4446

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	0.3	0.7	.	1.9
60	0.6	0.0	0.0	.	0.6
90	0.6	0.1	0.1	.	0.9
120	0.9	1.7	4.3	.	6.9
150	0.6	0.5	2.2	.	3.3
180	0.7	0.8	1.2	.	2.7
210	0.2	0.7	0.7	.	1.6
240	0.1	0.3	0.3	.	0.7
270	0.4	1.2	1.3	0.1	3.1
300	0.4	5.5	16.2	0.6	22.7
330	0.7	5.3	18.6	2.1	26.7
360	0.3	3.5	19.0	2.9	25.7
Total	6.5	19.9	64.7	5.7	96.8
[0; 3[					3.2

FÉVRIER 2023 - LIDAR (100m)

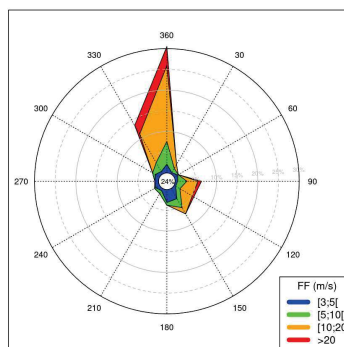


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3997

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.4	1.2	1.1	.	2.7
60	1.1	0.1	.	.	1.2
90	0.6	2.2	2.7	0.9	6.4
120	0.5	1.2	3.5	0.5	5.5
150	2.9	2.5	1.7	.	7.1
180	3.1	0.6	.	.	3.8
210	0.6	0.9	.	.	1.5
240	1.2	0.3	.	.	1.4
270	0.9	.	.	.	0.9
300	1.3	0.7	.	.	2.0
330	0.7	2.5	8.0	2.4	13.6
360	2.1	5.5	18.3	4.7	30.5
Total	15.3	17.6	35.2	8.4	76.4
[0; 3[					23.6

MARS 2023 - LIDAR (100m)

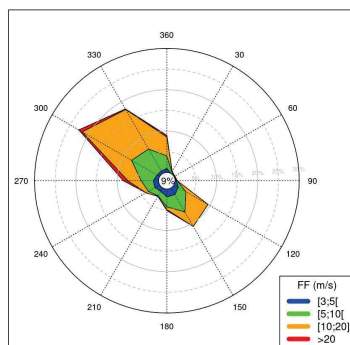


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4210

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.0	0.4	0.2	.	0.6
60	0.1	0.1	.	.	0.2
90	0.3	0.2	.	.	0.5
120	1.2	2.1	6.2	.	9.5
150	1.9	4.8	4.0	.	10.8
180	1.9	2.4	0.7	0.2	5.2
210	1.0	1.3	0.1	.	2.4
240	1.3	1.8	0.7	.	3.8
270	1.3	2.9	3.2	1.1	8.6
300	0.7	7.1	13.8	1.0	22.6
330	0.7	6.1	11.0	0.2	18.1
360	1.0	3.0	4.6	0.4	9.0
Total	11.5	32.1	44.5	2.9	91.1
[0; 3[					8.9

AVRIL 2023 - LIDAR (100m)

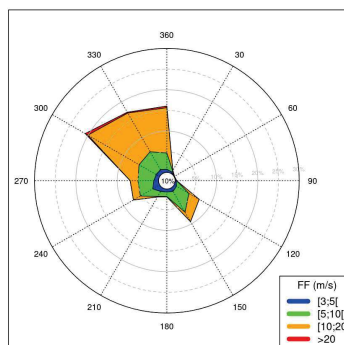


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4190

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.4	0.4	0.1	.	0.9
60	0.1	.	0.0	.	0.1
90	0.3	0.0	0.0	.	0.4
120	0.7	3.5	2.9	.	7.0
150	1.0	5.8	2.6	.	9.4
180	0.7	1.1	0.1	.	1.9
210	1.0	1.4	0.2	.	2.5
240	2.0	3.4	1.9	.	7.3
270	1.1	3.8	1.9	0.0	6.9
300	1.0	4.7	14.3	0.8	20.8
330	1.1	5.0	10.8	0.2	17.1
360	0.8	3.9	11.0	0.4	16.1
Total	10.2	33.0	45.8	1.4	90.5
[0; 3[					9.5

MAI 2023 - LIDAR (100m)

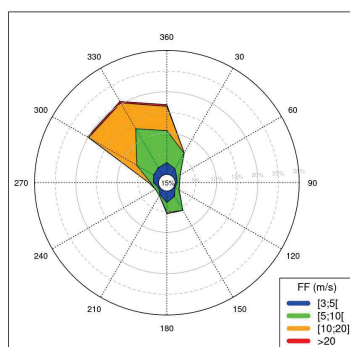


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4119

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.9	4.4	0.1	.	6.4
60	0.8	0.9	.	.	1.7
90	0.5	0.6	.	.	1.1
120	0.3	1.0	0.1	.	1.4
150	1.7	4.0	.	.	5.7
180	2.8	2.3	0.3	.	5.5
210	1.3	0.2	.	.	1.6
240	0.3	0.8	.	.	1.2
270	1.2	0.7	0.4	.	2.4
300	1.7	4.7	13.4	0.3	20.2
330	2.2	10.9	7.2	0.4	20.7
360	2.9	7.7	5.9	0.4	16.9
Total	17.7	38.3	27.5	1.2	84.6
[0; 3[					15.4

JUIN 2023 - LIDAR (100m)

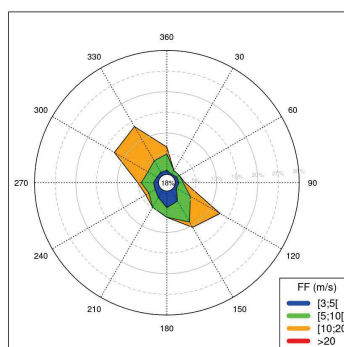


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4295

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.3	1.0	.	.	1.4
60	0.8	0.7	.	.	1.5
90	1.0	1.0	0.4	.	2.4
120	0.7	3.8	8.3	0.0	12.9
150	3.1	5.9	1.5	.	10.5
180	4.1	2.3	0.0	.	6.4
210	2.1	2.7	.	.	4.9
240	1.3	1.7	0.9	.	3.9
270	1.2	3.0	0.8	.	5.0
300	0.8	2.5	9.4	.	12.6
330	0.9	3.2	9.5	.	13.7
360	1.0	4.0	1.7	.	6.6
Total	17.3	31.8	32.5	0.0	81.7
[0; 3[					18.3

JUILLET 2023 - LIDAR (100m)

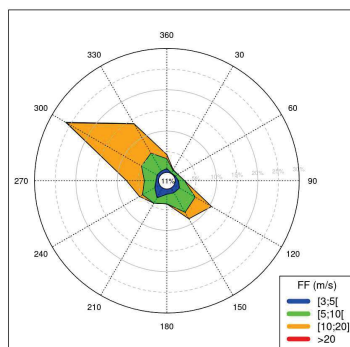


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4337

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.2	0.7	0.1	.	1.1
60	0.3	0.7	0.0	.	1.1
90	0.9	1.4	0.0	.	2.3
120	1.5	4.4	4.6	.	10.5
150	1.4	5.4	1.8	.	8.6
180	1.3	2.3	0.0	.	3.6
210	2.8	1.5	0.0	.	4.3
240	1.4	3.4	0.8	.	5.6
270	0.6	2.8	4.3	.	7.7
300	0.8	4.3	20.9	0.3	26.3
330	0.7	5.0	8.2	0.1	13.9
360	0.9	2.4	1.0	.	4.3
Total	12.8	34.3	41.8	0.3	89.3
[0; 3 [					10.7

AOÛT 2023 - LIDAR (100m)

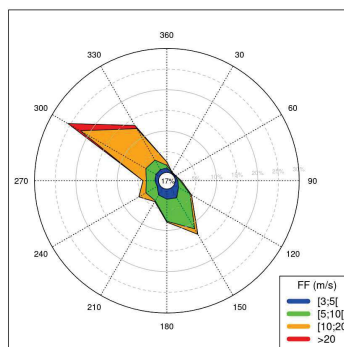


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4357

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.3	0.2	.	.	0.4
60	0.3	0.1	.	.	0.4
90	0.7	0.5	0.3	.	1.5
120	1.3	3.2	0.4	.	4.9
150	2.8	8.7	1.5	.	13.0
180	2.5	5.3	0.2	.	8.0
210	2.0	1.6	0.2	.	3.8
240	0.7	3.1	2.0	.	5.8
270	0.9	2.0	0.8	.	3.8
300	1.1	2.8	18.3	3.5	25.7
330	1.1	2.7	8.8	0.9	13.4
360	1.1	0.6	0.8	0.0	2.5
Total	14.7	30.8	33.3	4.4	83.3
[0; 3 [					16.7

SEPTEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

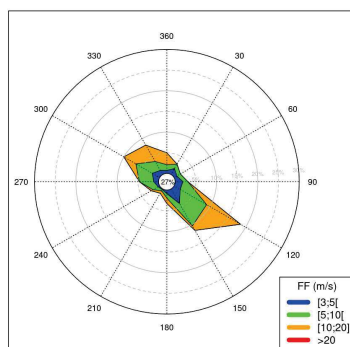


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4292

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.7	1.2	.	.	2.9
60	0.8	1.0	.	.	1.7
90	1.9	1.2	.	.	3.1
120	1.7	7.4	9.5	0.0	18.6
150	4.1	6.2	1.2	.	11.6
180	0.9	1.1	1.3	.	3.3
210	0.2	0.3	0.7	.	1.2
240	0.4	1.4	0.5	.	2.4
270	1.2	3.5	.	.	4.6
300	2.1	4.5	3.4	.	10.0
330	1.2	2.5	4.6	.	8.2
360	0.7	1.4	2.9	.	5.0
Total	16.9	31.7	24.0	0.0	72.6
[0; 3 [					27.4

OCTOBRE 2023 - LIDAR (100m)

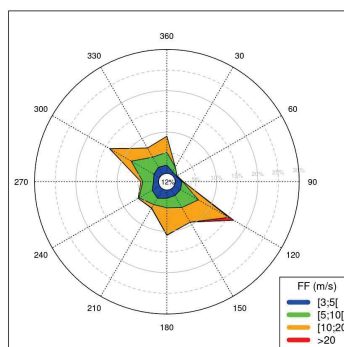


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4438

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.8	1.3	.	.	2.1
60	0.7	0.1	.	.	0.8
90	1.7	0.2	0.2	.	2.0
120	1.8	4.9	8.5	1.4	16.7
150	1.9	3.3	4.1	.	9.3
180	2.0	2.3	6.6	0.1	11.0
210	2.6	1.8	1.0	0.1	5.4
240	2.1	3.7	0.2	.	6.0
270	1.2	2.6	0.5	.	4.3
300	1.6	6.3	6.0	0.0	14.0
330	2.1	2.8	2.5	.	7.4
360	2.0	3.1	3.9	.	9.0
Total	20.6	32.3	33.4	1.6	88.0
[0; 3 [					12.0

NOVEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

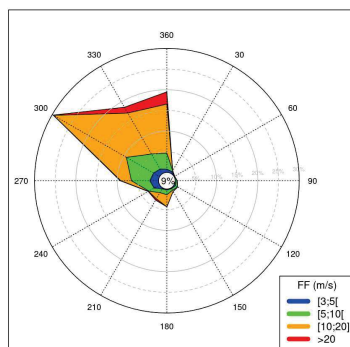


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 3860

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.5	0.3	.	.	0.8
60	0.1	0.1	.	.	0.2
90	0.1	0.3	0.1	.	0.5
120	0.4	0.6	0.0	.	1.0
150	0.2	0.5	0.3	.	1.0
180	0.3	1.1	2.9	.	4.3
210	0.3	1.1	1.7	0.4	3.4
240	1.6	1.4	0.1	0.1	3.2
270	2.1	4.4	2.6	0.2	9.3
300	1.7	7.6	20.3	0.1	29.7
330	1.3	4.2	11.4	1.6	18.5
360	0.8	3.9	11.9	3.0	19.5
Total	9.3	25.4	51.4	5.3	91.5
[0; 3 [					8.5

DÉCEMBRE 2023 - LIDAR (100m)

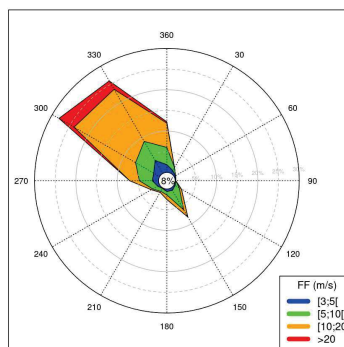


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 4393

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.9	0.8	.	.	1.7
60	0.4	0.0	.	.	0.4
90	0.2	.	.	.	0.2
120	0.3	1.2	0.6	.	2.1
150	0.7	5.4	2.0	.	8.1
180	0.6	0.8	1.1	.	2.5
210	0.2	0.8	0.3	.	1.3
240	0.6	1.4	0.4	.	2.3
270	1.5	3.1	2.3	0.0	7.0
300	1.7	5.1	17.2	4.2	28.1
330	3.7	5.3	14.5	2.4	25.9
360	1.9	4.2	5.9	0.3	12.2
Total	12.6	28.0	44.3	7.0	91.9
[0; 3 [					8.1

JANVIER 2024 - LIDAR (100m)

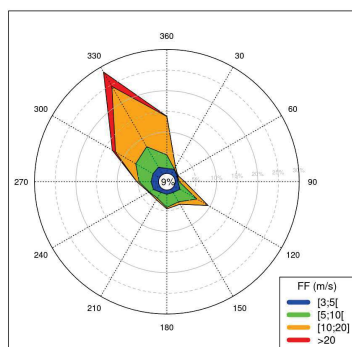


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4427

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.5	0.1	0.6	.	2.2
60	0.9	0.1	0.0	.	1.0
90	0.7	0.3	1.3	.	2.3
120	1.7	4.7	3.1	0.0	9.5
150	1.0	2.6	0.7	.	4.3
180	1.0	3.2	0.3	.	4.6
210	1.0	1.6	0.4	.	3.0
240	1.8	1.2	0.1	.	3.0
270	1.8	2.9	0.5	.	5.3
300	1.9	4.8	5.6	0.9	13.2
330	2.1	5.7	16.8	4.1	28.7
360	1.2	3.3	9.3	0.1	13.8
Total	16.5	30.4	38.9	5.1	90.9
[0; 3]					9.1

FÉVRIER 2024 - LIDAR (100m)

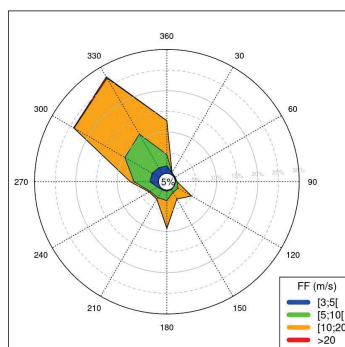


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 3993

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.5	0.1	.	.	0.5
60	0.3	.	.	.	0.3
90	0.2	0.3	.	.	0.5
120	0.1	1.1	3.8	.	4.9
150	0.2	0.7	1.9	.	2.8
180	0.3	2.3	6.6	0.2	9.3
210	0.3	2.2	0.4	0.0	2.9
240	0.6	2.0	0.3	.	3.0
270	2.1	3.8	0.9	.	6.8
300	2.1	7.6	14.2	0.2	24.0
330	1.9	9.4	15.6	0.4	27.3
360	1.9	2.7	8.2	0.1	12.8
Total	10.4	32.1	51.8	0.8	95.1
[0; 3]					4.9

MARS 2024 - LIDAR (100m)

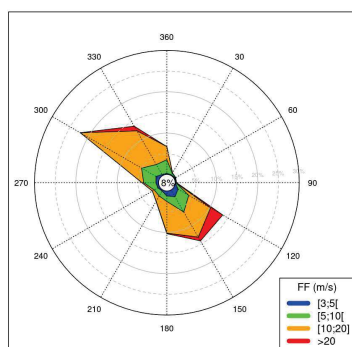


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4220

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.2	0.4	0.1	.	0.7
60	0.3	0.2	.	.	0.5
90	0.0	0.1	.	0.2	0.4
120	1.1	3.0	6.1	3.4	13.6
150	1.9	4.3	7.0	1.1	14.2
180	1.2	1.3	7.7	0.1	10.3
210	0.3	1.4	1.4	0.1	3.2
240	0.5	1.0	0.5	.	2.0
270	0.7	2.9	0.4	.	4.0
300	1.0	4.0	17.1	0.0	22.2
330	0.3	2.8	9.4	1.3	13.8
360	0.3	3.3	3.2	.	6.7
Total	7.9	24.7	52.9	6.2	91.7
[0; 3]					8.3

AVRIL 2024 - LIDAR (100m)

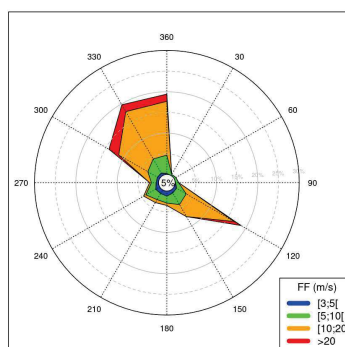


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4152

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.0	0.3	.	.	0.3
60	0.0	0.5	.	.	0.5
90	0.1	0.7	0.0	.	0.9
120	0.7	2.7	13.3	2.0	18.7
150	0.9	3.2	3.4	.	7.5
180	1.3	1.7	0.6	.	3.5
210	1.0	1.7	0.8	.	3.5
240	1.1	2.7	0.6	.	4.5
270	0.6	1.2	0.4	.	2.2
300	0.7	2.7	8.1	2.7	14.2
330	0.7	3.9	13.2	1.9	19.8
360	0.2	4.4	13.0	1.8	19.4
Total	7.3	25.7	53.5	8.4	94.9
[0; 3]					5.1

MAI 2024 - LIDAR (100m)

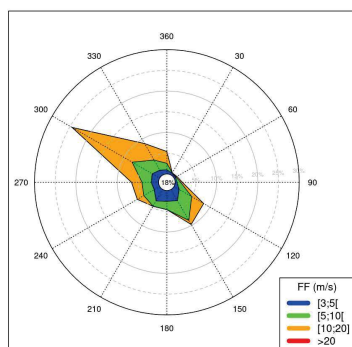


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 4308

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.6	0.0	.	.	0.6
60	0.4	0.1	0.3	.	0.8
90	0.5	0.9	0.4	.	1.7
120	1.5	3.5	3.3	.	8.3
150	3.1	5.5	1.1	.	9.7
180	2.6	2.0	.	.	4.6
210	3.2	1.5	0.0	.	4.7
240	1.6	2.9	1.8	.	6.2
270	1.8	2.2	2.5	.	6.5
300	2.1	5.6	16.7	0.0	24.5
330	1.4	2.8	4.6	.	8.8
360	1.0	1.6	2.8	.	5.4
Total	19.7	28.5	33.7	0.0	81.9
[0; 3]					18.1

JUIN 2024 - LIDAR (100m)

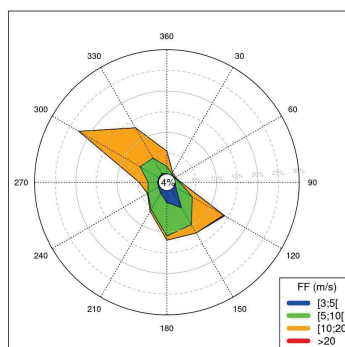
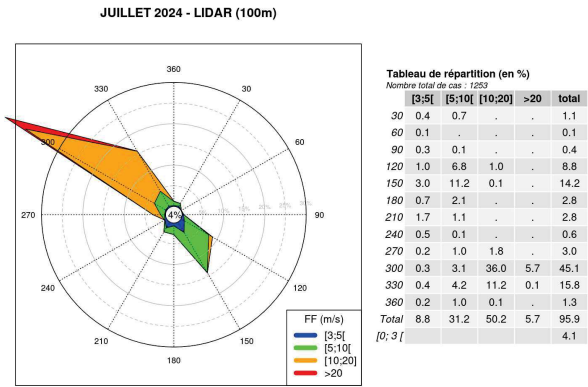
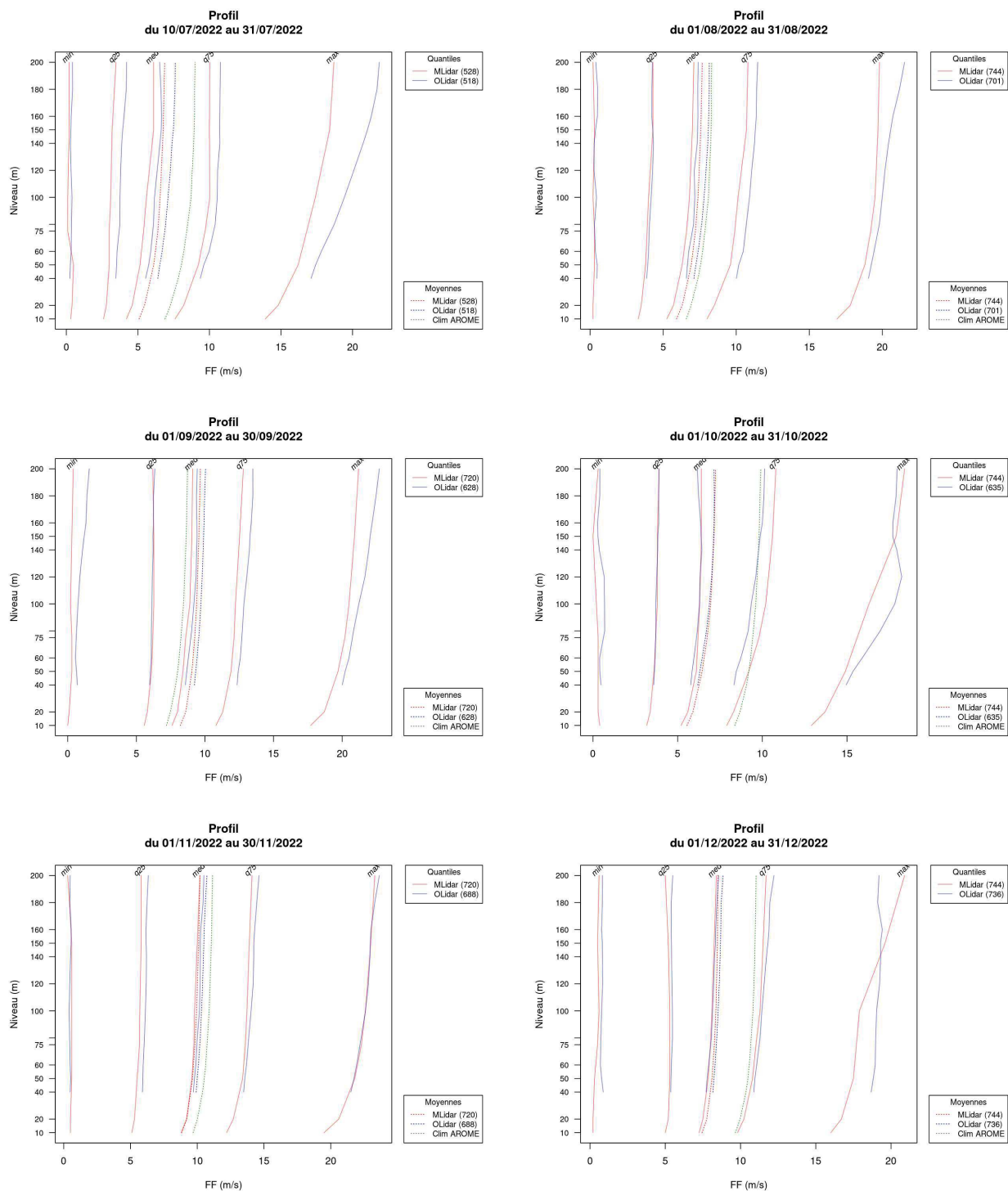


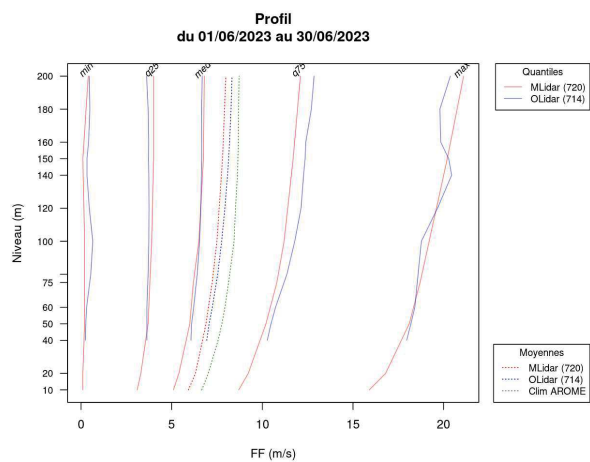
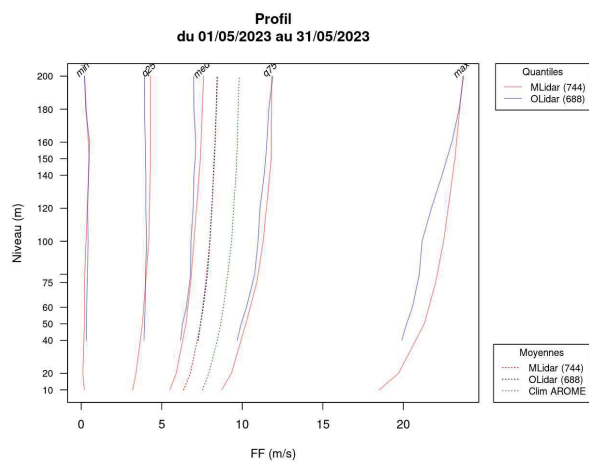
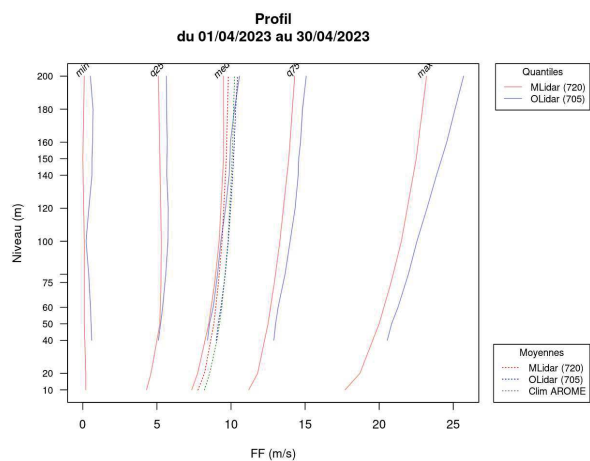
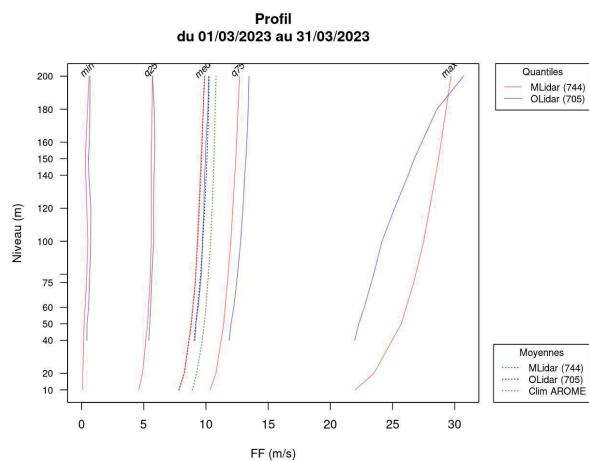
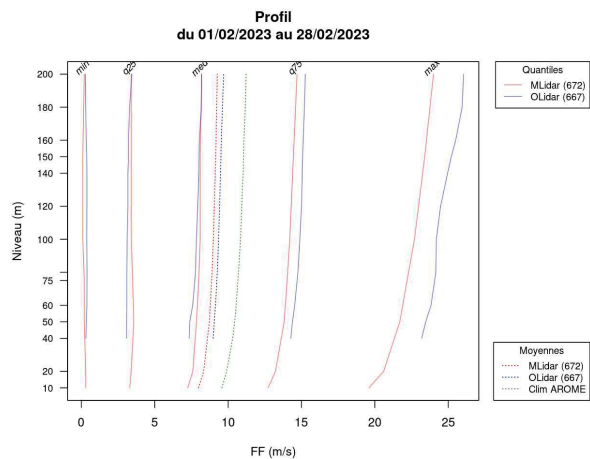
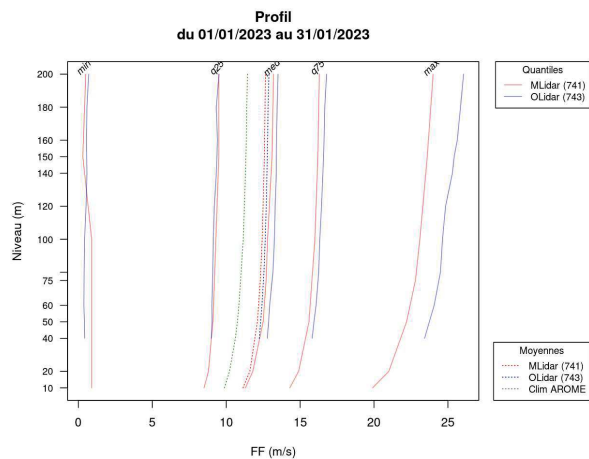
Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 3866

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.1	0.3	0.4	.	0.8
60	0.0	0.1	0.2	.	0.4
90	0.1	1.0	0.3	.	1.4
120	0.5	4.6	8.7	0.4	14.2
150	5.1	4.7	2.3	.	12.1
180	2.9	8.1	1.0	.	12.0
210	1.0	4.6	0.5	.	6.1
240	0.3	2.9	0.2	.	3.4
270	0.3	2.3	2.1	.	4.7
300	0.3	5.2	17.1	.	22.6
330	0.4	4.4	8.4	.	13.2
360	0.1	1.7	3.7	.	5.5
Total	11.1	39.9	44.9	0.4	96.3
[0; 3]					3.7



Annexe 7 : Profils de vent du LiDAR



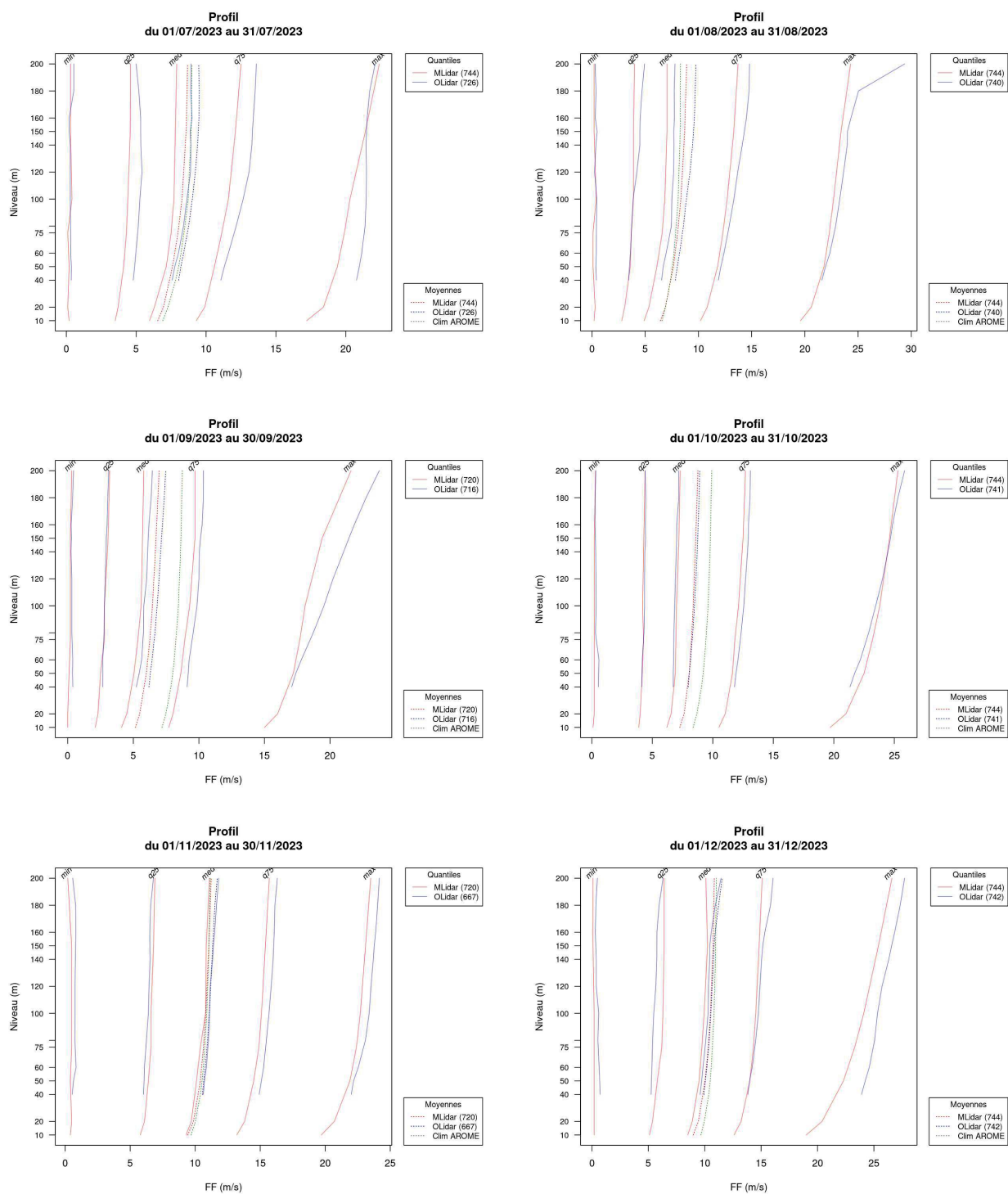


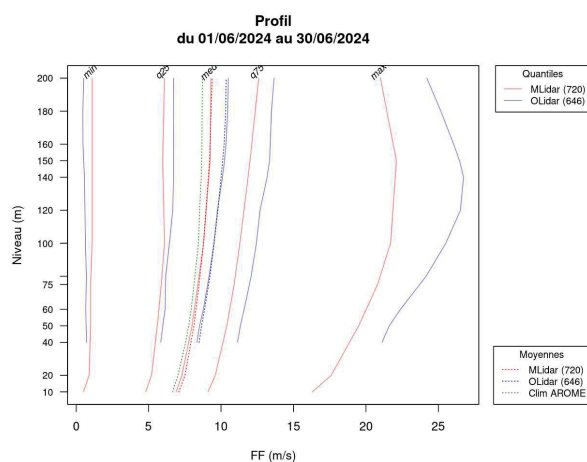
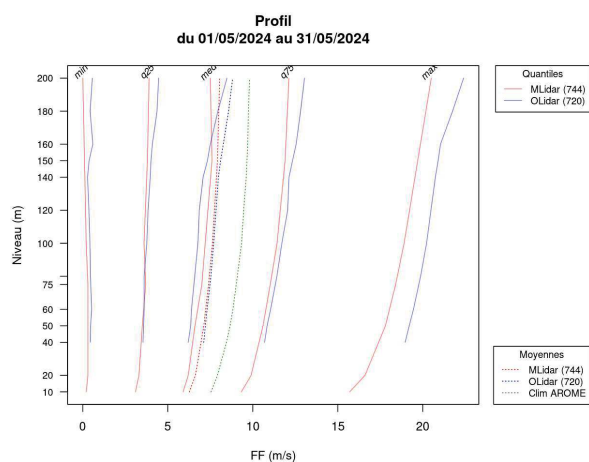
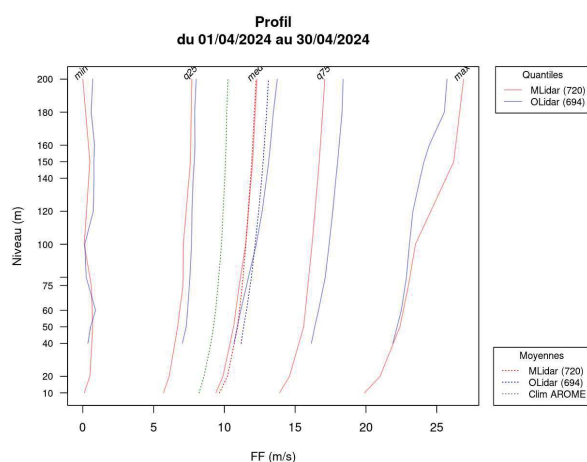
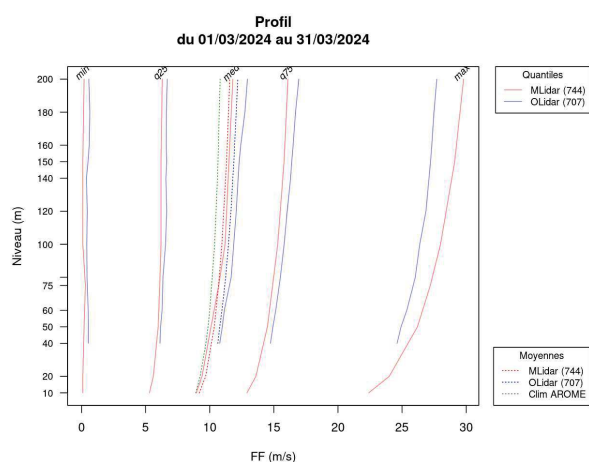
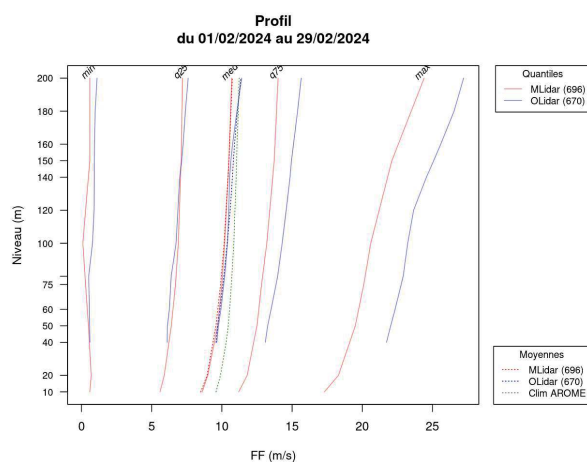
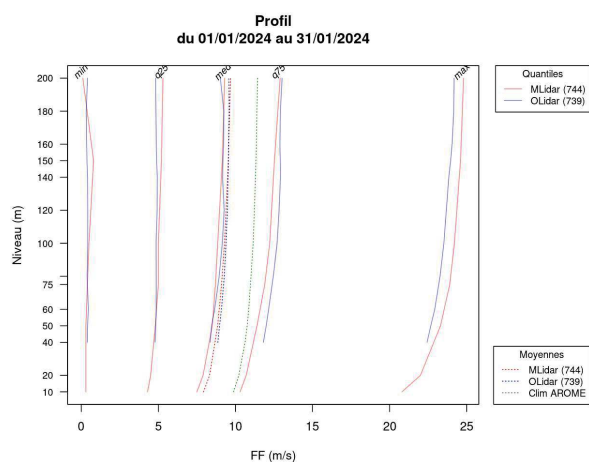


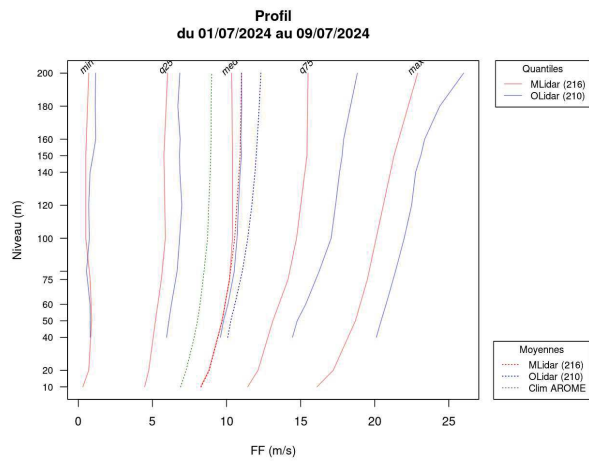
METEO
FRANCE

Rapport final Lot 6a

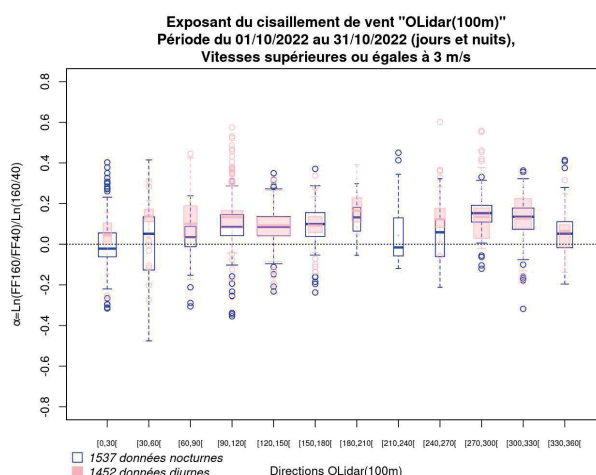
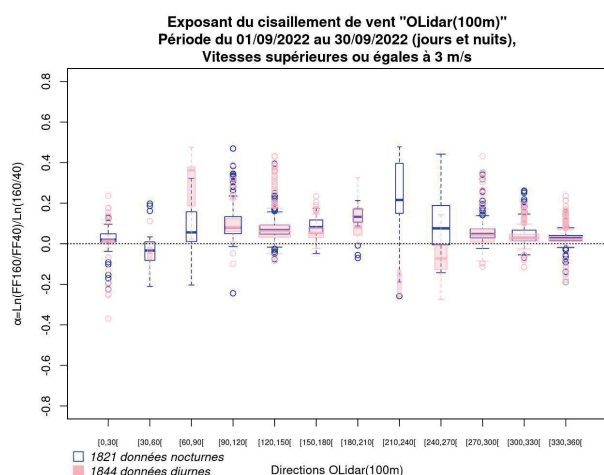
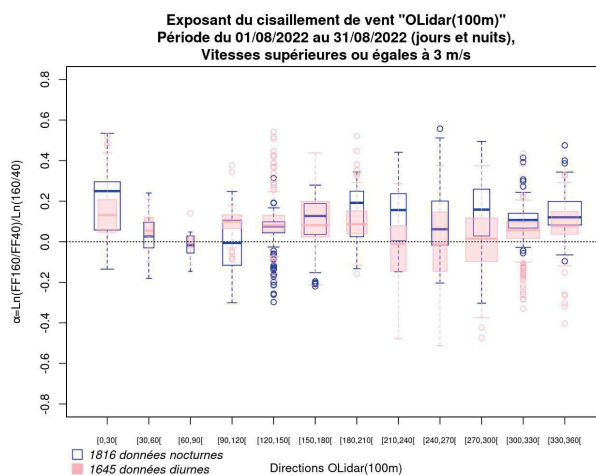
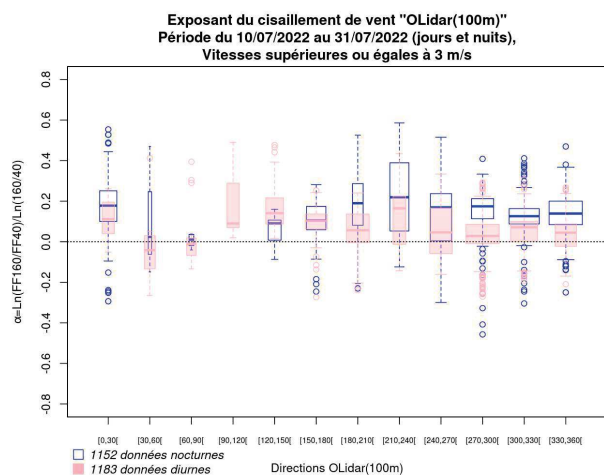
AO6 Méditerranée Zone 2



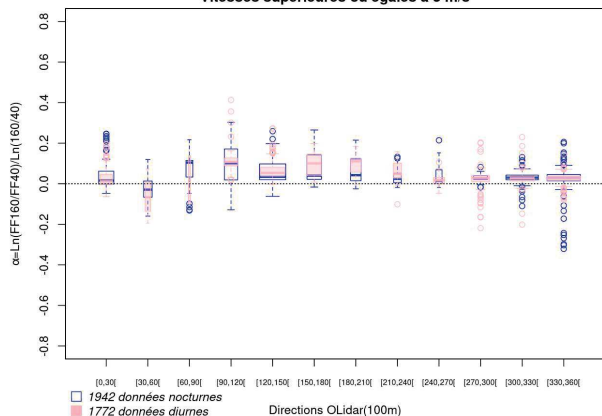




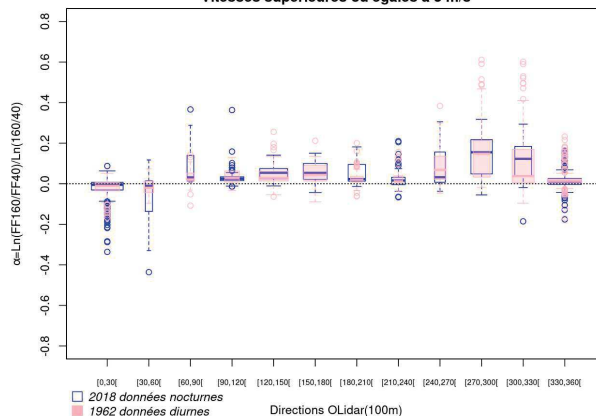
Annexe 8 : Cisaillement du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)



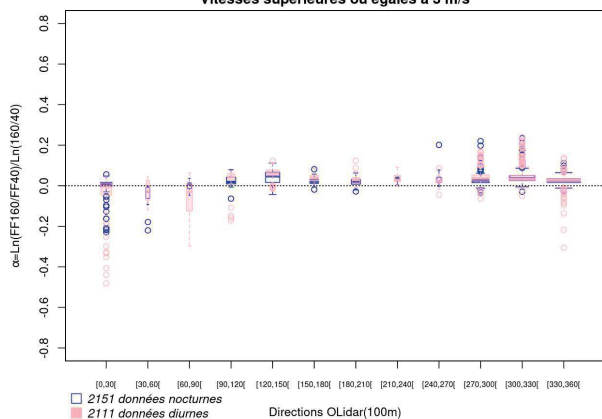
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/11/2022 au 30/11/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



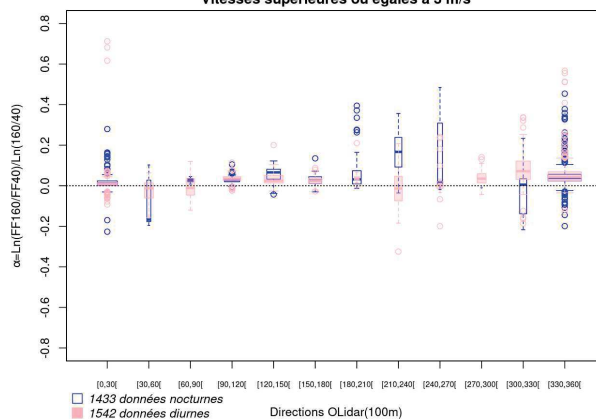
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/12/2022 au 31/12/2022 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



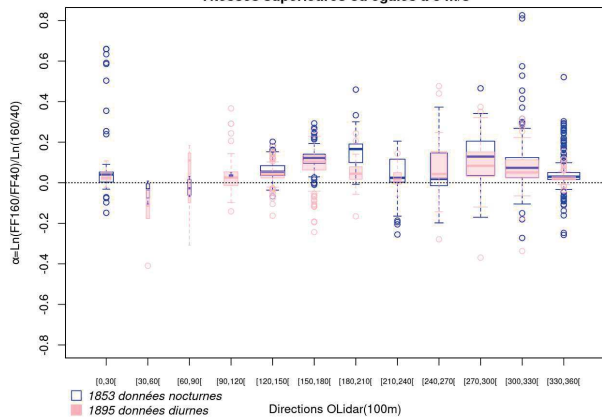
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/01/2023 au 31/01/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



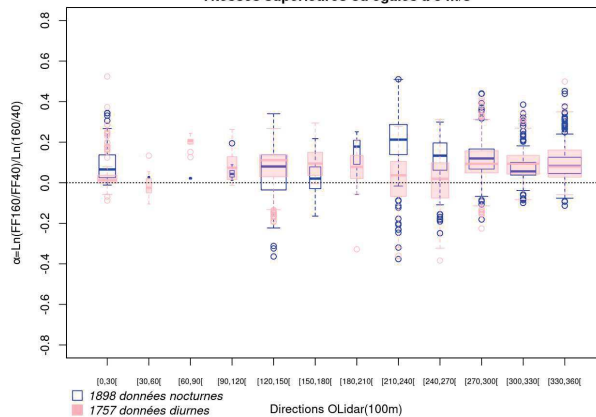
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2023 au 28/02/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

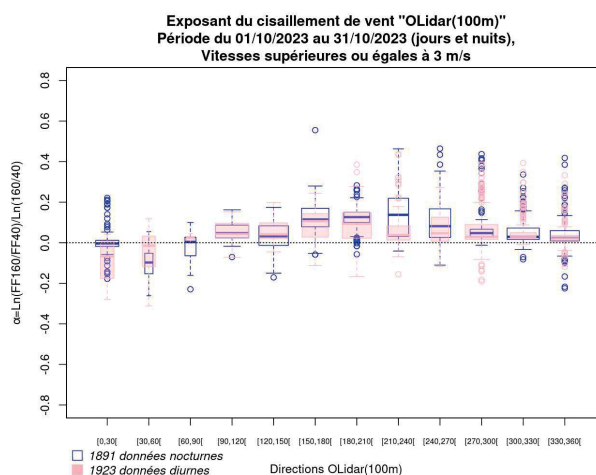
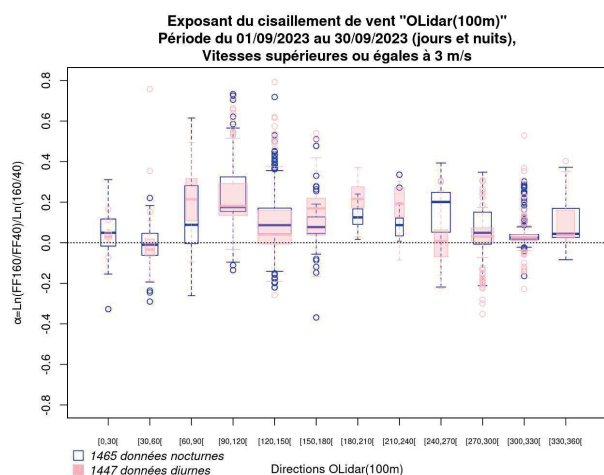
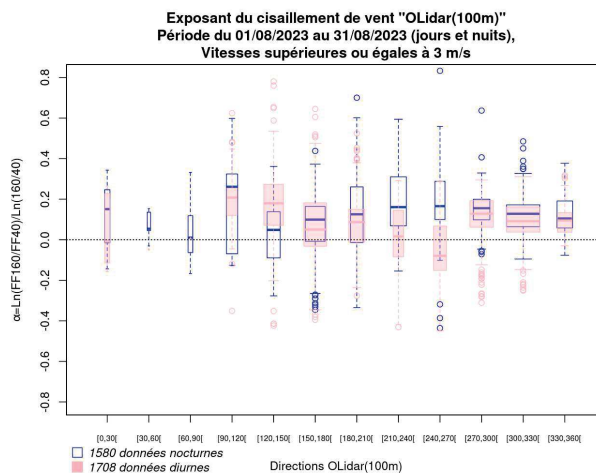
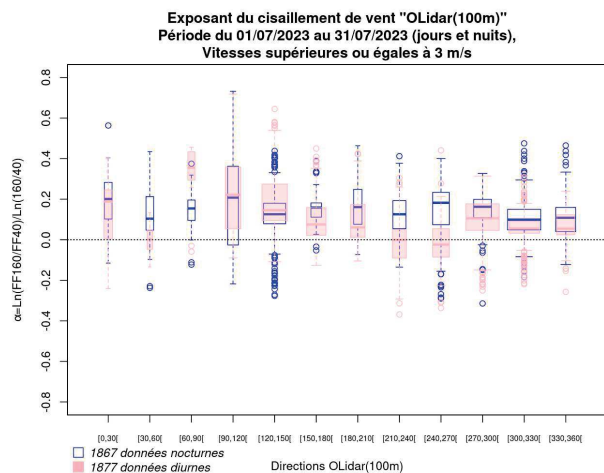
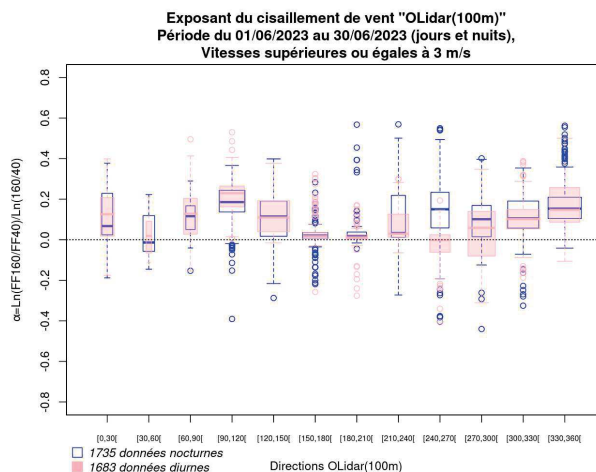
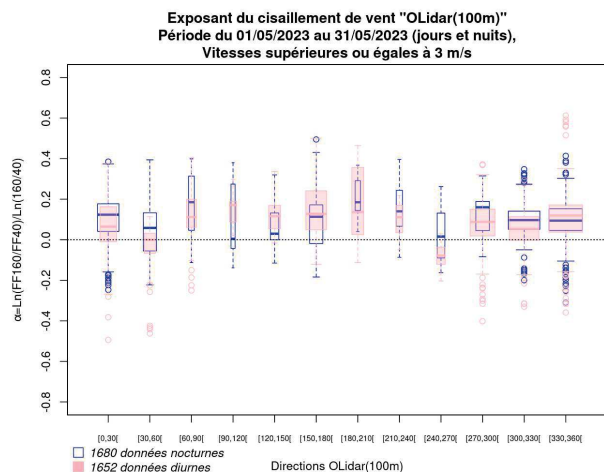


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2023 au 31/03/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

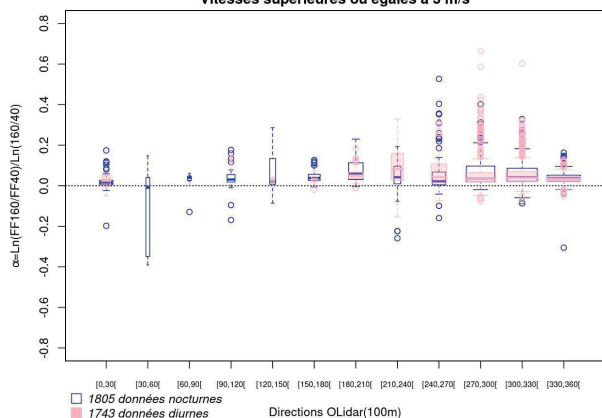


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2023 au 30/04/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

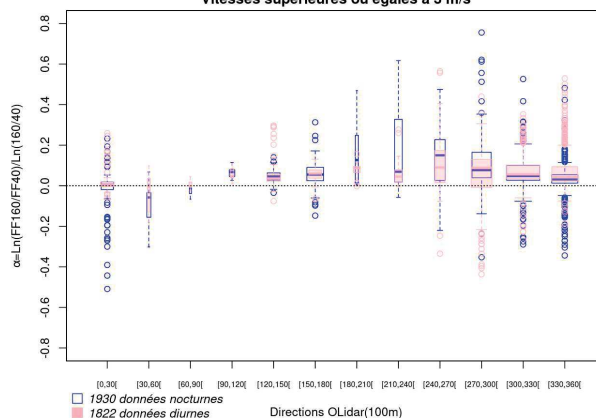




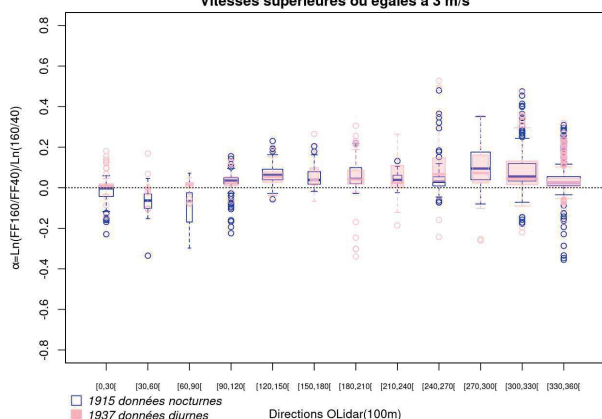
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/11/2023 au 30/11/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



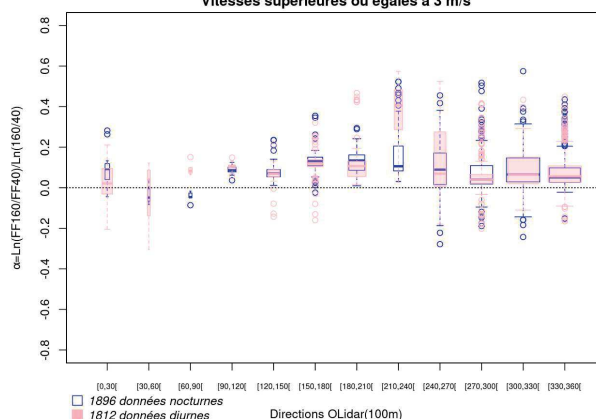
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/12/2023 au 31/12/2023 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



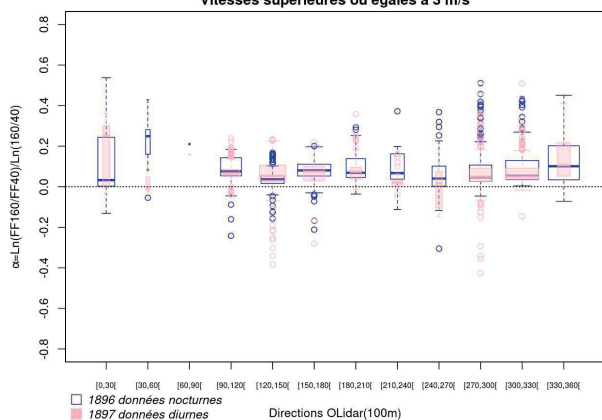
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



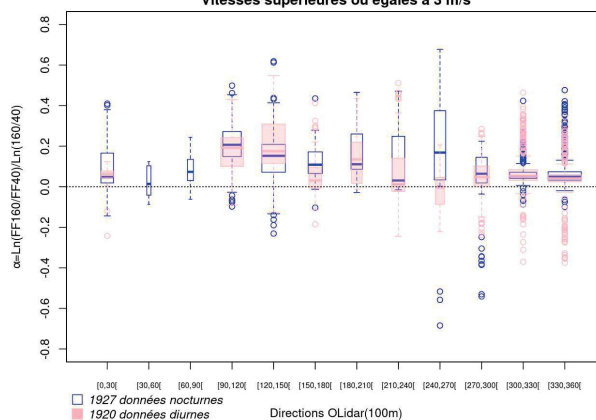
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

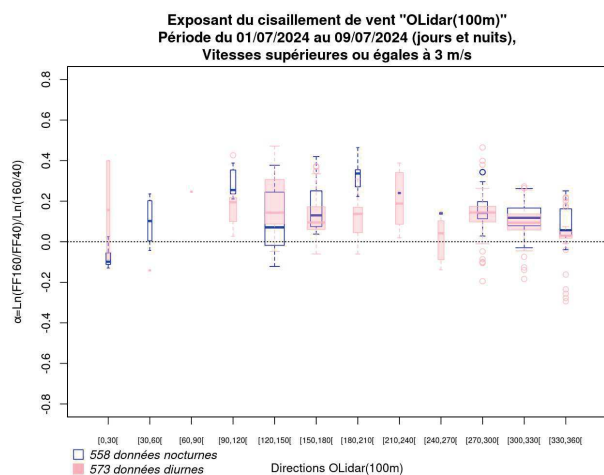
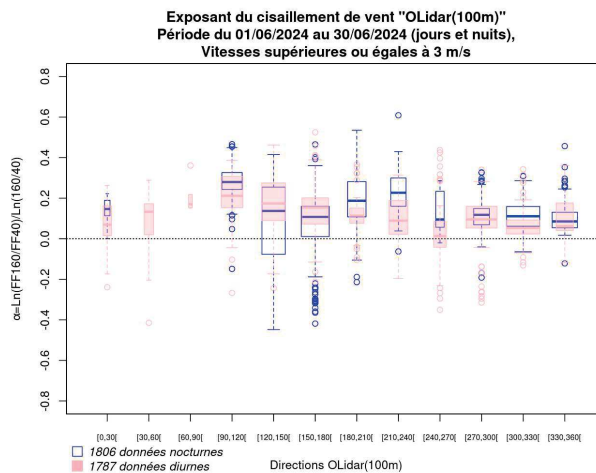
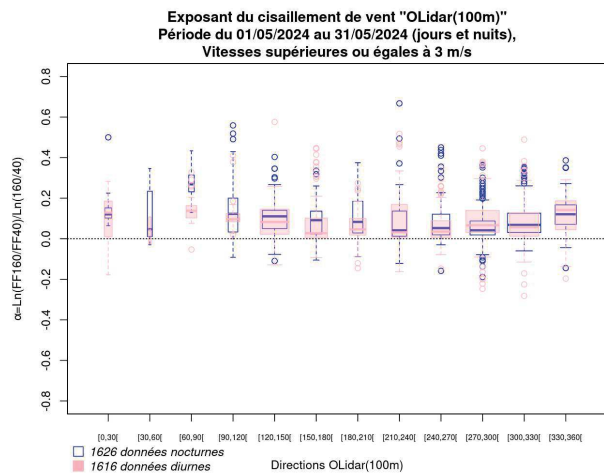


Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



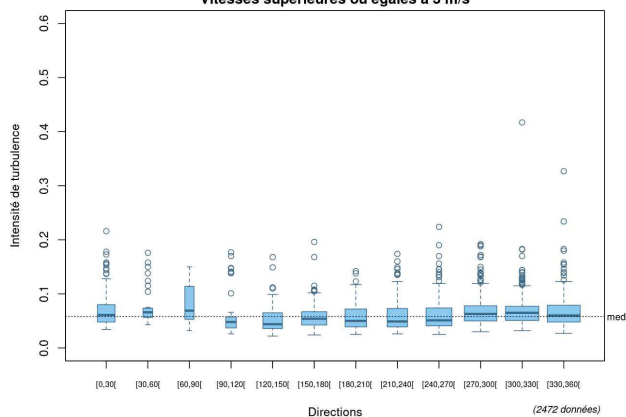
Exposant du cisaillement de vent "OLidar(100m)"
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024 (jours et nuits),
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



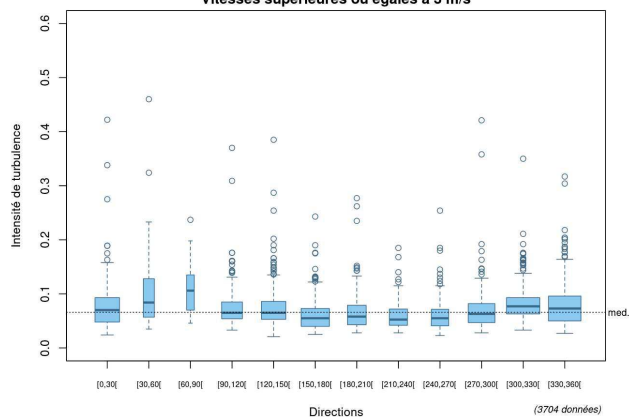


Annexe 9 : Turbulence du vent du LiDAR à 100m (données brutes seuillées à 3 m/s)

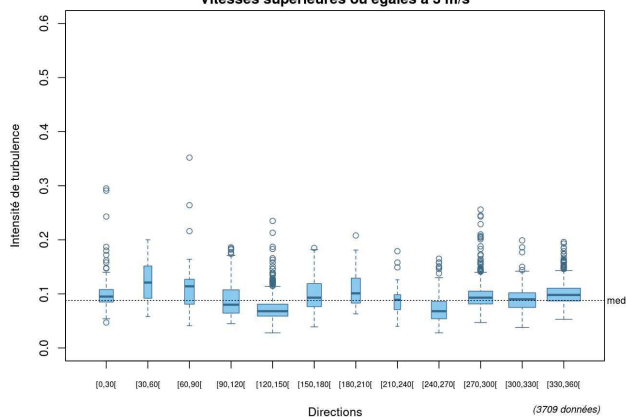
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 10/07/2022 au 31/07/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



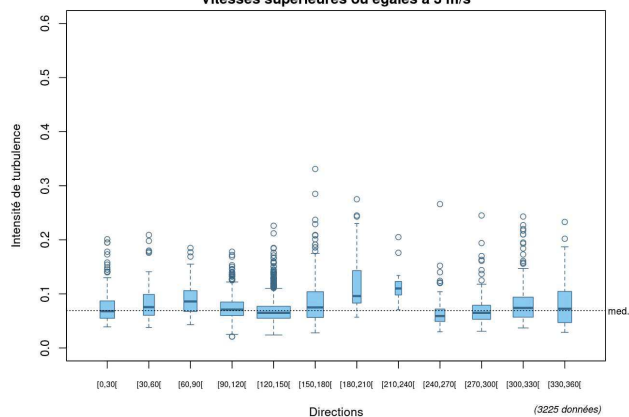
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2022 au 31/08/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



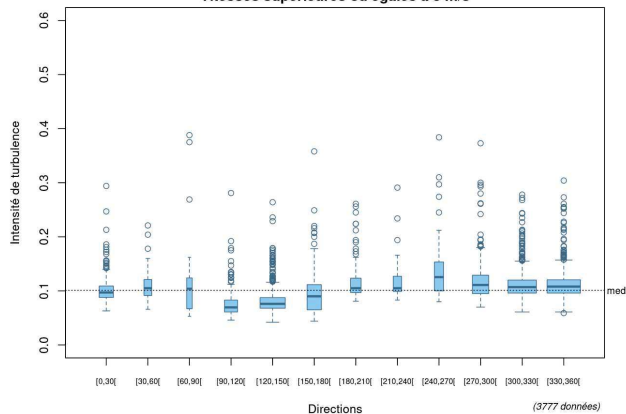
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2022 au 30/09/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



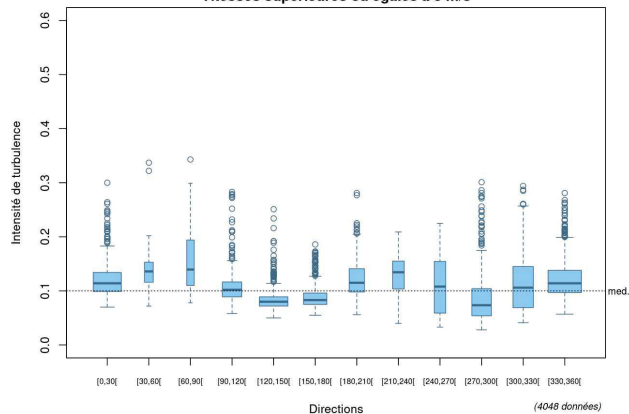
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2022 au 31/10/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

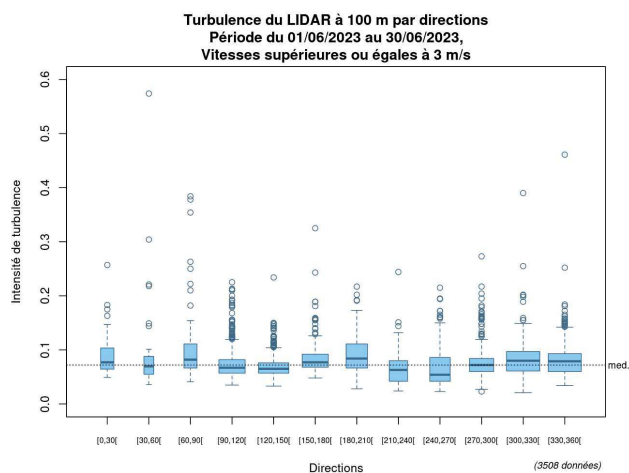
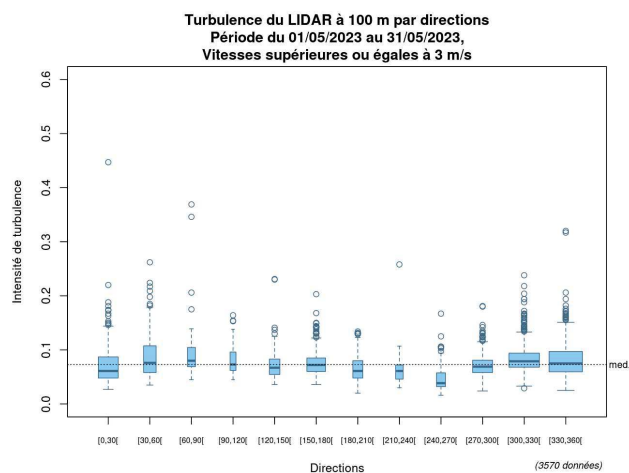
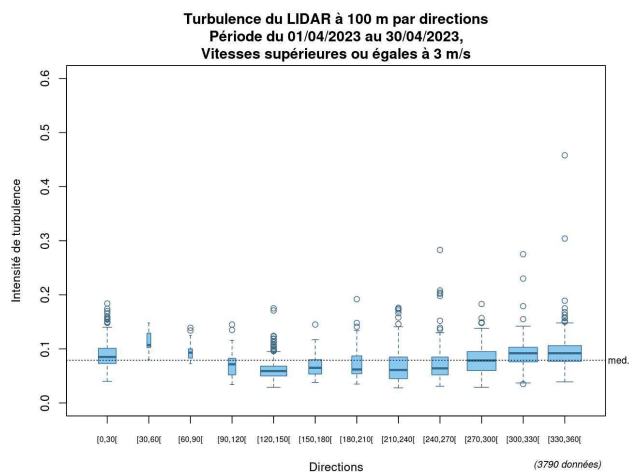
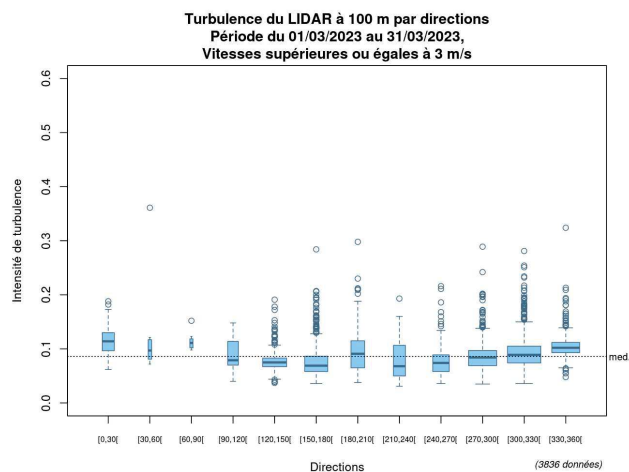
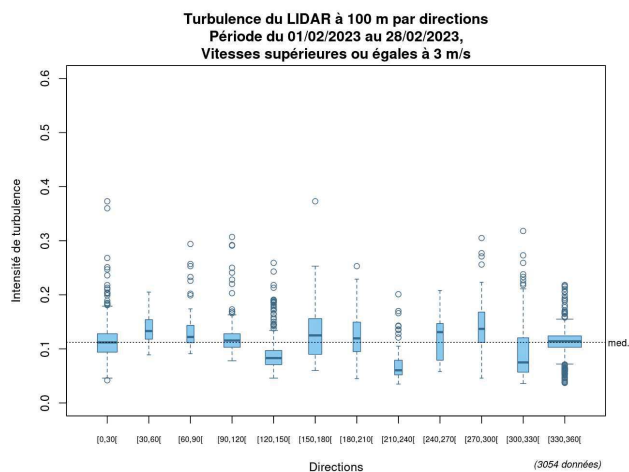
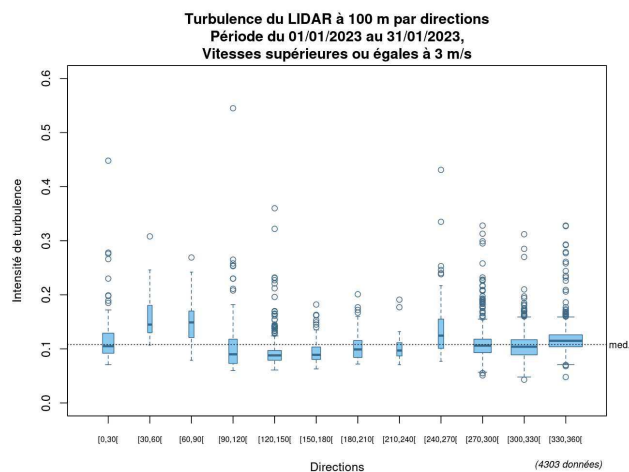


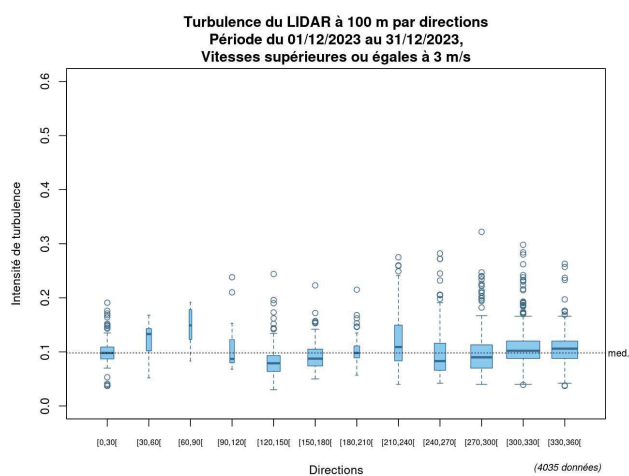
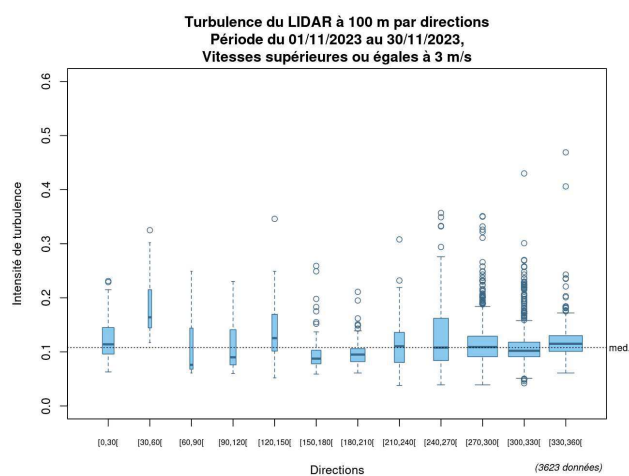
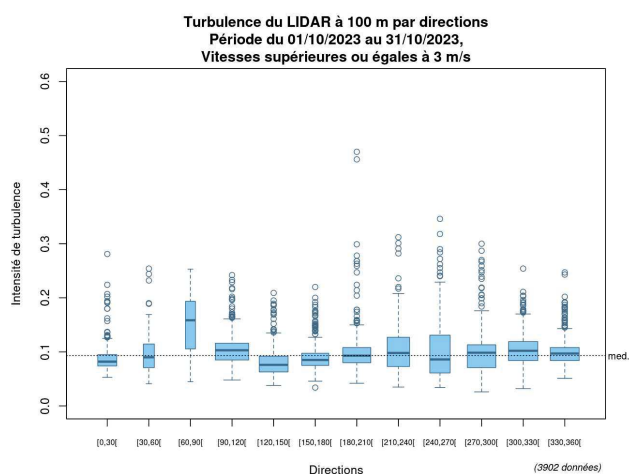
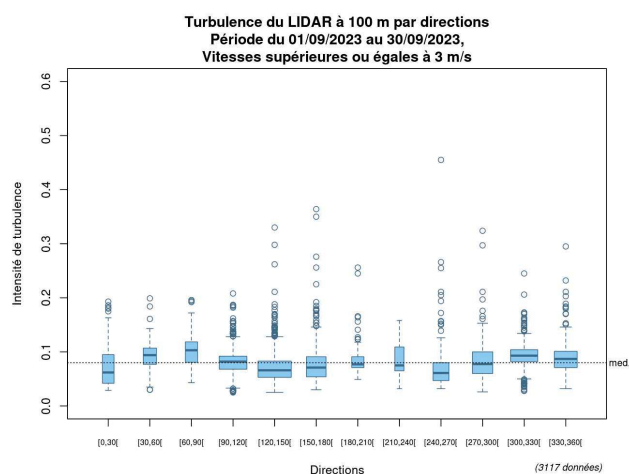
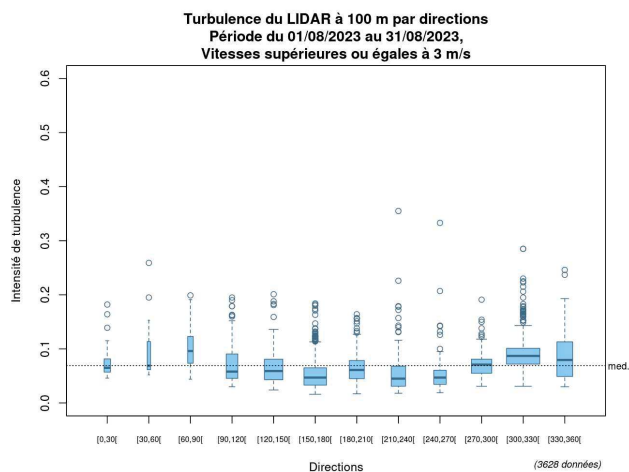
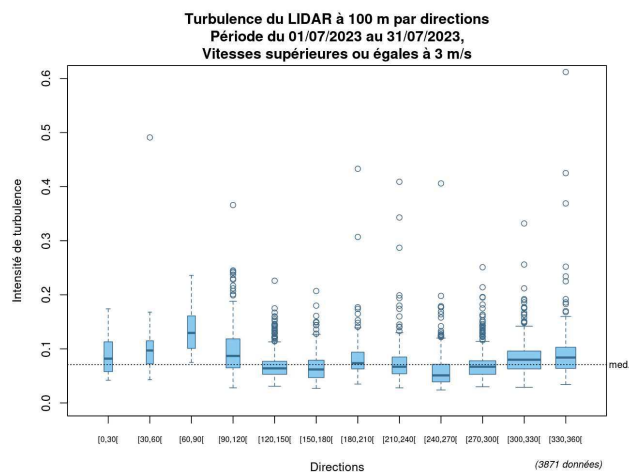
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2022 au 30/11/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



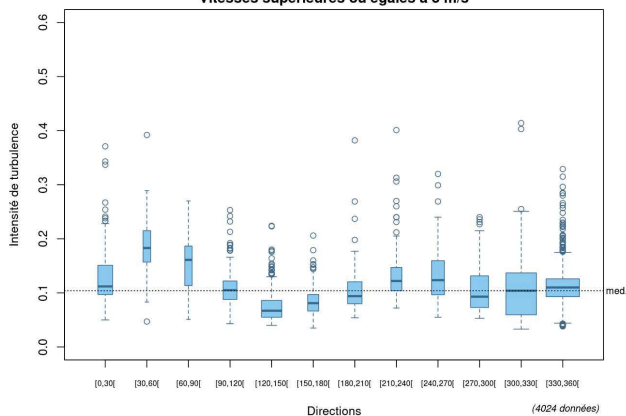
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2022 au 31/12/2022,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



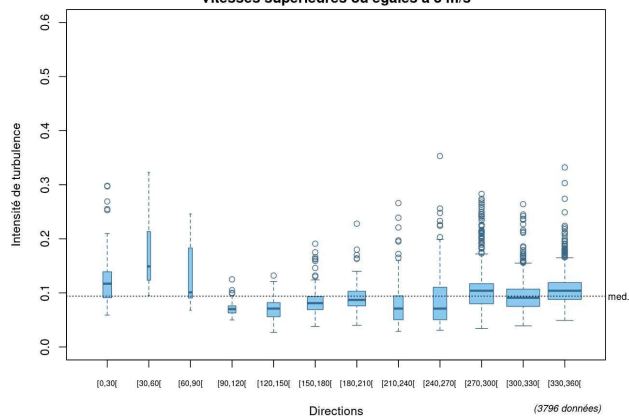




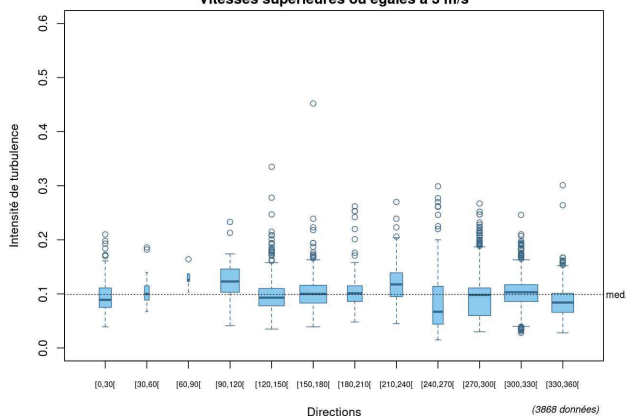
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2024 au 31/01/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



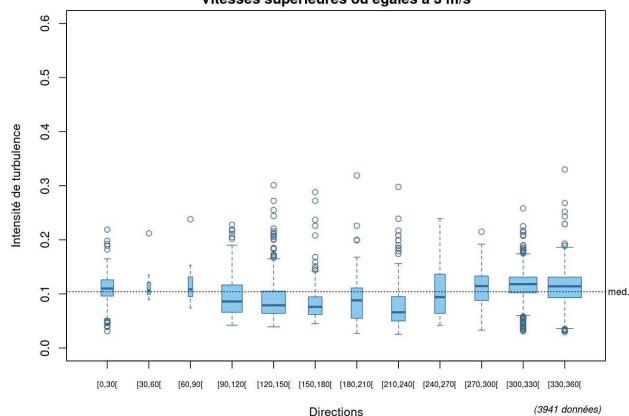
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2024 au 29/02/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



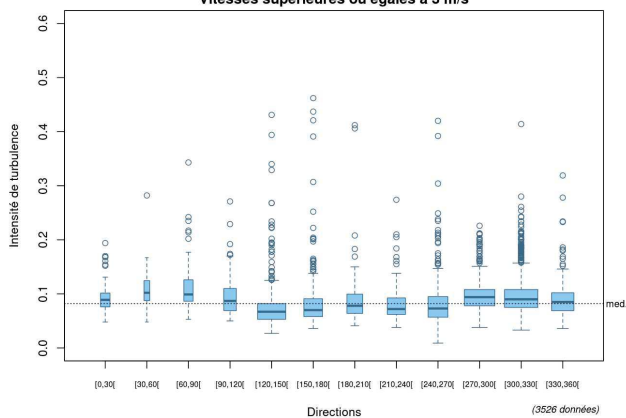
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2024 au 31/03/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



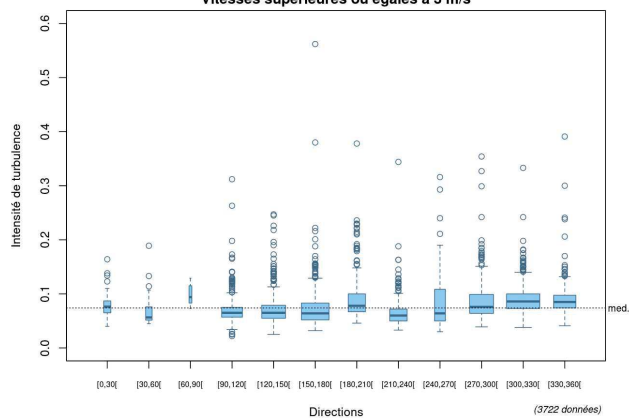
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2024 au 30/04/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

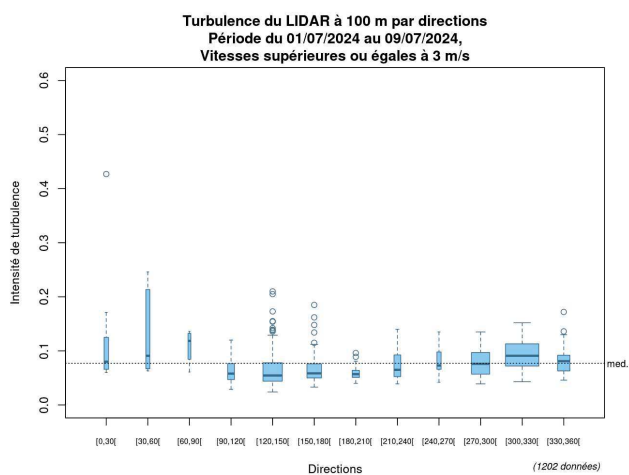


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2024 au 31/05/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



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





FIN DE DOCUMENT