

Rapport d'étude

Rapport final Lot 4

Zone Golfe de Gascogne Sud – GGS



Version 2 du 12/05/2026

Client

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

Responsable commercial :

Météo-France D2C Toulouse

Responsable technique :

Météo-France DSM/CS

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	Référence	Date	Version
DR1				

Evolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
Version initiale	13/04/2026	B1	Création
Version révisée	11/05/2026	B2	Version tenant compte des remarques formulées par le Cerema
Version finale	12/05/2026	A	Version validée par le Cerema

Signatures



Table des matières

1 Contexte.....	1
1.1 Zone d'étude.....	1
1.2 Descriptif de la solution retenue pour l'acquisition des mesures sur site.....	6
2 Méthodologie appliquée.....	8
2.1 Type de données fournies par le LiDAR.....	8
2.2 Les outils statistiques.....	9
2.2.1 Affectation d'un code qualité aux séries DD, FF et FXI.....	9
2.2.1.1 Seuils de référence.....	10
2.2.1.2 Détermination des seuils adaptés au LiDAR.....	10
2.2.1.3 Codes qualité.....	10
2.2.2 Statistiques de contrôle de la mesure.....	11
3 Analyse des données de vent mesuré par le LiDAR.....	13
3.1 Suivi des données.....	13
3.1.1 Disponibilité des données.....	13
3.1.2 Monitoring des données FF.....	16
3.1.3 Monitoring des écarts.....	17
3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses.....	18
3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure.....	19
3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure.....	19
3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré.....	22
3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR.....	22
3.3.2.2 Distributions.....	24
3.3.2.3 Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires).....	25
3.3.2.4 Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires).....	26
3.3.2.5 Roses des vents (données horaires).....	29
3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires).....	30
3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes).....	31
3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m.....	33
3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI.....	34
4 Analyse des données du vent mesuré par l'anémomètre.....	35
5 Conclusion.....	38
6 Bibliographie.....	38
Annexes.....	39

Liste des illustrations

Illustration 1 : situation géographique de la bouée avec LiDAR et station météorologique de référence (fond de carte OpenStreetMap).....	1
Illustration 2 : rose des vents annuelle de Chassiron (1996-2025).....	4
Illustration 3 : roses des vents saisonnières de la station météorologique de Chassiron sur la période 1996-2025.....	5
Illustration 4 : carte marine de la zone où se situe la bouée GGS (source data.shom.fr).....	5
Illustration 5 : photo de la plateforme de mesure.....	6
Illustration 6 : photo du LiDAR.....	7
Illustration 7 : exemple de tableau mensuel de disponibilité des données au niveau 100 m pour chacun des 31 jours (abscisses) du mois de janvier 2025 sur chacune des heures de la journée (ordonnées). Chaque case indique le nombre de données 10 min disponibles, 6 étant la meilleure disponibilité.....	14
Illustration 8 : monitoring des données 10 minutes sur les 12 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle AROME à 100 m (à droite).....	16
Illustration 9 : monitoring des écarts de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge) pour le mois de décembre 2024.....	17
Illustration 10 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle.....	19
Illustration 11 : diagramme "quantile-quantile".....	20
Illustration 12 : répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite).....	20
Illustration 13 : dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR. Au-dessus de chaque histogramme de cette illustration sont indiqués deux nombres : le nombre de cas franchissant le seuil (de force à gauche ou de direction à droite) pour le paramètre indiqué en abscisse (secteur de direction à gauche et force de vent à droite), puis en dessous le nombre total de mesures pour ce même paramètre.....	21
Illustration 14 : distributions des vents horaires du LiDAR.....	24
Illustration 15 : répartitions horaires des forces du vent du LiDAR.....	25
Illustration 16 : répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR et du modèle au niveau 100 m.....	27
Illustration 17 : rose des vents à 100 m observés (LiDAR) sur l'ensemble de la campagne.....	29
Illustration 18 : rose des vents à 100 m modélisés sur l'ensemble de la campagne.....	29
Illustration 19 : profils des vents avec quantiles du LiDAR.....	30
Illustration 20 : cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite).....	31
Illustration 21 : exposant du cisaillement de vent du LiDAR.....	32
Illustration 22 : intensité de la turbulence mesurée par le LiDAR.....	33
Illustration 23 : séries FF (mesuré en bleu, estimé en vert) et FXI (en rouge) à 100 m du LiDAR en m/s. Le tableau p.18 donne les raisons des principaux manques de données.....	34
Illustration 24 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle.....	35
Illustration 25 : distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite).....	36
Illustration 26 : roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre.....	37
Illustration 27 : Analyse en surface du 23 octobre 2025 à 12 UTC.....	40
Illustration 28 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 22 octobre 2025.....	41

Illustration 29 : Analyse du lundi 1 ^{er} décembre 2025 à 18 UTC.....	42
Illustration 30 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 1 ^{er} décembre 2025.....	43
Illustration 31 : roses des vents en hiver 2024-2025 et en moyenne sur la période 1996-2025 pour la station de Chassiron.....	44
Illustration 32 : roses des vents au printemps 2025 et en moyenne sur la période 1996-2025 pour la station de Chassiron.....	45
Illustration 33 : roses des vents en été 2025 et en moyenne sur la période 1996-2025 pour la station de Chassiron.....	46
Illustration 34 : roses des vents en automne 2025 et en moyenne sur la période 1996-2025 pour la station de Chassiron.....	47
Illustration 35 : roses des vents du 1 ^{er} au 12 décembre 2025 et en moyenne de décembre sur la période 1996-2025 pour la station de Chassiron.....	48

Liste des tableaux

Tableau 1 : taux de présence KPI (en %) des données (DD, FF) 10 minutes du LiDAR.....	15
Tableau 2 : classes de vitesses par mois – taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR.....	23
Tableau 3 : fréquences (en %) des forces de vent de la station de Chassiron sur la période 2001-2020 (en gras) et pour la période du 13 déc. 2024 au 12 déc. 2025 (en italique) Surlignages : excédent (en rouge) et déficit (en bleu) de plus de 5 points de pourcentage par rapport à la normale.....	28

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)
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 (DGE) et Météo-France ont signé en 2024 une convention pluriannuelle relative à la réalisation d'études d'évaluation des risques météorologiques en vue des appels d'offres pour l'implantation d'éoliennes en mer au large des côtes françaises.

Dans le cadre de cette convention, la DGE a sollicité Météo-France pour la réalisation d'une campagne de mesures atmosphériques et océanographiques dans la zone géographique nommée « Golfe de Gascogne sud » (GGS).

L'objet de ce rapport consiste à présenter le suivi/contrôle de la mesure sur site à partir d'un appareil de type LiDAR pour différentes hauteurs d'intérêt dont la hauteur 100 m, revêtant un caractère important pour la production éolienne. Ce rapport traite des douze mois de la campagne de mesures, débutée le 13 décembre 2024 et terminée le 12 décembre 2025, ces douze mois étant nécessaires à la validation de la campagne.

1.1 Zone d'étude

Le futur parc éolien se situe au large de la côte charentaise et sud-vendéenne, à environ 125 km de La Rochelle et 110 km de l'île d'Oléron.

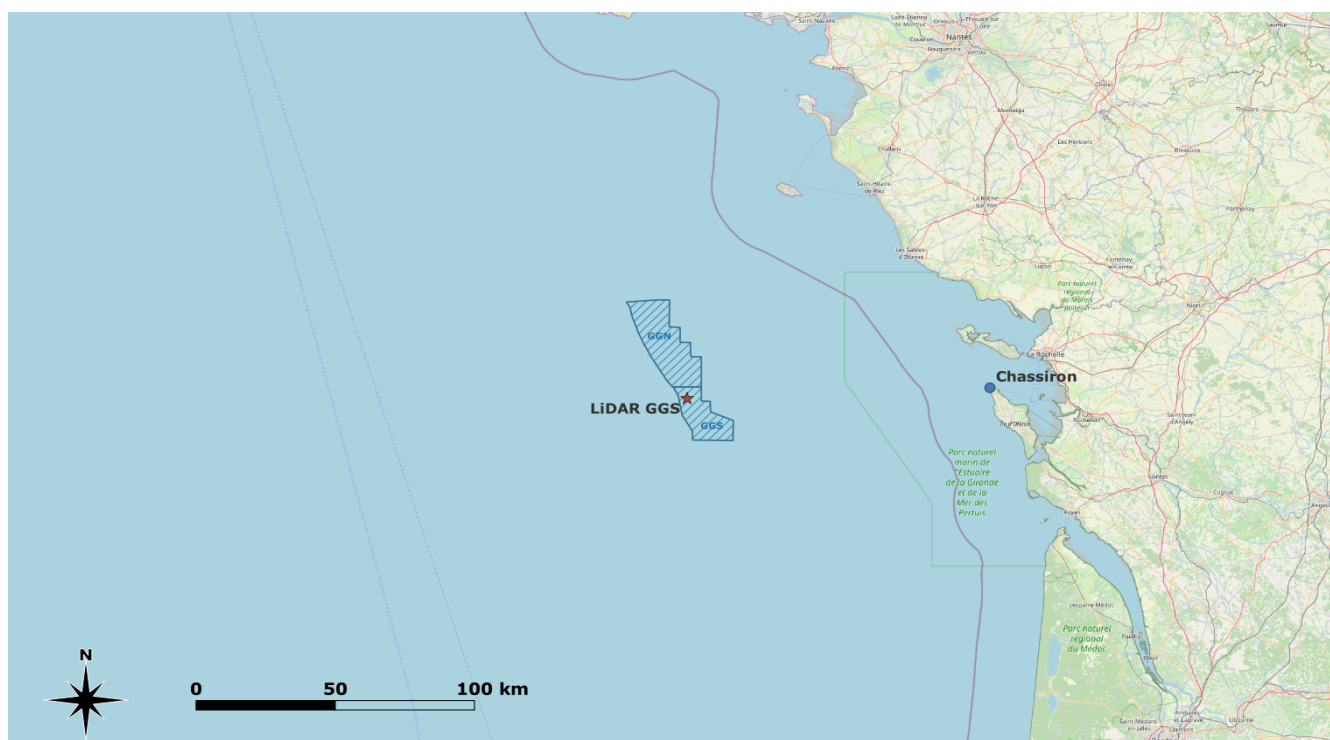


Illustration 1 : situation géographique de la bouée avec LiDAR et station météorologique de référence
(fond de carte OpenStreetMap)

D'un point de vue météorologique, cette zone est caractérisée par un climat océanique tempéré, influencé par l'océan Atlantique. Ce climat est marqué par sa douceur hivernale et des étés tempérés et ensoleillés.

En toutes saisons, les vents dominants ont tendance à souffler des secteurs sud et ouest. En hiver, l'influence de l'aire dépressionnaire d'Islande est prépondérante : la direction générale des vents est d'ouest-sud-ouest. En été, l'anticyclone des Açores se renforçant et s'étendant vers le nord-est, les vents dominants tendent à virer vers le nord-ouest dans le golfe de Gascogne.

Voici une typologie des différentes situations météorologiques rencontrées sur ce littoral :

- Temps calme et anticyclonique, le ciel est dégagé ou peu nuageux, les vents sont faibles et les températures douces voire chaudes l'été. Possibilité de formation de brumes/brouillards matinaux en hiver surtout à proximité des points d'eau.
- Perturbations atlantiques associées aux passages de dépression en Atlantique Nord, offrant des pluies, vents modérés à forts et un ciel nuageux. Ces situations sont fréquentes en automne et en hiver. Les risques d'inondation locale sont possibles, liés à la montée du niveau de la mer et des vagues importantes. Possibilité également de tempêtes hivernales caractérisées par des vents violents (>100 km/h), associées à des risques importants comme la submersion marine, l'érosion du littoral, les dégâts matériels.
- Marais barométriques, caractérisés par une situation de blocage avec peu de vent, un temps lourd et humide en été, et un risque d'orage localisé potentiellement violent.

Sur la côte du département de la Charente-Maritime (17), au large de la bouée GGS, Météo-France dispose de stations météorologiques de mesure telles que La Rochelle et Chassiron. Dans cette étude, nous retiendrons le sémaphore de Chassiron, sur la pointe nord de l'île d'Oléron. Ses coordonnées géographiques (WGS 84) sont 46,0468° N / 1,4116° W. L'altitude de la station est 11 m.

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. De leur expertise, il se dégage les caractéristiques suivantes pour le vent à Chassiron observé sur la période 1996-2025 :

- La rose des vents annuelle sur trente ans (cf. Illustration 2) montre une distribution relativement équilibrée avec trois axes qui se dégagent. L'axe nord-ouest (secteur 300°) est la provenance du vent la plus fréquente avec 8 % des observations totales. Ce flux s'explique par l'apparition des effets de brise de mer thermique l'été ainsi que les situations typiques de ciel de traîne. Ce premier secteur est suivi par l'axe nord-est (secteur 40°) qui représente 7,3 % de fréquence totale. Il s'agit d'un vent de terre souvent associé aux conditions anticycloniques stables. Suit l'axe sud-ouest (entre le 220 et 260°) où l'on retrouve les vents les plus énergétiques en termes de forces liées aux perturbations atlantiques. À noter que les vents d'est et sud-est (du secteur 100° au 140°) sont minoritaires pour cette station.
- Concernant la période estivale météorologique (de juin à août), la dominance des vents de secteur nord-ouest est marquée (cf Illustration 3). Les secteurs 300° et 320° représentent respectivement 14,3 % et 12,2 % des observations sur trente ans. Cela illustre typiquement le régime de brise de mer thermique qui s'installe durant les après-midis d'été. À noter que ce sont les vents faibles ([1,5 ; 4,5] m/s) les plus fréquents l'été avec 45,6 % des cas suivis de près par les vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) avec 41,8 % des cas observés. Quant aux vents les plus forts (> 8 m/s), plus rares l'été, ils représentent seulement 8,7 % des observations. Les vents calmes ([0 ; 1,5] m/s) représentent 3,9 %.
- Au printemps (de mars à mai), on retrouve une prédominance des vents dans un axe nord-est (cf Illustration 3). Le secteur 40° est le plus fréquent avec 8,8 % des cas observés, signature d'un flux continental typique de condition anticyclonique sur le pays. Les vents proviennent également souvent d'un axe ouest / nord-ouest (flux océanique), notamment entre 280° et 320°, le secteur 300° représentant 8,0 % de la fréquence totale. Les vents les plus énergétiques (> 8 m/s) représentent 16,8 % des cas observés et sont les plus fréquents dans les secteurs ouest et sud-ouest. Les vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) représentent 42,2 % des observations et sont la catégorie la plus représentée au printemps.

- La rose des vents pour la période automnale (de septembre à novembre) montre une transition vers des conditions plus énergétiques et une direction des vents plus variée, qui marque le retour des perturbations atlantiques (cf Illustration 3). L'axe nord-est (40°) est toujours présent avec 7,1 % de fréquence totale. L'axe nord-ouest (du 280° au 320°) reste une direction majeure avec 16,4 % des cas observés. De même pour l'axe sud-ouest (du 220° au 260°) qui correspond à environ 17 % des observations. En termes d'intensité, les vents calmes ([0 ; 1,5 [m/s) sont quasi équivalents aux saisons précédentes (4 %). On retient une fréquence des vents forts (> 8,0 m/s) plus importante qui bondit à 20,1 %. Enfin, vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s) et vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) présentent des fréquences proches (respectivement 38,3 % et 37,6 %). À noter que les vents les plus forts sont les plus représentés dans le secteur sud-ouest (du 220° au 260°) pour cette saison.
- Durant la période hivernale (de décembre à février), on observe la proportion la plus élevée des vents les plus forts (> 8 m/s) sur trente ans : 26,8 % (cf Illustration 3). Les vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) sont également fortement représentés avec 39,1 % des cas. Les vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s) et calmes ([0 ; 1,5 [m/s) ont diminué à 30,7 % et 3,4 % et sont les plus faibles en comparaison aux autres saisons. Dans le secteur ouest et sud-ouest, la distribution est plus étalée. L'axe sud-ouest, (du 220° au 240°) est le plus fréquent avec 12,9 % des cas. On retrouve un axe secondaire dans le nord-est (de 40° à 60°) avec une fréquence de 15 % apportant un air modéré voire fort, sec et froid l'hiver. La provenance des vents les plus forts est essentiellement concentrée sur la partie ouest de la rose des vents (les secteurs 240° et 260° sont les plus énergétiques, représentant des fréquences respectives de 3,0 % et 2,8 %).

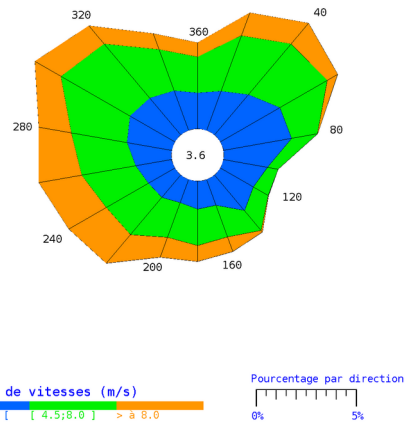
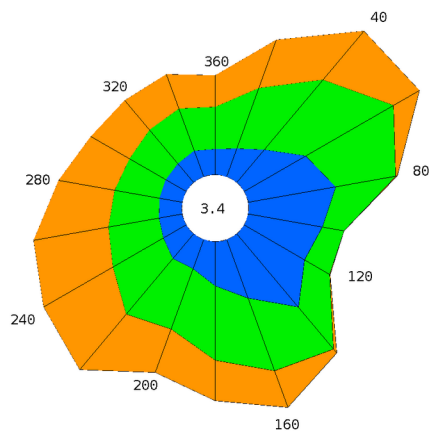
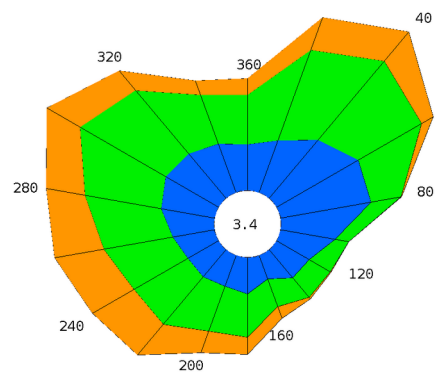


Illustration 2 : rose des vents annuelle de Chassiron (1996-2025)



Hiver



Printemps

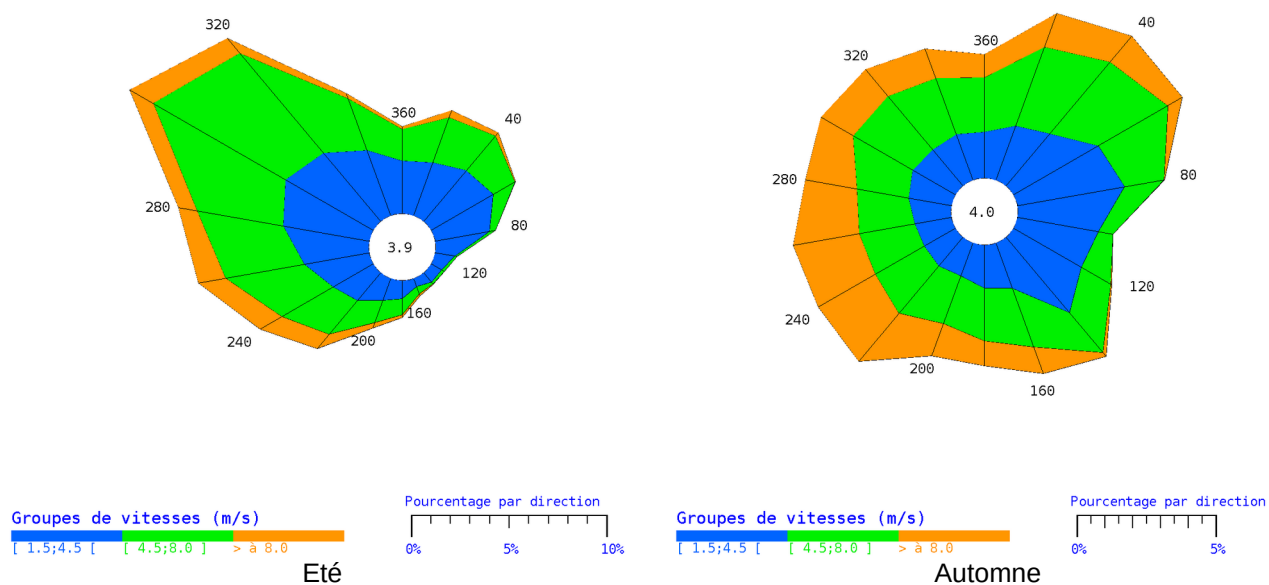
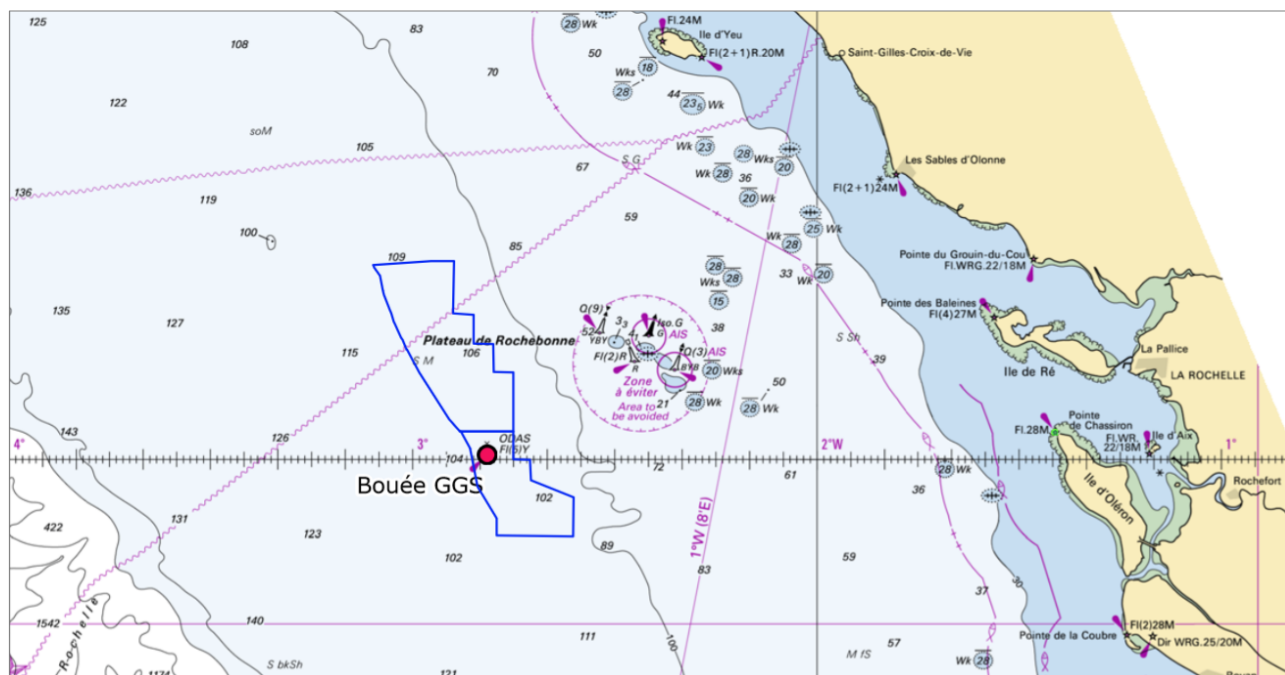


Illustration 3 : roses des vents saisonnières de la station météorologique de Chassiron sur la période 1996-2025

Du point de vue de la géographie marine, la zone d'étude se situe au niveau du plateau continental, à une profondeur de près de 110 mètres, à environ 35 km au sud-ouest du plateau de Rochebonne.



Afin d'assurer l'acquisition et le suivi des mesures sur site, Météo-France a retenu un prestataire assurant la fourniture de données relatives à l'observation du vent en mer au moyen d'un système flottant équipé d'une mesure de type LiDAR.

La campagne de mesures est réalisée à proximité du point de coordonnées 46°00,500 N / 2°49,00' W. La bouée LiDAR a un rayon théorique maximal 450 m de déplacement autour de son point d'ancrage.

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

Cette section décrit plus précisément les équipements déployés pour l'acquisition des mesures sur site.

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



Illustration 5 : photo de la plateforme de mesure

La plateforme flottante embarque des instruments pour effectuer différentes mesures :

- de vent en altitude ;
- de paramètres atmosphériques au niveau 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*) embarqué adapté spécifiquement aux bouées offshore et développé par VAISALA : WindCube Offshore V2.1.

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.

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, 200 et 250 m. Le LiDAR étant situé à 3 m au-dessus de l'eau, les hauteurs indiquées dans les fichiers de données sont ces altitudes moins 3 m.



Illustration 6 : photo du LiDAR

Les paramètres atmosphériques au niveau de la bouée sont mesurés à l'aide d'une station météo multi-capteurs « MaxiMet GMX500 ». La vitesse et la direction du vent sont en particulier mesurées par un anémomètre à ultrasons. À 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 mât 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, d'un courantomètre fournissant des informations à différents niveaux de profondeurs et d'un profondimètre. 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.

À l'issue de ce contrôle approfondi, Météo-France délivre 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 données de son modèle météorologique à maille fine AROME qui dispose notamment des hauteurs suivantes : 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200 et 250 m. Ces données 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) avec toutes les observations du même instant. C'est à partir de cet état initial que le modèle va calculer l'évolution des paramètres météorologiques sur la grille en 3 dimensions du modèle qui représente l'atmosphère, en s'appuyant sur les lois physiques qui régissent son comportement. À noter que le maximum du vent instantané (rafale) au cours de l'heure qui précède (FXI) n'est disponible que sur le niveau hauteur 10 m.

Nous allons décrire les différents types de données LiDAR, puis une présentation des outils statistiques. Une description des données du modèle de prévision numérique AROME est disponible dans [Chatel et al., V2, 2025].

2.1 Type de données fournies par le LiDAR

Pour chaque hauteur de mesures, le LiDAR fournit, en heures UTC, les données suivantes :

- Données moyennées sur 10 minutes pour lesquelles les données de direction sont mesurées par rapport au nord de l'instrument (magnétique) et ne sont pas corrigées par rapport au vrai nord géographique (fichiers WLS866-0XXX_YYYY_MM_DD__HH_mm_ss.sta). Ces données sont calculées à partir des données temps réel (cf ci-après) et incluent :
 - Vitesse (en m/s) et direction² (en degrés) du vent horizontal moyennées sur 10 minutes, ainsi que le minimum, le maximum, et l'écart type de la vitesse sur ces mêmes 10 minutes ;
 - Vitesse verticale en m/s du vent moyennée et écart type sur 10 minutes.
- Données moyennées sur 10 minutes pour lesquelles les données de direction sont corrigées par la prise en compte du mouvement du LiDAR par rapport au nord magnétique (fichiers wind-seaXX_YYYY_MM_DD__HH_mm_ss_lidar__wind_average.csv). Ces données sont calculées à partir des données temps réel (cf ci-après) et incluent :
 - Vitesse (en m/s) et direction³ (en degrés) du vent horizontal moyennées sur 10 minutes, ainsi que le minimum, le maximum, et l'écart type de la vitesse sur ces mêmes 10 minutes ;
 - Vitesse verticale en m/s du vent moyennée et écart type sur 10 minutes.

2 Direction du vent non corrigée par rapport au vrai Nord géographique

3 Direction du vent corrigée par rapport au vrai Nord géographique

- Les données en temps réel (1 seconde) :
 - Données brutes non corrigées du nord magnétique mesurées en temps réel (fichiers WLS866-0XXX_YYYY_MM_DD__HH_mm_ss.rtd)

Les autres données présentes dans les fichiers :

- Rapport porteuse sur bruit (*carrier-to-noise ratio*, 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. En effet, cette valeur dépend de la concentration d'aérosols dans l'atmosphère qui rétro-diffusent la lumière du laser. Un coefficient élevé de rétrodiffusion conduit à un haut CNR. Le niveau du CNR dépend des conditions météorologiques. Conformément aux recommandations du constructeur, si le CNR à 1 seconde descend sous le seuil de -23 dB, la mesure est considérée comme invalide. Le CNR moyenné à 10 minutes donne une indication sur la mesure LiDAR mais ne doit être utilisé qu'à titre indicatif (un CNR bas indiquant une mesure du LiDAR altérée).
- Disponibilité des données reconstituées (*data_availability*) : cette valeur est donnée en pourcentage et indique le taux de données temps réel utilisé pour l'élaboration de la donnée reconstituée (moyennée sur 10 minutes). Sous une certaine valeur de CNR (-23 dB), le signal de la mesure est considéré comme trop faible. Conformément aux recommandations du constructeur, la donnée est ainsi évaluée comme erronée et est rejetée de la méthode de calcul 10 min. Les données 10 minutes constituées avec moins de 30 % de données temps réel ne sont pas exploitées par Météo-France.

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

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

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

2.2.1.1 Seuils de référence

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) est une institution spécialisée des Nations unies dont un des principaux rôles est la standardisation des mesures météorologiques.

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

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

Au sein de Météo-France, la division COMPAS (CONtrôle et Monitoring, Prévisibilité, Adaptation Statistique, Gestion des Cycles Opérationnels et Support Informatique) a défini des critères plus stricts en considérant une période de seulement 15 jours.

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

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

2.2.1.2 Détermination des seuils adaptés au LiDAR

Dans cette étude, nous utilisons des critères plus ou moins semblables afin de contrôler les données du LiDAR. La problématique n'est pas tout à fait la même, car les données du LiDAR ne sont pas préalablement assimilées par le modèle.

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

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

Afin d'extrapoler la condition sur la force à la hauteur 100 m du LiDAR, nous nous appuyons sur notre expérience lors de précédentes campagnes de mesures d'un appareil de type LiDAR auxquelles Météo-France a participé).

Une donnée horaire FF ou DD d'observation à 100 m sera 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 aux niveaux 40, 100 et 200 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. seuils au §2.2.1.2), on affectera le code qualité '3'.

Après expertise, les séries DD et FF horaires du LiDAR à 40, 100 et 200 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).
- '99' : La donnée est douteuse car elle ne peut pas être comparée avec le modèle (donnée modèle absente).

Chaque donnée des séries horaires de vent à 40, 100 et 200 m est donc accompagnée de l'un des codes qualité présentés ci-dessus.

Série FXI :

Les séries FXI horaires à 40, 100 et 200 m sont déterminées à partir du maximum des six données FXI 10 min. En cas de manque, les données FXI ne seront pas estimées. La série disposera du code qualité suivant :

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

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

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 la division COMPAS.

- **L'erreur moyenne, ou biais** caractérise l'erreur systématique des données LiDAR par rapport au modèle :

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

Plus il est proche de 0, plus les observations sont proches « en moyenne » du modèle.

- **La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne** mesure la distance entre les observations et le modèle :

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

Plus elle est proche de 0, plus les observations sont proches du modèle.

- **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, meilleure est l'adéquation entre les observations et 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 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

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 7). Une donnée absente (force et/ou direction) sur les 10 minutes précédant l'heure ronde est signalée par un astérisque. Pour les niveaux 40, 100 et 200 m, elle devra faire l'objet d'une estimation pour la constitution des séries horaires respectives.

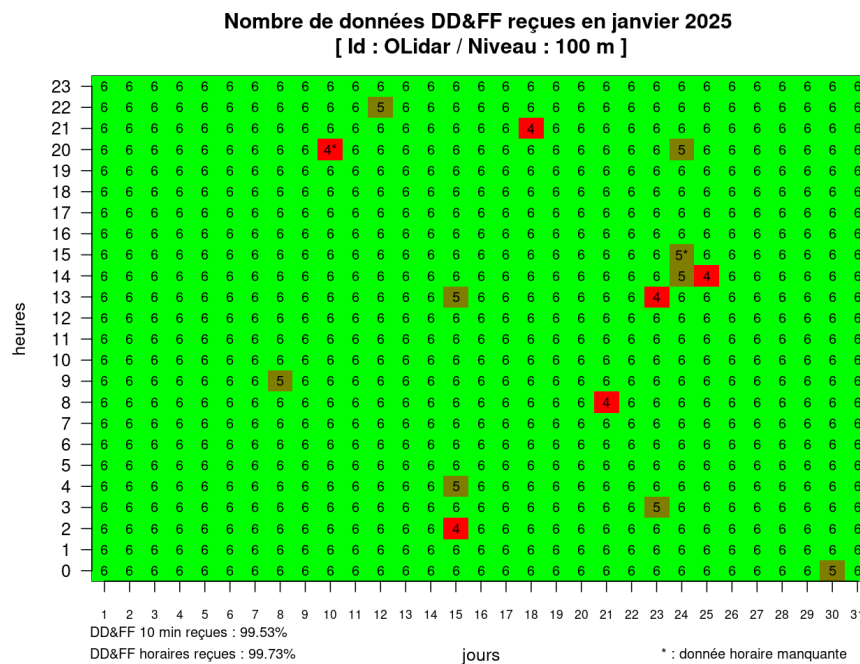


Illustration 7 : exemple de tableau mensuel de disponibilité des données au niveau 100 m pour chacun des 31 jours (abscisses) du mois de janvier 2025 sur chacune des heures de la journée (ordonnées). Chaque case indique le nombre de données 10 min disponibles, 6 étant la meilleure disponibilité.

Le taux de présence des données du LiDAR décroît naturellement avec l'altitude, les nuages bas créant un obstacle à la mesure. Pour le mois d'avril 2025, la disponibilité des données à 250 m est, par exemple, inférieur d'environ 15,18 points de pourcentage à celle du niveau le plus proche du sol, à savoir 40 m. Cela peut s'expliquer par l'occurrence de phénomènes de très basses couches (brume, brouillard, stratus) durant le printemps.

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

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

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

	2024	2025					
	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin
250 m	90.28	94.58	91.22	90.26	83.82	89.70	90.23
200 m	95.03	97.92	97.02	95.68	95.69	96.66	97.57
180 m	97.62	98.75	97.99	97.54	97.06	96.98	98.52
160 m	98.83	99.37	98.59	98.79	98.01	97.09	99.05
150 m	99.05	99.46	98.78	99.06	98.45	97.13	99.10
140 m	99.05	99.51	98.83	99.22	98.59	97.20	99.10
120 m	98.90	99.53	98.59	99.46	98.82	97.18	99.10
100 m	98.68	99.53	98.81	99.51	99.05	97.24	99.07
80 m	99.05	99.53	98.96	99.51	99.10	97.24	98.89
60 m	99.09	99.53	98.96	99.51	99.10	97.27	98.98
50 m	99.05	99.53	98.96	99.51	99.00	97.27	99.14
40 m	98.94	99.53	98.96	99.51	99.00	97.27	99.17
Moyenne globale KPI tous niveaux	97.80	98.90	97.97	98.13	97.14	96.52	98.16
Moyenne KPI (60, 100 & 160 m)	98.87	99.48	98.78	99.27	98.72	97.2	99.04
Nb de jours	19	31	28	31	30	31	30

	2025								
	juil	août	sept	oct	nov	déc	Moyenne sur 365 j	Nb Mois	Nb mois KPI ≥ 80%
250 m	90.21	90.64	95.60	92.52	93.84	87.50	90.98	.	.
200 m	98.70	96.46	98.43	97.07	97.82	93.06	96.93	.	.
180 m	99.10	97.04	98.59	98.10	98.17	95.89	97.9	.	.
160 m	99.15	97.72	98.61	99.01	98.38	97.92	98.52	.	.
150 m	99.15	98.05	98.61	99.10	98.40	98.38	98.67	.	.
140 m	99.15	98.30	98.61	99.17	98.45	98.67	98.75	.	.
120 m	99.15	98.72	98.61	99.28	98.45	99.07	98.82	.	.
100 m	99.15	99.19	98.63	99.33	98.47	99.07	98.9	.	.
80 m	99.15	99.19	98.63	99.33	98.50	99.07	98.93	.	.
60 m	99.15	99.19	98.63	99.33	98.50	99.07	98.94	.	.
50 m	99.15	99.19	98.63	99.33	98.50	99.07	98.94	.	.
40 m	99.15	99.19	98.63	99.33	98.50	99.07	98.94	.	.
Moyenne globale KPI tous niveaux	98.36	97.74	98.35	98.41	98.00	97.15	97.94	.	.
Moyenne KPI (60, 100 & 160 m)	99.15	98.7	98.63	99.22	98.45	98.69	98.79	13	13
Nb de jours	31	31	30	31	30	12	365	.	.

Tableau 1 : taux de présence KPI (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 critères KPI.

Cette campagne de mesure n'a pas rencontré de problème technique majeur au niveau de la chaîne laser du LiDAR embarqué sur la bouée.

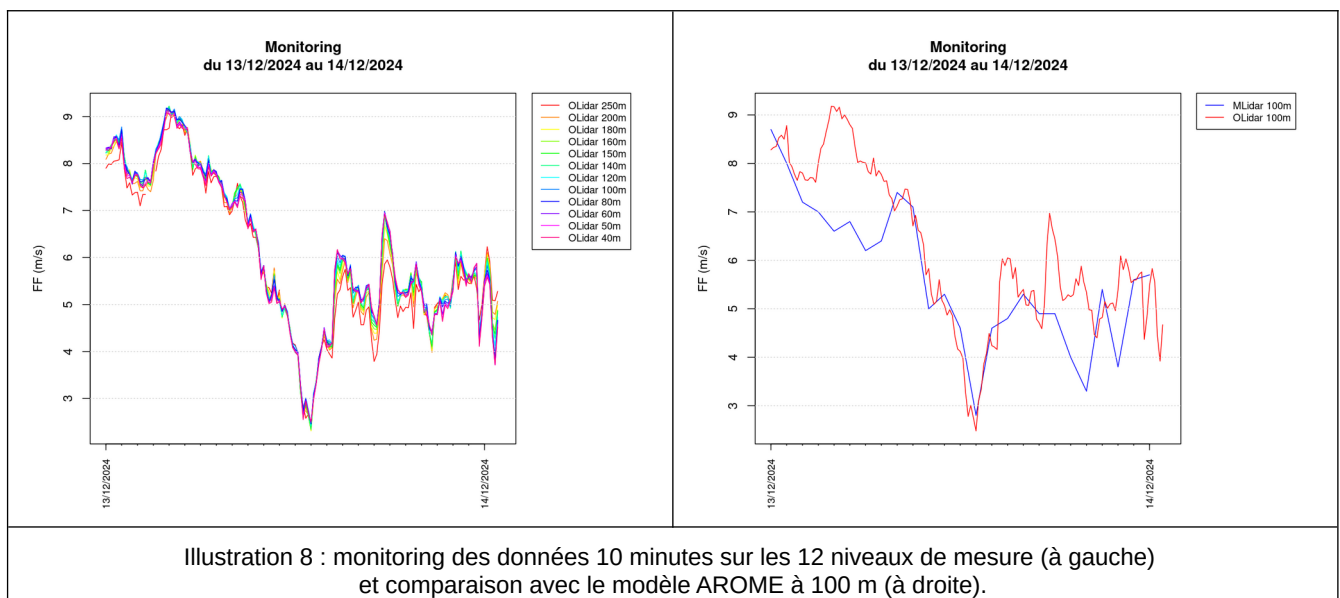
L'ensemble des mois de la campagne de mesure ont bien été validés en raison du fort taux de disponibilité des données. En effet, durant cette campagne, les critères KPI sont bien atteints pour les 3 niveaux 60, 100 et 160 m avec une disponibilité moyenne globale KPI pour ces trois niveaux de 98,79 %.

Comme indiqué précédemment, on peut noter que le taux de présence des données du LIDAR décroît avec l'altitude, le LIDAR ayant plus de difficultés à atteindre les couches supérieures, notamment lors d'un fort taux d'humidité et tout particulièrement en présence de nuage très bas. La disponibilité des données à 250 m sur l'ensemble de la campagne est, par exemple, inférieure de 7,96 points de pourcentage à celle du niveau le plus proche du sol, à savoir 40 m.

3.1.2 Monitoring des données FF

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.

L'illustration 8 présente les relevés du vent moyen du LiDAR du 13 décembre 2024. Les conditions météorologiques étaient anticycloniques sur la façade Atlantique avec un vent de secteur nord-est modéré à faible pour la journée. On note une bonne corrélation globale entre l'observation LiDAR (courbe rouge) et le modèle (courbe bleue) sur le graphique de droite. La baisse et la remontée du vent sont synchronisées sur les deux courbes. Un léger déphasage est observé en début d'échéance, le modèle ayant diminué la force du vent d'environ 2 m/s avant l'observation. En fin de journée, le modèle a tendance également à atténuer les « pics » de vent observés.



3.1.3 Monitoring des écarts

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 de modèle et les données d'observation).

Nous effectuons un suivi mensuel des moyennes glissantes sur 24 heures, des écarts sur les forces FF et les directions DD entre les données du LiDAR à 100 m et les données du modèle AROME, afin de détecter d'éventuelles dérives. Sur l'ensemble de la campagne, les écarts restent dans la plupart des cas en dessous de 2 m/s et de 30°, et sont donc très inférieurs aux seuils fixés à la section 2.2.1.2. L'exemple de monitoring pour le mois de décembre 2024 figure dans l'illustration 9. Pour la majeure partie du mois, l'écart en force (courbe bleue) reste compris entre 0,5 m/s et 2 m/s. Concernant l'écart en direction (courbe rouge), il est très faible (en dessous de 30°) jusqu'au 27 décembre. On observe un pic (supérieur à 100°) la journée du 28 décembre, un deuxième pic (atteignant 60°) la journée du 30 décembre. Ces écarts en direction ne remettent pas en cause la bonne qualité des données du LiDAR et sont liés à une situation météorologique particulière (cf. détails dans le rapport annuel L4.RA-1an_GGS).

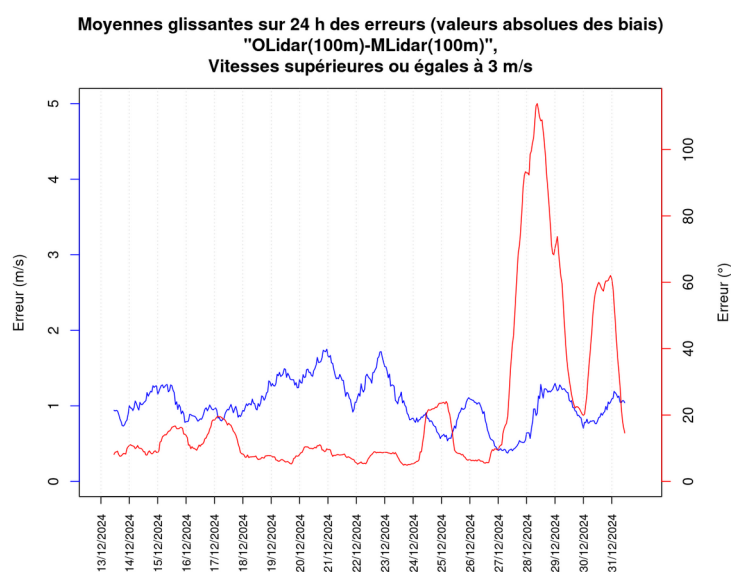


Illustration 9 : monitoring des écarts de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge) pour le mois de décembre 2024

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 150 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 ⁴
Décembre 2024	RAS
Janvier 2025	RAS
Février 2025	RAS
Mars 2025	RAS
Avril 2025	RAS
Mai 2025	RAS – Maintenance préventive les 14 et 16
Juin 2025	RAS
Juillet 2025	RAS
Août 2025	RAS
Septembre 2025	RAS – Maintenance préventive le 25
Octobre 2025	RAS
Novembre 2025	RAS – Maintenance préventive le 18
Décembre 2025	RAS

⁴ En plus de ces incidents, des trous de données peuvent être présents occasionnellement. Ils sont liés à des redémarrages internes ponctuels du LiDAR, Vaisala garantissant une haute disponibilité de son LiDAR, mais pas de 100 %.

En dehors de très rares manques de données, liés à des maintenances préventives, la réception de celles-ci s'est très bien déroulée au cours de toute la période.

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 les données du modèle AROME au point de grille le plus proche.

Concernant la comparaison des forces du vent (cf. Illustration 10, à gauche), le coefficient de corrélation linéaire est fort (0,917), avec une majorité de points situés le long de la droite de régression et le biais est très faible (-0,19 m/s). On note 368 cas où seul l'écart de direction dépasse 30° (croix orange sur le graphique de gauche), 67 cas où seul l'écart de vitesse dépasse 5 m/s (carrés orange sur le graphique de gauche), et seulement 12 cas où les deux seuils sont dépassés simultanément (carrés rouges sur le graphique de gauche). Ces écarts sont principalement concentrés dans les vitesses faibles à modérées (en dessous de 15 m/s).

Sur le graphique de comparaison des directions du vent (cf. Illustration 10, à droite), les points forment une diagonale assez resserrée autour de la droite de régression linéaire montrant une bonne corrélation entre les données de direction observées et modélisées. On note qu'une majorité des points mesurés et observés sont situés dans la direction nord-est (avant le 90°) et l'autre majorité plutôt dans un vaste secteur ouest (autour du 270°).

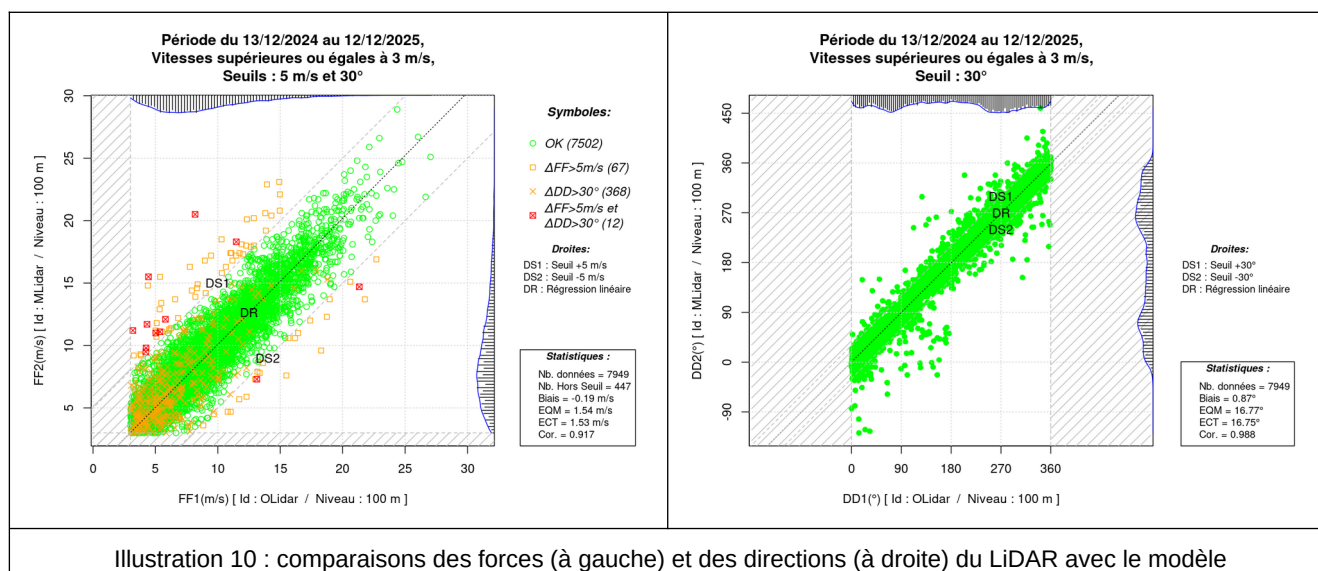


Illustration 10 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR avec le modèle

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent du LiDAR et du modèle AROME (cf. Illustration 11) présente une adéquation quasi-parfaite de la totalité des points qui sont alignés sur la bissectrice. À noter qu'on observe des points rouges distincts pour les valeurs les plus fortes (au-delà de 20 m/s). Le point max (situé vers 27-28 m/s) est légèrement excentré tout en restant proche de la bissectrice.

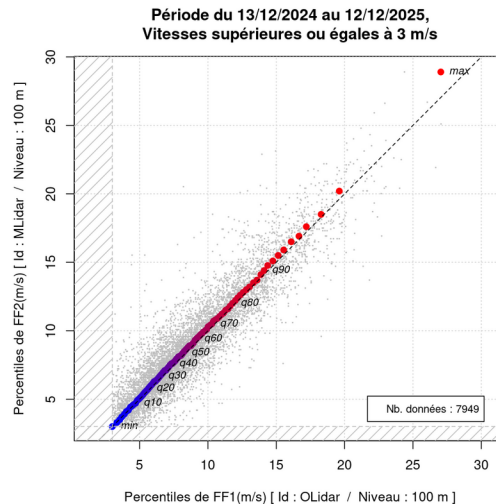


Illustration 11 : diagramme "quantile-quantile"

Concernant les écarts de direction, on note que quelle que soit l'heure de la journée, les boîtes à moustache sont quasi identiques (cf Illustration 12, à gauche), indiquant que la prévision du modèle ne dépend pas de l'heure et que sa performance reste constante entre le jour et la nuit. À noter que la médiane reste proche de 0°, démontrant qu'il n'existe pas de biais des observations par rapport au modèle. Les points isolés montrent que des écarts importants ($> 100/150^\circ$) surviennent occasionnellement.

Sur l'illustration 12, graphique de droite, la médiane des écarts de direction reste très proche de 0° également, quel que soit le secteur, confirmant l'absence de biais. On note que l'accord entre LiDAR et modèle est très bon dans les secteurs ouest et sud-ouest (flux océanique) avec peu de dispersion.

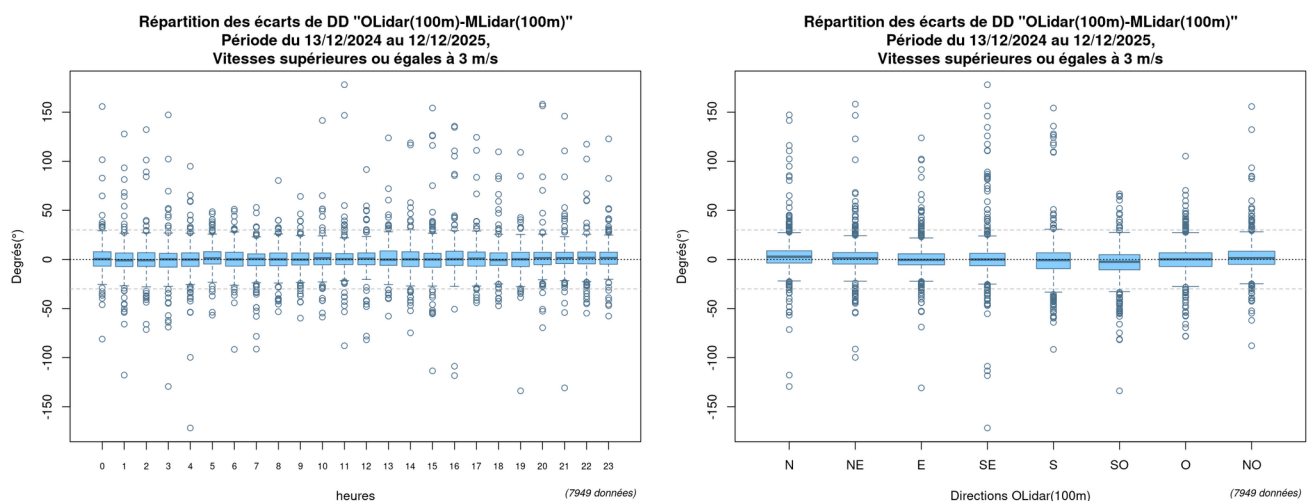


Illustration 12 : répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

Les écarts de force importants ($\Delta FF > 5$ m/s) sont essentiellement concentrés dans les secteurs ouest et sud-ouest (cf. Illustration 13, à gauche). Les écarts négatifs suggèrent que le modèle a tendance à surestimer les vents venant du large. A contrario, les écarts de plus de 5 m/s dans les secteurs nord à sud-est sont nettement moins présents, les vents y sont toutefois moins extrêmes (cf. Illustration 2).

Concernant la répartition des écarts de direction du vent ($\Delta DD > 30^\circ$) en fonction de la force (cf. Illustration 13, à droite), on remarque que les écarts supérieurs à 30° sont les plus fréquents dans la tranche des vents faibles (de 3 à 6 m/s), avec un pic maximal légèrement supérieur à 20 % des cas pour les vents compris entre 3 et 4 m/s.

Au fur et à mesure que la vitesse du vent augmente, l'écart directionnel se réduit, passant rapidement sous 5 % des cas mesurés (pour une même gamme de valeurs) dès 6 m/s, excepté pour un cas entre 21 et 22 m/s.

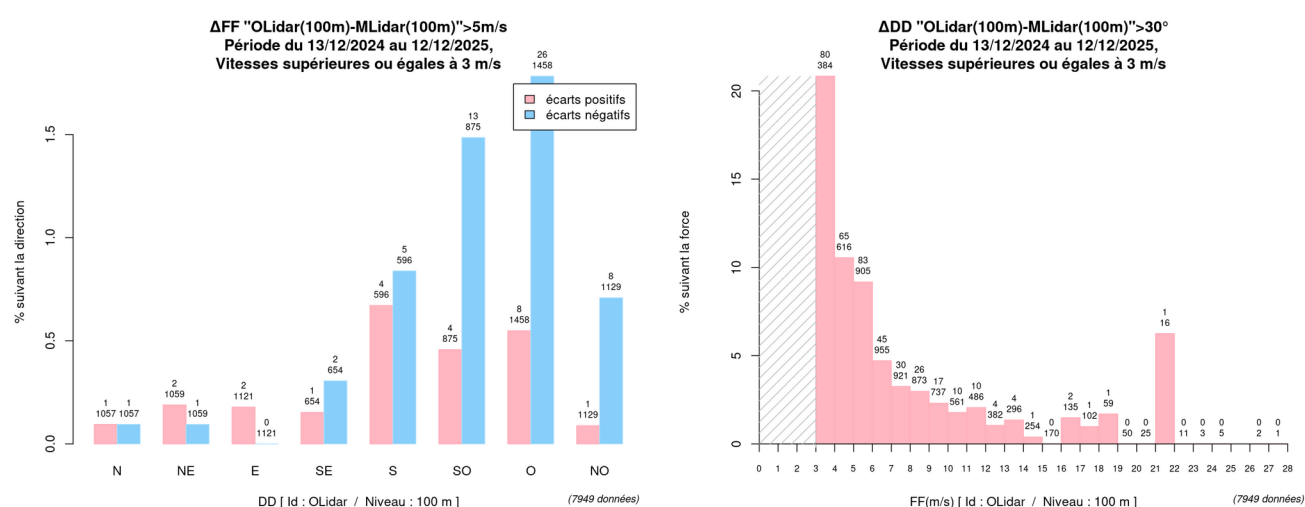


Illustration 13 : dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR

Au-dessus de chaque histogramme de cette illustration sont indiqués deux nombres : le nombre de cas franchissant le seuil (de force à gauche ou de direction à droite) pour le paramètre indiqué en abscisse (secteur de direction à gauche et force de vent à droite), puis en dessous le nombre total de mesures pour ce même paramètre.

3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré

En préambule, afin de se faire une idée plus précise des conditions météorologiques rencontrées durant la campagne de mesure, une description détaillée de la climatologie saisonnière figure en Annexe 3.

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.

Sur l'ensemble de la campagne, le Tableau 2 permet de constater que les forces de vent mesurées par le LiDAR se distribuent de manière similaire, que l'on regarde les données mesurées toutes les 10 minutes ou seulement les données horaires (cf. ligne total Tableau 2 – dans ce tableau, le taux « brut » correspond à l'ensemble des données 10 minutes du LiDAR, et le taux « reconstitué » aux données horaires). En effet, quelle que soit la classe de vitesse ou le mois considéré, ces taux ne diffèrent pas de plus de 1,9 points de pourcentage, et sont même généralement proches de zéro.

			Classes de force de vent en m/s							
Année	Mois	Nombre de cas	0 à 3	3 à 5	5 à 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	30 à 35
2024	12	2700	4.1%	16.2%	51.6%	17.3%	10.2%	0.6%	.	.
		456	4.2%	16.0%	52 %	17.3%	10.3%	0.2%	.	.
2025	1	4443	2.7%	9.8%	38.2%	23.4%	20.1%	5.5%	0.2%	.
		744	3.0%	9.4%	37.9%	25.3%	19%	5.4%	0.1%	.
	2	3984	9.4%	16.6%	54.9%	16.7%	2.2%	0.2%	.	.
		672	9.5%	16.2%	55.8%	15.8%	2.5%	0.1%	.	.
	3	4442	2.8%	12.4%	48.1%	29.1%	7.7%	.	.	.
		744	2.8%	12.2%	48.7%	28.8%	7.5%	.	.	.
	4	4279	4.7%	11.6%	46.9%	31.1%	5.6%	0.1%	.	.
		720	5.1%	10.3%	47.5%	31.5%	5.3%	0.3%	.	.
	5	4341	6.4%	12.6%	68%	12.3%	0.6%	.	.	.
		744	6.9%	12.5%	67.9%	12%	0.8%	.	.	.
	6	4280	11.9%	25.6%	48.8%	13.2%	0.5%	.	.	.
		720	12.8%	25.1%	48.5%	13.2%	0.4%	.	.	.
	7	4426	3.2%	14.4%	59.4%	19.5%	3.5%	.	.	.
		744	3.2%	14.2%	58.7%	20.4%	3.4%	.	.	.
	8	4428	8.0%	15.9%	59 %	14.3%	2.7%	0.1%	.	.
		744	7.5%	16.4%	58.9%	14.7%	2.6%	.	.	.
	9	4261	9.9%	17.2%	43.6%	25.9%	3.3%	0.1%	.	.
		720	10.1%	17.4%	43.5%	25.3%	3.6%	0.1%	.	.
	10	4434	2.6%	7.2%	54.1%	29 %	5.1%	1.8%	0.2%	.
		744	2.6%	7 %	54.4%	28.8%	5.1%	1.9%	0.3%	.
	11	4254	5.5%	6.8%	46.5%	32.7%	8.3%	0.2%	.	.
		720	5.4%	7.4%	46.1%	32.5%	8.5%	0.1%	.	.
	12	1712	2.0%	9.1%	40.7%	34.1%	13.9%	0.2%	.	.
		288	2.1%	8%	41%	34.4%	14.6%	.	.	.
Total		51984	5.8%	13.6%	51.2%	22.6%	6%	0.7%	0 %	.
		8760	6.0%	13.4%	51.3%	22.7%	5.9%	0.7%	0 %	.

Tableau 2 : classes de vitesses par mois – taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR

3.3.2.2 Distributions

Les histogrammes représentant la distribution des vitesses de vent supérieures ou égales à 3 m/s à 100 mètres du LiDAR et du modèle se superposent quasi parfaitement (*cf.* Illustration 14). Les quantiles apparaissant dans l'encart sont très proches. Un léger écart (ΔFF) négatif de 0,2 m/s sur la moyenne et entre q25 et q75 est observé, signifiant une très légère surestimation du modèle qui augmente pour les vents les plus forts (avec des écarts ΔFF négatifs de 1,9 m/s pour les valeurs max et 0,3 m/s pour le q90). Concernant la distribution des vents les plus faibles, on note une bonne adéquation entre les données observées et modèle avec même des valeurs min et q10 identiques.

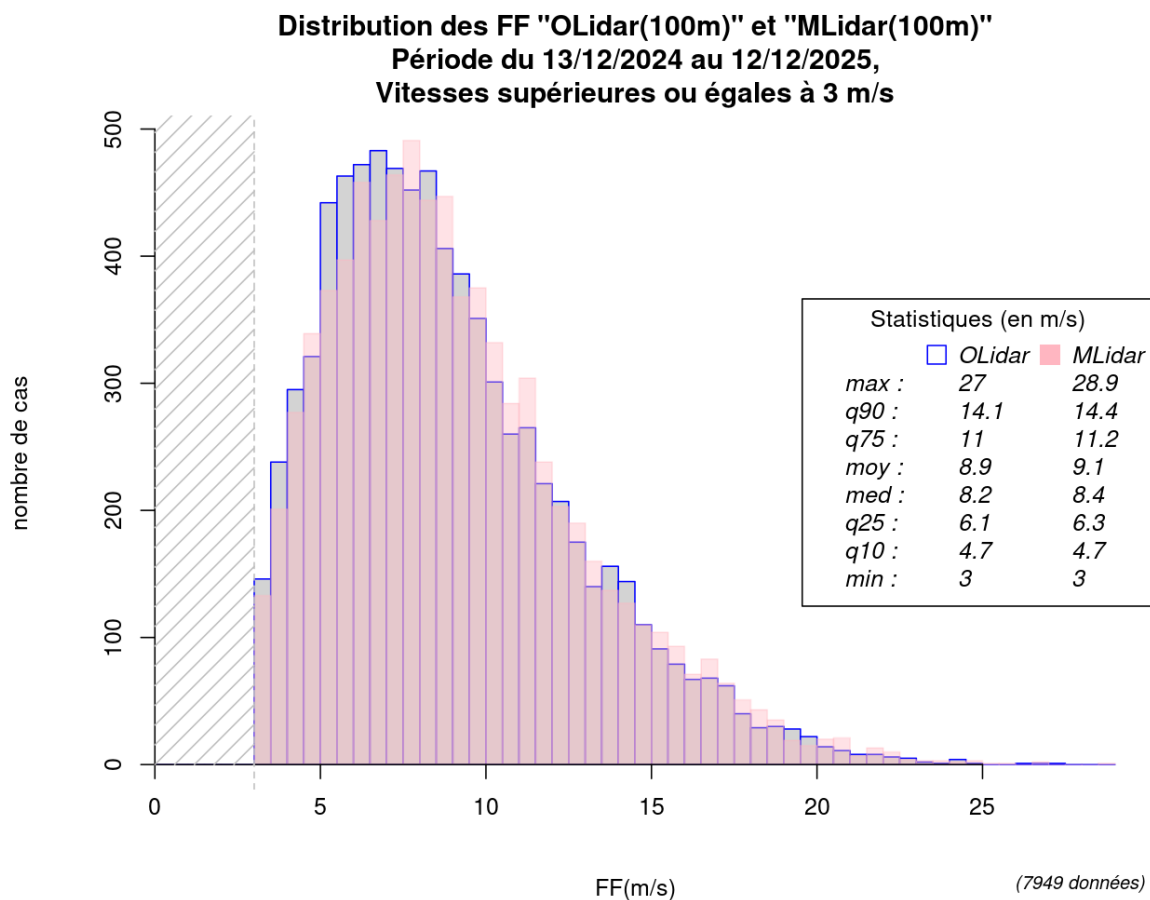


Illustration 14 : distributions des vents horaires du LiDAR

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

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

Sur l'illustration 15, on observe peu de variation majeure des médianes de force horizontale du vent quelle que soit l'heure de la journée (caractéristique d'un vent océanique mesuré à 100 m). Les médianes globales sont très proches et situées vers 8 m/s, la médiane d'AROME étant très légèrement au-dessus de l'observation. La distribution des boîtes entre les données du LiDAR et du modèle sont quasiment juxtaposées et la moitié des vents à 100 m soufflent aux alentours des 6 et 11 m/s (pour rappel, chaque boîte contient 50 % des données). Il n'existe pas de présence de biais en fonction de l'heure de la journée.

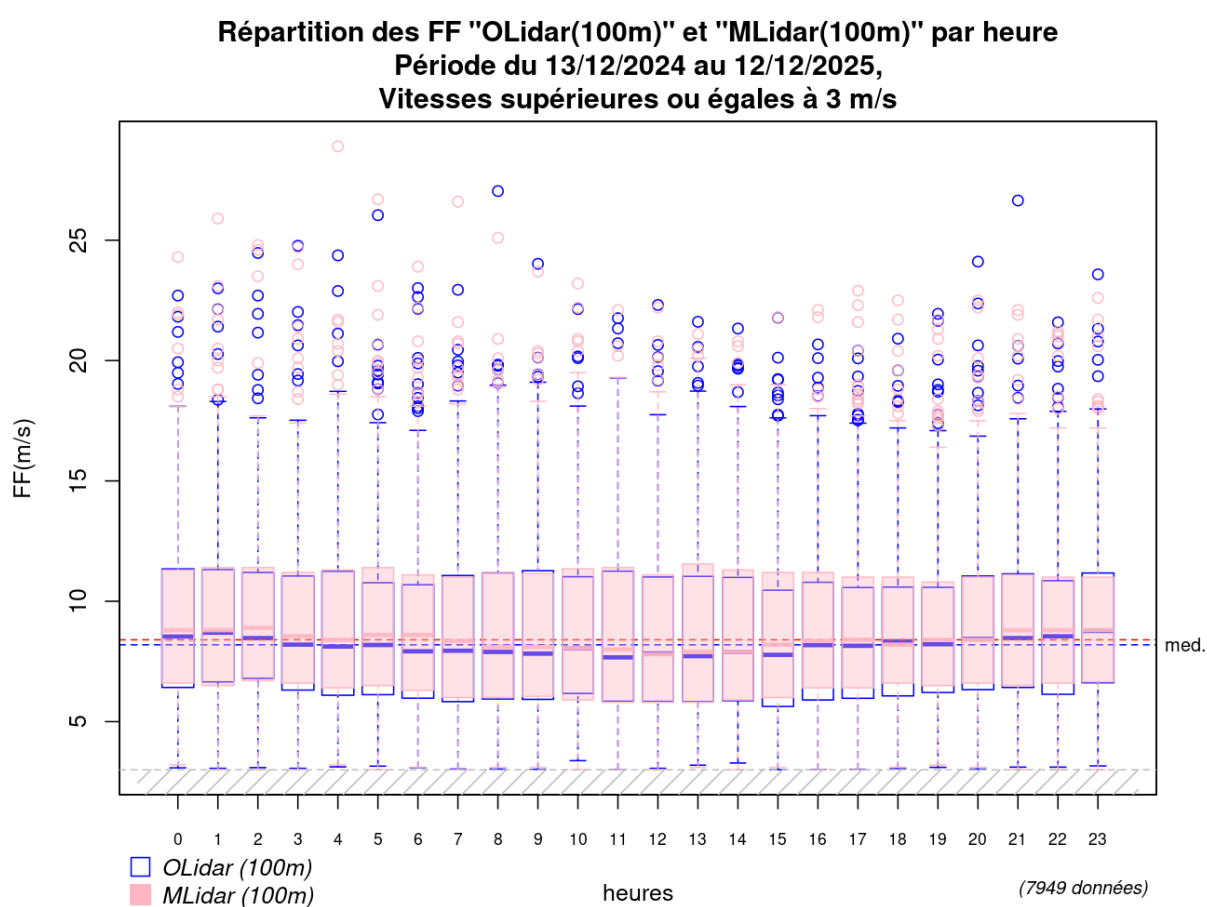


Illustration 15 : répartitions horaires des forces du vent du LiDAR

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

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

L'illustration 16 met en évidence une forte saisonnalité de la force du vent horizontal :

- La période hivernale (mois de décembre à février) se situe au cœur de la saison venteuse avec le mois de janvier 2025 qui se distingue par sa médiane élevée (autour des 10 m/s) et un vent maximum supérieur à 25 m/s.
- Le printemps (mois de mars à mai) marque une période de transition avec des valeurs médianes proches des celles de toute la campagne.
- En période estivale (de juin à août), les valeurs des médianes sont au plus bas ; on note que le mois de juin a été particulièrement calme avec une dispersion réduite et peu de valeurs extrêmes.
- L'automne (de septembre à novembre) est également une période de transition avec une remontée progressive de la force du vent et plus de cas extrêmes notamment au mois d'octobre 2025.

On remarque également que les boîtes à moustaches issues des données modèle sont encore une fois très proches de celles mesurées par le LiDAR tout au long de l'année (le modèle suit fidèlement les fluctuations saisonnières réelles, en surestimant légèrement les observations).

Concernant les rafales extrêmes durant les épisodes de coup de vent et tempête, pour certains mois (décembre 2024, octobre 2025 et novembre 2025), le modèle a tendance à légèrement surestimer les vitesses maximales (points rouges isolés).

Précisons que la ligne pointillée dans cette illustration montre la médiane globale des forces de vent sur l'ensemble des 12 mois de la campagne, mais ne doit pas être confondue avec une normale climatologique. Par conséquent, l'illustration 16 doit être mise en regard avec le Tableau 3 pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation.

Répartition des FF "OLidar(100m)" et "MLidar(100m)" par mois
Période du 13/12/2024 au 12/12/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

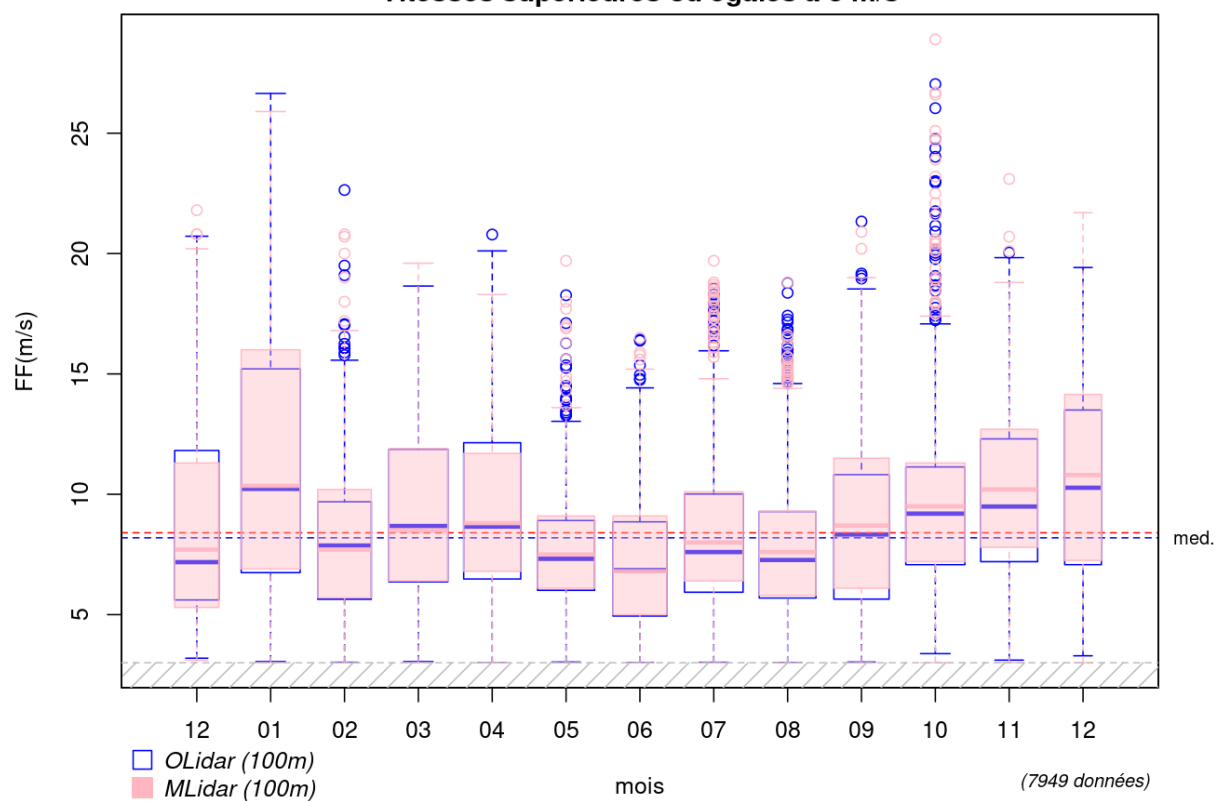


Illustration 16 : répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR et du modèle au niveau 100 m.
 La largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données.

Afin de comparer de manière plus générale la période de la campagne de mesure à la climatologie, nous avons effectué une analyse fréquentielle mensuelle de la vitesse du vent horaire au sémaphore de Chassiron (station de référence choisie).

Au regard de la climatologie (statistiques 2001-2020) :

- Les mois de janvier, d'automne et de décembre 2025 ont été plus dynamiques que la normale en termes de vent fort (> 8 m/s), ainsi que les mois d'octobre et novembre en termes de vents modérés ($[4,5 ; 8,0[$ m/s). A contrario, les mois de février et mars ont été plus calmes que la moyenne climatologique avec un déficit de vent fort respectivement de 17,4 et 9,5 points de pourcentage.
- Concernant les moyennes annuelles, elles sont à l'équilibre sur la période avec des écarts ne dépassant pas 1,1 points de pourcentage.

	2024	2025												
Vitesses en m/s	12 ⁵	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 ⁶	Moyenne annuelle
> 8	28,0	26,4	26,5	21,6	14,6	12,8	9,3	8,7	8,5	10,7	17,2	27,4	28,0	17,6
	17,3	35,7	9,1	12,1	14,2	7,4	6,9	11	6,2	26,9	26,9	29,0	33,3	17,5
[4.5, 8.0[	38,0	39,0	39,1	41,3	41,2	42,9	40,8	42,5	40,6	39,2	37,6	36,0	38,0	39,9
	30,7	38,6	32,7	48,5	40,8	43,8	38,1	48,7	39,0	34,0	44,9	44,6	32,6	40,5
[1.5, 4.5[	31,2	31,3	31	34,3	40,6	41,1	46,2	45	47,4	45,8	41,2	33,6	31,2	39,1
	43,2	23,6	55,2	36,7	44,3	46,1	53,3	38,8	52,7	37,1	27,2	24,0	30,6	39,7
[0, 1.5[	2,8	3,3	3,4	2,8	3,6	3,2	3,7	3,8	3,5	4,3	4	3	2,8	3,4
	8,8	2,1	3	2,7	0,7	2,7	1,7	1,5	2,1	2,0	1,0	2,4	3,5	2,3

Tableau 3 : fréquences (en %) des forces de vent de la station de Chassiron sur la période 2001-2020 (en gras) et pour la période du 13 déc. 2024 au 12 déc. 2025 (en italique)

Surlignages : excédent (en rouge) et déficit (en bleu) de plus de 5 points de pourcentage par rapport à la normale

Rappel : une analyse détaillée de la climatologie saisonnière, présentant les différences de vents par secteurs, figure en Annexe 3.

5 Du 13 au 31 décembre 2024 (19 jours)

6 Du 1^{er} au 12 décembre 2025 (12 jours).

3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)

Pour une meilleure lisibilité, nous faisons le choix de représenter dans les illustrations ci-dessous les roses des vents à 100 m en seulement 4 classes de vents. À noter que la rose des vents observés (Illustration 17) est réalisée ici à partir de toutes les données **horaires** disponibles (**données inférieures à 3 m/s comprises**).

La rose des vents issue des données modélisées par le modèle AROME (Illustration 18) coïncide étroitement avec la rose des vents obtenue à partir des données observées par le LiDAR (Illustration 17). À noter que les vents de [10 ; 20] m/s sont légèrement sur-estimés par le modèle (+1,8 points de pourcentage) et plus précisément dans le secteur 270° (+1,5 points de pourcentage). À l'inverse, les vents modérés [5 ; 10] m/s sont légèrement sous-estimés (-1,8 points de pourcentage).

OLidar(100m) Période du 13/12/2024 au 12/12/2025

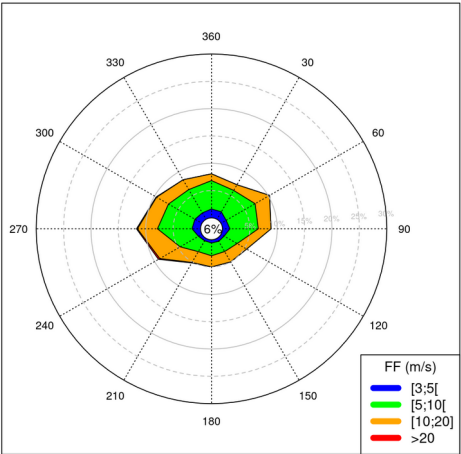


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 8671

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.6	4.5	1.2	0.0	7.3
60	1.1	6.1	3.0	0.0	10.2
90	1.4	5.2	2.3	.	8.9
120	0.7	2.7	2.0	.	5.4
150	0.6	2.2	2.2	0.0	5.0
180	0.6	2.3	2.0	0.0	5.0
210	0.5	2.3	2.3	0.1	5.2
240	0.7	3.9	4.3	0.3	9.2
270	1.5	6.3	3.7	0.2	11.7
300	1.5	5.6	2.5	0.1	9.7
330	1.4	4.9	2.1	0.0	8.4
360	1.6	5.2	1.2	.	8.1
Total	13.2	51.3	28.8	0.7	94.0
[0; 3[					6.0

Illustration 17 : rose des vents à 100 m observés (LiDAR) sur l'ensemble de la campagne

MLidar(100m) Période du 13/12/2024 au 12/12/2025

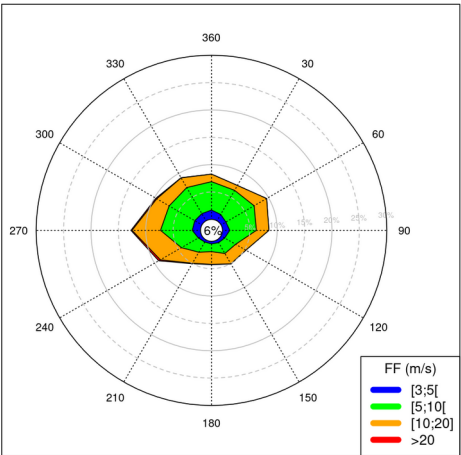


Tableau de répartition (en %)
Nombre total de cas : 8759

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.4	5.1	1.0	.	7.5
60	1.0	5.9	2.6	.	9.6
90	1.3	4.9	2.3	.	8.5
120	0.8	2.3	2.1	.	5.2
150	0.6	2.3	2.2	0.0	5.1
180	0.5	1.4	2.3	0.1	4.3
210	0.5	2.2	2.3	0.1	5.0
240	0.8	3.6	4.4	0.4	9.1
270	1.5	5.8	5.2	0.2	12.7
300	1.5	5.4	2.6	0.2	9.7
330	1.5	5.5	2.0	0.0	9.1
360	1.7	5.2	1.4	0.0	8.3
Total	13.1	49.5	30.6	1.0	94.2
[0; 3[					5.8

Illustration 18 : rose des vents à 100 m modélisés sur l'ensemble de la campagne

Le tableau de contingence détaillé, présentant les forces de vents du LiDAR par classe de 1 m/s et par secteur de 30° figure en Annexe 6.

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

3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires)

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

D'après l'illustration 19, on constate que durant la période de la campagne de mesure, les profils horaires observés sur la couche allant de 40 m à 250 m sont parfaitement cohérents avec les profils modélisés (sauf pour les valeurs maximales). Les premiers quartiles sont quasi identiques. La médiane et le troisième quartile observés sont légèrement inférieurs par rapport aux modélisés.

La divergence la plus nette se situe au niveau des vents maximaux (max) : le modèle a tendance à surestimer la force du vent de 40 à 200 m, puis a tendance à se rapprocher de l'observation au-delà de 200 m.

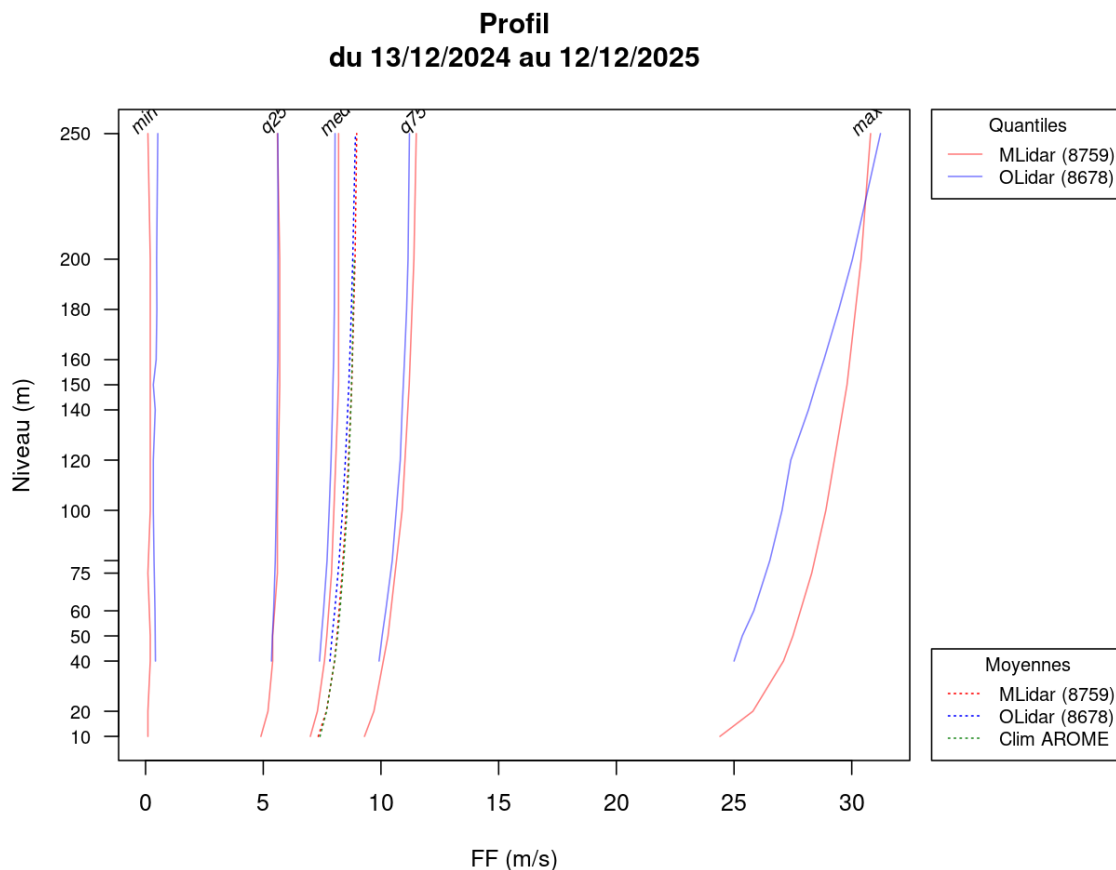


Illustration 19 : profils des vents avec quantiles du LiDAR

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

3.3.2.7 Cisaillement du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, le cisaillement de vent du LiDAR est le plus marqué dans les secteurs sud-est et sud (cf. Illustration 20). Cela indique que lorsque le vent vient de ces secteurs, il y a plus d'effet de frottement en basse couche (à 40 m) qu'en altitude (à 160 m). Concernant les secteurs nord, nord-ouest et nord-est, les boîtes à moustache sont très resserrées et les médianes proches de 0, ce qui est caractéristique d'un flux continental et maritime stable sur toute la hauteur observée dans ces directions.

Concernant les données modélisées AROME, nous avons décidé de représenter le cisaillement de vent du modèle entre les niveaux disponibles les plus proches, 50 m et 150 m. À noter que la modélisation reproduit de façon assez similaire le cisaillement de vent sur la hauteur observé par secteur.

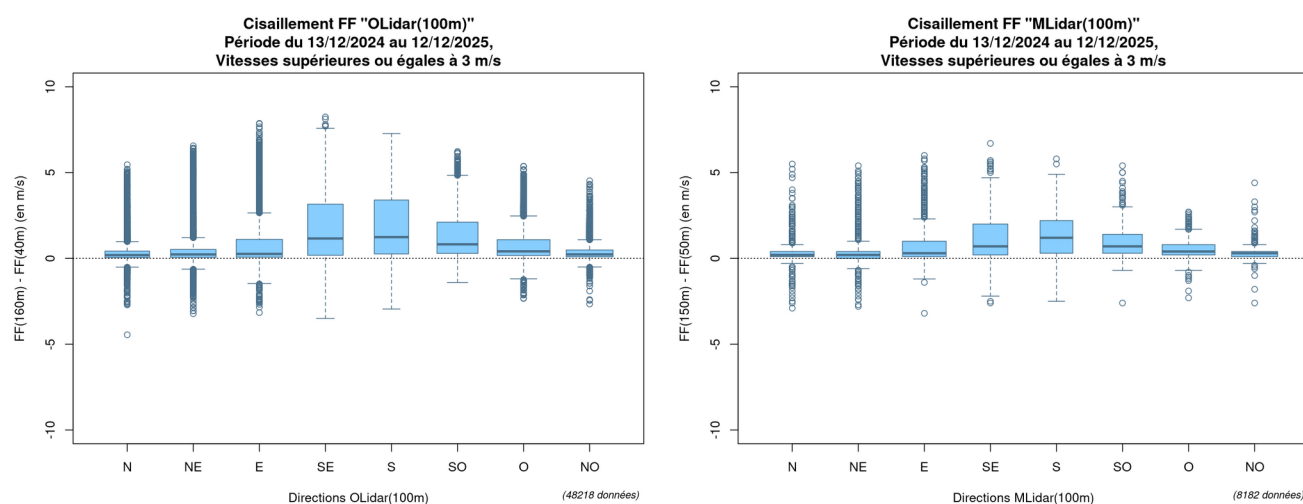


Illustration 20 : cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite)

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

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

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

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

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

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

Nous calculons et représentons sur l'illustration 21 le coefficient α de cisaillement par secteur de 30° pour la couche [40 m – 160 m] en faisant une distinction entre le jour (7 h à 18 h UTC) et la nuit (19 h à 6 h UTC). Les valeurs les plus faibles de l'indicateur α (inférieures à 0,05) correspondent aux situations non perturbées.

Pour les vents de secteur ouest à nord-ouest (240° à 330°) où le coefficient α au q75 est le plus bas, on constate peu de cisaillement vertical lié aux effets diurnes dans ces secteurs (cf. Illustration 21). Concernant les secteurs est à sud-est (90° à 150°) l'exposant augmente nettement, pouvant dépasser 0,4 au q75.

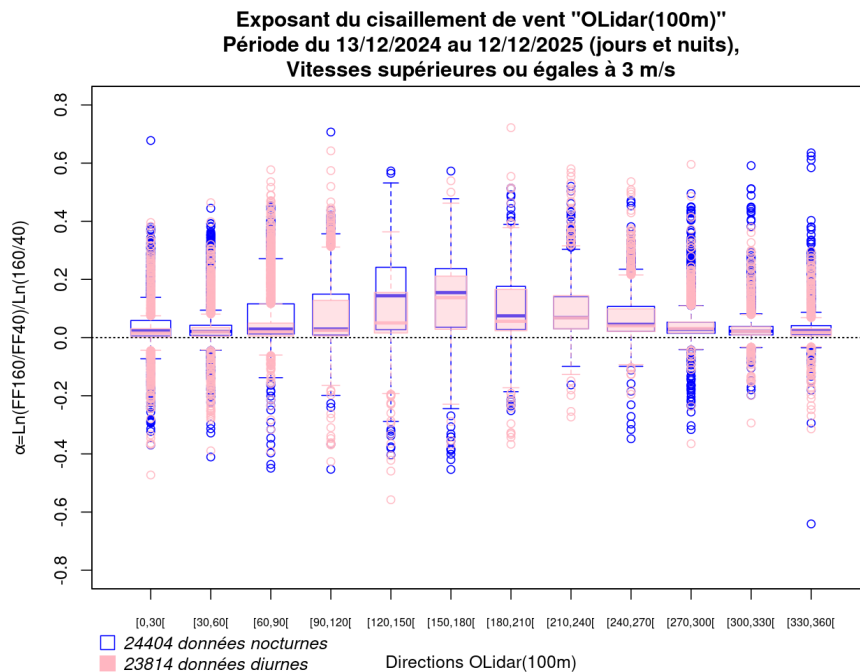


Illustration 21 : exposant du cisaillement de vent du LiDAR

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

3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m

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

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

Sur la période de la campagne de mesures, on constate que la médiane de l'intensité de la turbulence par secteur reste constante et très proche de la médiane globale (cf. Illustration 22).

On note que les secteurs de sud-ouest à nord-ouest (210° à 330° environ) montrent les boîtes à moustaches les plus compactes, indiquant un flux d'air très laminaire et régulier venant du large.

En revanche, les secteurs nord à est (0° à 90° environ) présentent une dispersion plus élevée, potentiellement liée au passage du vent sur les terres.

À noter quelques pics de turbulence dépassant 0,4 voire 0,5 notamment dans les secteurs sud-est, nord et nord-ouest mais restant marginaux.

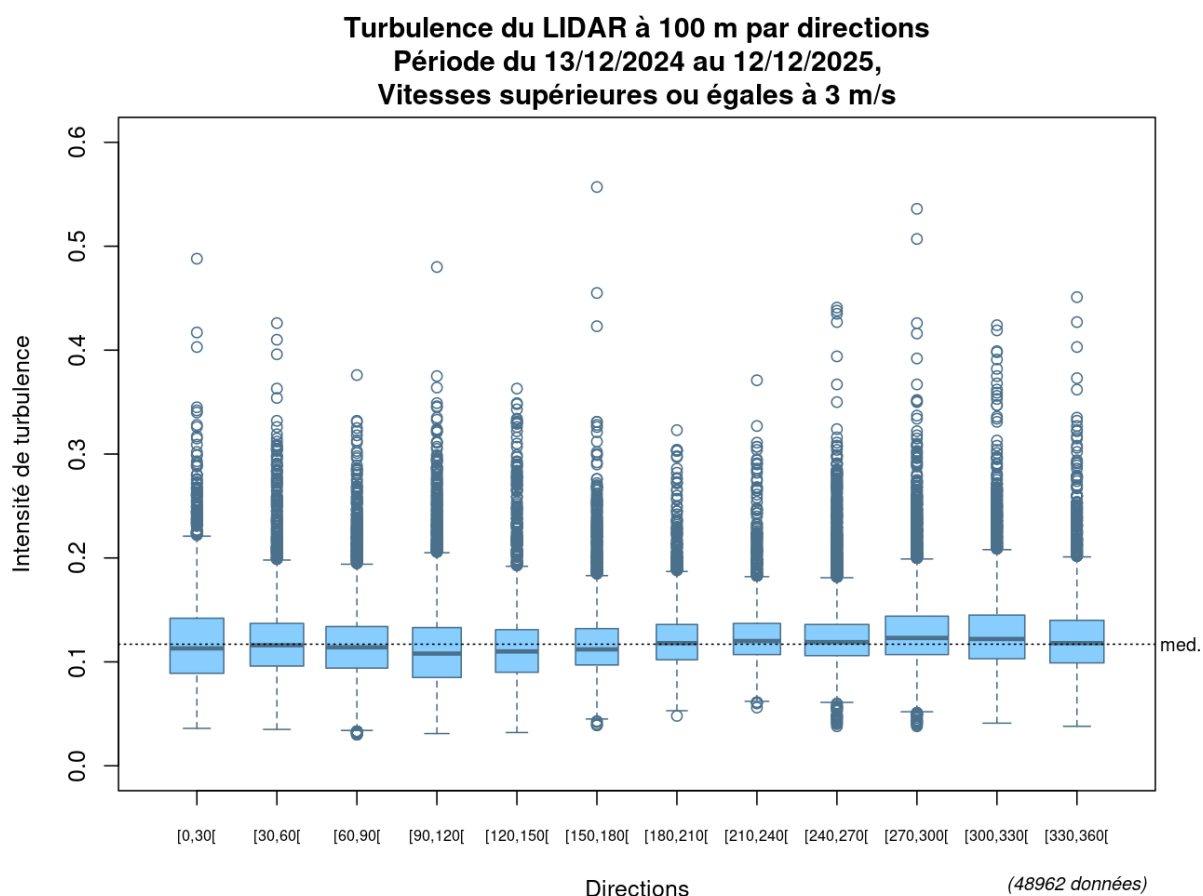


Illustration 22 : intensité de la turbulence mesurée par le LiDAR

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

3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI

Météo-France fournit les séries de données horaires de vent à 40 m, 100 m et 200 m comportant le vent moyen (FF et DD) et la vitesse du vent maximal (FXI) pour la période du 13/12/2024 au 12/12/2025. Ces paramètres sont accompagnés des codes qualité QFF, QDD et QFXI (cf. § 2.2.1.3 Codes qualité).

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

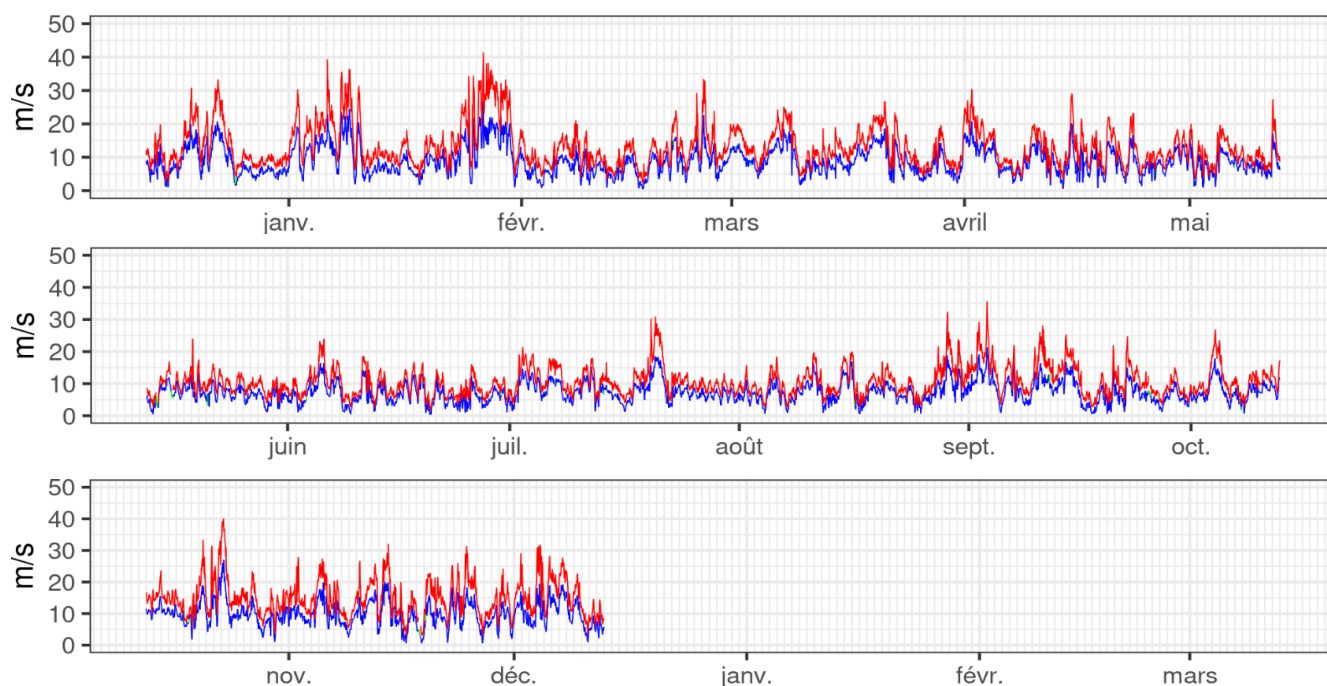


Illustration 23 : séries FF (mesuré en bleu, estimé en vert) et FXI (en rouge) à 100 m du LiDAR en m/s.
Le tableau p.18 donne les raisons des principaux manques de données.

4 Analyse des données du 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'écarts de forces et de directions respectivement de 3 m/s et 30° (cf. § 2.2.1.2).

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 classique suivante (voir par exemple OMM, 2024) :

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

Le coefficient de corrélation linéaire (cf. Illustration 24, à gauche) s'élève à 0,903 ce qui indique une excellente cohérence entre le modèle et les observations de l'anémomètre, même à 10 m où les effets de frottement avec le sol sont complexes. Il existe toutefois un biais positif de 0,43 m/s indiquant que le modèle a tendance à sous-estimer la vitesse du vent au sol par rapport à l'anémomètre.

À noter que la densité de points est maximale entre 2 et 6 m/s environ.

Concernant la corrélation de la direction du vent (cf. Illustration 24, à droite), le coefficient de corrélation linéaire est de 0,976. La concentration des données suit presque parfaitement la droite de régression. On retrouve une plus forte concentration des points dans les secteurs sud-ouest et ouest (du 230° au 330° environ) ainsi que nord-est (70° environ).

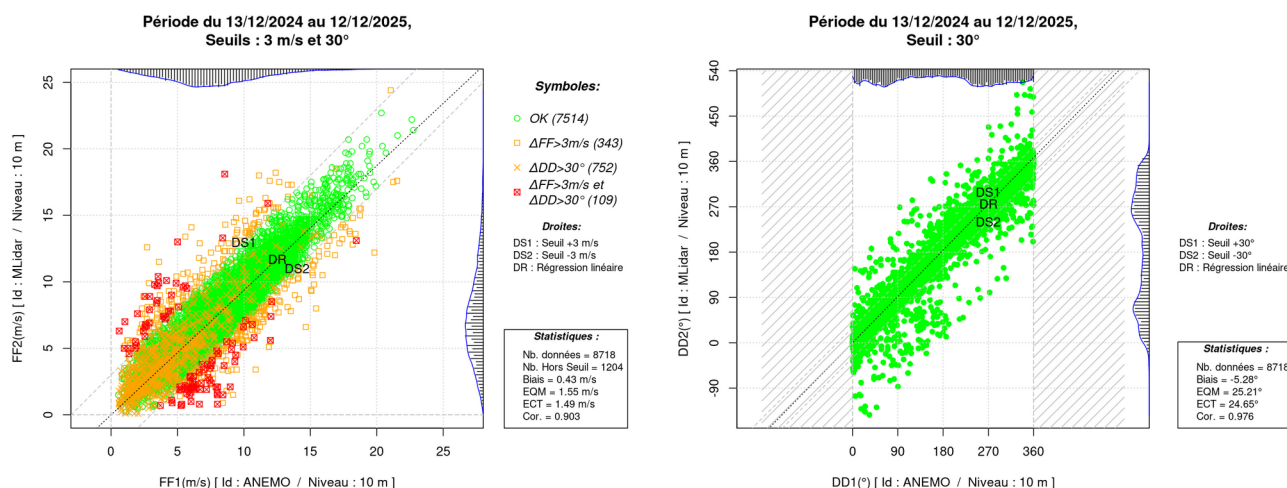


Illustration 24 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle

On retrouve sur la distribution des vents horaires à 10 m (cf. Illustration 25, à gauche) un pic de fréquence entre 6 et 8 m/s. On remarque que le modèle (en rouge) a tendance à légèrement sous-estimer le nombre de cas de vents modérés (vers 10 m/s) par rapport aux observations ; en revanche, le modèle a tendance à surestimer le nombre de cas des vents plus faibles (entre 3 et 5 m/s) par rapport aux données de l'anémomètre. À noter également que la moyenne et la médiane d'AROME à 10 m sont légèrement en dessous de celles de l'observation (respectivement 7,3 et 7 m/s contre 7,8 et 7,5 m/s) ; cela est également vrai pour le min et les autres quantiles, en dehors du max pour lequel le modèle surestime la valeur observée de 1,6 m/s.

Concernant le diagramme « quantile-quantile » (cf. Illustration 25, à droite), les points sont très proches de la droite de régression. On retrouve ici aussi une légère sous-estimation d'AROME concernant les vents modérés (de 7 à 12 m/s environ) et une légère dispersion apparaît pour le vent maximal (surestimation du modèle).

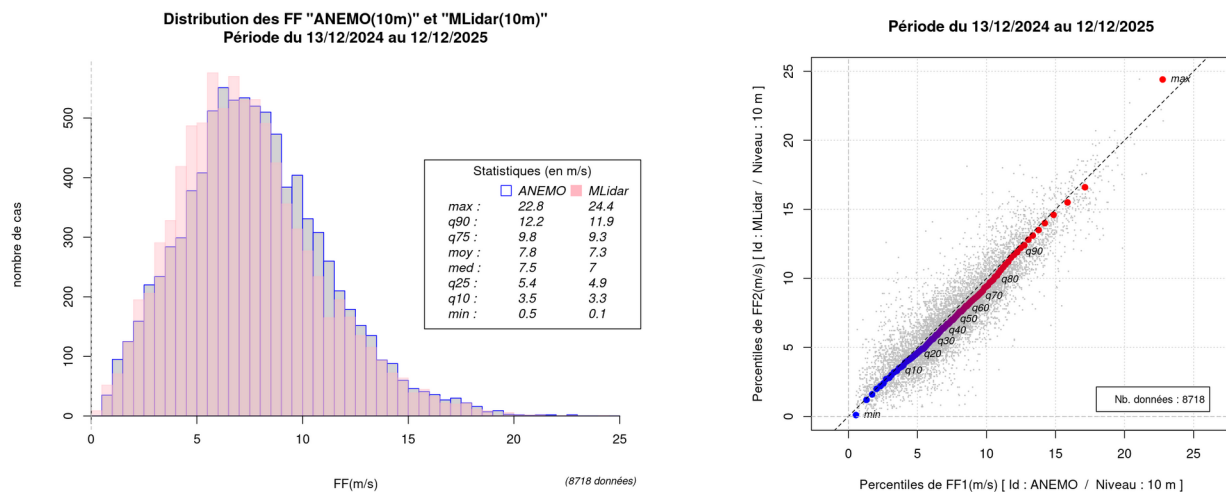


Illustration 25 : distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite).

Sur l'illustration 26, les deux roses confirment que les vents à 10 m les plus fréquents proviennent de l'ouest (270°) avec 10,7 % des observations anémomètre et 12 % calculés par le modèle. Les vents de secteur nord-est (60°) sont également les plus fréquents (10,7 % des observations contre 10,1 % modélisés). Cela souligne une alternance de vents océaniques et de vents continentaux en basse atmosphère.

Concernant la distribution des vitesses de vent à 10 m, on remarque que la classe des vents modérés ([5 ; 10[m/s – en vert) est fortement représentée (55,4 % des observations, très proche là encore du modèle avec 55 % des cas). Quant aux vents forts ([10 ; 20] m/s – en orange), le modèle a tendance à sous-estimer leur fréquence par rapport aux observations avec un écart de 3,7 points de pourcentage ; à l'inverse, la fréquence des vents faibles ([3 ; 5 [m/s – en bleu) est sur-estimée par AROME (par rapport aux données de l'anémomètre) avec un écart de 3,8 points de pourcentage.

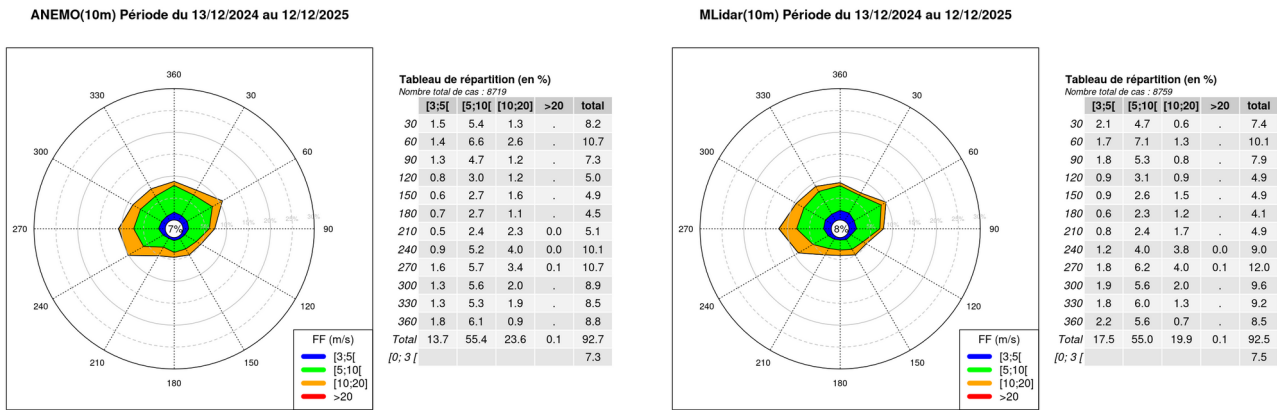


Illustration 26 : roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre.

5 Conclusion

Au cours de la campagne, ont été assurés un monitoring au fil de l'eau de la disponibilité des données LiDAR, ainsi qu'un contrôle entre les valeurs mesurées et les données fournies par le modèle météorologique AROME.

Le monitoring du LiDAR a permis de contrôler la présence des données sur les 12 niveaux de mesure et plus précisément de vérifier la cohérence des observations de force et de direction à 100 m avec la modélisation AROME. La vérification s'est également faite par des statistiques descriptives détaillant les distributions de vent, les dépassements de seuils, ou encore les répartitions par période ou secteurs. L'analyse s'est également appuyée sur les données d'une station de référence (Chassiron).

Suite à ce contrôle, des séries complètes du vent horaire à 40 m, 100 m et 200 m ont pu être reproduites.

La campagne réalisée sur la zone Golfe de Gascogne Sud (GGS) entre le 13 décembre 2024 et le 12 décembre 2025 s'est déroulée sans incident notable, avec un excellent taux de disponibilité des données et une très bonne qualité de mesure, eu égard aux statistiques analysées.

6 Bibliographie

Chatel, V., Dalphiné, 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, V2, 2025.

Organisation météorologique mondiale, 2024 : *Mesure de variables météorologiques*. In : *Guide des instruments et des méthodes d'observation*. T. I. OMM-No. 8. url : <https://library.wmo.int/idurl/4/68713>.

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : situation météorologique du 22 au 23 octobre 2025 (tempête Benjamin).....	40
Annexe 2 : situation météorologique du 1 ^{er} décembre 2025.....	42
Annexe 3 : climatologie du 13 décembre 2024 au 12 décembre 2025.....	44
Annexe 4 : distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s).....	49
Annexe 5 : répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s).....	52
Annexe 6 : tableau de contingence des forces de vent du LiDAR (en %).....	55
Annexe 7 : roses des vents mensuelles du LiDAR à 100 m.....	56
Annexe 8 : profils de vent du LiDAR.....	59
Annexe 9 : cisaillement du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s).....	62
Annexe 10 : turbulence du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s).....	65

Annexe 1 : situation météorologique du 22 au 23 octobre 2025 (tempête Benjamin)

Jeudi 23 octobre 2025, un fort coup de vent a touché une grande partie de la France. Dans la nuit du mercredi 22 octobre, la tempête *Benjamin* a occasionné de violentes rafales et de fortes vagues sur la façade atlantique.

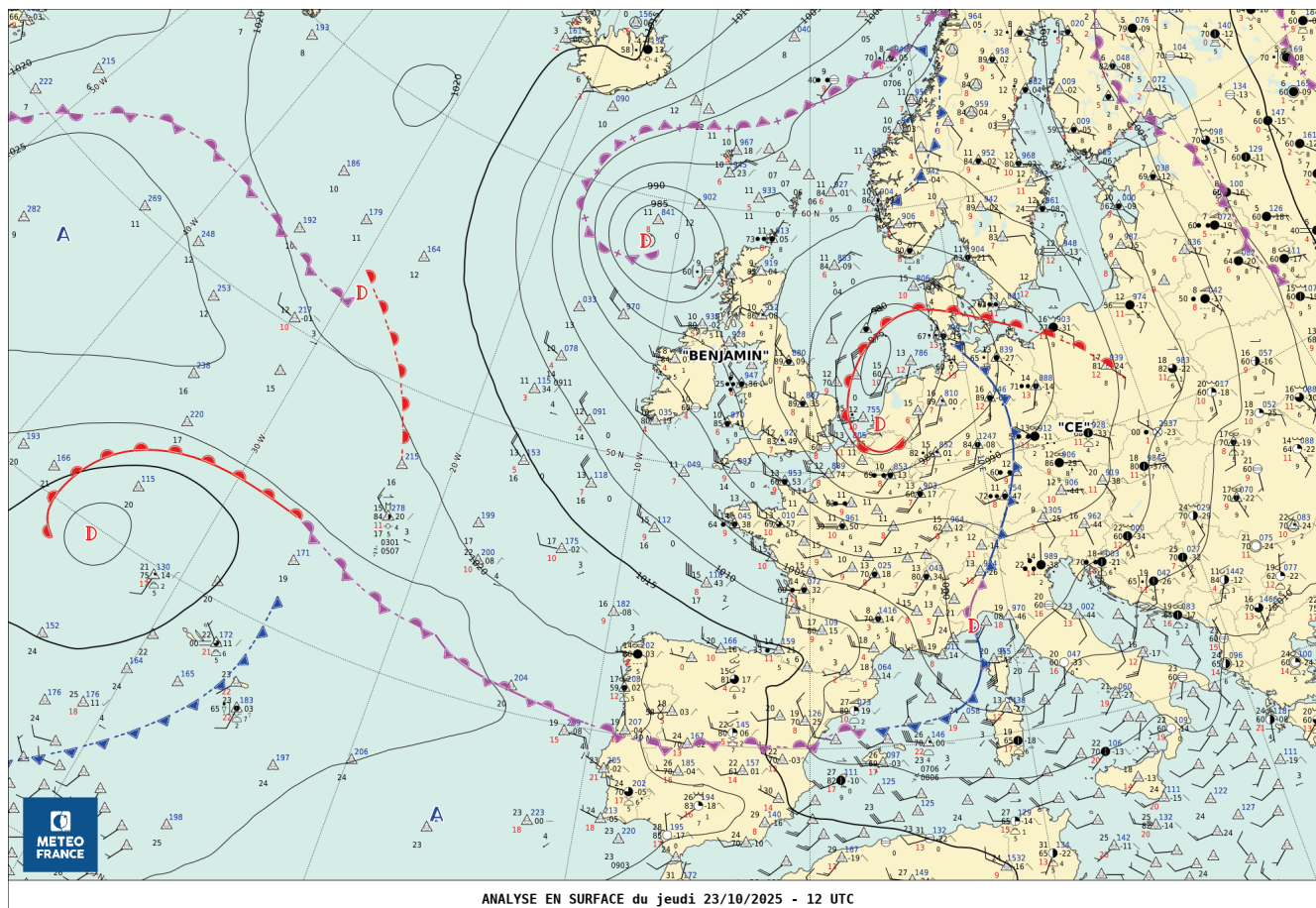


Illustration 27 : Analyse en surface du 23 octobre 2025 à 12 UTC.

Sur le monitoring de l'illustration 28, on observe un début de journée déjà dynamique, puis une période d'accalmie vers le milieu de journée suivi d'une remontée rapide de l'intensité du vent, présageant du passage du front froid.

AROME (courbe bleue) anticipe quasi parfaitement ces variations de vent. À noter que lors de la période plus calme, le modèle se situe très légèrement en dessous des observations.

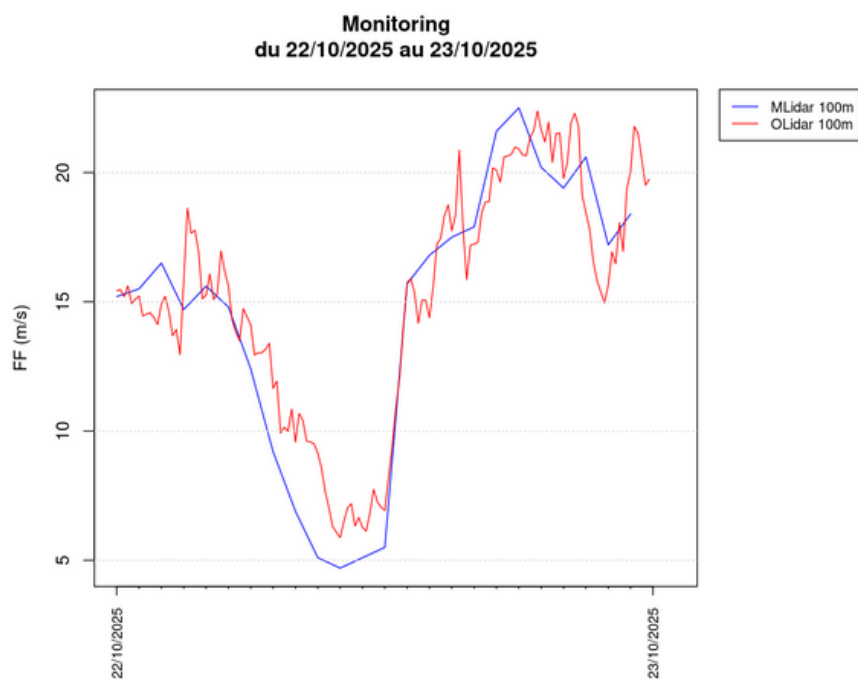


Illustration 28 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 22 octobre 2025.

Annexe 2 : situation météorologique du 1^{er} décembre 2025

La situation météorologique du 1^{er} décembre 2025 est caractérisée par une dépression située au nord-ouest des îles Britanniques associée à un profond front froid qui étend son influence jusqu'au large du Portugal (cf. Illustration 29). Le passage de la perturbation occasionne un coup de vent sur la façade atlantique avec de fortes rafales atteignant 8 localement 9 Beaufort.

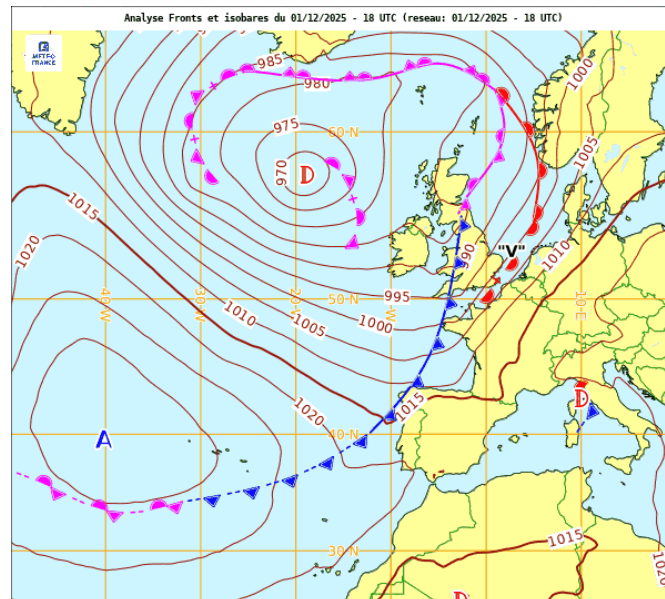


Illustration 29 : Analyse du lundi 1^{er} décembre 2025 à 18 UTC

On observe tout au long de la journée du 1^{er} décembre une augmentation progressive de la force du vent à 100 m (cf. Illustration 30). Le modèle AROME (courbe bleue) est cohérent avec l'observation LiDAR sur le fraichissement du vent. On remarque en toute fin de journée un pic mesuré à environ 20 m/s par le LiDAR, alors que le modèle a tendance à lisser à environ 16 m/s.

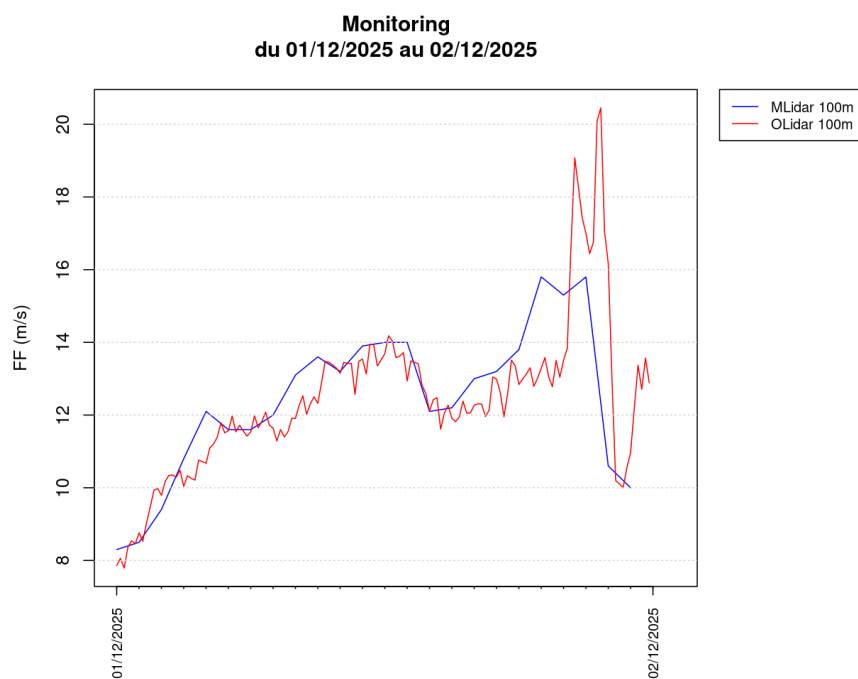


Illustration 30 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 1^{er} décembre 2025

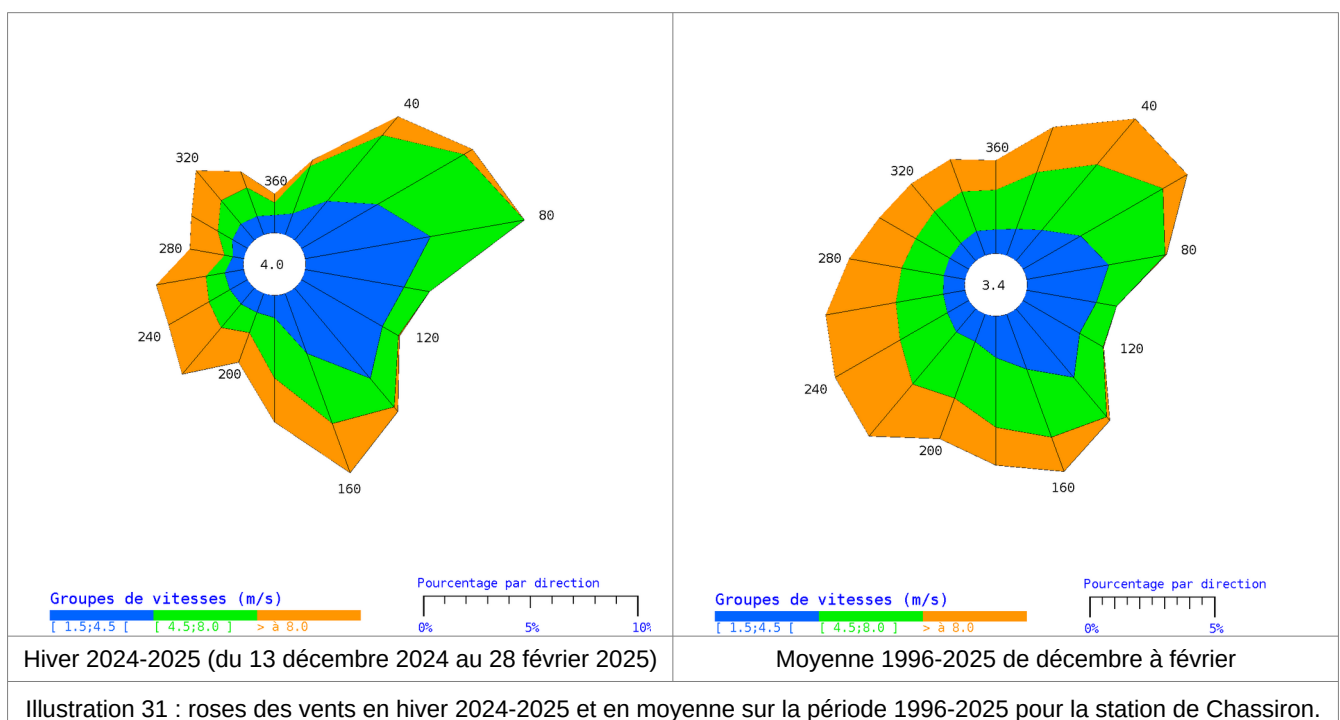
Annexe 3 : climatologie du 13 décembre 2024 au 12 décembre 2025

La station météorologique de référence pour qualifier la climatologie du vent à 10 mètres correspondant à celle de la « bouée Golfe de Gascogne sud » est située au Sémaphore de Chassiron (17). La période sur laquelle portent les statistiques s'étend de 1996 à 2025.

1 – Analyse de l'hiver 2024-2025 (du 13 décembre 2024 au 28 février 2025)

On observe un changement de provenance des vents notamment dans un large secteur ouest, où le régime maritime habituel est moins présent en hiver 2024-2025 au profit d'un régime continental plus marqué. En effet, du 360° au 180° la rose des vents observée est moins lissée et en déficit de 13,1 points de pourcentage par rapport à la normale. Néanmoins, le secteur nord-ouest (320°) se démarque et est comparable aux normales de saison (4,2 % des cas contre 4 % habituellement). A contrario, le secteur nord-est (du 40° au 80°) représente 27,1 % des cas en 2024-2025 contre 20,7 % historiquement, avec une part de vents faibles ([1,5 ; 4,5[m/s – en bleu) et modérés ([4,5 ; 8] m/s – en vert) plus importante de 4,7 et 3,5 points de pourcentage, s'expliquant par des conditions anticycloniques stables et persistantes sur le domaine. Également le secteur sud-est (du 140° au 180°) est en excédent de 3,8 points de pourcentage par rapport à la normale qui peut s'expliquer par des situations de vent d'Autan.

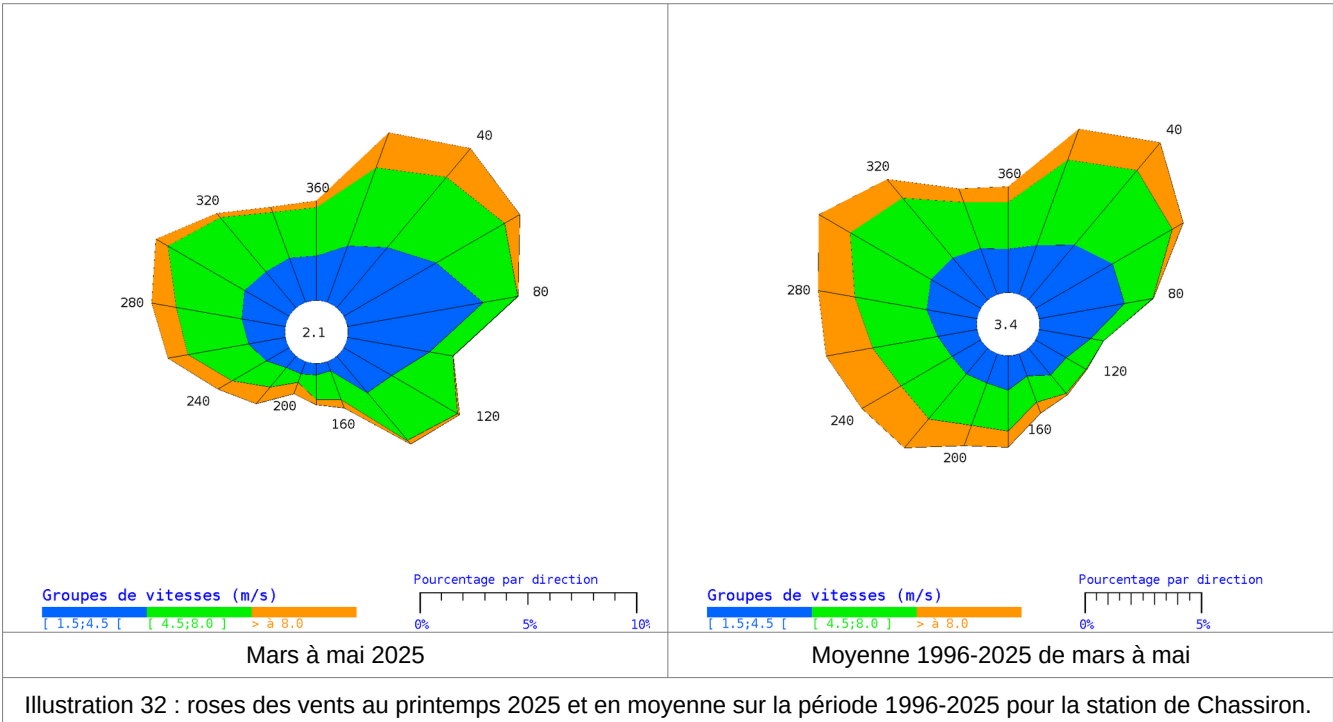
La saison hivernale 2024-2025 a été plus calme qu'habituellement : les vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s) ont un écart positif de 9,1 points de pourcentage au détriment des vents modérés ([4,5 ; 8] m/s) et forts (> 8 m/s) en déficit de 4,5 et 5,2 points par rapport aux données sur 30 ans.



2 – Analyse du printemps 2025 (mois de mars à mai 2025)

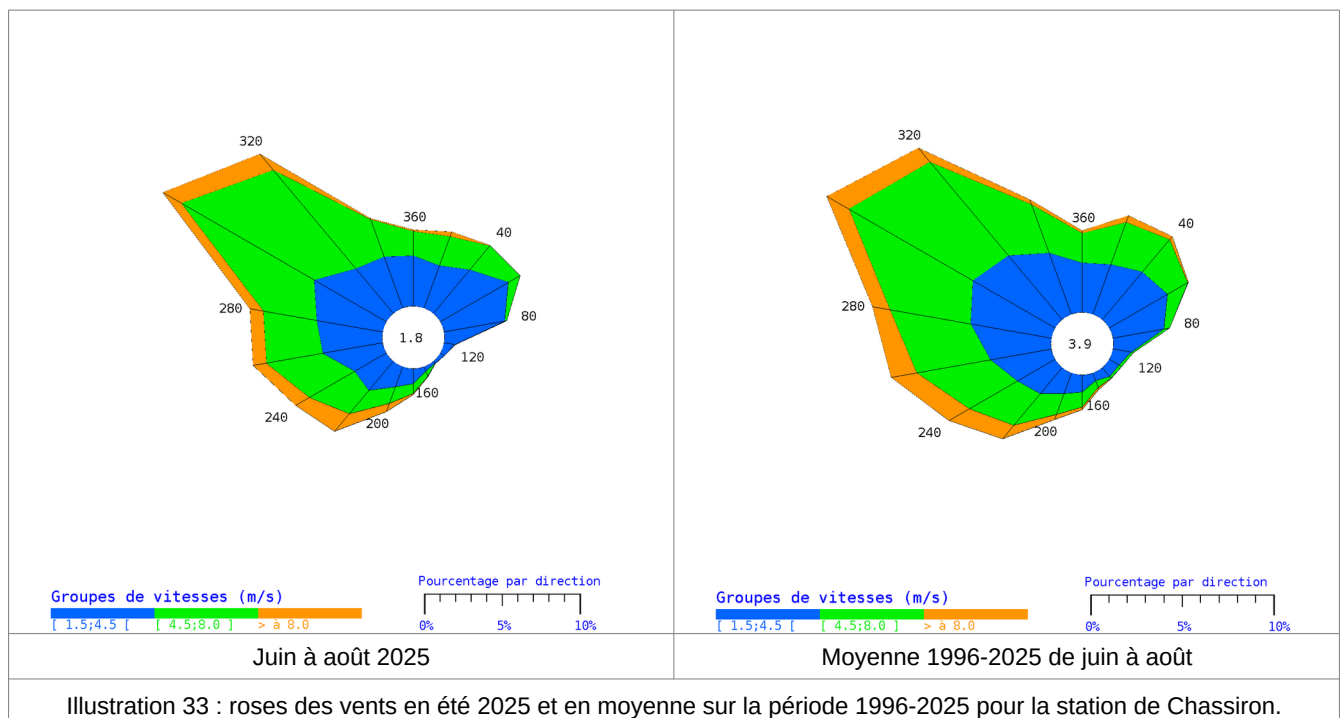
Contrairement à la normale (cf. Illustration 32, à droite) où les vents sont mieux répartis entre l'ouest et le nord-est, le printemps 2025 (cf. Illustration 32, à gauche) montre une prédominance marquée par des vents venant du secteur nord-est (entre 20° et 80°), avec un écart positif de 6,6 points de pourcentage par rapport à la normale de saison.

Le printemps 2025 a été globalement moins venteux que la normale : les vents forts (> 8 m/s – en orange) représentent un déficit de 5,6 points de pourcentage. À l'inverse, les vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s – en bleu) sont en excédent avec 42,3 % des cas en 2025 contre 37,6 % habituellement et les vents modérés ([4,5 ; 8] m/s – en vert) sont stables avec 44,4 % des observations contre 42,2 % en moyenne.



3 – Analyse de l'été 2025 (mois de juin à août 2025)

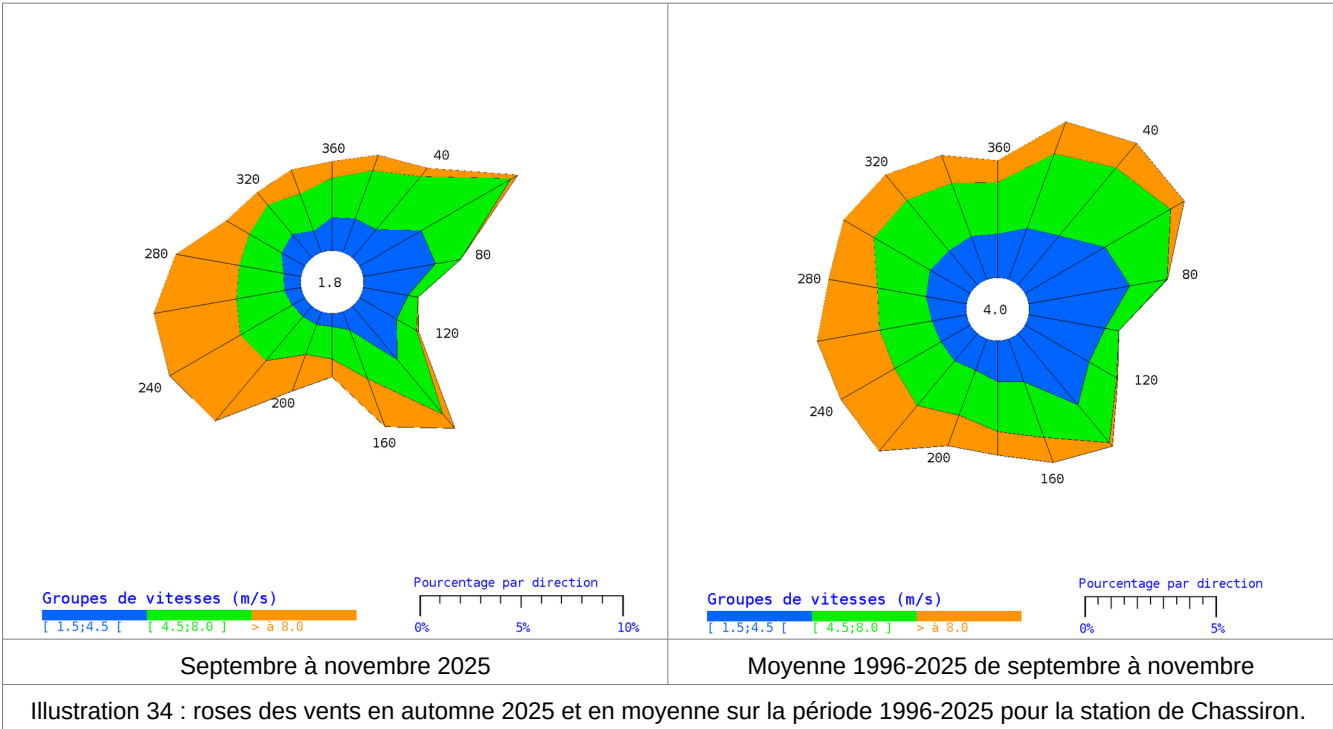
L'été 2025 présente une rose des vents proche de la normale saisonnière. On note toutefois un léger renforcement du vent de secteur nord-ouest qui est dominant (entre 300° et 320°) avec un écart positif de 3,2 points de pourcentage par rapport aux données sur trente ans. Les vents venant du secteur ouest (entre 240° et 280°) conservent une fréquence quasi-similaire à la normale surtout dans les intensités de vent faible (en bleu) et modéré (en vert), signature des effets de brise thermique qui se mettent en place les après-midis d'été. On observe également que le vent a soufflé plus fréquemment dans le secteur nord-est (du 20° au 80°) avec un écart positif de 1,2 points de pourcentage par rapport aux normales. À noter que le secteur sud-est reste quasi déventé l'été. Les vents calmes (< 1,5 [m/s) représentent 1,8 % en 2025 contre 3,9 % habituellement, tandis que les vents faibles ([1,5 ; 4,5[m/s) sont plus fréquents cet été avec un excédent de 2,6 points de pourcentage. Les vents modérés ([4,5 ; 8] m/s) et forts (>8 m/s) sont quasi-équivalents aux normales saisonnières.



4 – Analyse de l’automne 2025 (septembre à novembre 2025)

L’intensité de vent par secteur est différente cet automne 2025 en comparaison aux données sur 30 ans. En effet, le secteur dominant sud-ouest (du 200° au 260°) est plus fréquent cet automne avec un excédent de 5,1 points de pourcentage, mais également plus énergétique que la normale avec un écart positif de 5,6 points de pourcentage pour les vents supérieurs à 8 m/s. A contrario, les secteurs nord-ouest (du 280° au 340°) et nord-est (du 20° au 80°) sont respectivement en déficit de 2,1 et 1,1 points de pourcentage. On remarque également une progression dans le secteur sud-est (du 120° au 160°) de 2,6 points, ce qui peut s’expliquer par un renforcement du vent d’Autan sur la période automnale 2025.

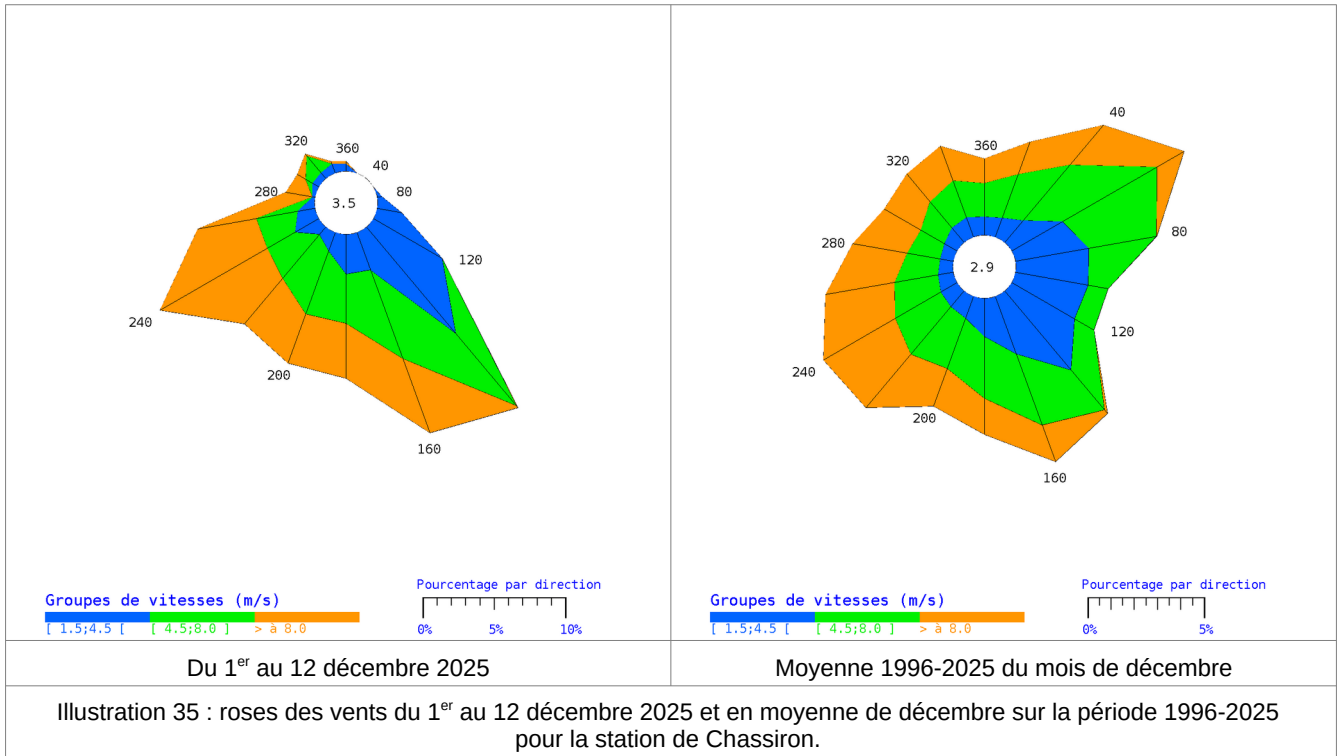
Les vents calmes (< 1,5[m/s) sont en déficit de 2,2 points cette année ce qui est le cas également pour les vents faibles ([1,5 ; 4,5[m/s – en bleu) de 8,9 points de pourcentage. A contrario les vents modérés ([4,5 ; 8] m/s – en vert) et les vents forts sont nettement supérieurs aux normales de 3,6 et 7,5 points de pourcentage.



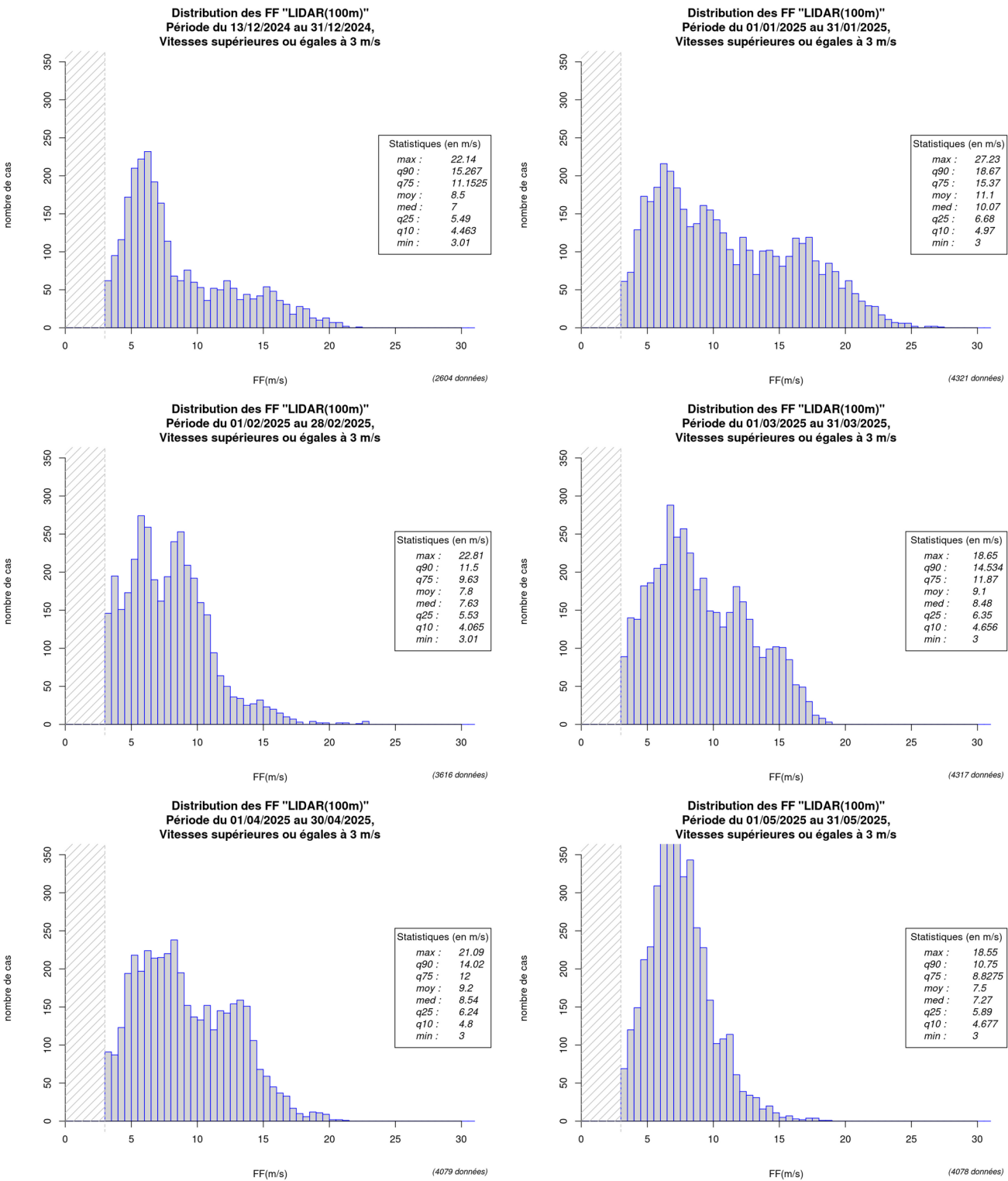
5 – Analyse du mois de décembre 2025 (du 1er au 12 décembre)

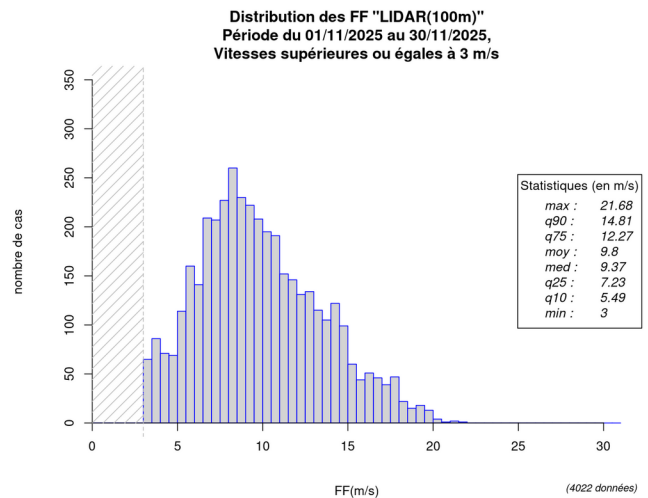
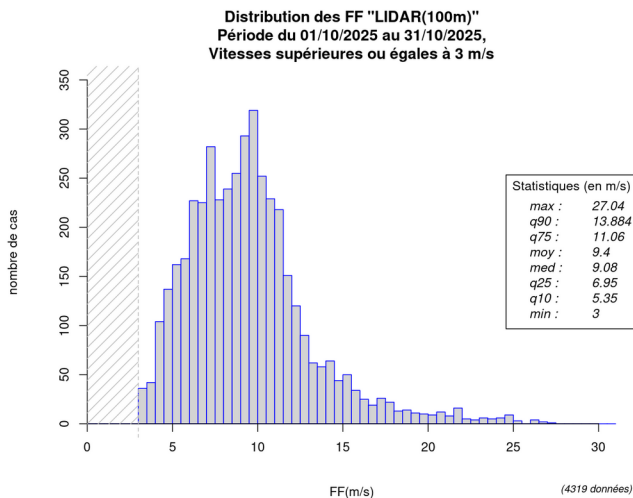
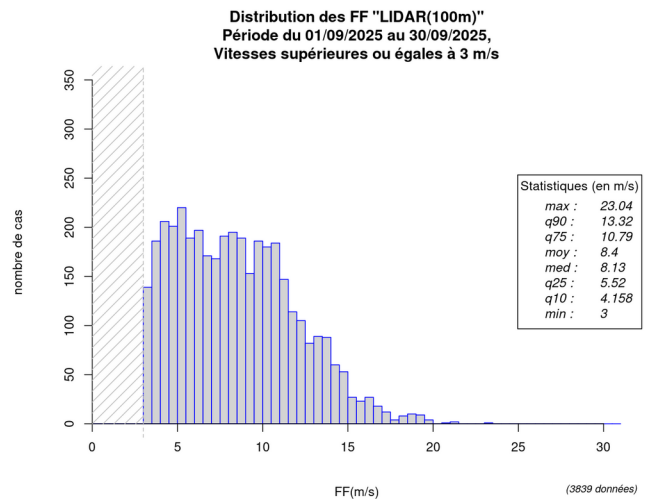
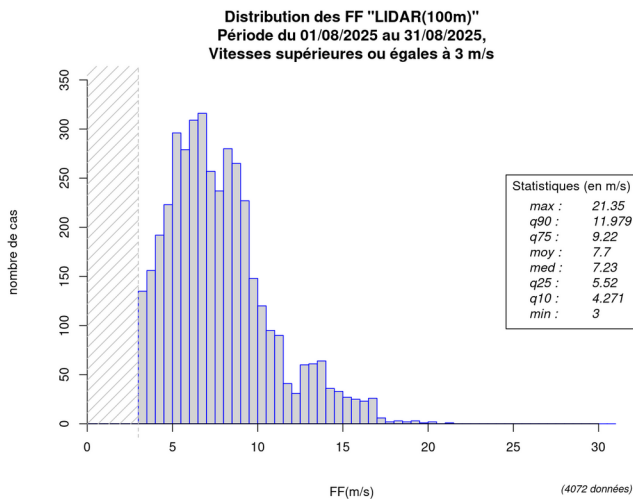
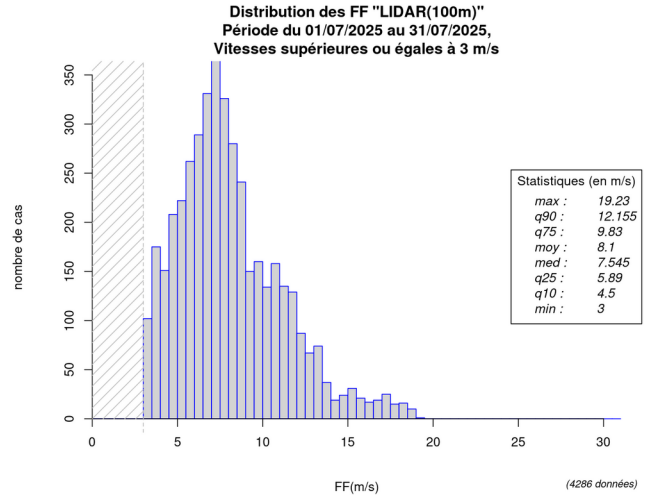
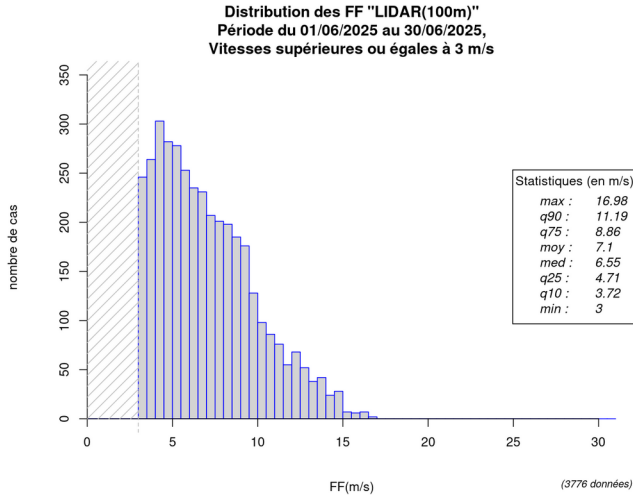
Durant les premiers jours du mois de décembre 2025, on remarque que les vents de nord-est sont totalement absents contrairement aux normales. Le vent a soufflé fort car 33,3 % des cas observés sont supérieurs à 8 m/s. On note une prédominance des vents dans un secteur sud à sud-est (du 140° au 180°) qui représente 41,5 % des cas observés contre 20,4 % habituellement avec une hausse des vents faibles ([1,5 ; 4,5[m/s) et modérés ([4,5 ; 8] m/s) de 6,7 et 8,6 points de pourcentage signature d’un vent d’Autan bien établi.

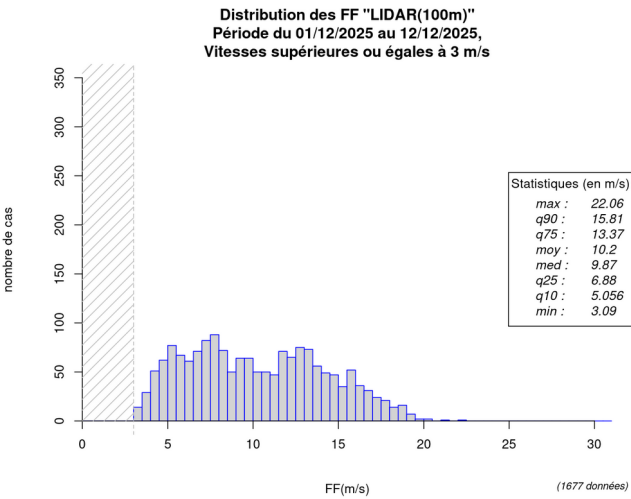
Les vents dans un large secteur sud-ouest (du 200° au 260°) sont également excédentaires de 15,9 points de pourcentage par rapport aux normales du mois.



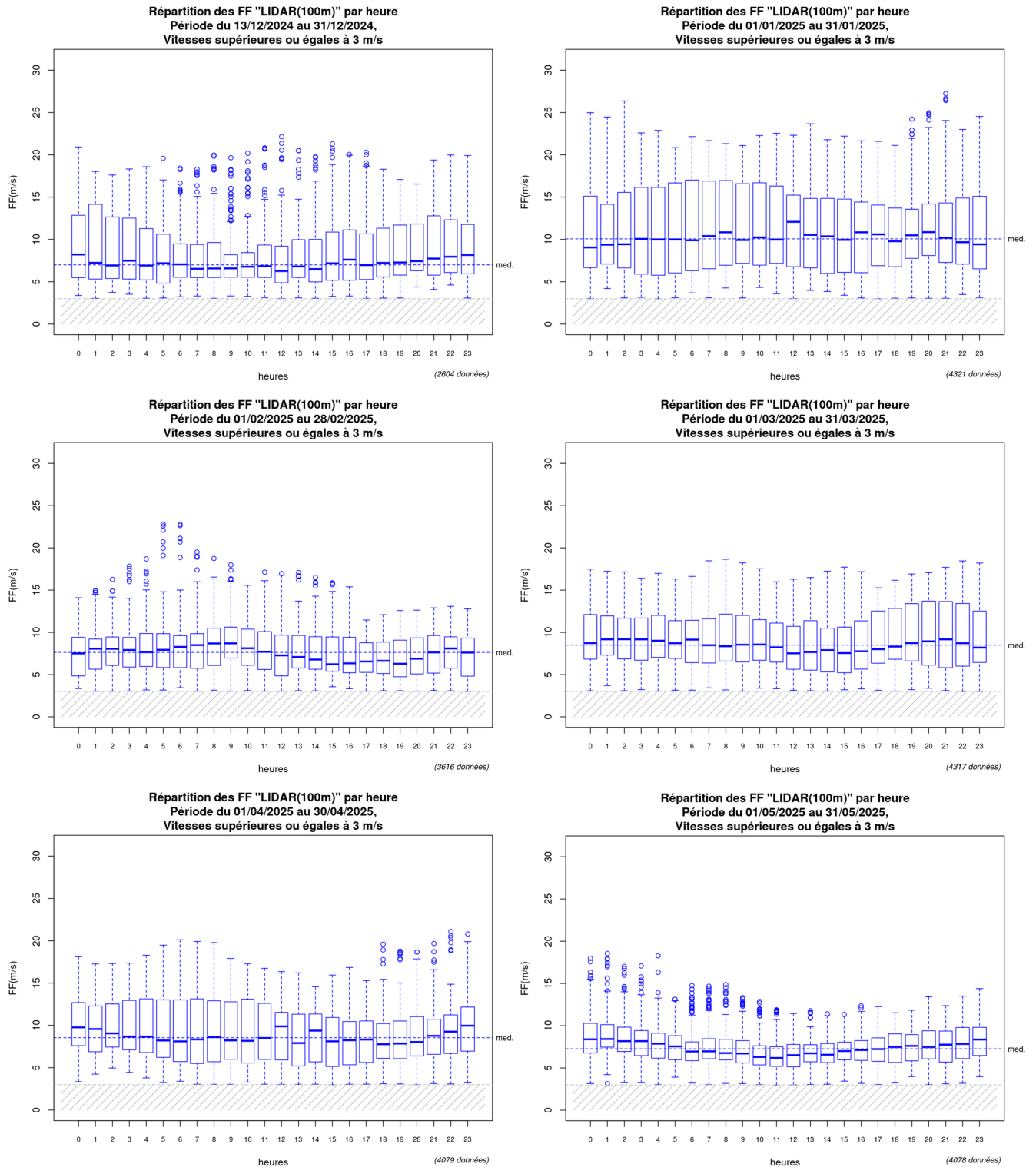
Annexe 4 : distributions mensuelles des forces de vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)



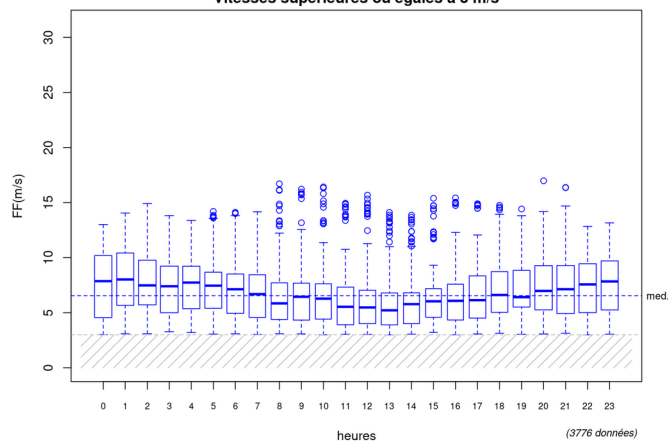




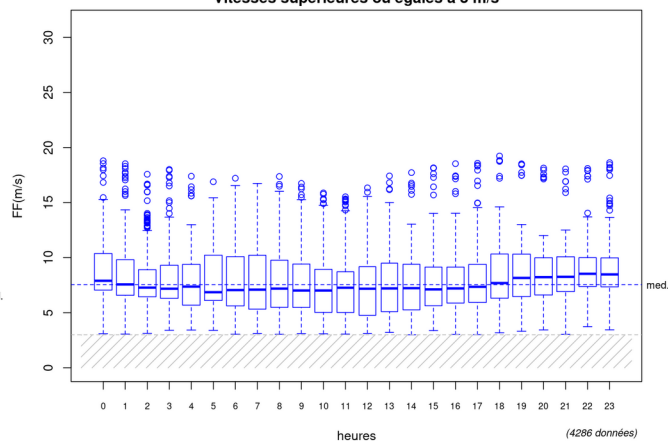
Annexe 5 : répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)



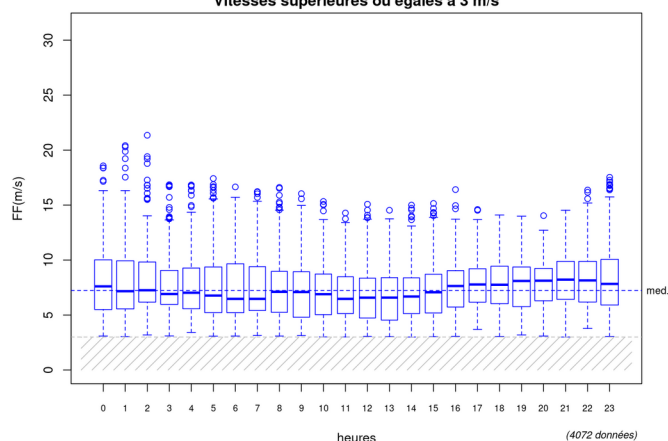
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2025 au 30/06/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



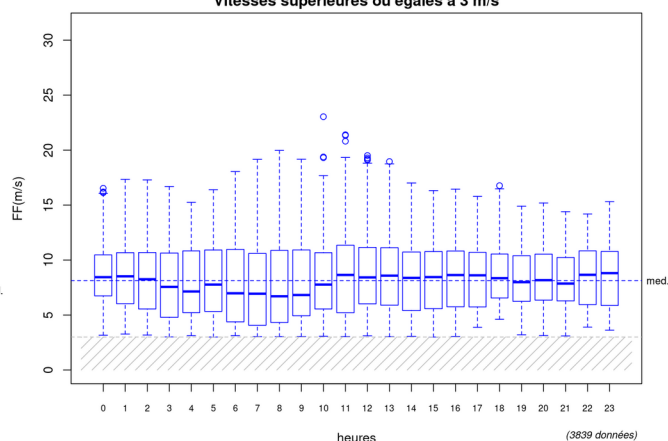
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2025 au 31/07/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



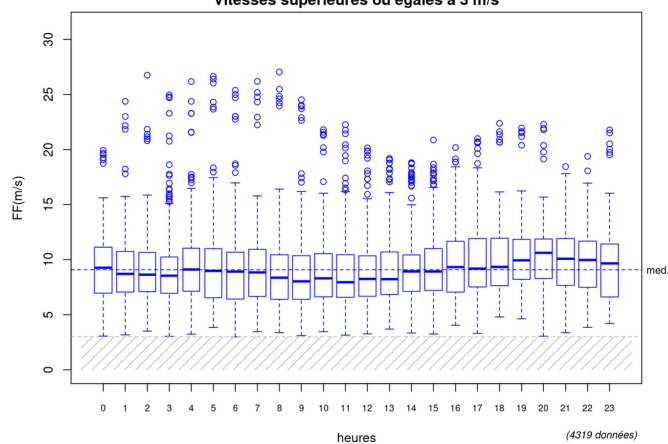
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2025 au 31/08/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



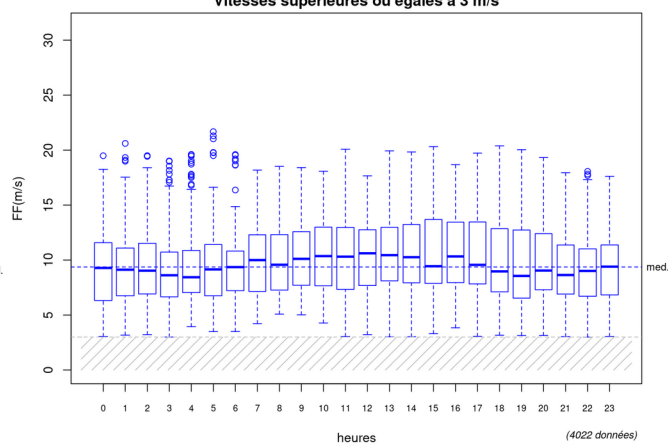
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2025 au 30/09/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

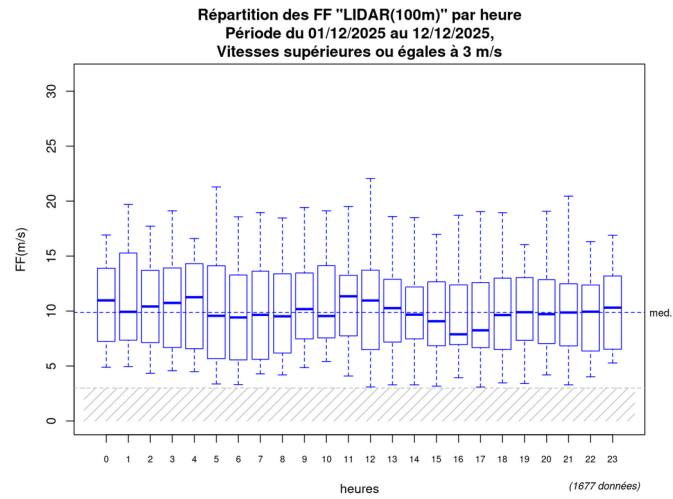


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2025 au 31/10/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2025 au 30/11/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





Annexe 6 : tableau de contingence des forces de vent du LiDAR (en ‰)

Force par classe (m/s)	Directions en degrés												Total
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
[34,35[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[33,34[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[32,33[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[31,32[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[30,31[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[29,30[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[28,29[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[27,28[	.	.	.	.	.	.	0.0	.	0.0	.	.	.	0.0
[26,27[	.	.	.	.	.	.	0.0	0.0	0.1	.	.	.	0.2
[25,26[	.	.	.	.	.	.	.	0.0	0.1	.	.	.	0.1
[24,25[	.	.	.	.	.	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	.	.	0.5
[23,24[	.	.	.	.	.	.	0.0	0.3	0.2	0.0	.	.	0.6
[22,23[	.	.	.	.	.	0.1	0.2	0.5	0.2	0.2	0.0	.	1.2
[21,22[	.	0.0	.	.	0.1	0.0	0.1	1.0	0.4	0.3	0.0	.	1.9
[20,21[	0.0	0.1	.	.	0.1	0.2	0.3	1.1	0.5	0.6	0.1	0.0	3.0
[19,20[	0.1	0.1	.	0.0	0.5	0.3	0.3	1.6	1.1	0.7	0.1	0.0	4.8
[18,19[	0.1	0.2	.	0.0	0.8	0.4	0.6	2.6	1.2	0.9	0.3	0.1	7.1
[17,18[	0.2	0.3	0.2	0.3	1.6	0.6	1.1	3.8	1.5	1.1	0.3	0.1	11.2
[16,17[	0.2	0.4	1.3	1.0	1.6	1.9	2.0	3.4	2.4	1.2	0.6	0.1	16.2
[15,16[	0.1	0.9	1.4	1.4	2.4	2.3	2.0	3.5	3.0	1.8	1.5	0.1	20.5
[14,15[	0.1	2.0	1.7	1.8	3.0	3.6	2.5	3.9	4.0	2.7	1.9	0.5	27.8
[13,14[	1.1	3.7	3.5	2.4	2.8	2.9	3.0	4.9	4.8	2.7	2.1	1.0	35.0
[12,13[	1.7	5.0	4.3	4.0	3.0	2.7	3.9	5.5	5.3	3.5	3.0	1.5	43.4
[11,12[	3.6	7.1	4.0	3.8	3.4	3.1	3.7	6.6	6.1	4.2	4.2	3.8	53.6
[10,11[	4.3	10.3	6.9	4.9	3.4	3.2	2.4	6.4	7.8	5.9	6.0	4.9	66.4
[9,10[	5.3	12.2	8.6	4.9	3.8	4.2	3.7	6.9	11.6	8.3	7.3	6.9	84.0
[8,9[	9.1	12.7	11.2	4.9	3.8	3.4	4.6	8.6	13.0	10.6	9.6	9.6	101.1
[7,8[	10.1	13.8	11.4	5.4	5.5	4.1	5.6	8.2	13.0	11.1	10.7	10.2	109.1
[6,7[	11.4	12.5	10.1	7.5	4.5	5.2	4.8	8.6	11.7	13.9	12.8	12.1	115.2
[5,6[	11.4	9.2	9.3	4.7	4.6	5.2	4.8	6.4	11.5	13.3	10.6	11.9	103.0
[4,5[	10.2	7.2	8.6	3.9	3.1	4.0	3.2	4.3	8.3	9.2	8.3	9.9	80.0
[3,4[	6.3	4.2	5.2	3.5	3.3	2.0	2.3	4.4	6.9	6.3	5.4	6.0	55.8
[0,3[	6.0	4.9	5.0	4.6	3.5	3.2	3.5	4.8	6.6	5.5	5.7	4.9	58.1
Total	81.4	107.0	92.7	59.0	54.9	52.8	54.8	97.6	121.7	103.9	90.6	83.6	1000.0

Annexe 7 : roses des vents mensuelles du LiDAR à 100 m

DÉCEMBRE 2024 - LIDAR (100m)

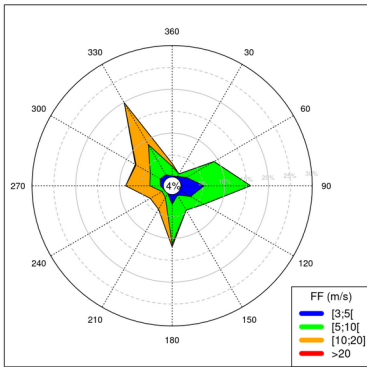


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 453

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	0.4	0.7	.	.	1.1
60	1.8	7.3	.	.	9.1
90	5.3	10.6	.	.	15.9
120	2.9	3.5	.	.	6.4
150	0.4	4.0	.	.	4.4
180	2.2	9.1	0.7	.	11.9
210	.	1.1	3.1	.	4.2
240	.	0.7	3.1	.	3.8
270	0.7	2.4	5.5	.	8.6
300	1.1	2.6	3.8	0.2	7.7
330	0.9	7.9	11.0	.	19.9
360	0.2	2.2	0.7	.	3.1
Total	15.9	52.1	27.8	0.2	96.0
[0; 3[	.	.	.	.	4.0

JANVIER 2025 - LIDAR (100m)

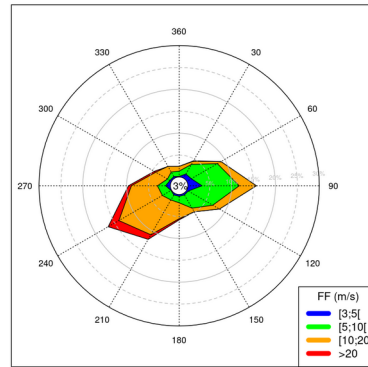


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 742

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	2.6	0.8	0.1	4.6
60	1.2	6.9	0.9	.	9.0
90	3.2	8.5	3.9	.	15.6
120	0.4	6.5	1.8	.	8.6
150	0.4	3.5	0.9	.	4.9
180	0.4	1.5	3.6	0.3	5.8
210	0.4	1.3	9.2	1.2	12.1
240	0.1	2.3	11.5	2.8	16.7
270	1.1	1.9	5.9	0.7	9.6
300	0.4	0.7	3.1	0.4	4.6
330	0.4	1.2	1.5	.	3.1
360	0.1	1.2	1.1	.	2.4
Total	9.3	38.0	44.2	5.5	97.0
[0; 3[	.	.	.	.	3.0

FÉVRIER 2025 - LIDAR (100m)

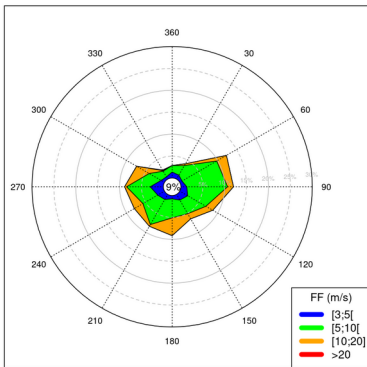


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 666

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	2.6	0.5	.	4.1
60	0.6	9.2	2.6	.	12.3
90	1.4	9.3	1.4	.	12.0
120	2.1	4.8	1.8	.	8.7
150	1.5	3.6	1.4	.	6.5
180	0.8	4.4	4.1	.	9.2
210	1.4	6.6	0.5	.	8.4
240	1.8	3.9	2.3	.	8.0
270	3.0	5.4	0.5	.	8.9
300	0.9	3.2	3.3	.	7.4
330	0.6	1.5	0.2	0.2	2.4
360	1.4	1.5	.	.	2.9
Total	16.4	55.9	18.2	0.2	90.5
[0; 3[	.	.	.	.	9.5

MARS 2025 - LIDAR (100m)

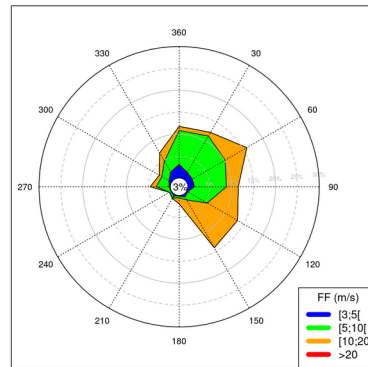


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 739

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.8	9.6	0.9	.	12.3
60	1.5	8.7	5.7	.	15.8
90	1.5	7.3	2.7	.	11.5
120	0.3	5.1	8.0	.	13.4
150	0.7	0.8	12.6	.	14.1
180	0.1	0.4	1.4	.	1.9
210	0.4	0.5	0.1	.	1.1
240	0.1	0.4	.	.	0.5
270	0.3	3.0	1.4	.	4.6
300	0.7	1.9	0.7	.	3.2
330	1.9	2.8	2.2	.	6.9
360	3.1	7.7	0.9	.	11.8
Total	12.3	48.3	36.5	.	97.2
[0; 3[	.	.	.	.	2.8

AVRIL 2025 - LIDAR (100m)

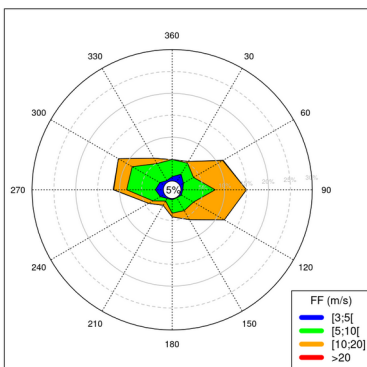


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 715

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	2.1	2.9	0.4	.	5.5
60	1.0	2.7	7.7	0.1	11.5
90	0.4	7.4	7.1	.	15.0
120	0.4	3.2	8.1	.	11.7
150	0.1	3.4	2.4	.	5.9
180	0.3	3.1	0.8	.	4.2
210	0.3	0.7	1.1	.	2.1
240	1.1	2.0	1.1	.	4.2
270	1.8	6.6	2.9	0.1	11.5
300	1.3	7.3	3.6	.	12.2
330	0.4	4.5	1.4	.	6.3
360	1.0	3.9	.	.	4.9
Total	10.2	47.6	36.8	0.3	94.8
[0; 3[	.	.	.	.	5.2

MAI 2025 - LIDAR (100m)

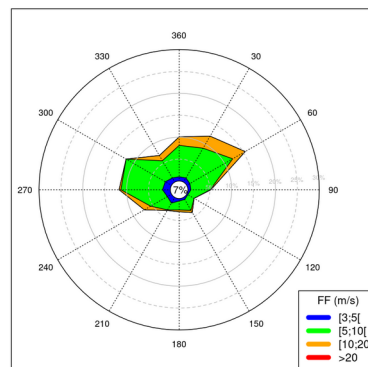


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 726

	[3;5[	[5;10[	[10;20]	>20	total
30	1.1	7.9	3.2	.	12.1
60	0.8	11.3	3.3	.	15.4
90	0.7	4.4	0.1	.	5.2
120	0.3	1.7	.	.	1.9
150	0.6	2.9	0.6	.	4.0
180	0.6	2.1	0.4	.	3.0
210	1.5	1.8	0.1	.	3.4
240	1.1	4.4	1.7	.	7.2
270	1.8	9.5	0.4	.	11.7
300	1.7	10.3	.	.	12.0
330	1.1	4.5	1.4	.	7.0
360	1.0	7.2	1.9	.	10.1
Total	12.1	67.9	13.1	.	93.1
[0; 3[	.	.	.	.	6.9

JUIN 2025 - LIDAR (100m)

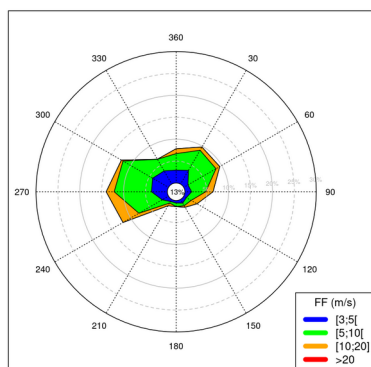


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 716

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	3.6	5.3	0.8	.	9.8
60	1.1	7.4	1.0	.	9.5
90	1.5	3.2	1.7	.	6.4
120	0.7	1.3	1.5	.	3.5
150	1.0	0.7	0.4	.	2.1
180	0.6	0.8	.	.	1.4
210	0.6	0.4	0.7	.	1.7
240	1.7	6.1	4.2	.	12.0
270	3.6	8.5	1.8	.	14.0
300	4.2	7.8	0.4	.	12.4
330	3.5	3.1	.	.	6.6
360	2.9	3.8	1.1	.	7.8
Total	25.0	48.5	13.7	.	87.2
[0; 3]	.	.	.	.	12.8

JUILLET 2025 - LIDAR (100m)

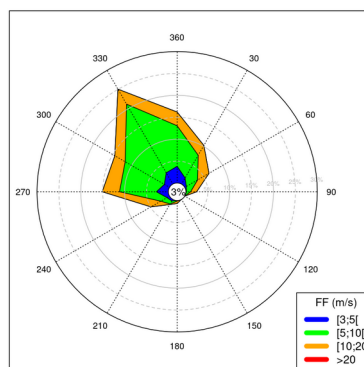


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 735

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.6	6.0	2.6	.	10.2
60	0.4	3.0	3.0	.	6.4
90	0.1	1.0	1.4	.	2.4
120	.	.	.	.	.
150	.	.	.	.	.
180	.	0.1	0.5	.	0.7
210	0.4	0.8	0.1	.	1.4
240	0.7	1.6	2.6	.	4.9
270	2.7	8.4	3.9	.	15.1
300	1.4	10.3	2.7	.	14.4
330	3.0	18.1	3.9	.	25.0
360	3.8	9.3	3.1	.	16.2
Total	14.1	58.6	23.9	.	96.7
[0; 3]	.	.	.	.	3.3

AOÛT 2025 - LIDAR (100m)

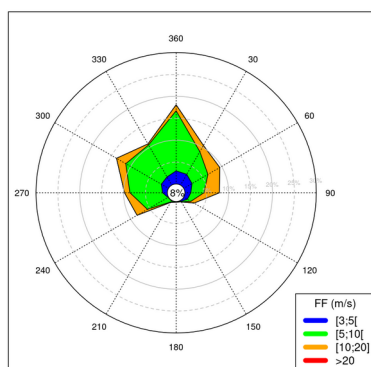


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 736

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	2.9	6.0	1.6	.	10.5
60	2.2	4.2	3.1	.	9.5
90	1.4	3.0	3.5	.	7.9
120	1.0	1.0	0.8	.	2.7
150	0.3	0.1	.	.	0.4
180	.	0.1	.	.	0.1
210	0.1	0.3	0.1	.	0.5
240	0.1	5.4	2.7	.	8.3
270	1.1	7.5	1.2	.	9.8
300	1.9	9.4	2.4	.	13.7
330	2.2	8.4	0.3	.	10.9
360	3.0	13.7	1.4	.	18.1
Total	16.0	59.1	17.3	.	92.4
[0; 3]	.	.	.	.	7.6

SEPTEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

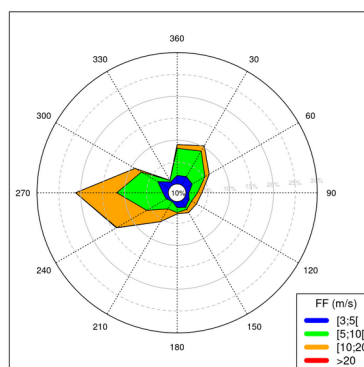


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 713

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	2.2	6.7	1.4	.	10.4
60	2.0	3.4	1.1	.	6.5
90	0.7	2.0	1.0	.	3.6
120	1.1	0.7	1.3	.	3.1
150	1.8	0.6	0.8	.	3.2
180	1.4	1.1	0.3	.	2.8
210	0.3	2.0	3.4	.	5.6
240	0.8	5.2	7.9	0.1	14.0
270	1.3	10.5	9.4	.	21.2
300	3.1	4.3	1.7	.	9.1
330	0.8	0.4	.	.	1.3
360	2.0	6.2	0.8	.	9.0
Total	17.5	43.1	29.0	0.1	89.8
[0; 3]	.	.	.	.	10.2

OCTOBRE 2025 - LIDAR (100m)

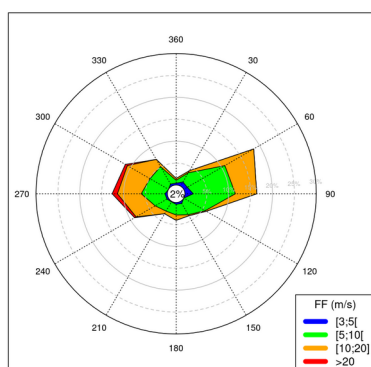


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 737

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	1.1	2.4	0.5	.	4.1
60	0.9	9.9	7.6	.	18.5
90	1.9	9.6	4.9	.	16.4
120	.	5.7	0.3	.	6.0
150	0.5	3.0	0.3	.	3.8
180	0.4	2.4	1.2	.	4.1
210	0.1	2.4	0.7	.	3.3
240	0.4	3.1	5.0	0.4	9.0
270	0.5	5.4	5.4	1.2	12.6
300	.	4.9	6.0	0.5	11.4
330	0.5	4.6	1.9	.	7.1
360	0.4	0.7	0.4	.	1.5
Total	6.9	54.3	34.2	2.2	97.6
[0; 3]	.	.	.	.	2.4

NOVEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

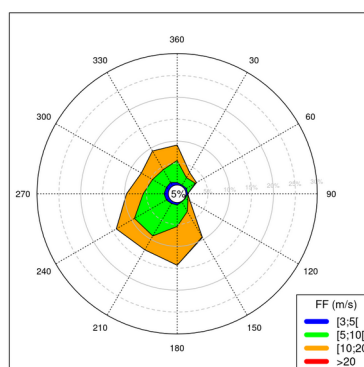


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 713

	[3;5]	[5;10]	[10;20]	>20	total
30	0.3	2.0	1.4	.	3.6
60	0.4	2.4	0.3	.	3.1
90	0.4	.	.	.	0.4
120	0.1	0.7	0.6	.	1.4
150	0.1	2.5	6.7	0.1	9.5
180	0.6	4.9	8.8	.	14.3
210	0.6	8.6	3.6	.	12.8
240	0.8	8.4	4.8	.	14.0
270	1.0	4.8	3.8	.	9.5
300	0.8	3.6	2.9	.	7.4
330	1.0	3.4	4.9	.	9.3
360	0.6	5.0	3.5	.	9.1
Total	6.7	46.3	41.4	0.1	94.5
[0; 3]	.	.	.	.	5.5

DÉCEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

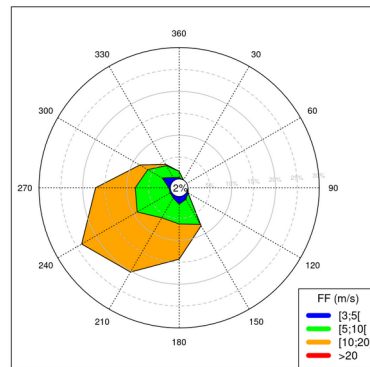
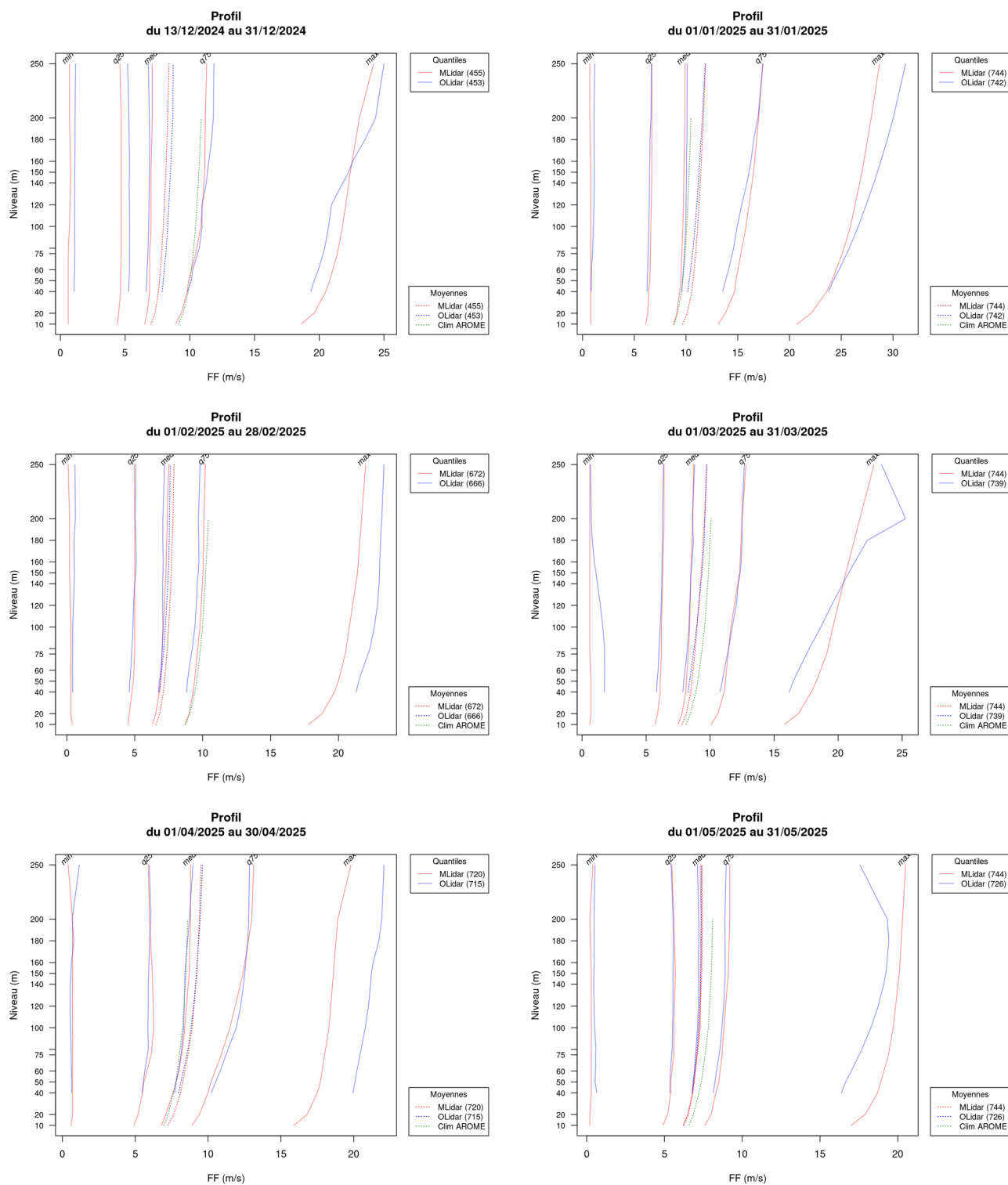


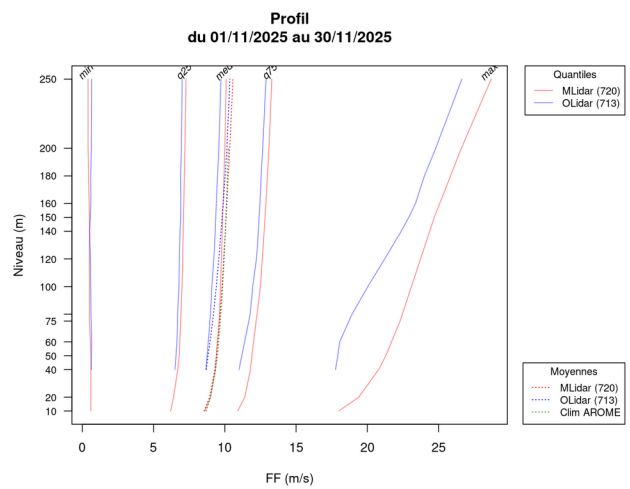
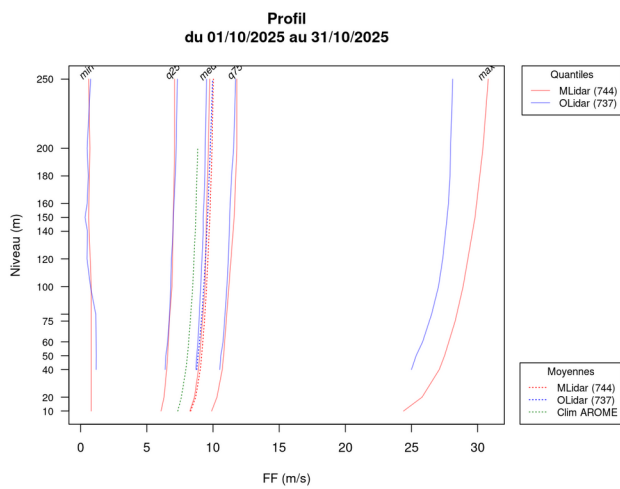
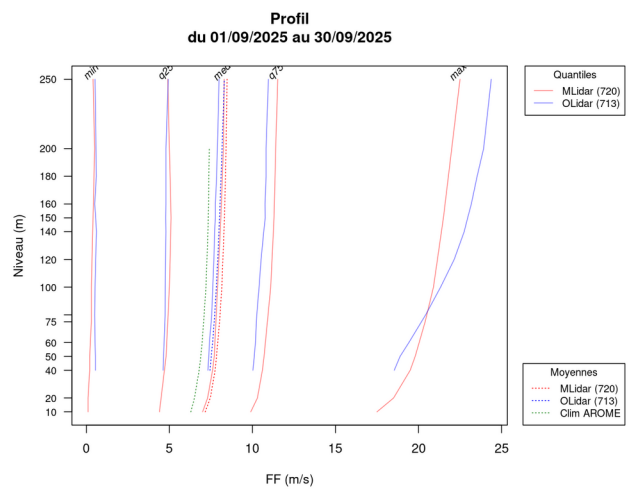
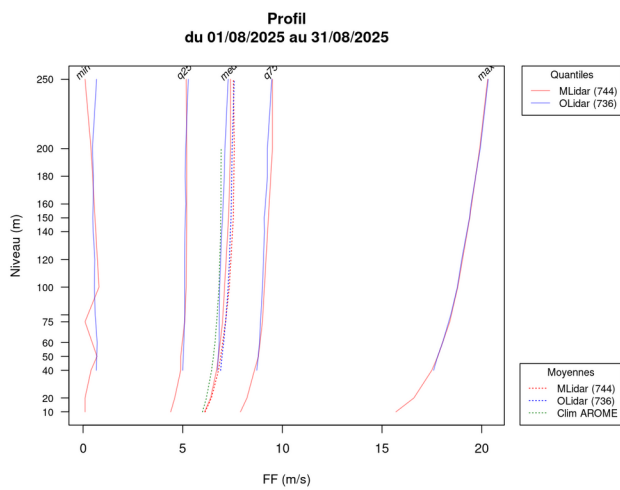
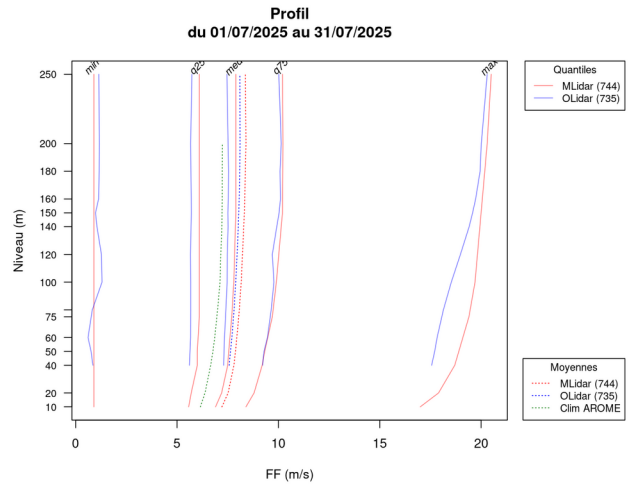
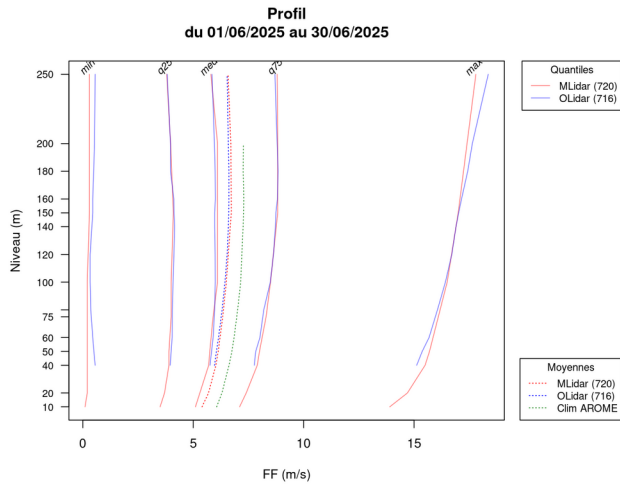
Tableau de répartition (en %)

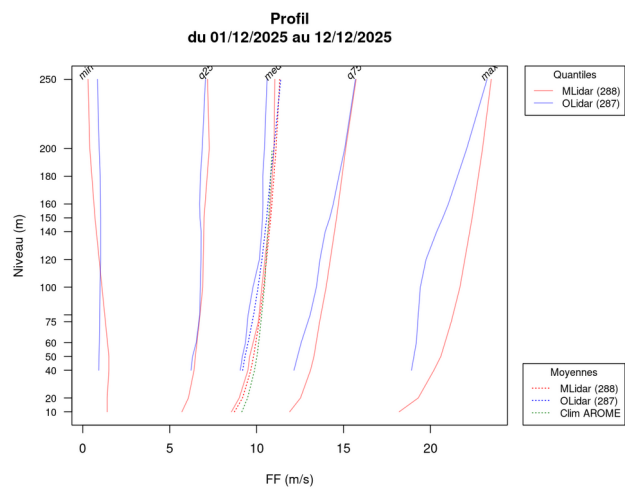
Nombre total de cas : 287

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	.	.	.	.	.
60	.	.	.	.	.
90	.	.	.	.	.
120	0.3	.	.	.	0.3
150	1.0	6.6	0.3	.	8.0
180	1.7	4.5	8.0	.	14.3
210	0.7	5.2	14.3	.	20.2
240	0.3	8.7	14.6	.	23.7
270	0.3	7.7	9.1	.	17.1
300	2.4	3.8	2.1	.	8.4
330	0.7	3.1	0.3	.	4.2
360	0.3	1.4	.	.	1.7
Total	8.0	41.1	48.8	.	97.9
[0; 3[	.	.	.	.	2.1

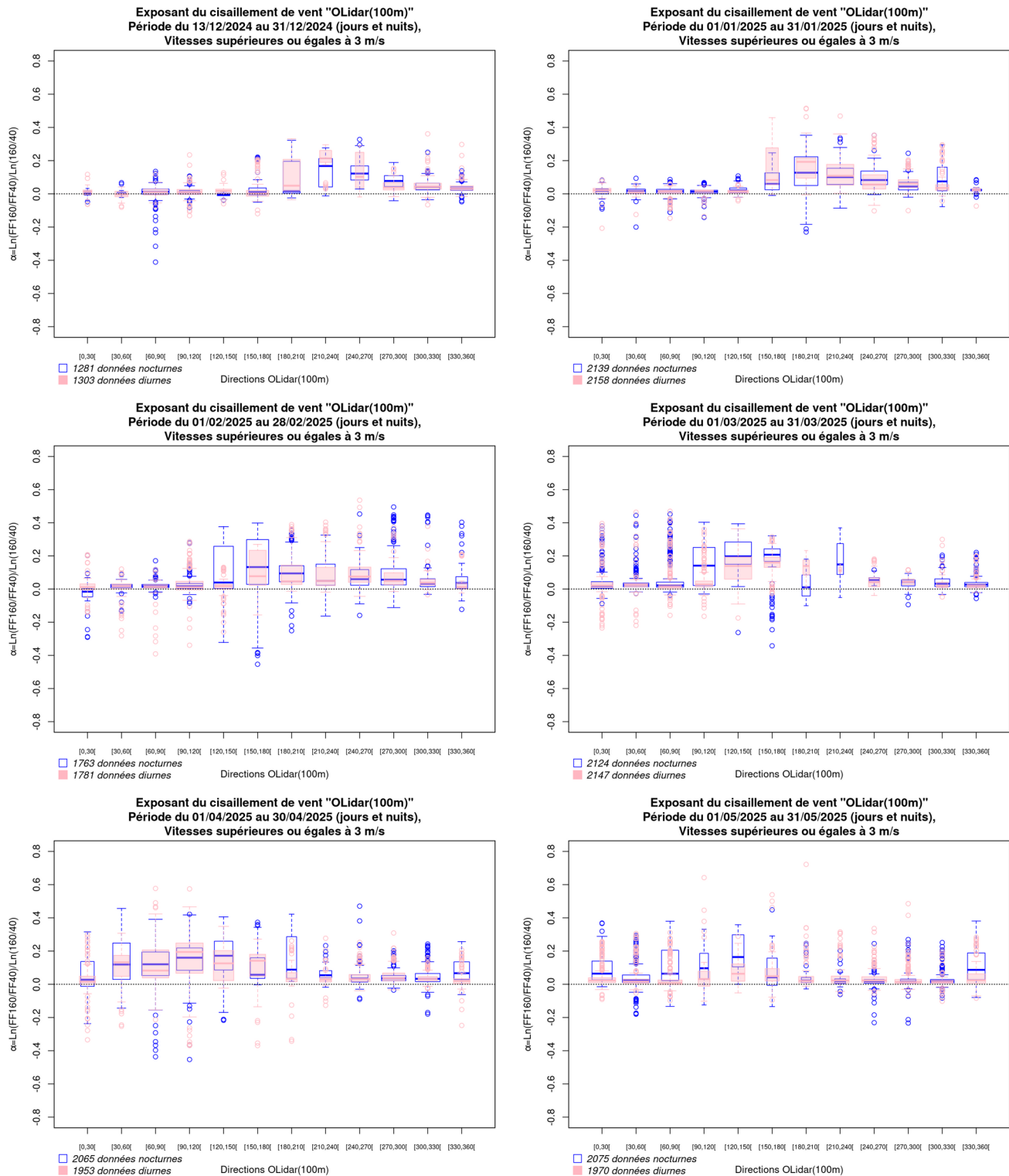
Annexe 8 : profils de vent du LiDAR

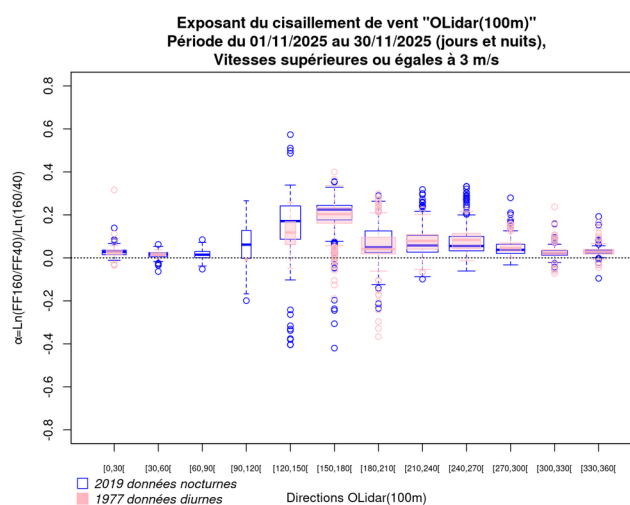
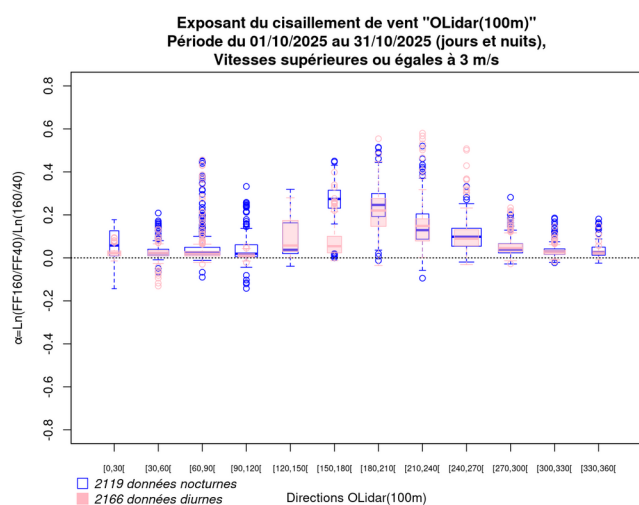
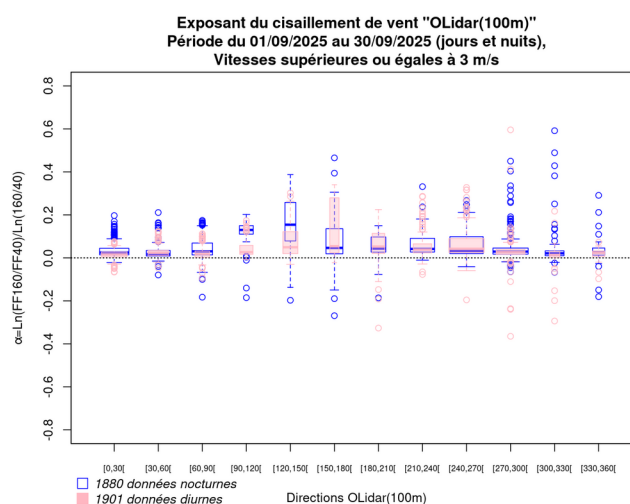
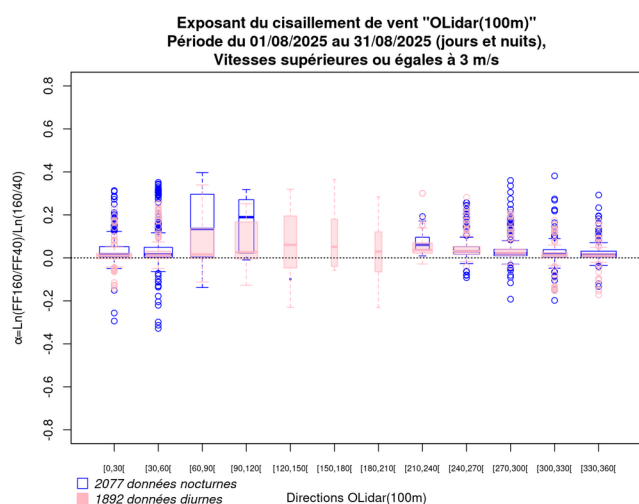
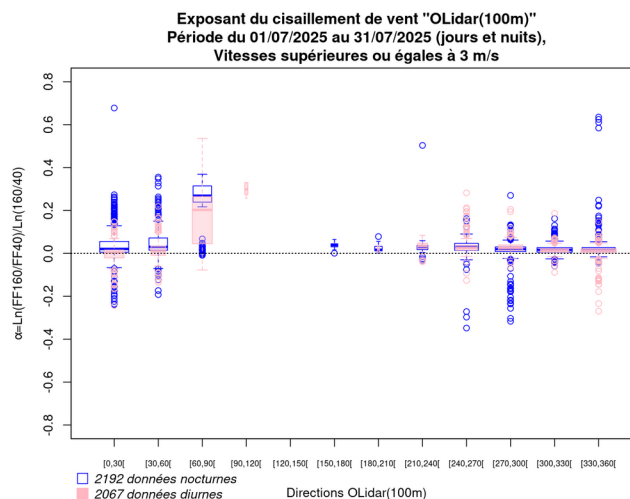
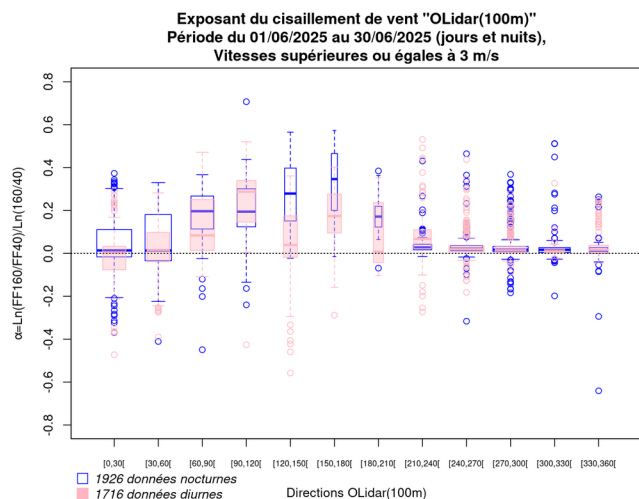


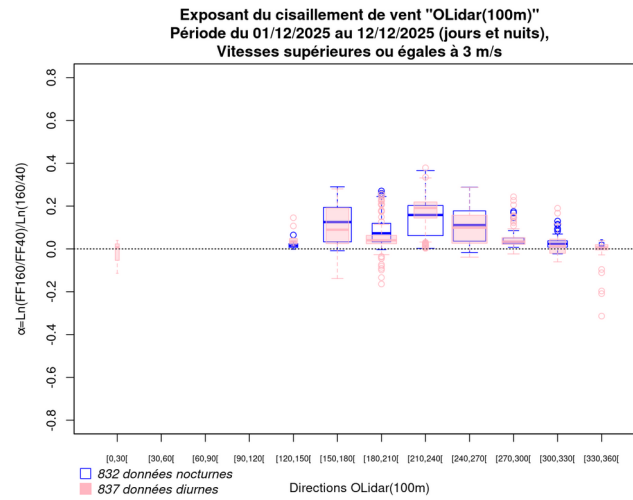




Annexe 9 : cisaillement du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)

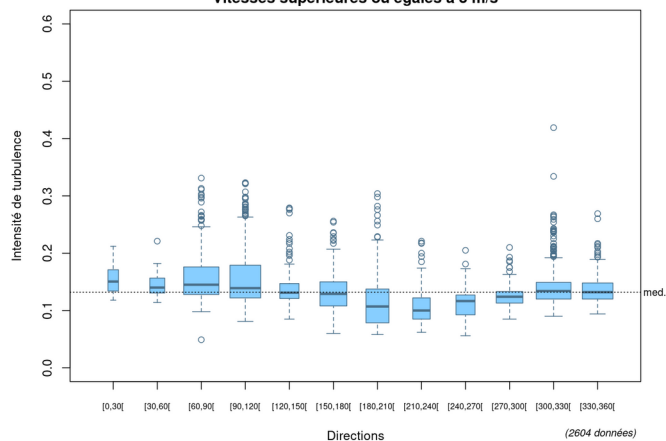




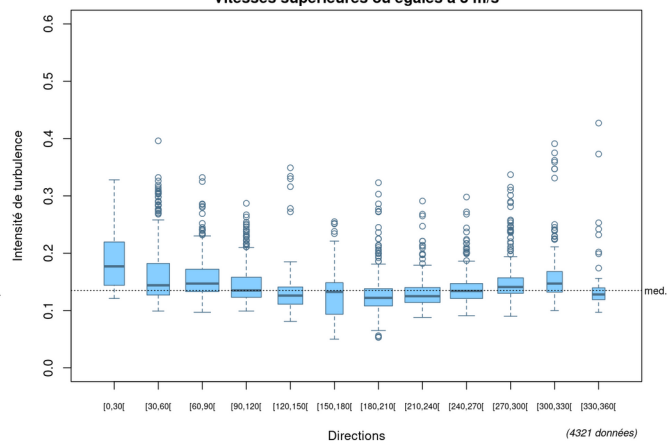


Annexe 10 : turbulence du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)

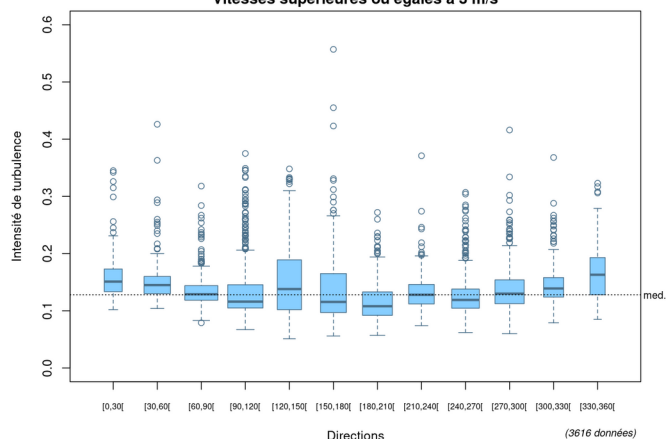
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 13/12/2024 au 31/12/2024,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



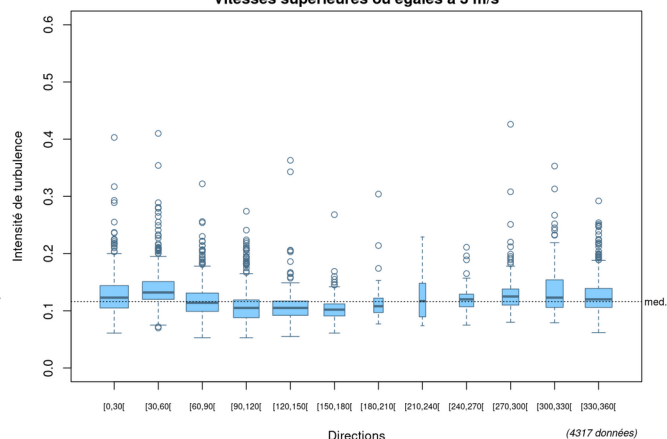
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2025 au 31/01/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



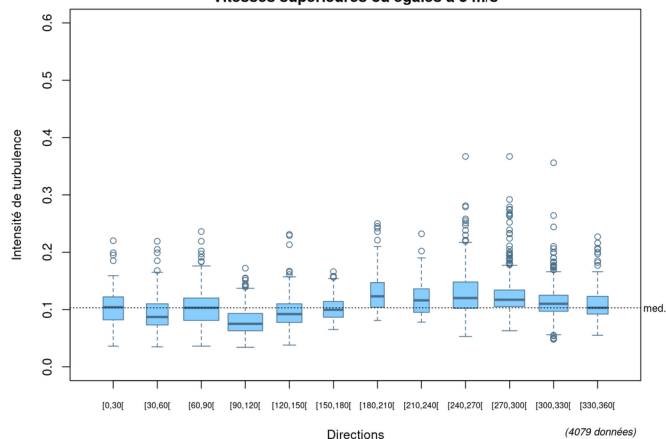
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2025 au 28/02/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



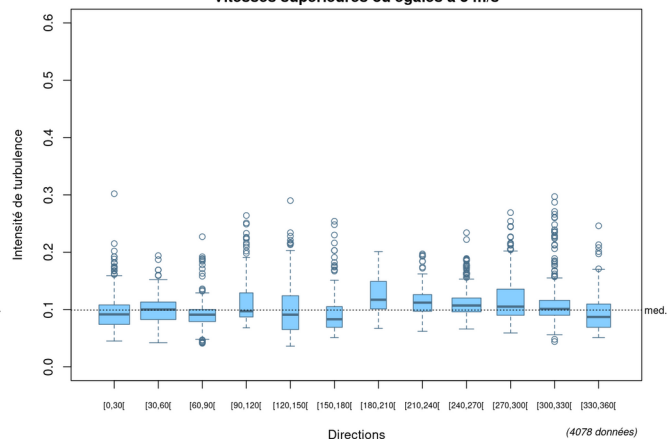
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/03/2025 au 31/03/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



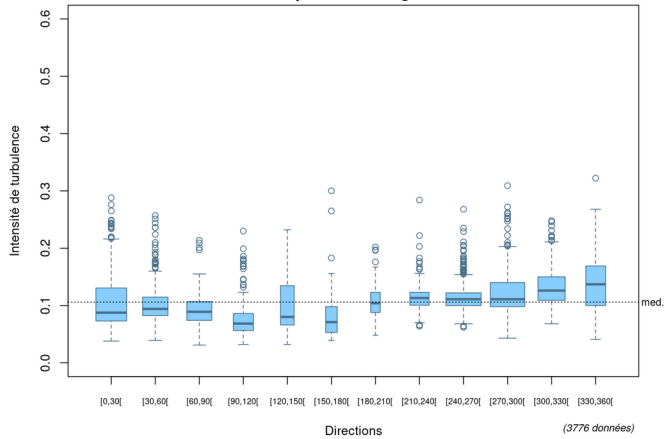
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2025 au 30/04/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



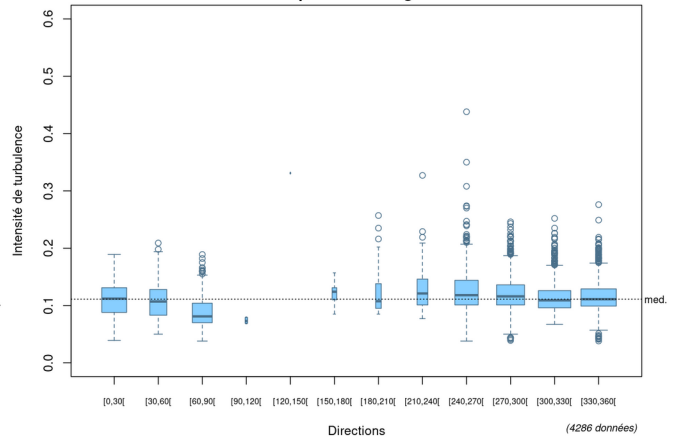
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2025 au 31/05/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



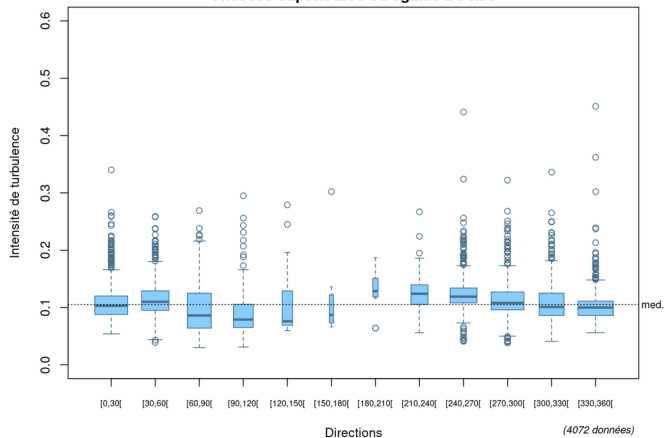
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2025 au 30/06/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



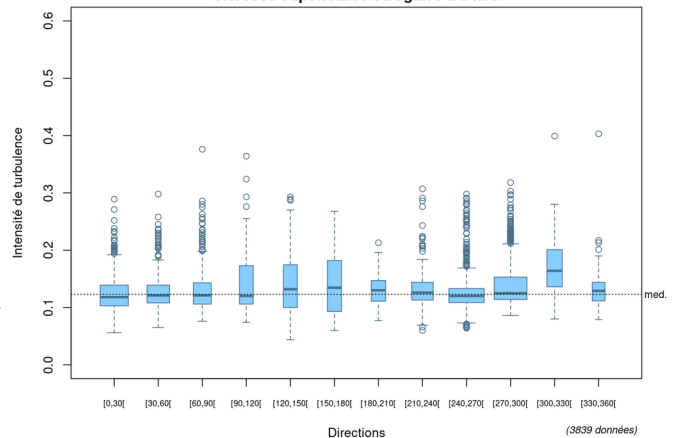
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2025 au 31/07/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



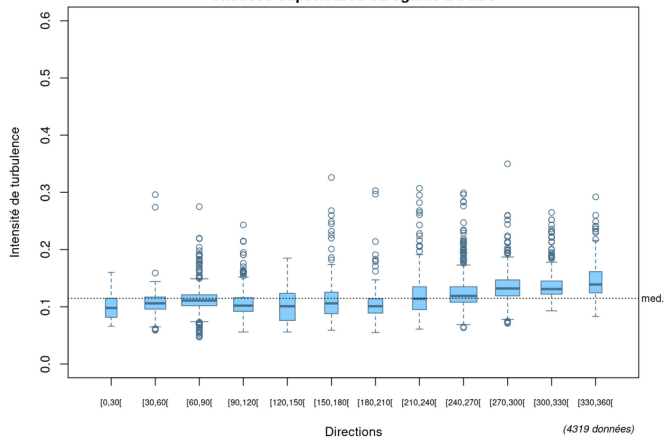
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2025 au 31/08/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



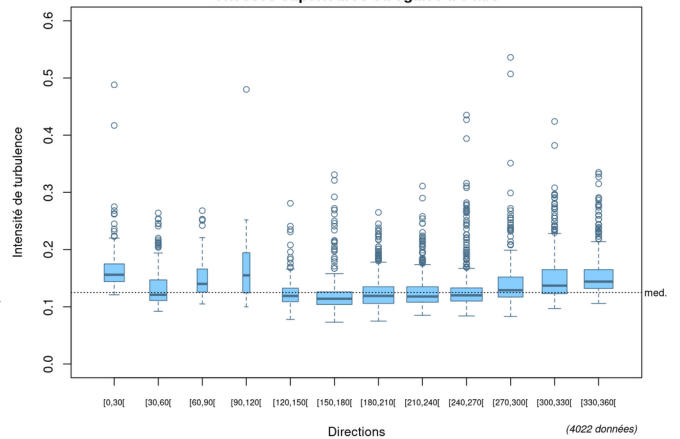
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2025 au 30/09/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2025 au 31/10/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2025 au 30/11/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



FIN DE DOCUMENT
