

Rapport d'étude

Rapport final Lot 4

Zone Bretagne Nord-Ouest – BNO



Version 2 du 20/07/2026

Client

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


**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE,
DE LA BIODIVERSITÉ,
DE LA FORÊT, DE LA MER
ET DE LA PÊCHE**
LEADER
2021-2027
Pêche-Mer

Responsable commercial :

Météo-France D2C Toulouse

Responsable technique :

Météo-France DSM/CS


**METEO
FRANCE**

- page laissée intentionnellement vide -

Documents de référence antérieurs

	Intitulé	Référence	Date	Version
DR1				

Évolutions successives

Référence	Date	Version	Évolution
Version initiale	09/07/2026	1	Création
Version B2	13/07/2026	2	Version tenant compte des remarques formulées par le Cerema
Version A	20/07/2026	2	Version validée par le Cerema

Signatures

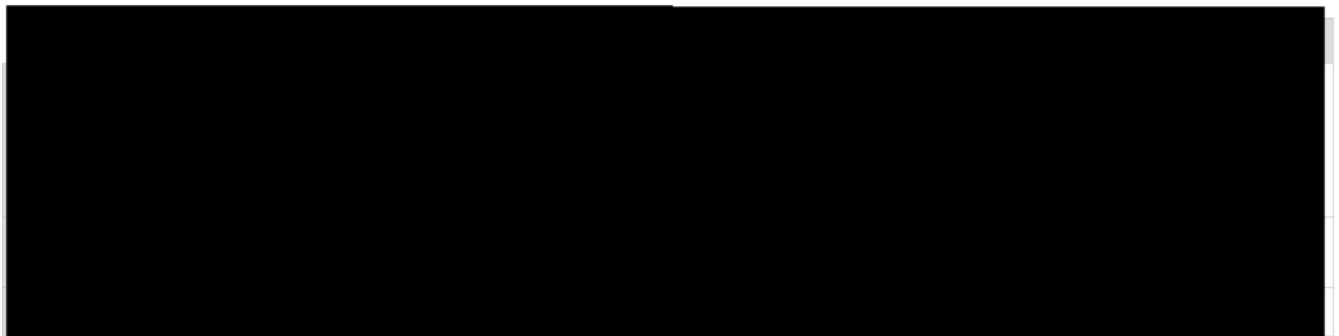


Table des matières

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 de force du vent.....	16
3.1.3 Monitoring des écarts.....	17
3.2 Retour sur des cas de données manquantes ou douteuses.....	19
3.3 Statistiques de contrôle et descriptives de la mesure.....	20
3.3.1 Statistiques de contrôle de la mesure.....	20
3.3.2 Statistiques descriptives du vent mesuré.....	23
3.3.2.1 Vent moyen horizontal à 100 m du LiDAR.....	23
3.3.2.2 Distributions.....	25
3.3.2.3 Variation diurne de la force du vent horizontal (données horaires).....	26
3.3.2.4 Variation mensuelle de la force du vent horizontal (données horaires).....	27
3.3.2.5 Roses des vents (données horaires).....	30
3.3.2.6 Profils verticaux de vent (données horaires).....	31
3.3.2.7 Cisaillement de la vitesse du vent (données 10 minutes).....	32
3.3.2.8 Analyse des risques de turbulence atmosphérique à 100 m.....	34
3.3.2.9 Séries horaires FF et FXI.....	35
4 Analyse des données du vent mesuré par l'anémomètre.....	36
5 Conclusion.....	39
6 Bibliographie.....	39
Annexes.....	40

Liste des illustrations

Illustration 1 : situation géographique de la zone d'étude, de la bouée avec LiDAR et de la station météorologique de référence (fond de carte OpenStreetMap).....	1
Illustration 2 : vents locaux principaux de Bretagne (fond de carte OpenStreetMap).....	2
Illustration 3 : rose des vents annuelle de la station météorologique Sibiril (1991-2020).....	3
Illustration 4 : roses des vents saisonnières de la station météorologique de Sibiril sur la période 1991-2020.....	4
Illustration 5 : carte marine de la zone où se situe la bouée BNO (source data.shom.fr).....	5
Illustration 6 : photo de la plateforme de mesure.....	6
Illustration 7 : photo du LiDAR.....	7
Illustration 8 : exemple de tableau mensuel de disponibilité des données au niveau 100 m pour chacun des 30 jours (abscisses) du mois d'avril 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 9 : monitoring des données 10 minutes de force du vent sur les 12 niveaux de mesure (à gauche) et comparaison avec le modèle AROME à 100 m (à droite).....	17
Illustration 10 : monitoring des écarts de forces (courbe bleue) et de directions (courbe rouge) pour le mois de novembre 2025.....	18
Illustration 11 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR (en abscisse) avec le modèle (en ordonnée).....	20
Illustration 12 : diagramme "quantile-quantile" des forces de vent du LiDAR et du modèle AROME au niveau 100 m.....	21
Illustration 13 : répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite).....	22
Illustration 14 : 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.....	22
Illustration 15 : distributions des vents horaires du LiDAR.....	25
Illustration 16 : répartitions horaires des forces du vent du LiDAR.....	26
Illustration 17 : répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR et du modèle au niveau 100 m.....	28
Illustration 18 : rose des vents à 100 m observés (LiDAR) sur l'ensemble de la campagne.....	30
Illustration 19 : rose des vents à 100 m modélisés sur l'ensemble de la campagne.....	30
Illustration 20 : profils des vents avec quantiles du LiDAR.....	31
Illustration 21 : cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) représenté sous forme de différences de vitesses entre sommet et base des couches d'atmosphère considérées.....	32
Illustration 22 : exposant du cisaillement de vent du LiDAR.....	33
Illustration 23 : intensité de la turbulence mesurée par le LiDAR.....	34
Illustration 24 : séries FF (mesuré en bleu, estimé en vert) et FXI (en rouge) à 100 m du LiDAR en m/s. Le tableau 2 donne les raisons des principaux manques de données.....	35
Illustration 25 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle.....	36
Illustration 26 : distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite).....	37

Illustration 27 : roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre.....	38
Illustration 28 : Analyse en surface du 23 octobre 2025 à 12 UTC.....	41
Illustration 29 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 22 octobre 2025..	42
Illustration 30 : Analyse du lundi 1 ^{er} décembre 2025 à 18 UTC.....	43
Illustration 31 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 1 ^{er} décembre 2025	44
Illustration 32 : roses des vents pour la période du 13 mars au 31 mai 2025 et sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.....	45
Illustration 33 : roses des vents en été 2025 et en moyenne sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.....	46
Illustration 34 : roses des vents en automne 2025 et en moyenne sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.....	47
Illustration 35 : roses des vents à l'hiver 2025-2026 et en moyenne sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.....	48
Illustration 36 : roses des vents du 1 ^{er} mars au 21 avril 2026 et sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : taux de présence KPI (en %) des données (DD, FF) 10 minutes du LiDAR.....	15
Tableau 2 : incidents techniques ayant impacté la mesure du LiDAR.....	19
Tableau 3 : classes de vitesses par mois – taux « brut » (en italique) et « reconstitué » (en gras) du LiDAR	24
Tableau 4 : fréquences (en %) des forces de vent de la station de Sibiril sur la période 1991-2020 (en gras) et pour la période du 13 mars 2025 au 21 avril 2026 (en italique). Surlignages : excédent (en rouge) et déficit (en bleu) de plus de 5 points de pourcentage par rapport à la normale.....	29

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 (DGEC) 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 DGEC a sollicité Météo-France pour la réalisation d'une campagne de mesures atmosphériques et océanographiques dans la zone géographique nommée « Bretagne Nord-Ouest » (BNO).

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 treize mois de la campagne de mesures, **débutée le 13 mars 2025 et terminée le 21 avril 2026**, durée nécessaire à la validation de la campagne.

1.1 Zone d'étude

La zone d'étude se situe au large de la côte finistérienne et costarmoricaine, à environ 40 km de la Côte de Granit rose et 45 km de la station météorologique de référence, Sibiril (29). En particulier, la bouée se trouve au nord-ouest et à environ 37 km de la réserve naturelle des Sept Îles et à près de 33 km de l'île de Batz.

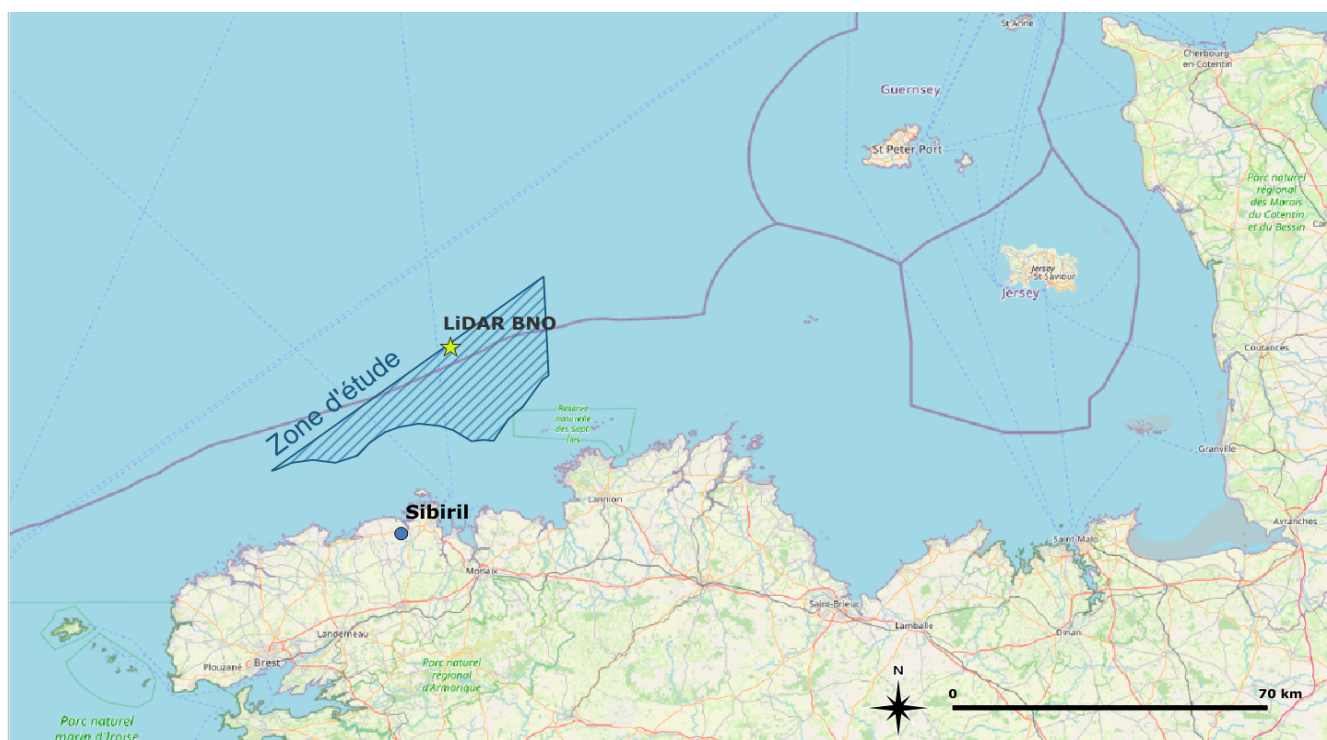


Illustration 1 : situation géographique de la zone d'étude, de la bouée avec LiDAR et de la station météorologique de référence (fond de carte OpenStreetMap)

Le climat de la Bretagne est de type océanique et tempéré. Il est marqué par une amplitude thermique annuelle relativement faible et une pluviométrie importante. Il existe naturellement des contrastes locaux, liés à l'altitude ou encore à la proximité de l'espace maritime. La Bretagne est caractérisée par un relief marqué par le Massif armoricain, avec des lignes de crêtes orientées est-ouest. À moyenne et grande échelle, elle est fortement influencée par la dérive Nord Atlantique (prolongement du Gulf-Stream).

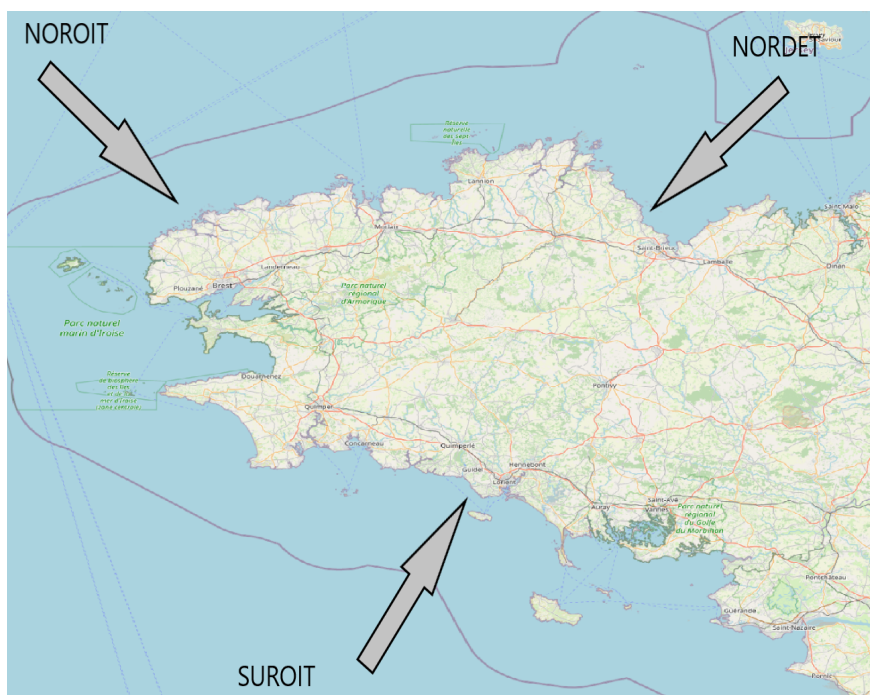


Illustration 2 : vents locaux principaux de Bretagne (fond de carte OpenStreetMap).

La situation météorologique au large de la Bretagne dépend de la position :

- de l'anticyclone des Açores ;
- de la dépression d'Islande ;
- de hautes pressions continentales (surtout pour les vents de nord-est à est en hiver).

La répartition globale des vitesses sur la rose des vents annuelle de la station Sibiril sur la période 1991-2020 (Cf Illustration 3) montre que la région est fréquemment ventilée, ce qui est caractéristique du climat océanique.

- Les vents calmes ($< 1,5$ m/s) représentent 4,9 % des cas observés.
- Les vents faibles ($[1,5 ; 4,5[$ m/s en bleu) en constituent la part la plus fréquemment observée, avec une proportion de 45,4 %.
- Les vents modérés ($[4,5 ; 8,0]$ m/s en vert) atteignent également une proportion importante, s'élevant à 37,8 %.
- Les vents forts (> 8 m/s en orange), représentent 11,9 % des observations.

Concernant la répartition par secteur de vent, on observe :

- Un flux dominant provenant d'un large secteur allant du sud-ouest à l'ouest (du 180° au 280°) ce qui correspond à 44,6 % de la fréquence totale des vents. L'axe le plus venté du secteur sud-ouest (220°) représente 9,7 % des observations totales avec une fréquence maximale des vents les plus forts (> 8 m/s) de 1,9 %. Ces flux de secteur ouest à sud-ouest sont liés aux dépressions et perturbations atlantiques classiques qui balaient régulièrement la zone.

- Un secteur secondaire venant du nord-est (entre le 40° et 80°) qui totalise 13,8 % de la fréquence annuelle des vents. Ce flux correspond généralement à des situations anticycloniques stables (hautes valeurs de pression), apportant un temps plus sec et frais en hiver et ensoleillé en été.
- Les vents de secteur nord-ouest (du 280° au 340°) sont quant à eux observés dans 21 % des cas. Les vitesses modérées ([4,5 ; 8,0] m/s) et fortes (> 8 m/s) y sont significatives, représentant respectivement 9,5 % et 3 % de l'ensemble des observations. Ces vents sont la signature des ciels de traîne qui s'établissent généralement après le passage d'un front froid, favorisant une masse d'air maritime polaire ou subpolaire en hiver, accompagnée d'alternances d'éclaircies et d'averses (de pluie, grésil, grêle, neige).
- Les vents venant de l'est au sud-est (100° à 140°) sont les moins représentés (9,9 % des cas) et les vents forts (> 8 m/s) y sont quasi inexistants.

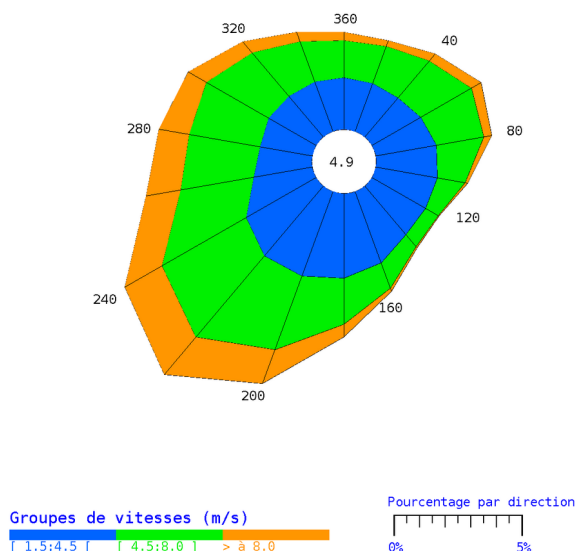


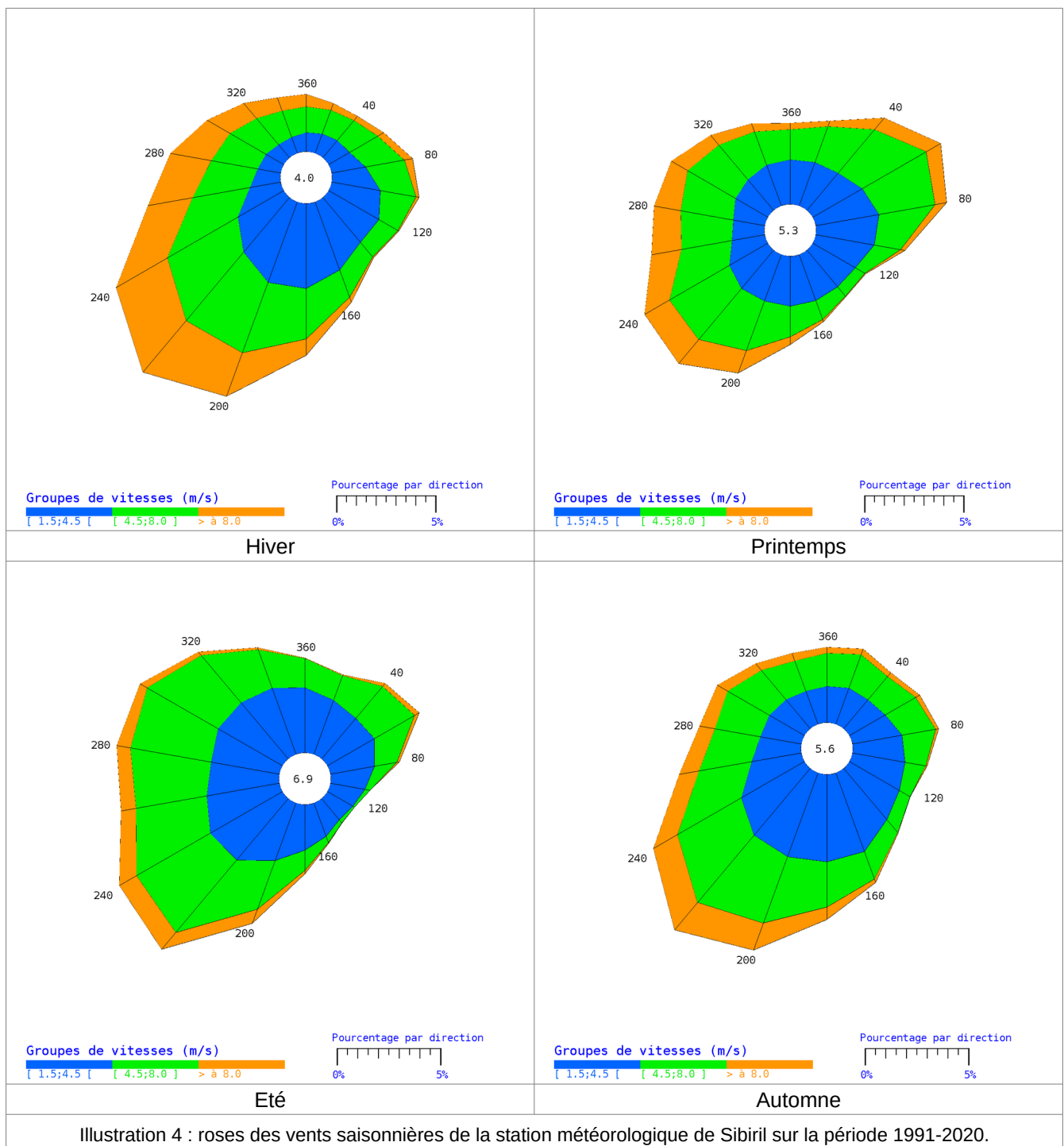
Illustration 3 : rose des vents annuelle de la station météorologique Sibiril (1991-2020).

L'analyse des roses des vents saisonnières de la station de Sibiril (29) sur trente ans, Cf Illustration 4, met en évidence des variations climatiques marquées tout au long de l'année, bien que le flux de Sud-Ouest reste le secteur prédominant.

- L'hiver (décembre à février) est la saison de l'année la plus perturbée. Dans 19,5 % des cas, le vent souffle fort (> 8 m/s). À noter que les vents calmes (< 1,5 m/s) sont rares : 4 % des observations. On observe également une rose des vents étirée dans le secteur sud-ouest (200° et 220°) représentant 21,4 % des observations, ce qui est lié aux passages successifs de perturbations atlantiques. Du secteur ouest (280°) au secteur est (100°) la rose des vents est plus homogène.
- Au printemps (mars à mai) la répartition des vents est plus équilibrée. Le secteur nord-est (du 40° au 80°) apparaît plus marqué qu'en hiver avec 20,2 % des observations sur trente ans. Cette configuration est liée à l'occurrence plus fréquente de situations anticycloniques. Le secteur sud-ouest (du 200° au 240°) est encore bien représenté dans 20,9 % des cas.
- L'été (juin à août), la fréquence des vents les plus forts supérieurs à 8 m/s atteint son minimum annuel à 5,7 % et, à l'inverse, les vents calmes montent à 6,9 % des observations. Le secteur sud-ouest (200° au 240°) reste fréquent (avec 24,8 % des cas observés). On observe une composante du vent d'ouest et de nord-ouest (du 260° au 340° qui représente 40,6 % des cas) plus marquée que durant les autres sai-

sons qui s'explique par les phénomènes de brise thermique côtière et par la présence de l'anticyclone des Açores qui remonte en latitude, orientant les flux synoptiques vers le secteur nord-ouest en bordure de Manche.

- L'automne (septembre à novembre) marque une transition vers les conditions hivernales. Les vents forts remontent à 9,7 %, tandis que la dominance du secteur sud-ouest (220°) se réaffirme nettement avec 10,2 % des observations. À l'inverse, le secteur nord-est s'atténue nettement au profit d'un régime plus océanique d'ouest : 15,5 % des cas du 20° au 80° contre 27,7 % des observations du 200° au 240°.



Du point de vue de la géographie marine, la zone d'étude se situe au niveau du plateau continental, à une profondeur proche de 80 mètres.

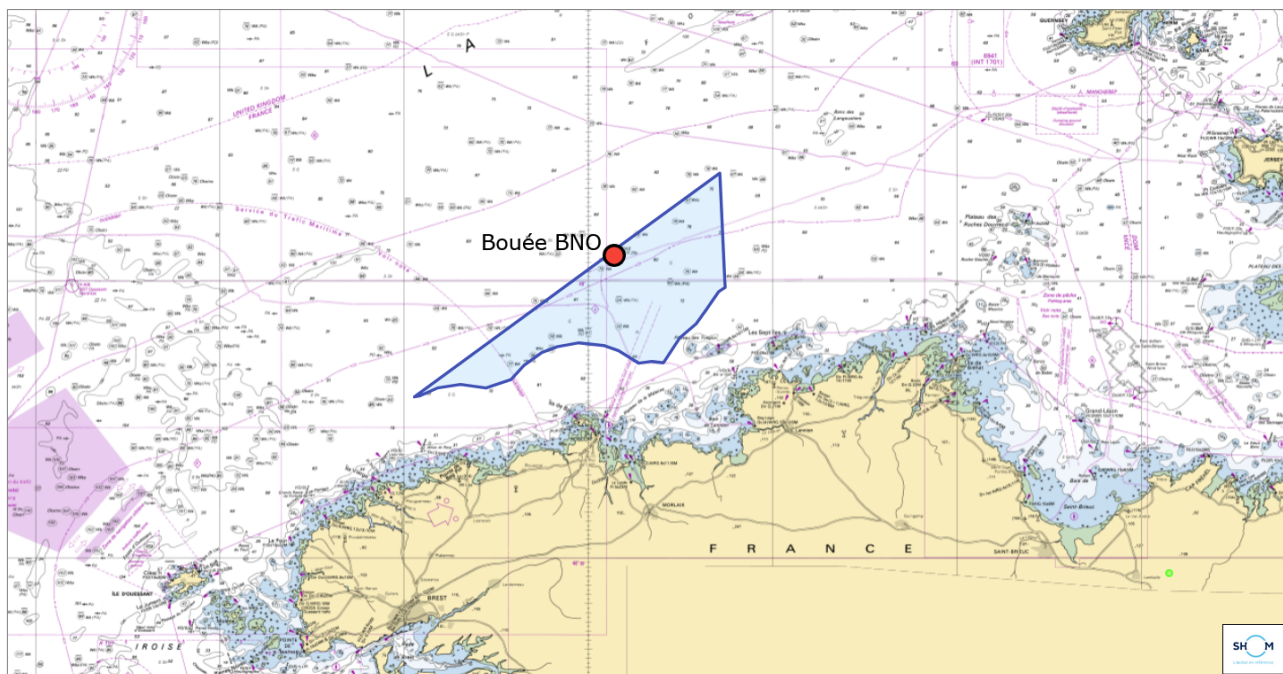


illustration 5 : carte marine de la zone où se situe la bouée BNO (source data.shom.fr).

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 WGS84 46°00,50' 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 6 : photo de la plateforme de mesure

La plateforme flottante embarque des instruments pour effectuer différentes mesures :

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

La mesure de vent en altitude est réalisée à l'aide d'un LiDAR (*Light Detection And Ranging*) 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 7 : 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 trois 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 8). 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.

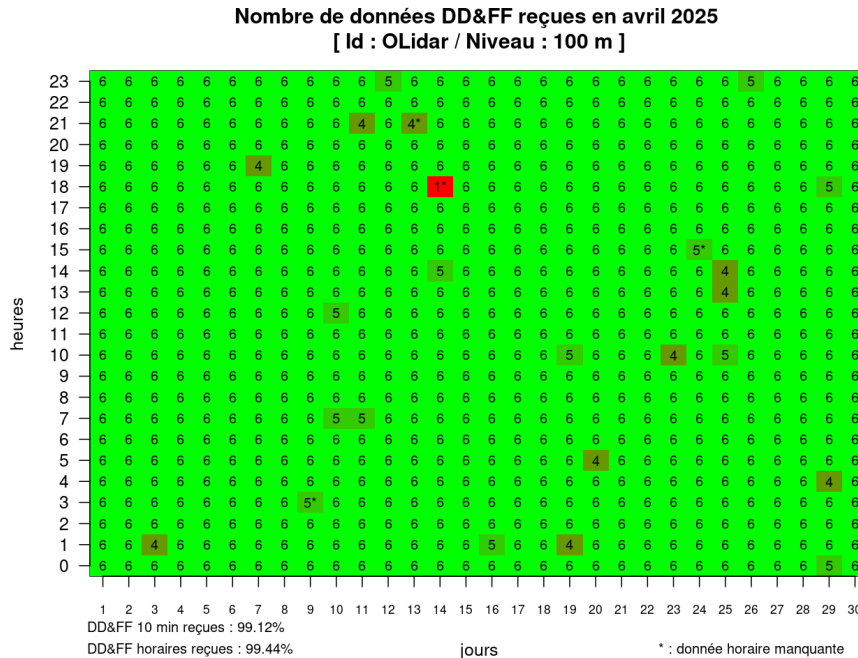


Illustration 8 : exemple de tableau mensuel de disponibilité des données au niveau 100 m pour chacun des 30 jours (abscisses) du mois d'avril 2025 sur chacune des heures de la journée (ordonnées). Chaque case indique le nombre de données 10 min disponibles, 6 étant la meilleure disponibilité.

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, inférieure d'environ 9,79 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 des données aux niveaux 60, 100 et 160 m sur l'ensemble de la campagne doit être supérieur à 85 %.

	2025						
	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.
250 m	91.89	89.33	89.31	86.25	90.21	92.27	92.55
200 m	95.58	96.85	95.47	92.36	96.68	96.42	94.91
180 m	96.45	97.82	96.84	94.35	98.10	97.40	95.93
160 m	97.40	98.50	97.51	95.88	98.50	98.12	96.09
150 m	97.73	98.70	97.78	96.27	98.57	98.34	96.16
140 m	97.99	98.96	97.94	96.53	98.77	98.57	96.18
120 m	98.87	99.05	98.25	97.59	99.06	98.84	96.18
100 m	99.01	99.12	98.41	98.10	99.22	99.04	96.23
80 m	99.01	99.12	98.66	98.17	99.26	99.04	96.23
60 m	99.01	99.12	98.99	98.19	99.26	99.04	96.23
50 m	99.01	99.12	99.01	98.19	99.26	99.04	96.23
40 m	99.01	99.12	99.01	98.19	99.26	99.04	96.23
Moyenne globale KPI tous niveaux	97.58	97.90	97.27	95.84	98.01	97.93	95.76
Moyenne KPI (60, 100 & 160 m)	98.48	98.91	98.3	97.39	98.99	98.73	96.18
Nb de jours	19	30	31	30	31	31	30

	2025			2026						
	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avril	Moyenne globale	Nb Mois	Nb mois KPI ≥ 80%
250 m	97.33	97.04	94.6	21.44	56.89	90.43	89.25	83.98		
200 m	98.68	98.56	95.34	21.51	58.16	93.19	96.00	87.55		
180 m	98.84	98.87	95.50	21.53	58.41	93.59	97.06	88.32		
160 m	98.84	99.21	95.54	21.53	58.51	94.65	97.29	88.81		
150 m	98.84	99.28	95.54	21.53	58.53	95.23	97.29	88.97		
140 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	95.97	97.32	89.13		
120 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.18	97.32	89.42		
100 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.47	97.75	89.55		
80 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.69	97.78	89.60		
60 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.69	97.82	89.63		
50 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.69	97.82	89.63		
40 m	98.84	99.31	95.54	21.53	58.61	97.69	97.82	89.63		
Moyenne globale KPI tous niveaux	98.70	99.01	95.44	21.52	58.40	95.71	96.71	88.68	14	12
Moyenne KPI (60, 100 & 160 m)	98.84	99.27	95.54	21.53	58.57	96.6	97.62	89.33		
Nb de jours	31	30	31	31	28	31	21	405		

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 a rencontré un problème technique, lié à une défaillance d'alimentation des capteurs engendrant ainsi des taux mensuels de disponibilité des données tous niveaux pour le mois de janvier 2026 inférieurs à 22 % et pour le mois de février 2026 d'avril inférieurs à 60 %.

La campagne de mesure a bénéficié d'une extension d'un peu plus d'un mois et a finalement été validée en raison du fort taux de disponibilité des données sur l'ensemble de la période.

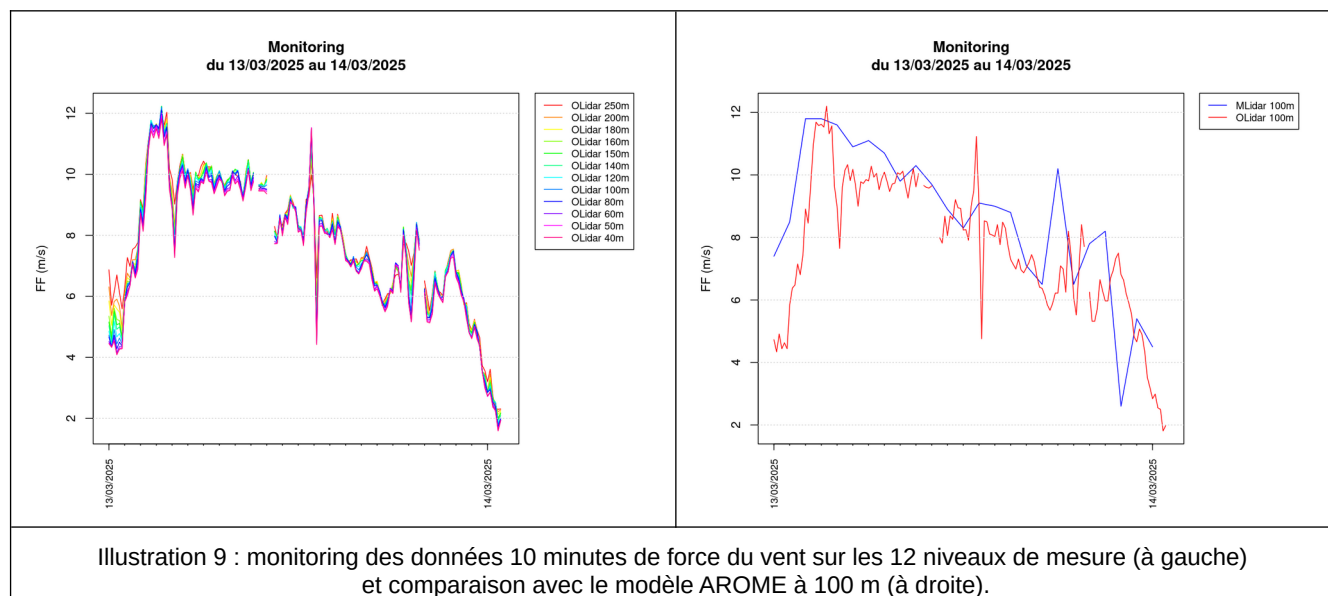
En effet, durant cette campagne, les critères KPI sont bien atteints pour les 3 niveaux 60, 100 et 160 m avec une disponibilité moyenne globale KPI pour ces trois niveaux de 89,33 %, d'autant plus que la disponibilité moyenne globale KPI tous niveaux sur l'ensemble de la campagne atteint 88,68 % confirmant la validation de cette campagne.

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 sonder 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 5,65 points de pourcentage à celle du niveau le plus proche du sol, à savoir 40 m.

3.1.2 Monitoring des données de force du vent

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 9 présente les relevés de force du vent moyen du LiDAR du 13 mars 2025. Les conditions météorologiques étaient dépressionnaires sur l'ouest de la Manche, influencées par la tempête *Konrad* sur le proche Atlantique et une dépression sur le centre de l'Europe. Le flux canalisé entre ces deux dépressions est modéré à assez fort de secteur nord-est avec de fortes rafales dans un régime de traîne active. Malgré cette situation peu courante, on note une très bonne corrélation globale entre l'observation de la force du vent mesurée par le LiDAR (courbe rouge) et celle du modèle (courbe bleue) sur le graphique de droite. La baisse et la remontée du vent sont synchronisées sur les deux courbes. Certes, un déphasage est observé au cours de la journée sur plusieurs créneaux, en particulier en milieu de journée, mais il est directement lié aux passages de fortes averses engendrant des vents très variables en direction et en force, ce qu'aucun modèle ne peut prévoir avec exactitude temporelle et géographique.



Des exemples de situations météorologiques rencontrées, illustrées par des graphes comparant la force du vent mesurée par le LiDAR à celle estimée par le modèle Arome, figurent en annexes 1 et 2.

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 novembre 2025 figure dans l'illustration 10 ci-dessous. Pour la majeure partie de ce 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 25°). Ces écarts en force et en direction ne remettent pas en cause la très bonne qualité des données du LiDAR et sont liés à des situations météorologiques particulières (cf. détails dans le rapport annuel L4.RA-1an_BNO).

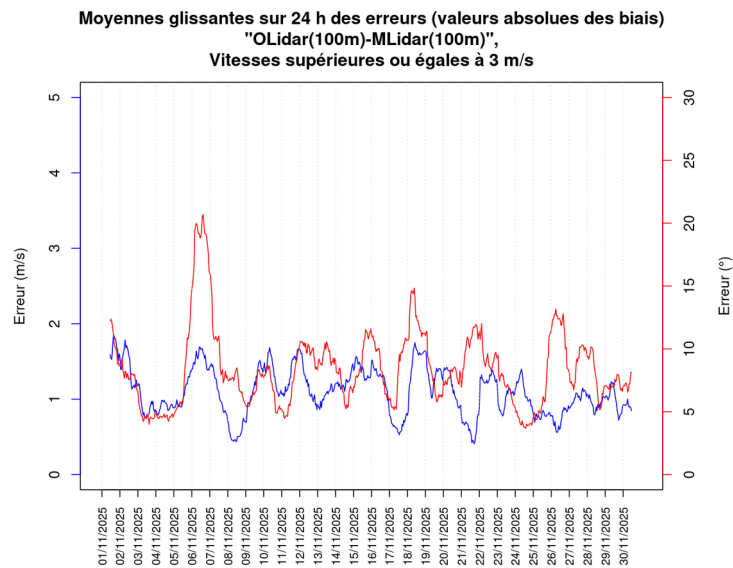


Illustration 10 : monitoring des écarts de forces (courbe bleue)
et de directions (courbe rouge) pour le mois de novembre 2025.

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 ayant impacté la mesure du LiDAR⁴
Mars 2025	RAS
Avril 2025	RAS
Mai 2025	RAS
Juin 2025	RAS – Maintenance préventive le 10/06/2025
Juillet 2025	RAS
Août 2025	RAS
Septembre 2025	RAS
Octobre 2025	RAS
Novembre 2025	RAS
Décembre 2025	27/12/2025 – Tension basse
Janvier 2026	Défaillance alimentation capteurs (cf infra)
Février 2026	Défaillance alimentation capteurs (cf infra)
Mars 2026	Maintenance le 23/03/2026
Avril 2026	RAS

Tableau 2 : incidents techniques ayant impacté la mesure du LiDAR.

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

Les données douteuses peuvent être visualisées sur l'illustration 11 du §3.3.1.

Sur l'année 2025, en dehors de très rares manques de données, la réception de celles-ci s'est bien déroulée. Toutefois, à la suite de plusieurs aléas successifs, les moyens d'alimentation disponibles n'ont plus permis de garantir une alimentation constante des capteurs entre le 02/01/2026 (une première coupure était apparue le 27/12 en raison d'une tension basse) et le 23/02/2026 : dysfonctionnement des piles à combustibles, faible production d'énergie solaire en période hivernale. Par ailleurs, en raison de conditions météorologiques défavorables persistantes sur la zone d'intervention, il n'a pas été possible d'effectuer une opération de maintenance. À la faveur d'un meilleur ensoleillement favorisant la production d'énergie solaire, la situation est revenue à la normale à compter du 24/02/2026.

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 11, à gauche), le coefficient de corrélation linéaire est fort (0,921), avec une majorité de points situés le long de la droite de régression et le biais est très faible (-0,23 m/s). On note 273 cas où seul l'écart de direction dépasse 30° (croix orange sur le graphique de gauche), 51 cas où seul l'écart de vitesse dépasse 5 m/s (carrés orange sur le graphique de gauche), et seulement 6 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 11, à droite), les points forment une diagonale très resserrée autour de la droite de régression linéaire, montrant ainsi une très bonne corrélation entre les données de direction observées et modélisées. On peut noter qu'une majorité des points mesurés et observés sont situés en grande majorité dans un vaste secteur ouest (autour de 270°).

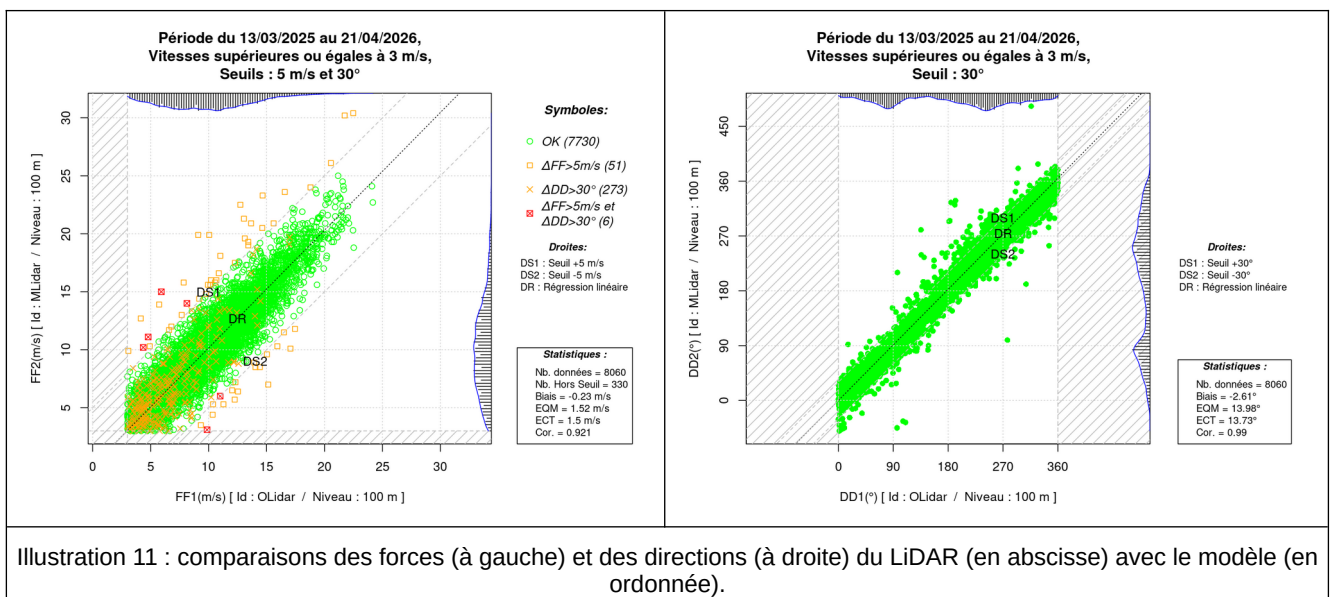


Illustration 11 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) du LiDAR (en abscisse) avec le modèle (en ordonnée).

Le diagramme « quantile-quantile » des forces de vent du LiDAR et du modèle AROME (cf. illustration 12) 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 15 m/s). Le point max (situé vers 30 m/s) est excentré à plus de 5 m/s d'écart de la bissectrice. Il est isolé et identifié comme « douteux ».

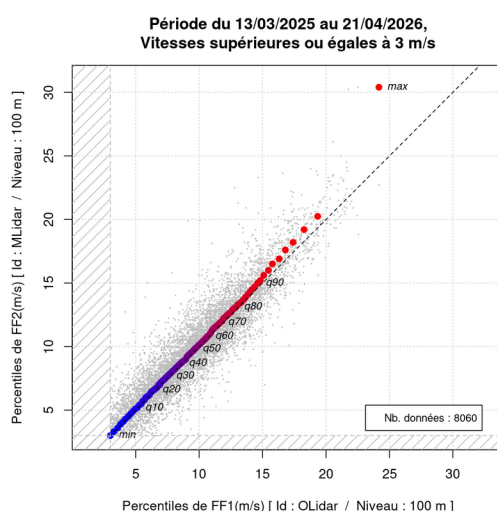


Illustration 12 : diagramme "quantile-quantile" des forces de vent du LiDAR et du modèle AROME au niveau 100 m

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 13, à gauche), indiquant au passage 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°) surviennent très rarement.

Sur l'illustration 13, 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.

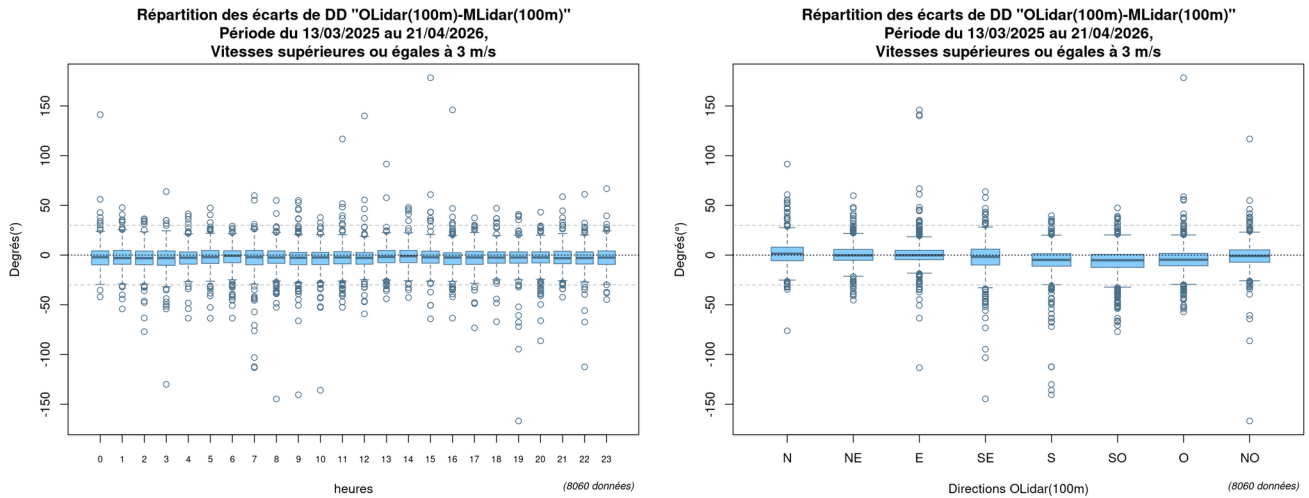


Illustration 13 : répartitions des écarts de directions du LiDAR en fonction de l'heure (à gauche) et de la direction (à droite)

Les écarts de force importants ($\Delta FF > 5$ m/s) sont essentiellement concentrés dans les secteurs ouest à sud (cf. illustration 14, à gauche). Les écarts négatifs suggèrent que le modèle a tendance à surestimer les vents océaniques venant de l'Atlantique. A contrario, les écarts de plus de 5 m/s dans un vaste secteur nord sont nettement moins présents, en partie parce que les vents y sont toutefois moins extrêmes (cf. illustration 3).

Quelle que soit la direction, le pourcentage d'écarts relevés reste faible ($< 1,4$ %) entre observations et modèle.

Concernant la répartition des écarts de direction du vent ($\Delta DD > 30^\circ$) en fonction de la force (cf. illustration 14, à droite), on remarque que les écarts supérieurs à 30° sont les plus fréquents dans la tranche des vents faibles (de 3 à 7 m/s), avec un pic maximal légèrement supérieur à 14 % 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 7 m/s.

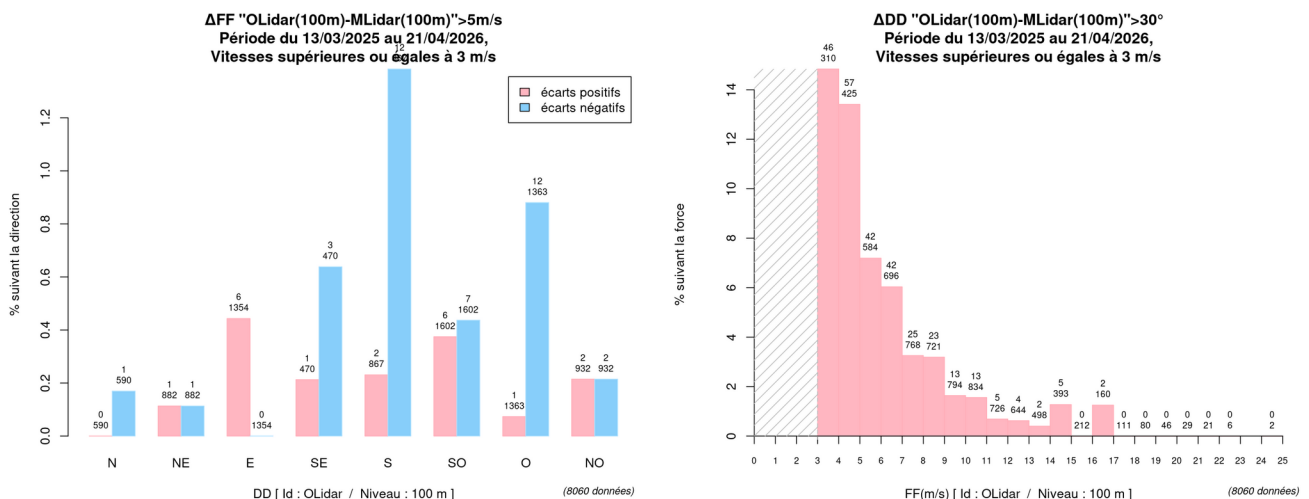


Illustration 14 : dépassements des seuils de force (à gauche) et de direction (à droite) du vent du LiDAR.

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 et de les moyenner sur 10 minutes. Ces moyennes sont 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 3 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 3 – 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 2,2 points de pourcentage, et sont même généralement proches de zéro.

La différence notable de taux pour les mois de janvier 2026 (jusqu'à 17,3 points de pourcentage) et février 2026 (jusqu'à 10 points de pourcentage) est directement liée à la défaillance du système d'alimentation des capteurs.

			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
2025	3	2711	8.5 %	10.7 %	36.3 %	42.6 %	1.8 %	.	.	.
		456	8.3 %	10.3 %	37.3 %	42.3 %	1.8 %	.	.	.
	4	4282	8.2 %	10.0 %	43.5 %	33.9 %	3.9 %	0.5 %	0.0 %	.
		720	8.1 %	10.0 %	43.2%	34.7%	3.5%	0.6%	.	.
	5	4393	5.7 %	10.1 %	55.5 %	25.3 %	3.5 %	.	.	.
		744	5.6 %	10.5 %	55.0 %	25.3 %	3.6 %	.	.	.
	6	4238	9.6 %	13.3 %	51.7 %	24.4 %	1.0 %	.	.	.
		720	9.9 %	13.1 %	51.8 %	23.8 %	1.5 %	.	.	.
	7	4429	7.3 %	14.2 %	55.3 %	22.6 %	0.5 %	.	.	.
		744	7.4 %	14.1 %	55.5 %	22.3 %	0.7 %	.	.	.
	8	4421	9.9 %	14.9 %	37.5 %	34.4 %	3.4 %	.	.	.
		744	9.9 %	14.7 %	37.4 %	34.5 %	3.5 %	.	.	.
2026	9	4157	3.3 %	9.0 %	42.7 %	36.9 %	7.6 %	0.5 %	.	.
		720	4.3 %	9.4 %	43.3 %	34.7 %	7.4 %	0.8 %	.	.
	10	4412	5.6 %	9.6 %	28.0 %	39.8 %	15.4 %	1.6 %	.	.
		744	5.4 %	9.1 %	28.5 %	40.3 %	14.8 %	1.9 %	.	.
	11	4290	1.7 %	3.5 %	30.4 %	54.4 %	9.8 %	0.2 %	.	.
		720	1.8 %	3.6 %	30.6 %	53.6 %	10.0 %	0.4 %	.	.
	12	4265	3.6 %	3.4 %	26.3 %	46.2 %	17.0 %	3.5 %	.	.
		744	3.5 %	3.2 %	25.4 %	48.4 %	16.1 %	3.4 %	.	.
2026	1	965	4.7 %	15.8 %	52.8 %	25.5 %	1.1 %	0.1 %	.	.
		744	3.6 %	6.6 %	35.5 %	31.5 %	15.3 %	5.9 %	0.9 %	0.7 %
	2	2370	1.2 %	4.5 %	39.3 %	41.9 %	13.0 %	0.1 %	.	.
		672	0.6 %	3.0 %	29.3 %	44.3 %	21.1 %	1.6 %	.	.
3	4356	5.8 %	12.8 %	40.7 %	31.8 %	7.7 %	1.2 %	.	.	
	744	6.2 %	13.4 %	40.2 %	32.0 %	7.1 %	1.1 %	.	.	
4	2956	1.6 %	9.1%	41.9%	35.7%	11.7%	.	.	.	
	504	1.4 %	9.1 %	43.5 %	34.9 %	11.1 %	.	.	.	
Total		52245	5.7 %	9.9%	41.1%	35.5%	7.1%	0.6%	0.0 %	.
		9720	5.5 %	9.3%	39.8%	35.7%	8.5%	1.2%	0.1%	0.1%

Tableau 3 : 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 au niveau 100 mètres du LiDAR et du modèle se superposent quasi parfaitement (cf. illustration 15). Les quantiles apparaissant dans l'encart sont très proches, sauf pour le quantile max comme déjà discuté précédemment. Un léger écart (ΔFF) négatif de 0,2 et 0,3 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 6,2 m/s pour les valeurs max et 0,4 m/s pour le q90). Concernant la distribution des vents les plus faibles, on note une très bonne adéquation entre les données observées et modèle.

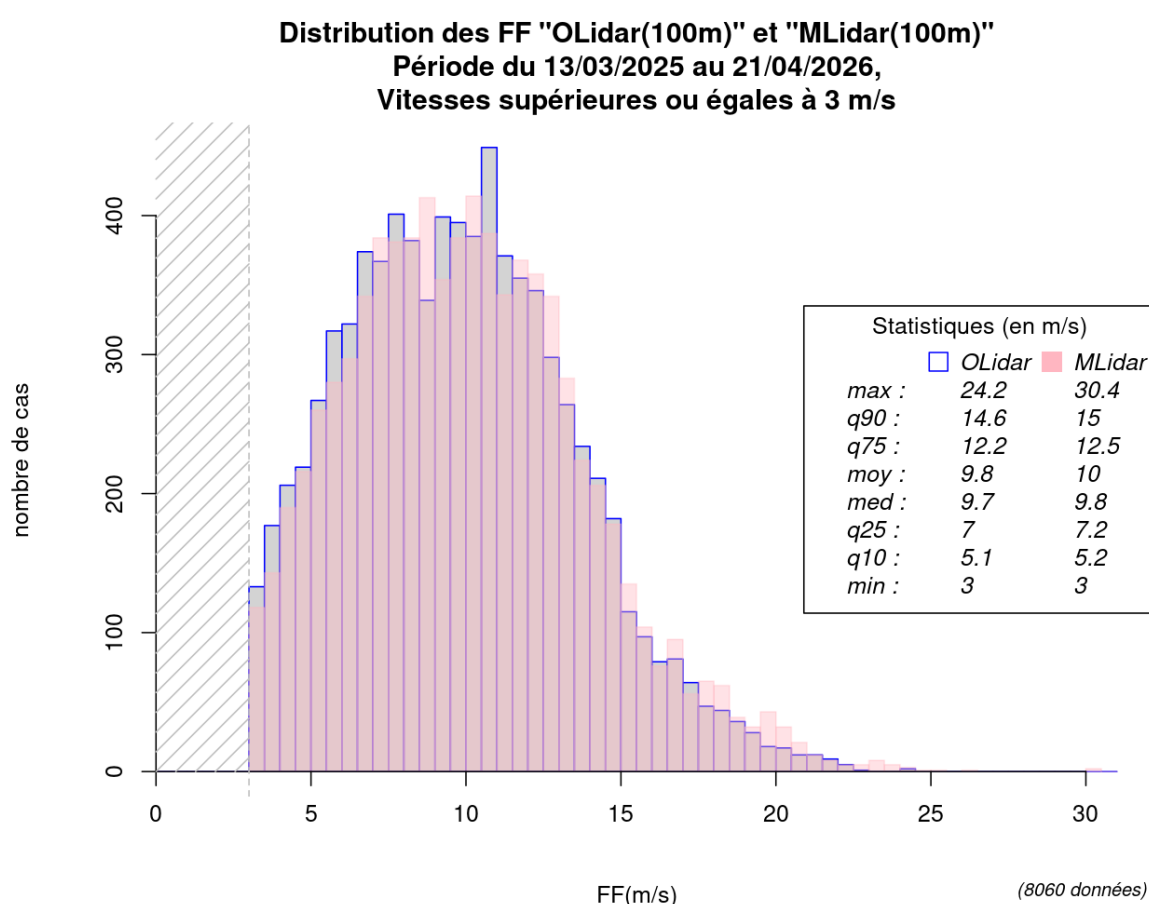


Illustration 15 : distributions des vents horaires du LiDAR

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

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

Sur l'illustration 16, 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 10 m/s, la médiane d'AROME étant très légèrement au-dessus de l'observation. Les boîtes représentant les intervalles interquartiles des données du LiDAR et de celles du modèle sont quasiment juxtaposées et la moitié des vents à 100 m souffle entre environ 6 et 13 m/s (pour rappel, chaque boîte contient 50 % des données). Il n'existe pas de présence de biais marqué en fonction de l'heure de la journée.

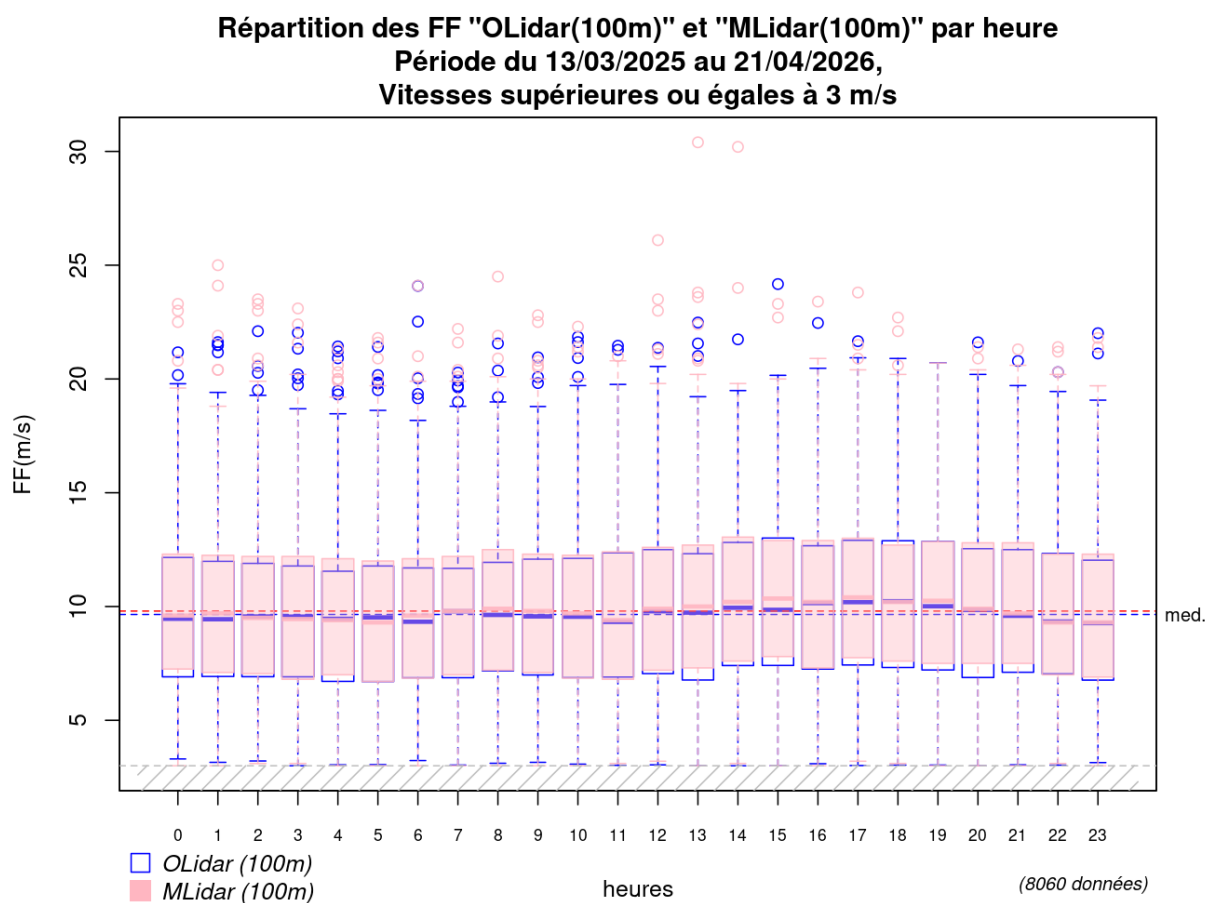


Illustration 16 : répartitions horaires des forces du vent du LiDAR

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

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

L'illustration 17 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 décembre 2025 qui se distingue par sa médiane élevée (autour des 12,5 m/s) et un vent maximum supérieur à 21 m/s. Exceptionnellement, le mois de janvier 2026 n'est pas représentatif de conditions de vents pour cette saison et est toujours directement lié au problème technique rencontré sur les capteurs.
- Le printemps (mois de mars à mai) marque une période de transition avec des valeurs médianes proches de celles de toute la campagne.
- En période estivale (de juin à août), les valeurs des médianes sont au plus bas ; on note que les trois mois ont été particulièrement calmes 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.

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 vents extrêmes durant les épisodes de coup de vent et tempête, pour certains mois (de septembre à décembre 2025 ainsi que mars 2026), 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 17 doit être mise en regard avec le tableau 4 pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation.

**Répartition des FF "OLidar(100m)" et "MLidar(100m)" par mois
Période du 13/03/2025 au 21/04/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s**

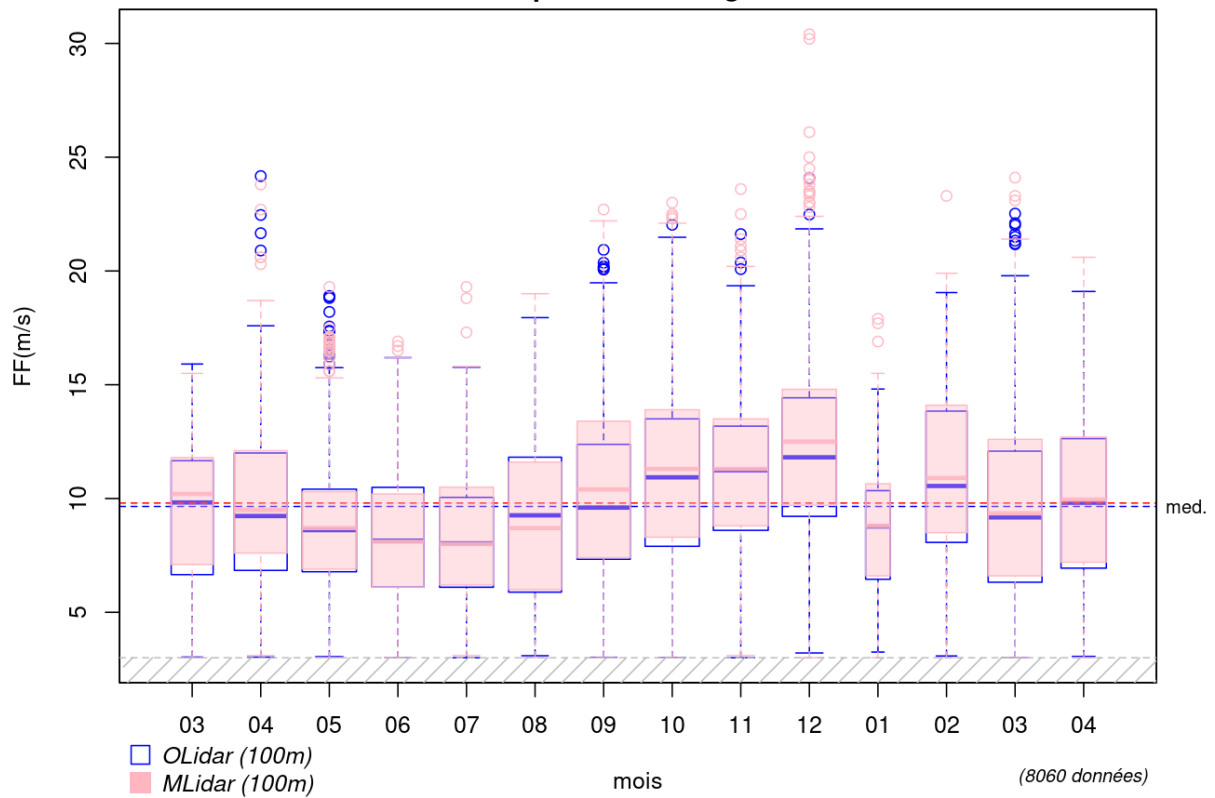


Illustration 17 : répartitions mensuelles des forces du vent du LiDAR et du modèle au niveau 100 m.
La largeur des boîtes à moustaches est fonction du nombre de données.

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 à Sibiril (29), station de référence choisie.

Au regard de la climatologie (statistiques 1991-2020) :

- Les mois de mars, avril et mai 2025 ont été moins dynamiques que la normale en termes de vent fort (> 8 m/s). A contrario en termes de vents modérés ([4,5 ; 8,0[m/s), les mois de mars, novembre et décembre 2025 ainsi que les mois de février et avril 2026 ont été plus dynamiques que la normale.

Vitesses en m/s	2025										2026			
	3 ⁵	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4 ⁶
> 8	15,9	12,5	10,0	6,9	5,6	4,8	5,7	9,9	13,6	18,8	19,9	20,2	15,9	12,5
	2,6	4,0	4,3	2,6	1,2	1,7	8,1	12,2	10,8	15,9	17,1	23,2	13,9	11,9
[4.5, 8.0[	39,6	38,9	39,9	38,7	40,1	33,5	34,9	36,1	36,9	37,7	39,7	37,7	39,6	38,9
	44,7	37,4	45,9	38,2	37,2	28,9	39,7	40,7	46,5	42,7	37,0	48,9	36,2	47,8
[1.5, 4.5[	40,3	43,5	45,2	48,7	47,9	54,7	53,5	48,7	45,4	40,2	37,3	37,9	40,3	43,5
	45,2	53,7	43,6	54,0	57,0	59,5	45,4	43,0	41,0	38,2	41,9	27,1	44,5	35,7
[0, 1.5[	4,2	5,1	4,9	5,7	6,4	7,0	5,9	5,3	4,1	3,3	3,1	4,2	4,2	5,1
	7,5	4,9	6,2	5,2	4,6	9,9	6,8	4,1	1,7	3,2	4,0	0,8	5,4	4,6

Tableau 4 : fréquences (en %) des forces de vent de la station de Sibiril sur la période 1991-2020 (en gras) et pour la période du 13 mars 2025 au 21 avril 2026 (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 mars 2025 (19 jours)

6 Du 1^{er} au 21 avril 2026 (21 jours)

3.3.2.5 Roses des vents (données horaires)

Pour une meilleure lisibilité, dans les illustrations ci-dessous, nous faisons le choix de représenter les roses des vents à 100 m en seulement 4 classes de vitesses. À noter que la rose des vents observés (cf. illustration 18) 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 (cf. illustration 19) coïncide bien avec la rose des vents obtenue à partir des données observées par le LiDAR (cf. illustration 18). À noter que les vents de [10 ; 20] m/s modélisés sont légèrement plus forts que ceux mesurés par le LiDAR (+2,8 points de pourcentage) et plus précisément dans le secteur 270° (+1,7 points de pourcentage). À l'inverse, les vents modérés [5 ; 10] m/s modélisés sont légèrement moins forts (–2,2 points de pourcentage), tout comme les vents faibles [3 ; 5] m/s (–1 point de pourcentage).

OLidar(100m) Période du 13/03/2025 au 21/04/2026

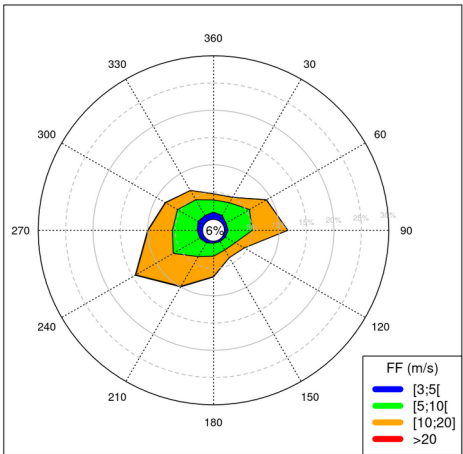


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 8703

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.1	2.7	1.1	0.0	5.0
60	0.6	5.0	3.6	0.1	9.2
90	0.7	4.4	6.5	.	11.6
120	0.5	2.1	1.9	.	4.5
150	0.4	1.8	1.6	.	3.8
180	0.4	2.4	3.7	0.1	6.6
210	0.6	2.9	6.3	0.1	10.0
240	0.9	5.6	7.9	0.1	14.5
270	1.0	4.5	4.4	0.1	10.0
300	1.3	4.3	2.5	0.1	8.2
330	1.1	3.3	2.0	0.0	6.4
360	1.3	2.2	1.1	.	4.7
Total	9.9	41.3	42.6	0.7	94.4
[0; 3[					5.6

Illustration 18 : rose des vents à 100 m observés (LiDAR) sur l'ensemble de la campagne

MLidar(100m) Période du 13/03/2025 au 21/04/2026

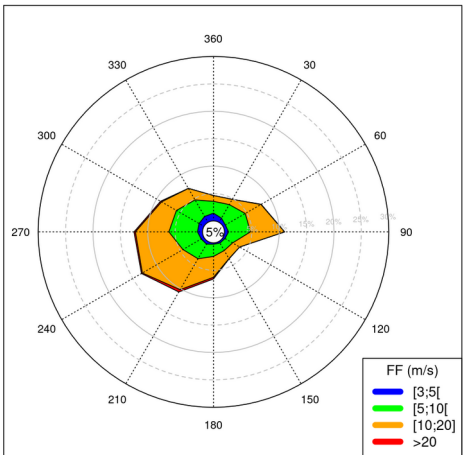


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 9720

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.9	2.9	1.1	0.0	4.9
60	0.5	4.2	3.3	0.1	8.1
90	0.8	4.0	6.2	0.0	11.0
120	0.4	1.6	1.5	.	3.5
150	0.3	1.6	1.7	0.1	3.7
180	0.2	2.2	3.8	0.3	6.6
210	0.6	3.1	6.5	0.5	10.7
240	0.6	3.9	8.5	0.2	13.2
270	0.9	5.2	6.1	0.3	12.5
300	1.0	4.8	3.1	0.2	9.2
330	1.2	3.5	2.4	0.0	7.2
360	1.4	2.2	1.1	.	4.6
Total	8.9	39.1	45.4	1.6	95.0
[0; 3[					5.0

Illustration 19 : 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 20, 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 cohérents avec les profils modélisés (sauf pour les valeurs maximales qui sont très éloignées).

En détail, les profils horaires modélisés sont toujours très légèrement supérieurs par rapport aux différents quantiles et la médiane.

La divergence la plus nette se situe au niveau des vents maximaux (max) où le modèle a tendance à surestimer la force du vent à tous les niveaux.

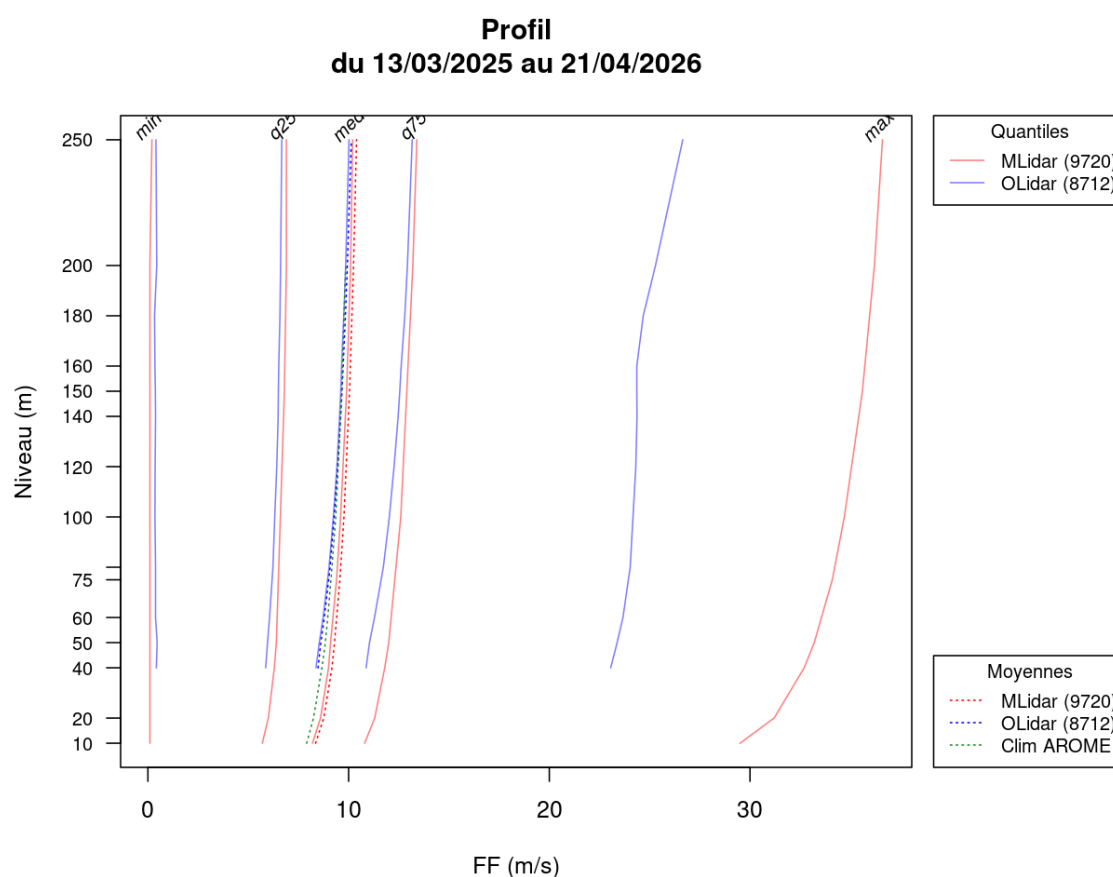


Illustration 20 : profils des vents avec quantiles du LiDAR

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

3.3.2.7 Cisaillement de la vitesse du vent (données 10 minutes)

Entre les niveaux 40 m et 160 m, le cisaillement vertical de la vitesse du vent mesurée par le LiDAR est le plus marqué dans les secteurs sud et sud-ouest (cf. illustration 21). 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-ouest, nord et nord-est, les boîtes à moustache sont très resserrées et les médianes des différences de vitesse proches de 0 m s⁻¹, 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 également sous forme de différences de vitesses, mais entre les niveaux disponibles les plus proches, c'est-à-dire 50 m et 150 m. À noter que la modélisation reproduit de façon assez similaire le cisaillement de vent sur la hauteur observée par secteur.

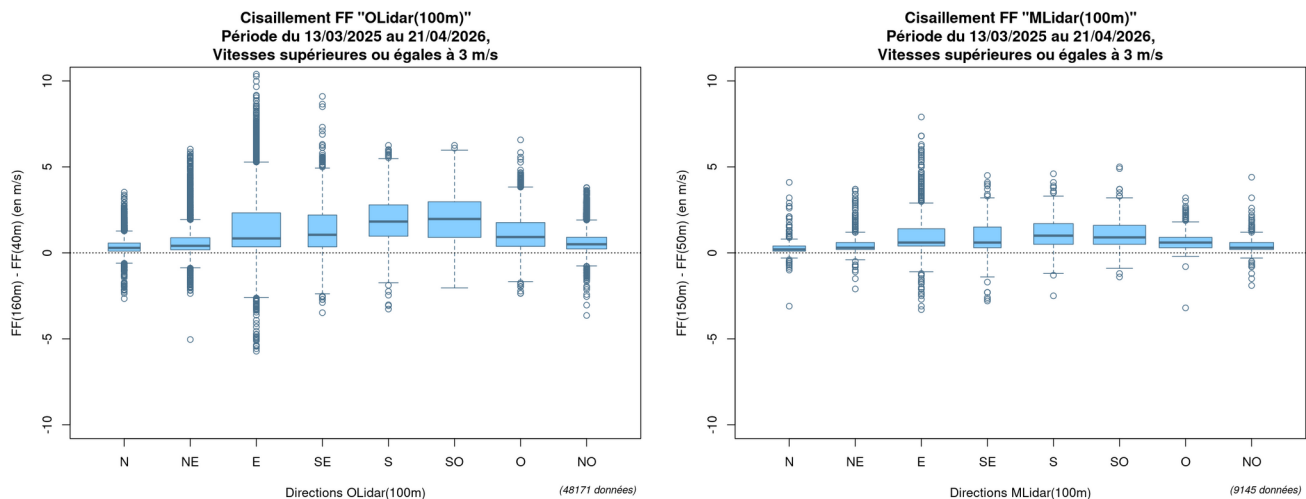


Illustration 21 : cisaillement des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) représenté sous forme de différences de vitesses entre sommet et base des couches d'atmosphère considérées.

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 22 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 est en passant par le nord (de 270° à 60°) 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 22). Concernant les vents à dominante est à ouest en passant par le sud (de 60° à 270°) l'exposant augmente nettement, dépassant 0,2 au q75 et pouvant même dépasser 0,4 au q75.

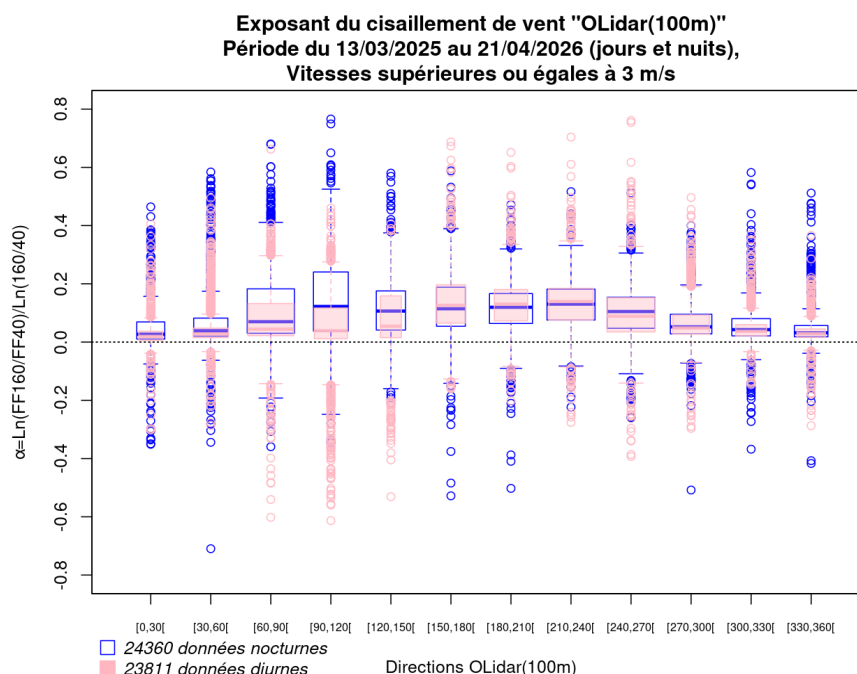


Illustration 22 : exposant du cisaillement de vent du LiDAR

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 23).

À noter quelques pics de turbulence dépassant 0,4 dans certains secteurs mais de façon exceptionnelle, restant ainsi marginaux.

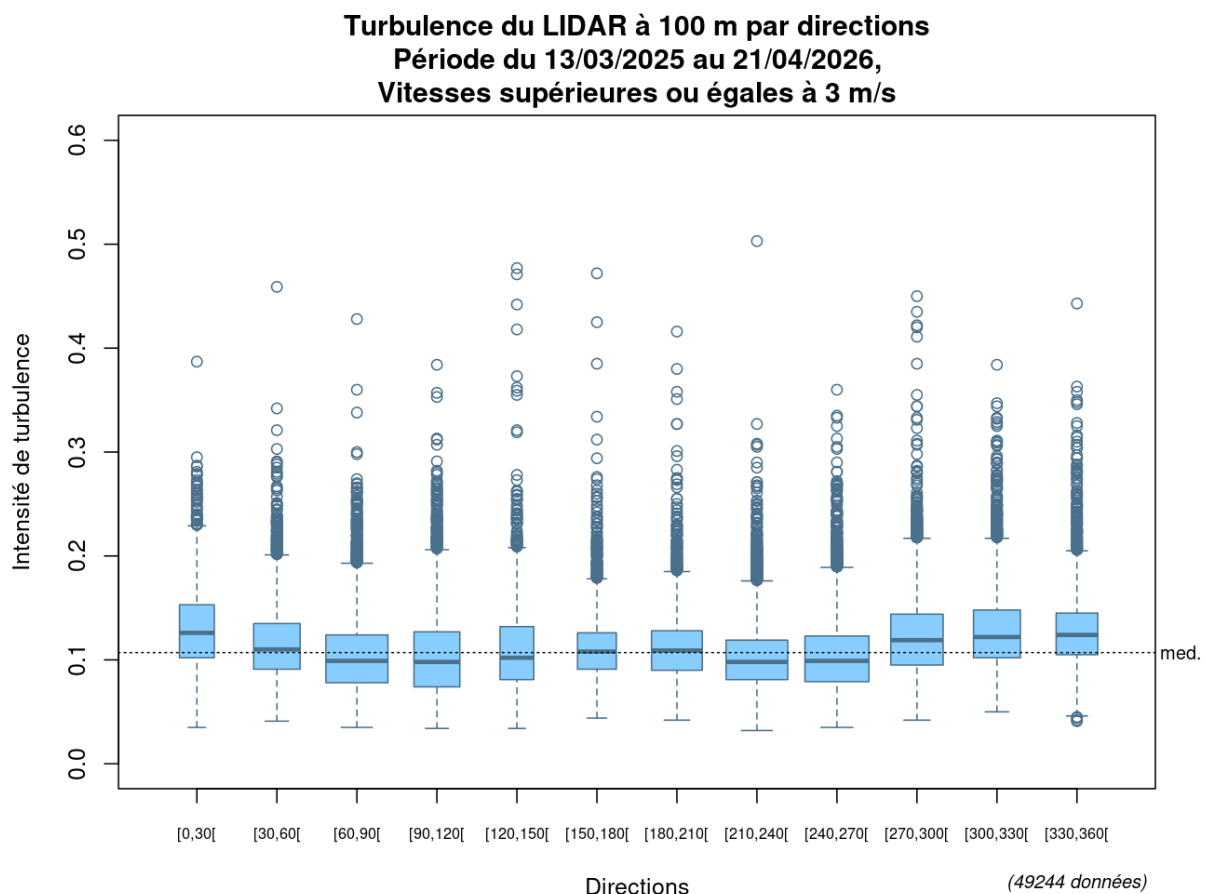


Illustration 23 : intensité de la turbulence mesurée par le LiDAR

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 13/03/2025 au 21/04/2026. 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.

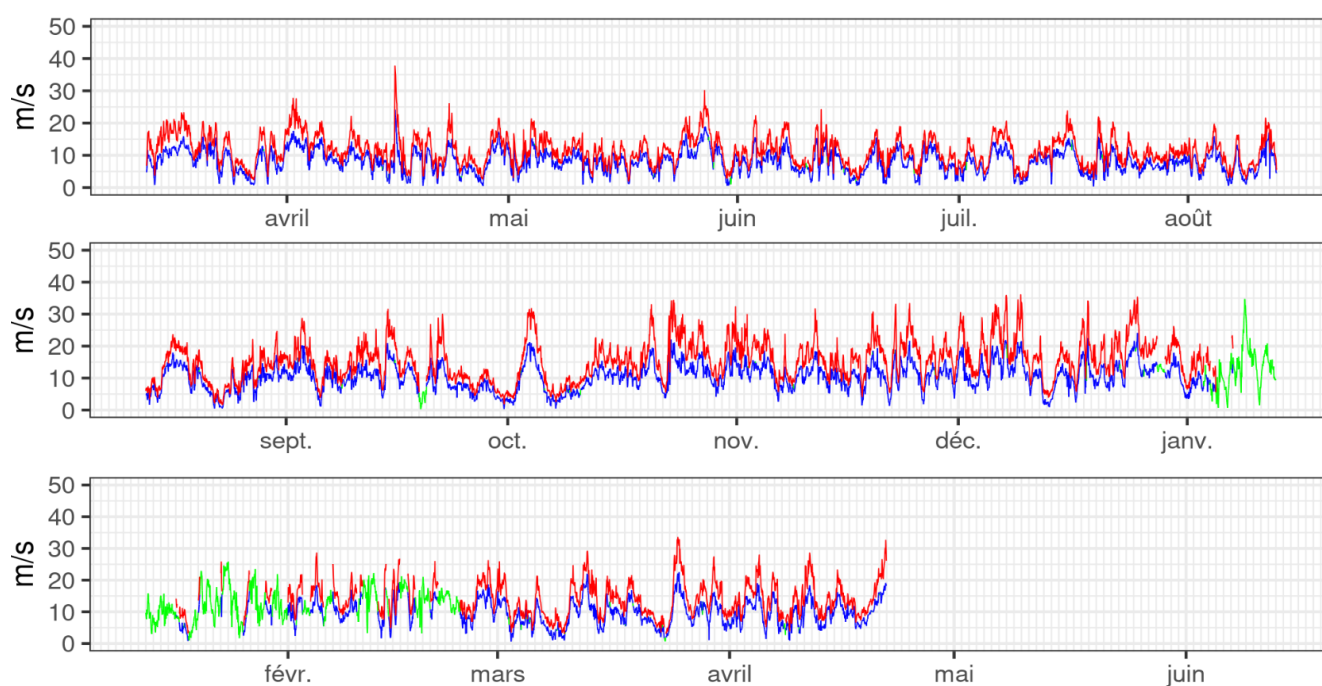


Illustration 24 : séries FF (mesuré en bleu, estimé en vert) et FXI (en rouge) à 100 m du LiDAR en m/s.
Le tableau 2 donne les raisons des principaux manques de données.

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'écart 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 25, à gauche) s'élève à 0,878 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 négatif de 0,43 m/s indiquant que le modèle a tendance à sur-estimer la vitesse du vent au sol par rapport à l'anémomètre.

À noter que la densité de points est maximale entre 1 et 7 m/s environ.

Concernant la corrélation entre la direction du vent observée par l'anémomètre et celle du modèle (cf. illustration 25, à droite), le coefficient de corrélation linéaire est de 0,977. La concentration des données suit presque parfaitement la droite de régression. On retrouve une plus forte concentration des points dans un large secteur ouest (du 200° au 360° environ).

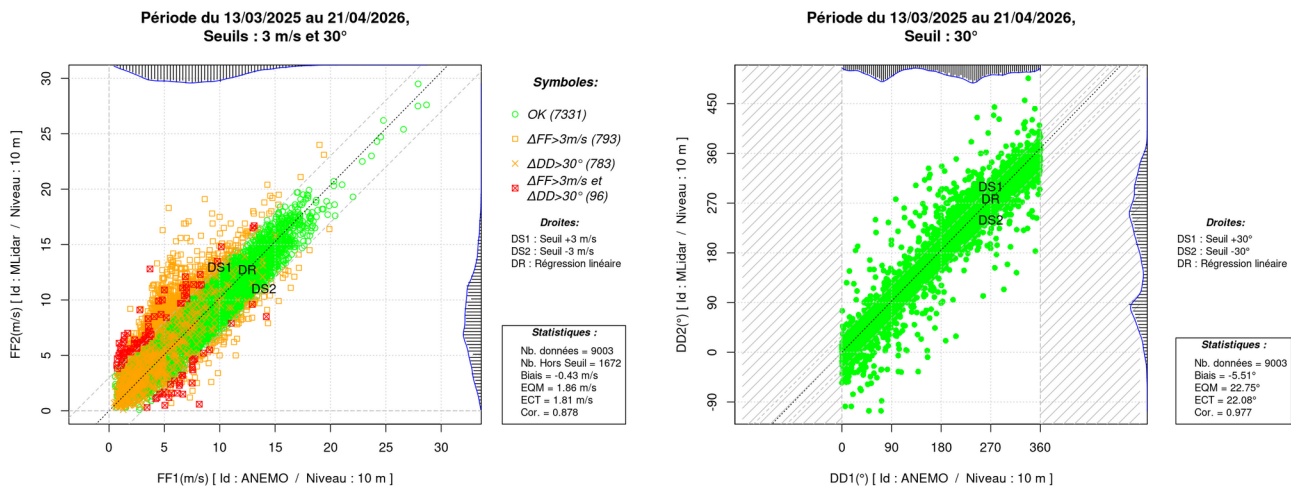


Illustration 25 : comparaisons des forces (à gauche) et des directions (à droite) de l'anémomètre avec le modèle.

On retrouve sur la distribution des vents horaires à 10 m (cf. illustration 26, à gauche) un pic de fréquence entre 6 et 9 m/s. On remarque que le modèle (en rouge) a tendance à sous-estimer le nombre de cas de vents inférieurs à 6 m/s par rapport aux observations. À l'inverse, le modèle a tendance à surestimer le nombre de cas de vents supérieurs à 6 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 au-dessus de celles de l'observation (respectivement 8,2 et 8 m/s contre 7,8 et 7,5 m/s) ; cela est également vrai pour le max et les autres quantiles, en dehors du min pour lequel le modèle sous-estime la valeur observée de 0,3 m/s.

Concernant le diagramme « quantile-quantile » (cf. illustration 26, à droite), les points sont très proches de la droite de régression. Toutefois, on retrouve ici aussi une légère sur-estimation d'AROME par rapport aux vents observés avec une légère dispersion qui apparaît pour le vent maximal.

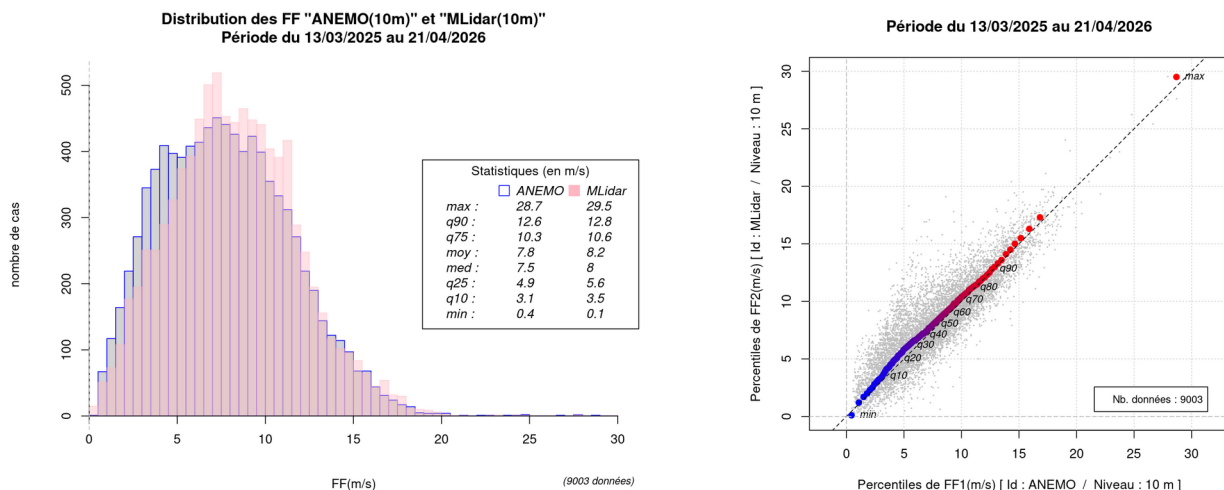


Illustration 26 : distribution des vents horaires de l'anémomètre (à gauche) et diagramme « quantile-quantile » (à droite).

Sur l'illustration 27, les deux roses confirment que les vents à 10 m les plus fréquents proviennent de l'ouest-sud-ouest (240°) avec 14,4 % des observations anémomètre et 12,9 % calculés par le modèle. Les vents de secteur nord-est (60°) sont également les plus fréquents (11,8 % des observations contre 8,8 % modélisés). Cela souligne une alternance de vents océaniques et de vents plus 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 (46,5 % des observations, très proche là encore du modèle avec 48,8 % des cas). Quant aux vents forts ([10 ; 20] m/s – en orange), le modèle a tendance à sur-estimer leur fréquence par rapport aux observations avec un écart de 5,3 points de pourcentage ; à l'inverse, la fréquence des vents faibles ([3 ; 5 [m/s – en bleu) est sous-estimée par AROME (par rapport aux données de l'anémomètre) avec un écart de 5 points de pourcentage.

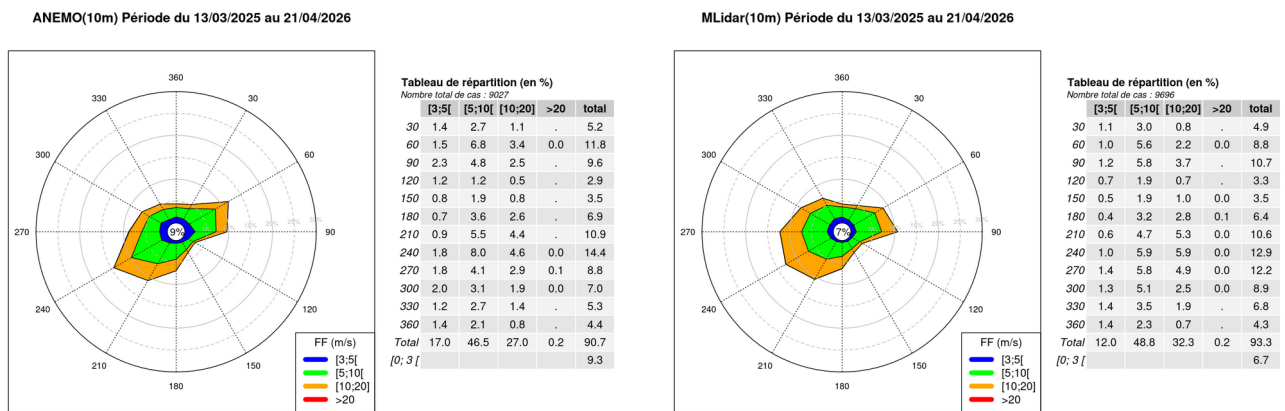


Illustration 27 : roses des vents observés (à gauche) et modélisés (à droite) de l'anémomètre.

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 (Sibiril).

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

Hormis les problèmes d'alimentation des capteurs en janvier et février 2026, la campagne réalisée sur la zone Bretagne nord-ouest (BNO) entre le 13 mars 2025 et le 21 avril 2026 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., Dalphinnet, A., Merle, R., Mezdour, 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 23 octobre 2025 : tempête « Benjamin ».....	40
Annexe 2 : situation météorologique du 1 ^{er} décembre 2025.....	42
Annexe 3 : climatologie du 13 mars 2025 au 21 avril 2026.....	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 23 octobre 2025 : tempête *Benjamin*

Jeudi 23 octobre 2025, la tempête *Benjamin* traverse le pays pilotée par la dépression qui longe les côtes de la Manche et remonte vers la mer du Nord. Le front pluvieux « E » associé traverse rapidement le pays en début de matinée, suivi d'une traîne active en journée et d'un retour de l'occlusion frontale en soirée sur le nord de la France. Les vents tempétueux soufflent fortement toute la journée, notamment près des côtes de secteur sud-ouest en Manche virant au nord-ouest dans la traîne.

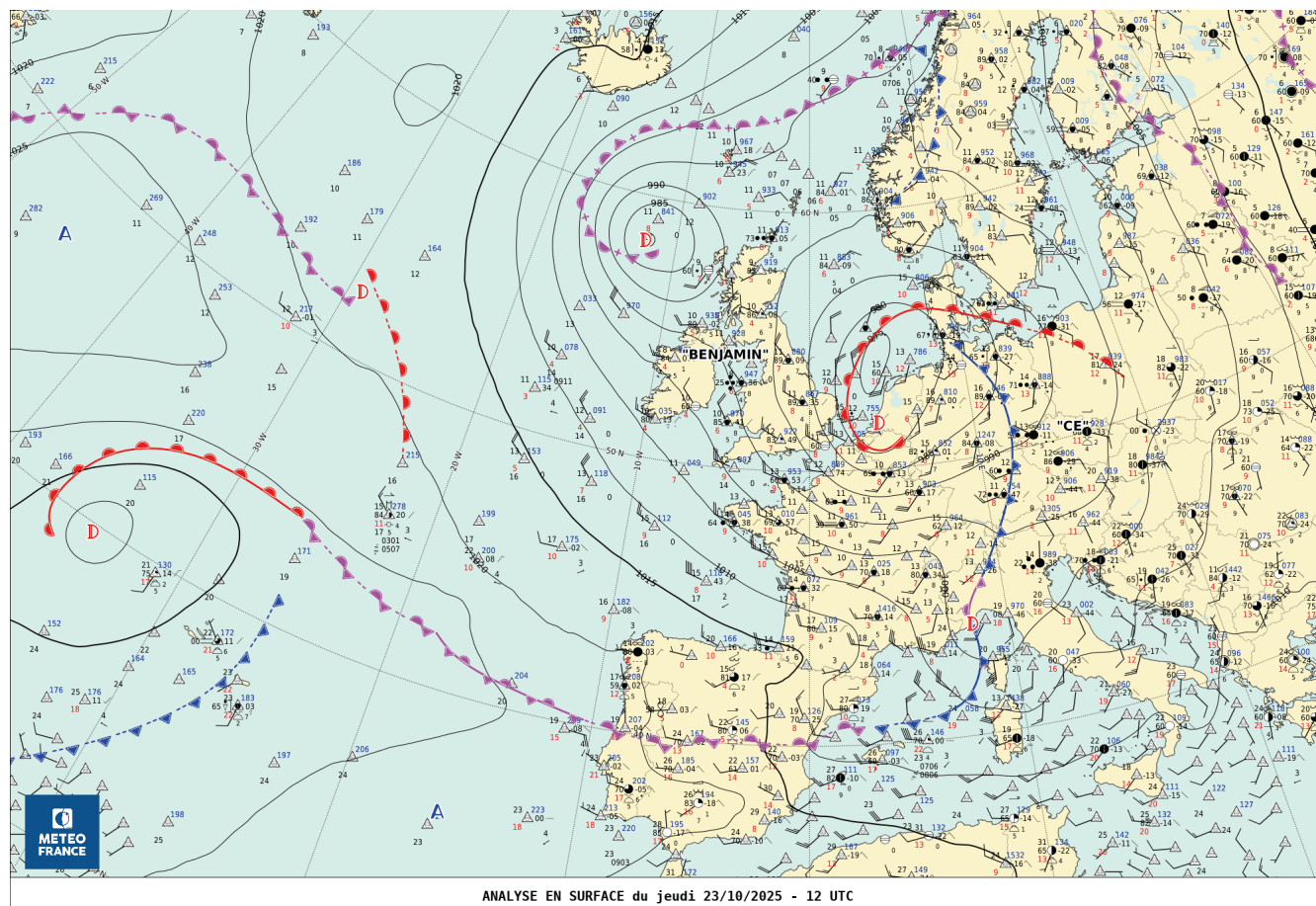


Illustration 28 : Analyse en surface du 23 octobre 2025 à 12 UTC.

Le monitoring de l'illustration 29, montre une excellente corrélation globale entre le modèle AROME à 100 m (courbe bleue) et les mesures LIDAR à 100 m (courbe rouge). L'évolution temporelle met en évidence le passage d'un front dynamique en fin de journée du 22 octobre. On note une légère surestimation du modèle lors de ce pic de vent prévu à 22-23 m/s et plus étalé dans le temps alors que les observations LIDAR se situent vers 19-20 m/s avec une baisse plus rapide du vent à l'arrière du front.

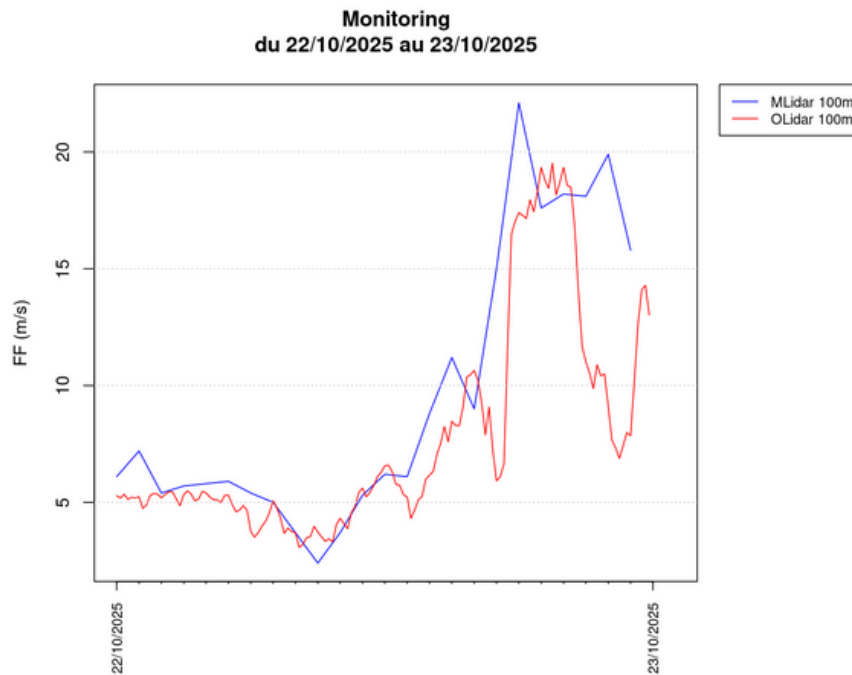


Illustration 29 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 22 octobre 2025.

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 30). Le passage de la perturbation occasionne un coup de vent sur la façade atlantique avec de fortes rafales atteignant 8 localement 9 Beaufort.

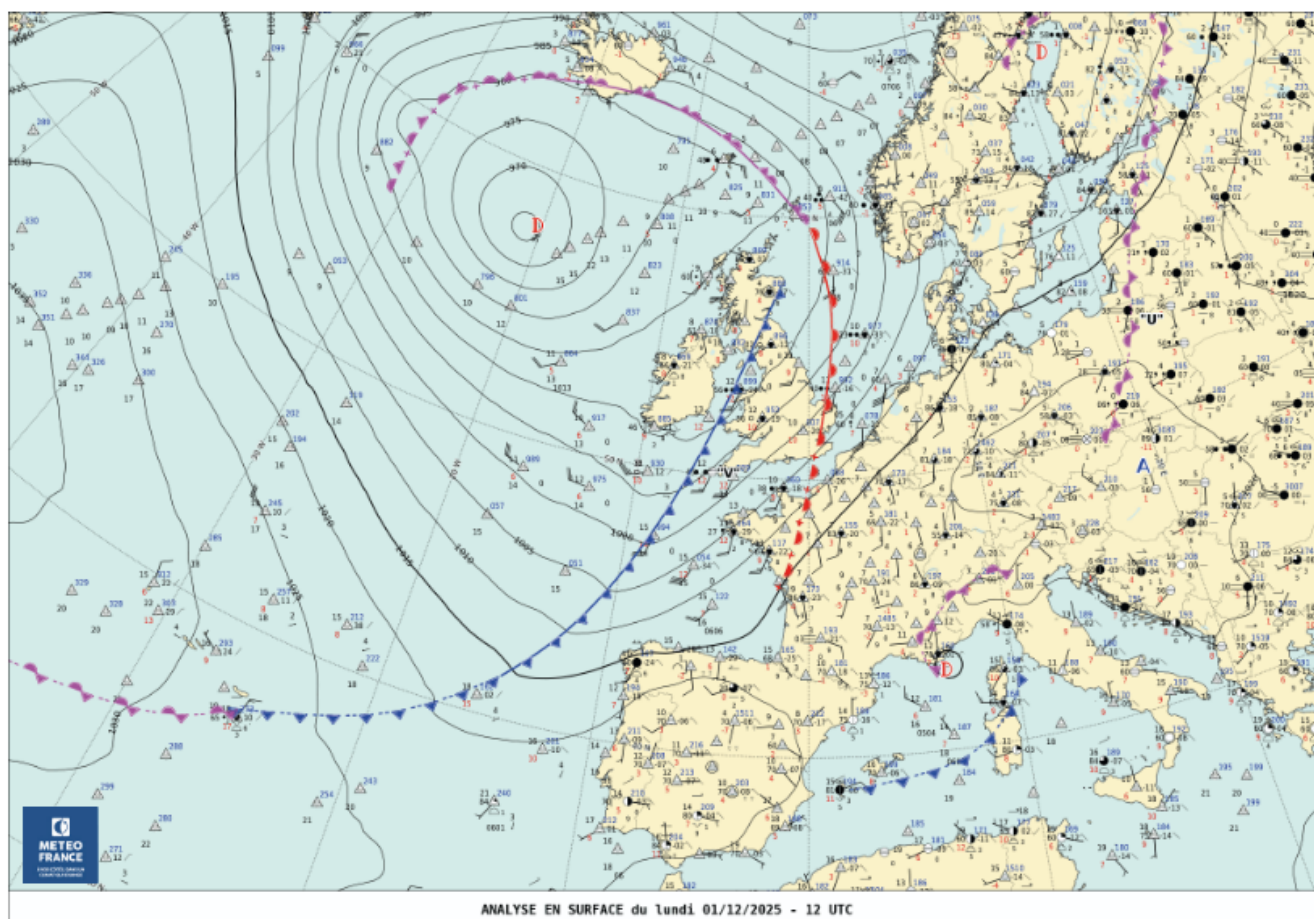


Illustration 30 : Analyse du lundi 1^{er} décembre 2025 à 18 UTC

Sur l'illustration 31, le modèle AROME à 100 m (courbe bleue) anticipe bien le caractère perturbé de cette journée hivernale avec des vents soutenus qui oscillent entre 15 et 20 m/s pour une partie de la journée. On remarque toutefois une légère surestimation du modèle en début de période par rapport aux mesures LIDAR à 100 m (courbe rouge) avec encore une légère surestimation du modèle lors du pic maximal de vent prévu vers 24 m/s contre 21 m/s observés. À l'arrière du front, la baisse brutale du vent est bien modélisée par AROME ; la mise en place de la traîne dynamique est encore légèrement surestimée par le modèle à 100 m.

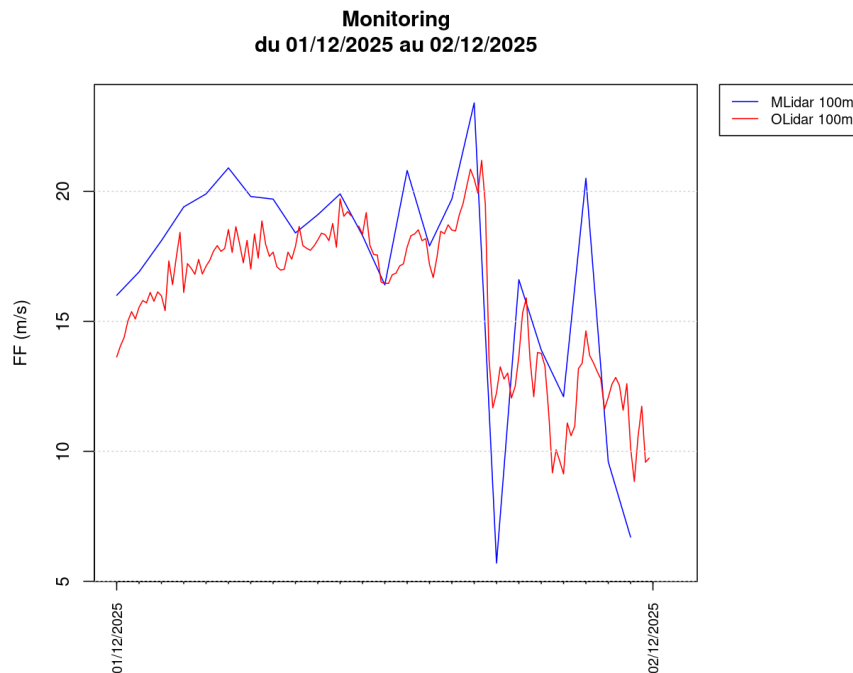


Illustration 31 : comparaison des mesures du LiDAR à 100 m avec le modèle AROME le 1^{er} décembre 2025

Annexe 3 : climatologie du 13 mars 2025 au 21 avril 2026

La station météorologique de référence pour qualifier la climatologie du vent à 10 mètres correspondant à celle de la « bouée Bretagne nord-ouest » est située à Sibiril (29). La période sur laquelle portent les statistiques s'étend de 1991 à 2020.

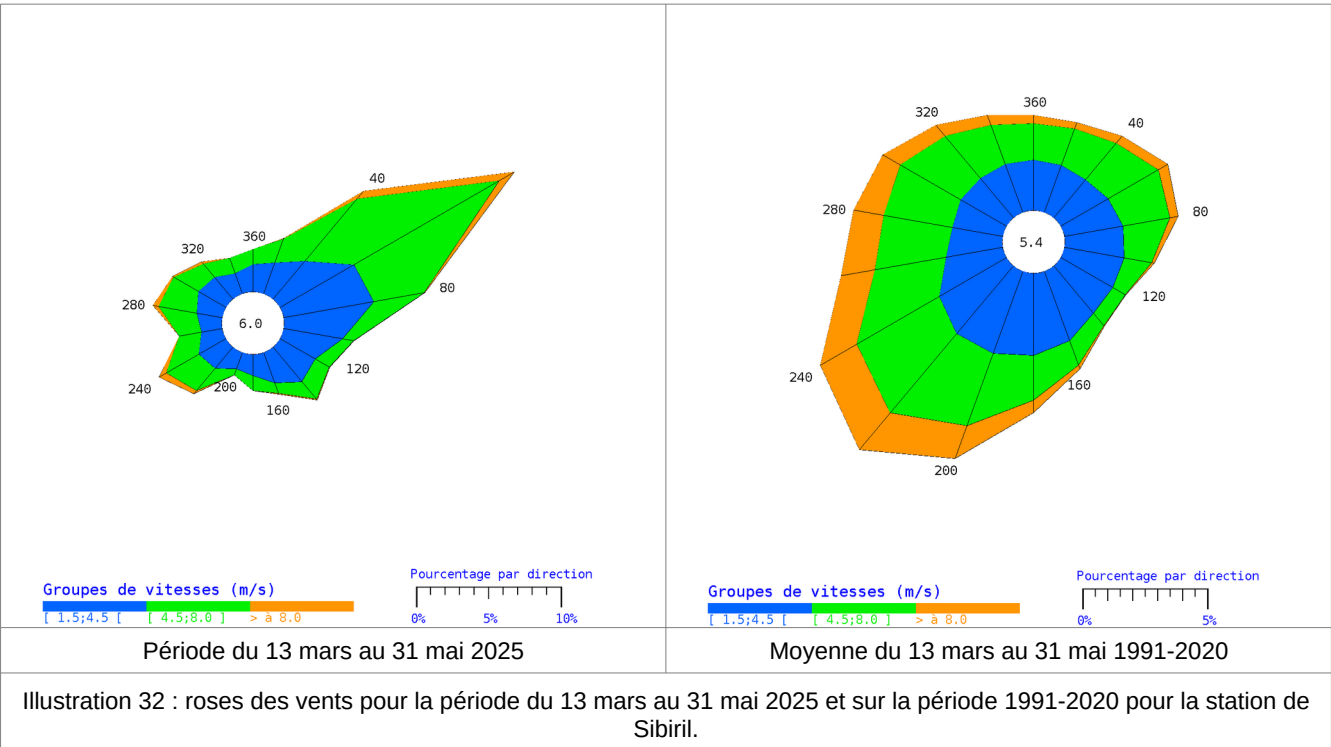
1 – Analyse du printemps 2025 (du 13 mars au 31 mai 2025)

En moyenne du 13 mars au 31 mai, les vents venant du secteur nord-est (du 40° au 80°) sont fréquents mais minoritaires, totalisant 13,9 % des observations sur trente ans (cf. Illustration 32, à droite). Ce qui est frappant au printemps 2025, c'est que le secteur nord-est est largement majoritaire, représentant 38,3 % des observations (cf. Illustration 32, à gauche), dont 18,7 % dans l'axe 60°. Cela peut s'expliquer par un blocage anticyclonique sur une longue période.

En effet, le secteur sud-ouest (du 200° au 240°), qui est habituellement majoritaire, est en déficit significatif de 15 points de pourcentage en 2025 par rapport à la moyenne sur la période.

On constate que les vents les plus forts (> 8 m/s) s'effondrent à 3,8 % au printemps 2025 contre 11,9 % en normale de saison.

En revanche, le vent a soufflé de manière régulière dans la tranche modérée ([4,5 ; 8,0] m/s) avec 42,5 % des observations en 2025 contre 37,8 % en moyenne.

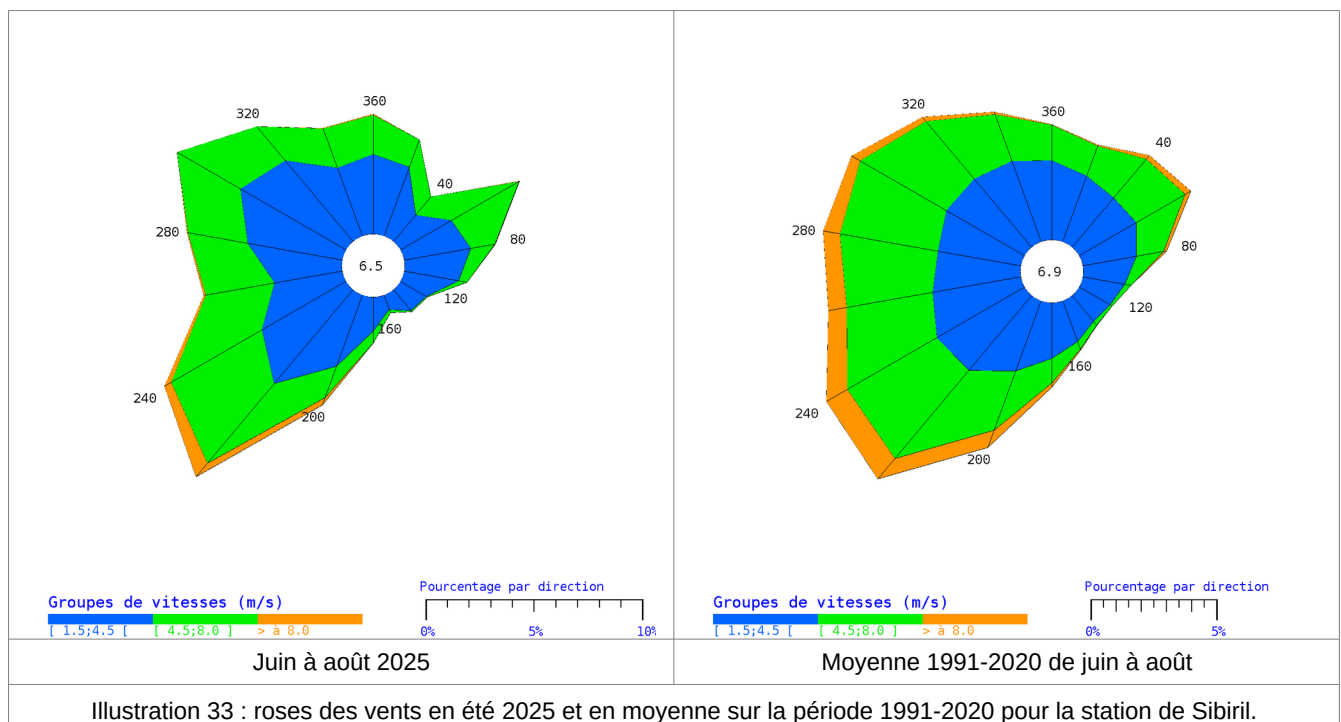


2 – Analyse de l'été 2025 (mois de juin à août 2025)

On observe une réduction significative des vents les plus forts. Alors que la normale estivale sur trente ans (cf. Illustration 33, à droite) prévoit 5,7 % des vents supérieurs à 8 m/s, l'été 2025 (cf. Illustration 33, à gauche) a été nettement plus calme avec seulement 1,9 % de vents forts.

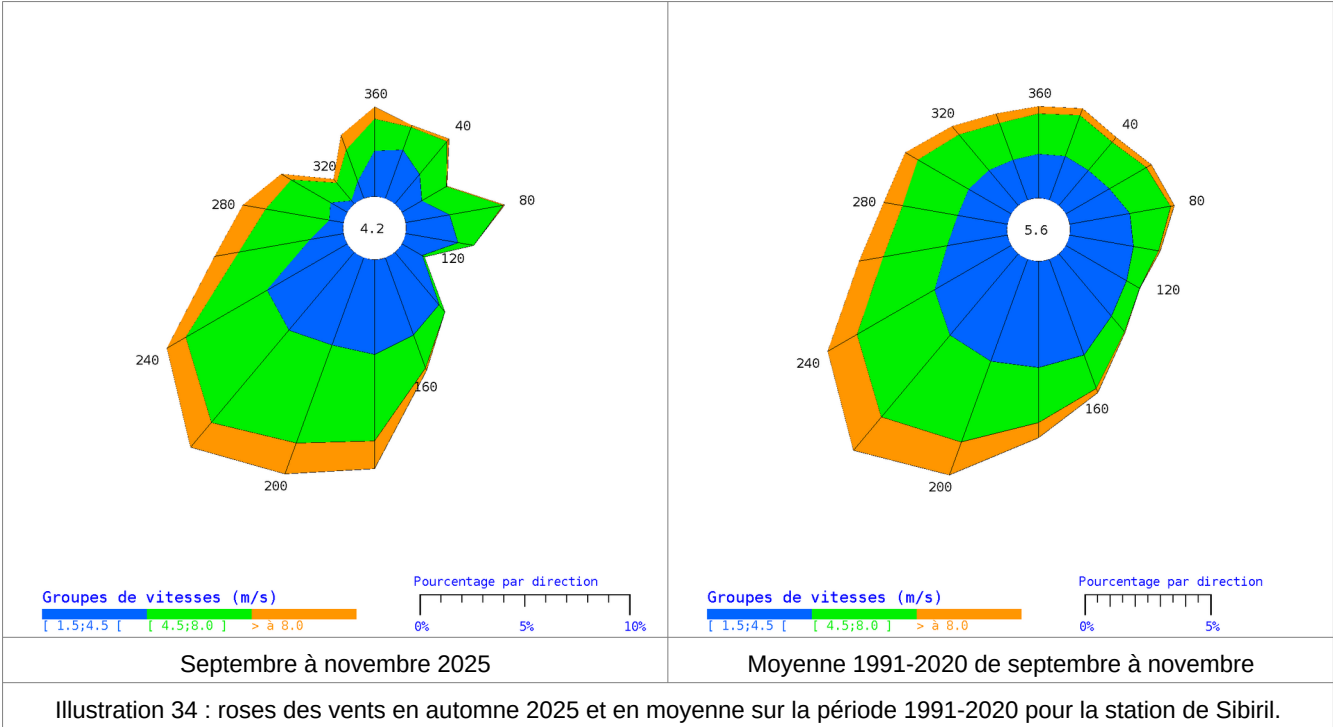
Le secteur dominant sud-ouest (220°) a été plus marqué en 2025 (11,3 %) qu'en moyenne (9,5 %). On observe également une augmentation de la fréquence des vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s) dans ce même secteur, de 1,7 point de pourcentage.

Dans le secteur nord-ouest (du 280° au 340°) la fréquence des vents observés lors de l'été 2025 est quasiment comparable à celle de la normale (28,5 % contre 28,2 %). Néanmoins, les vents faibles ([1,5 ; 4,5 [m/s) y sont dominants, atteignant 18,4 % des cas contre 13,8 % pour la normale de saison. Cela peut s'expliquer par l'apparition de brises thermiques lors des épisodes ensoleillés.



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

Le fait marquant est le basculement des vents faibles vers des vents modérés. En effet, la part des vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) grimpe à 42,3 % en automne 2025 (cf. Illustration 34, à gauche) alors qu'elle n'est que de 36 % en moyenne (cf. Illustration 34, à droite). A contrario, les périodes de vent calme ou de brise légère sont plus rares (4,2 % contre 5,6 % habituellement). On retrouve en automne 2025 le couloir des perturbations allant du secteur sud au sud-ouest (du 180° au 240°) qui s'est fortement intensifié et est en excédent de 8,3 points de pourcentage par rapport à la normale sur trente ans. À noter, dans le secteur nord-ouest (320°), un déficit de 2,6 points de pourcentage. Dans le secteur nord-est (du 20° au 80°) malgré un déficit dans l'axe 20°, la fréquence des vents est relativement stable (15 % des cas contre 15,4 % habituellement).



5 – Analyse de l'hiver 2025-2026 (de décembre 2025 à février 2026)

On observe qu'en moyenne (cf. Illustration 35, à droite), la direction dominante en hiver tend vers le sud-ouest (220°) à 11,5 %, le secteur sud (180°) n'étant représenté qu'à 7,6 %. Durant l'hiver 2025-2026 (cf. Illustration 35, à gauche), l'axe 180° est devenu majoritaire à 16,1 %, ce qui laisse supposer une position plus au sud des dépressions atlantiques par rapport à la normale.

Le secteur sud-ouest (du 200° au 240°) est également excédentaire de 6,2 points de pourcentage cet hiver.

On note également que les vents faibles [0 ; 1,5 [m/s sont en déficit de 1,3 point de pourcentage et à l'inverse les vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) sont excédentaires de 4,5 points de pourcentage.

Le secteur ouest à nord-ouest (du 260° au 320°) a subi une baisse de 5,8 points de pourcentage par rapport à la normale, tout comme le secteur nord-est (du 40° au 80°) avec une baisse de 2,1 points de pourcentage.

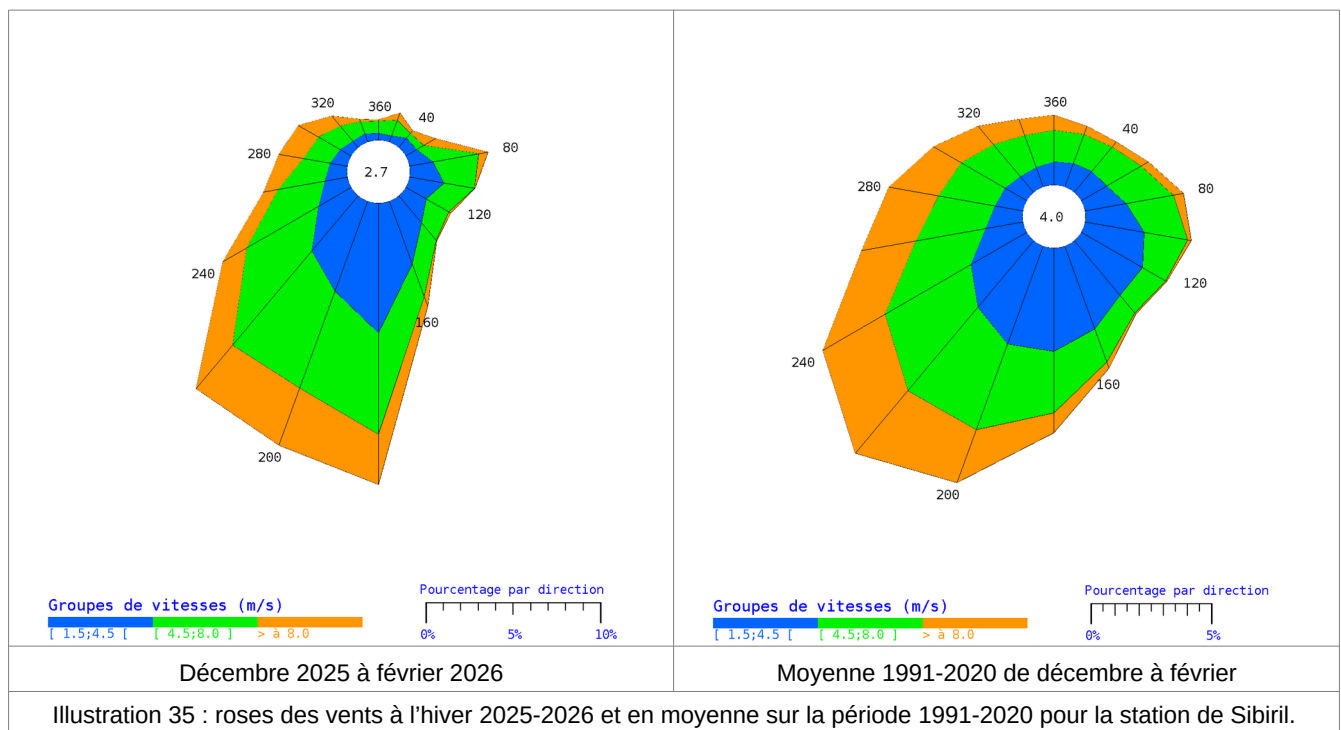


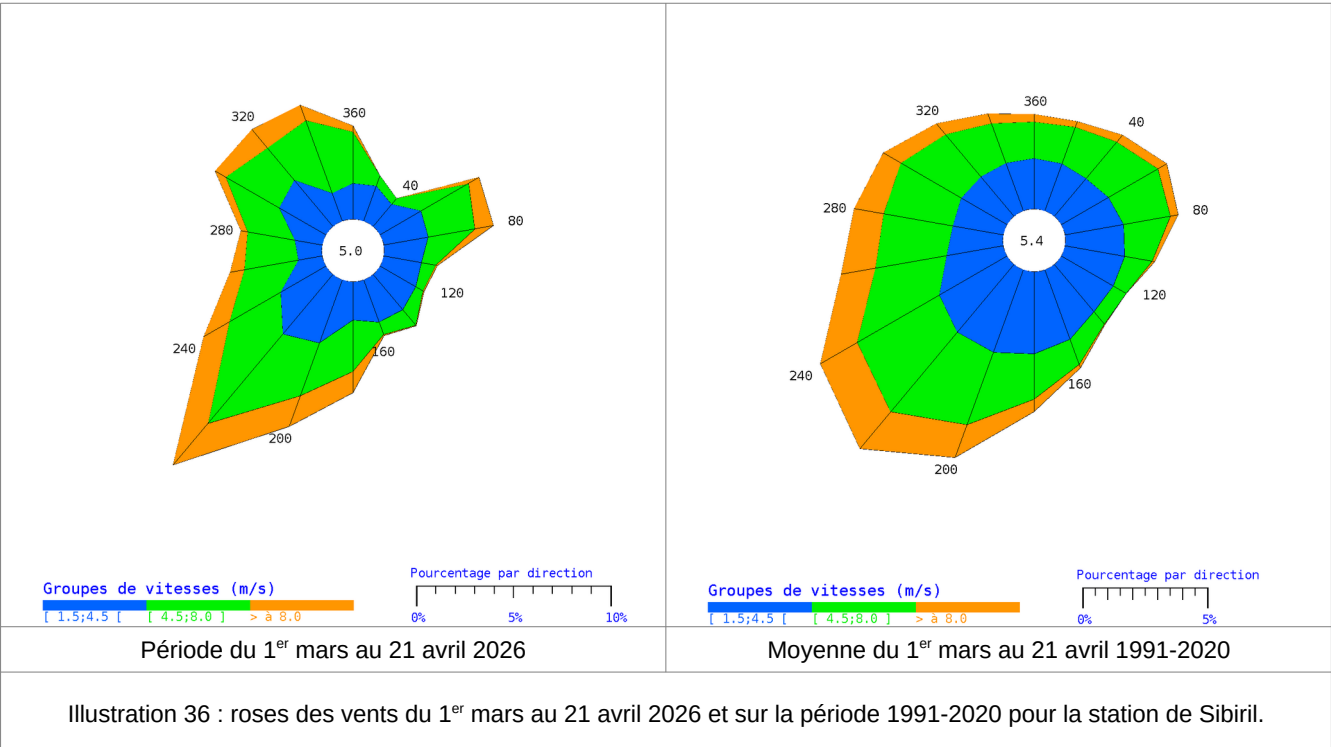
Illustration 35 : roses des vents à l'hiver 2025-2026 et en moyenne sur la période 1991-2020 pour la station de Sibiril.

5 – Analyse du printemps 2026 (du 1^{er} mars au 21 avril 2026)

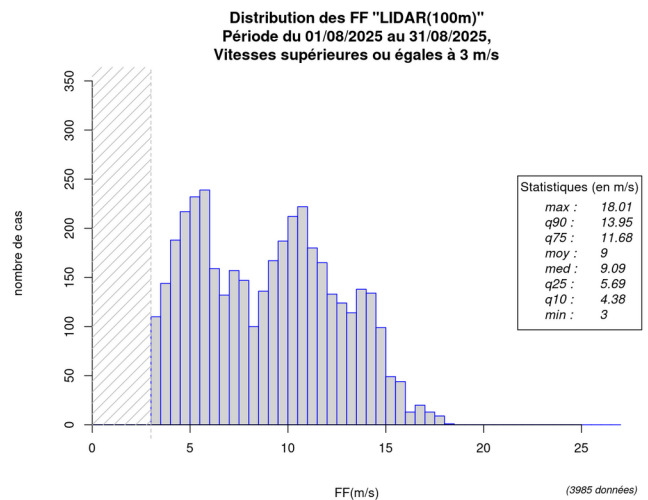
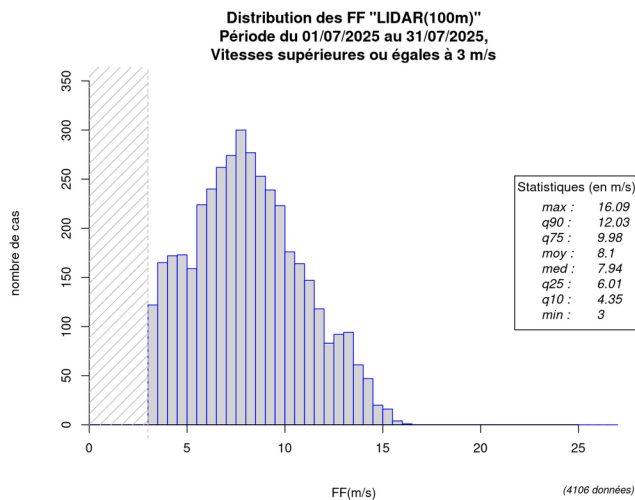
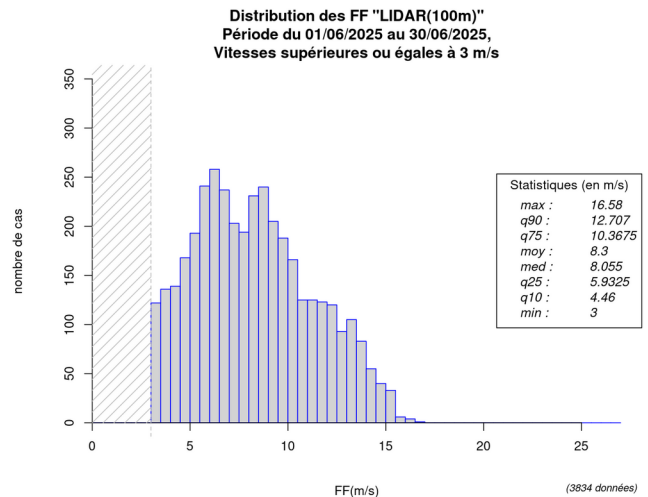
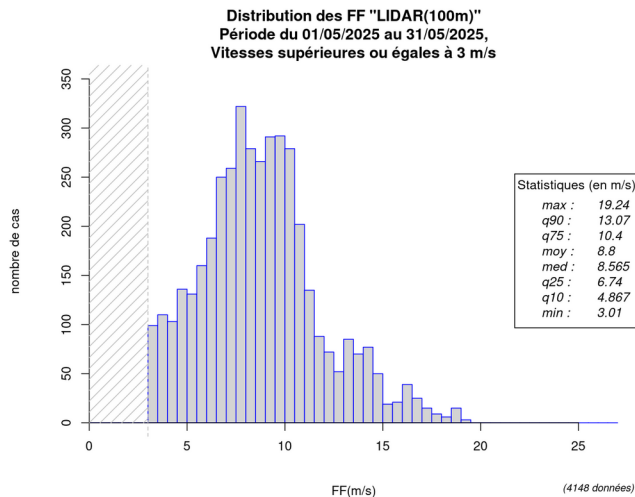
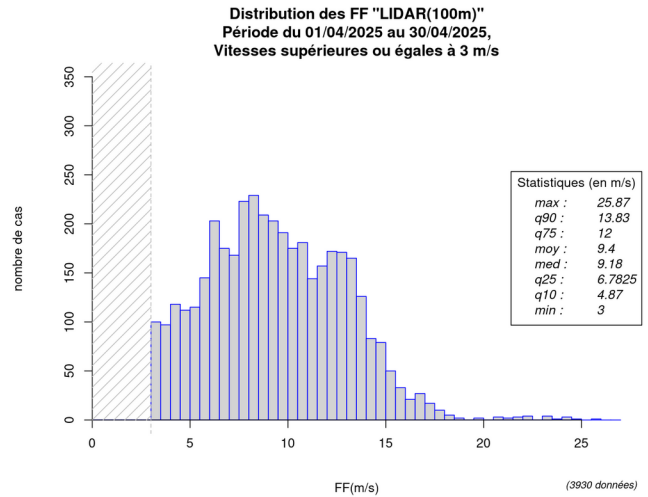
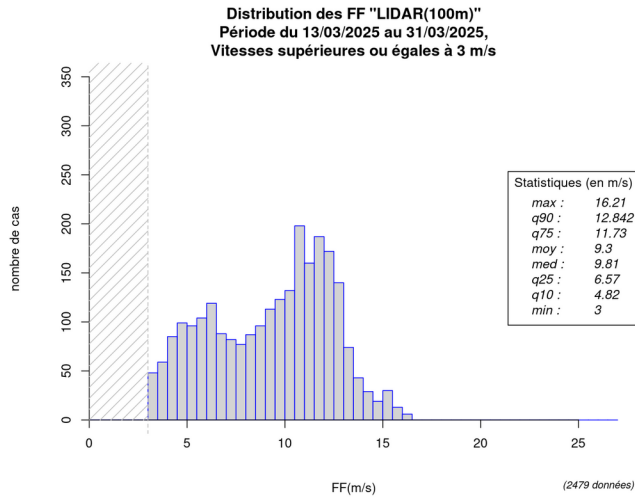
On observe un renforcement du secteur principal de sud-ouest (220°). En effet, la moyenne de saison (cf. Illustration 36, à droite) annonce une fréquence des vents dans ce secteur de 9,6 % alors qu'en 2026, sur cette période la fréquence s'accroît à 12,8 % des observations (cf. Illustration 36, à gauche). Également dans ce secteur les vents supérieurs à 8 m/s sont en légère progression de 0,9 point de pourcentage en 2026.

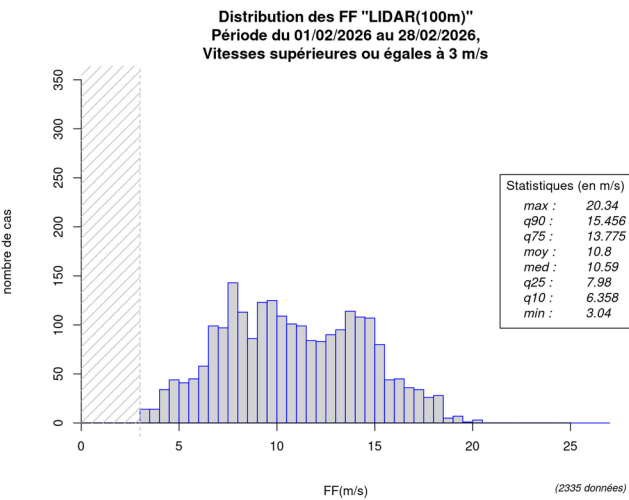
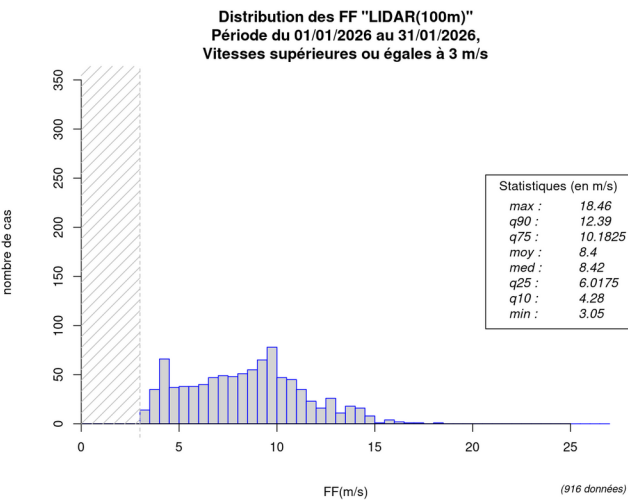
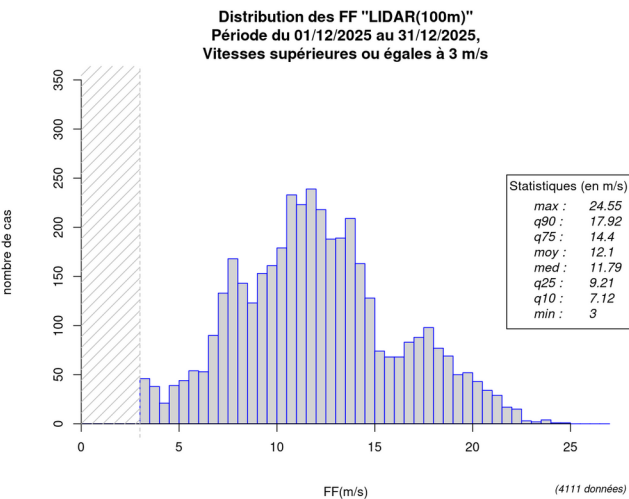
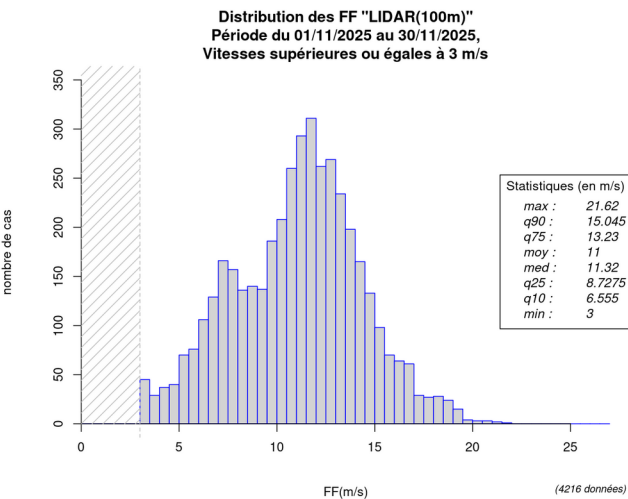
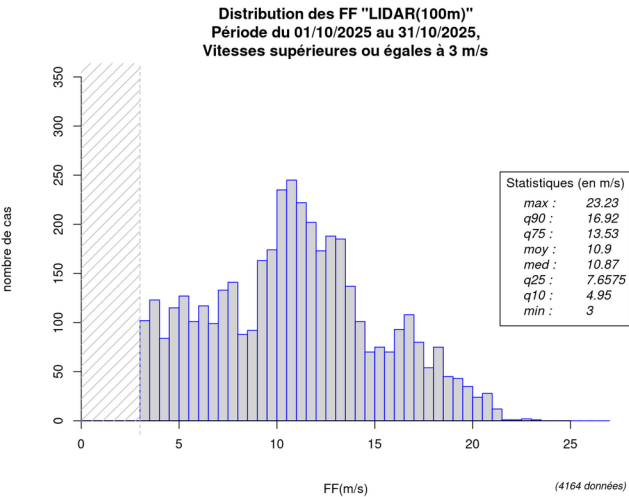
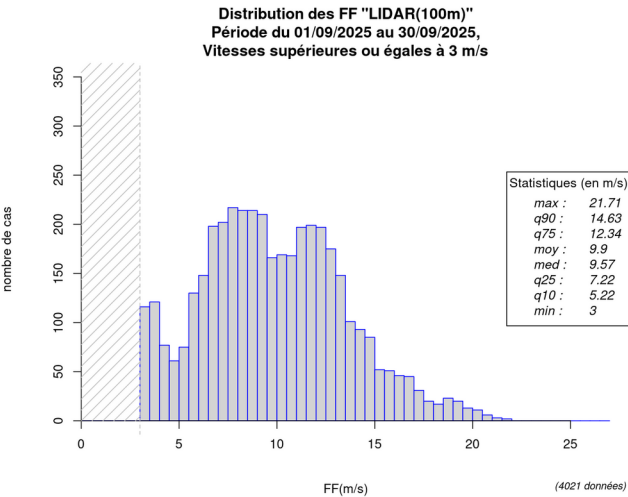
On remarque un secteur secondaire dans le nord-ouest et le nord-nord-ouest (du 300° au 340°) en excédent de 4,8 points de pourcentage au printemps 2026, avec une proportion de vents modérés ([4,5 ; 8,0] m/s) dans la direction 340° qui atteint 4 % (contre seulement 1,7 % historiquement).

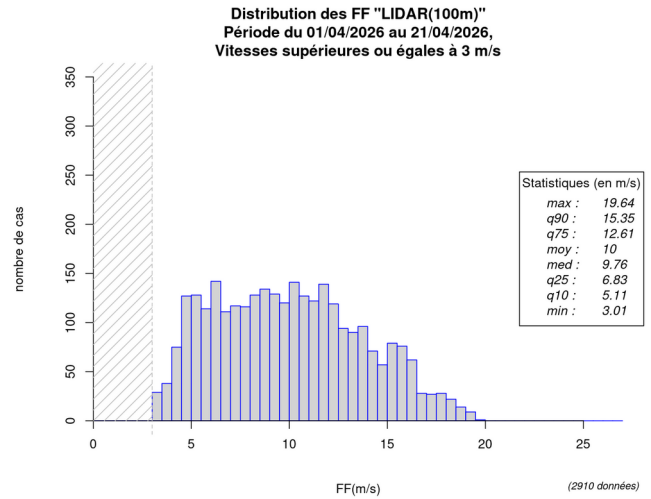
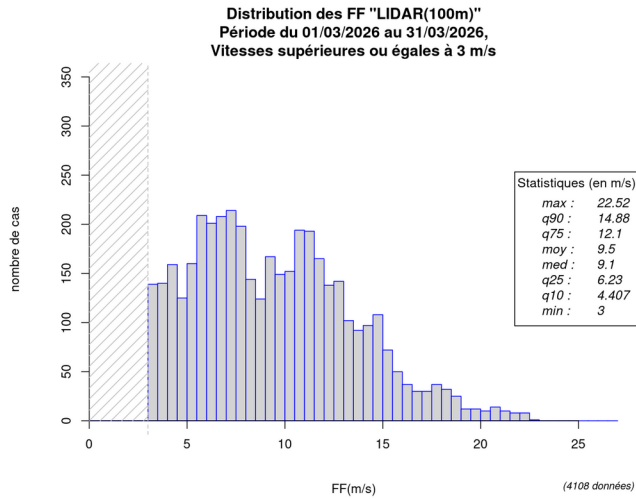
Le secteur tertiaire de nord-est est concentré cette année dans les axes du 60° au 80° alors qu'il est plus étalé et homogène en temps normal (du 40° au 80°), avec une fréquence quasi équivalente (13,5 % contre 13,7 % en moyenne).



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

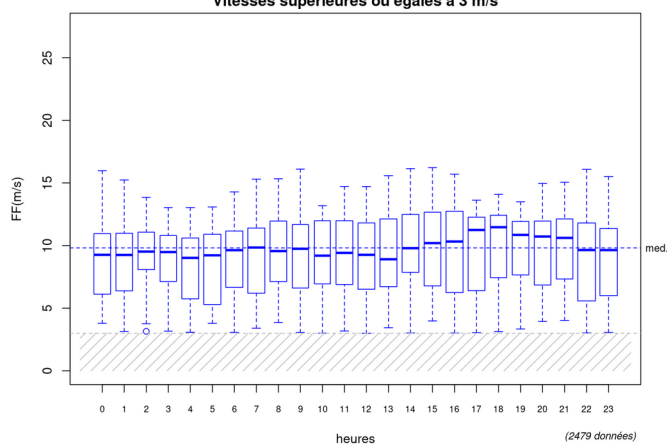




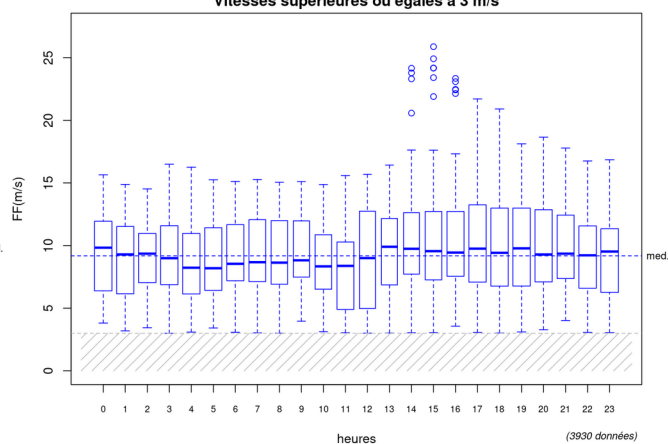


Annexe 5 : répartitions horaires par mois des forces de vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)

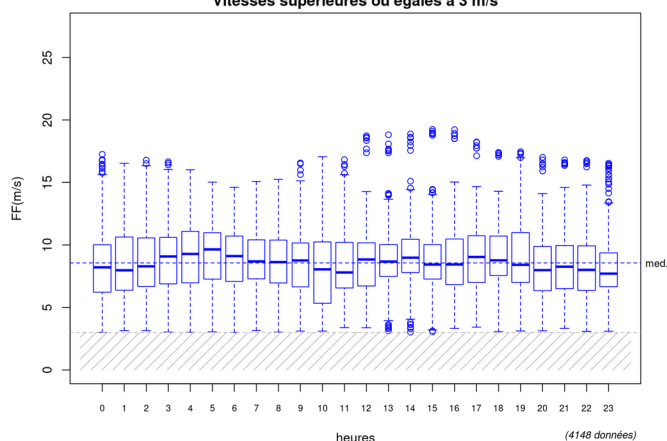
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 13/03/2025 au 31/03/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



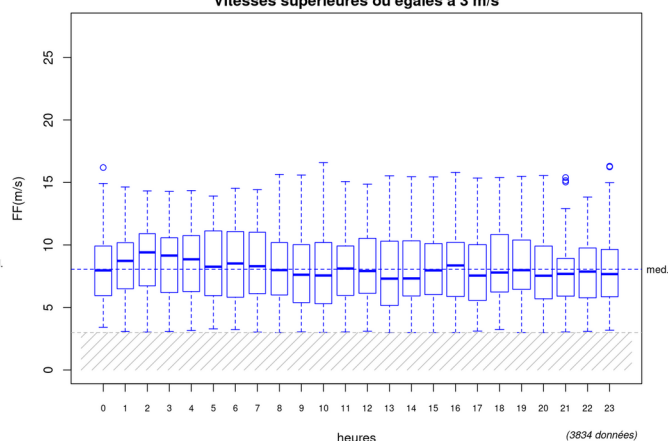
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2025 au 30/04/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



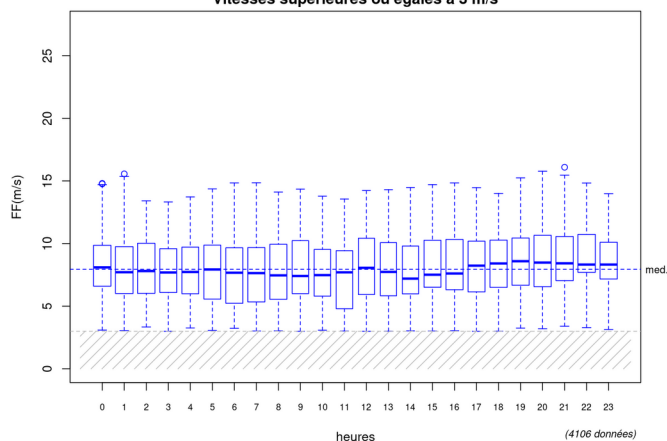
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/05/2025 au 31/05/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



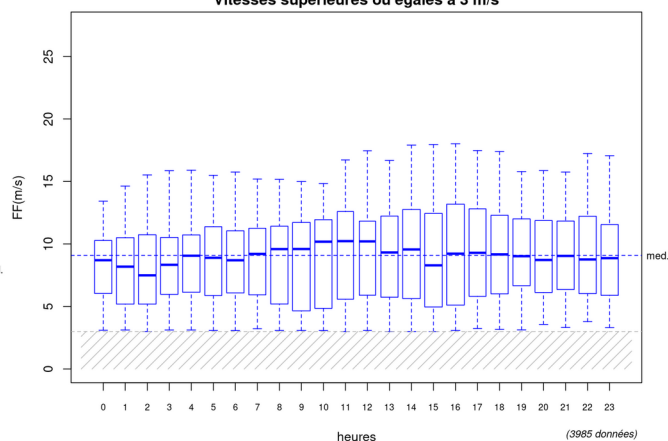
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/06/2025 au 30/06/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



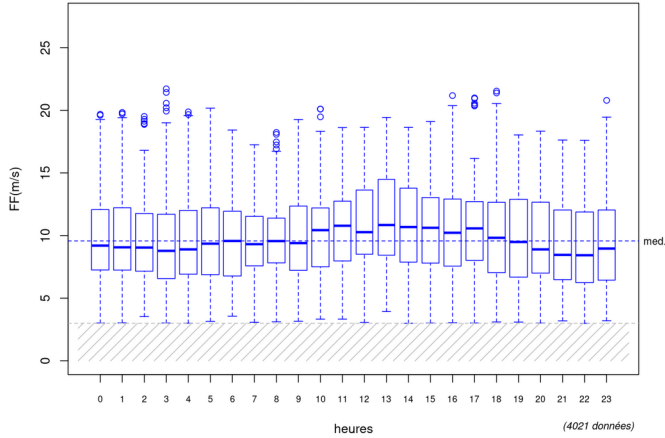
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/07/2025 au 31/07/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



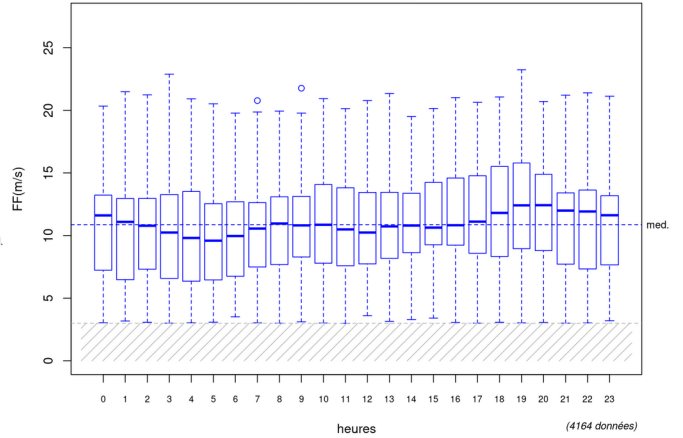
Répartition des FF "LiDAR(100m)" par heure
Période du 01/08/2025 au 31/08/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



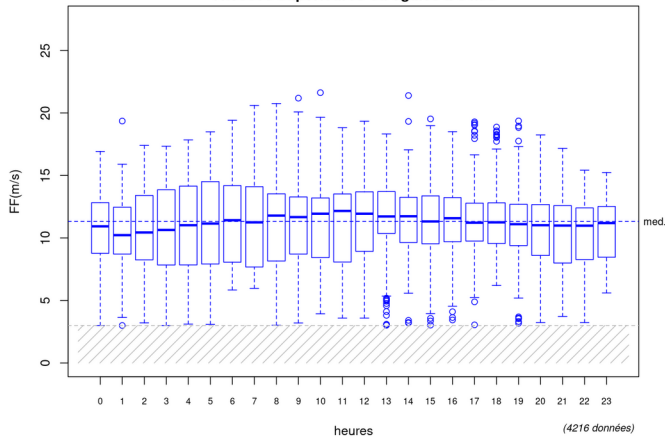
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/09/2025 au 30/09/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



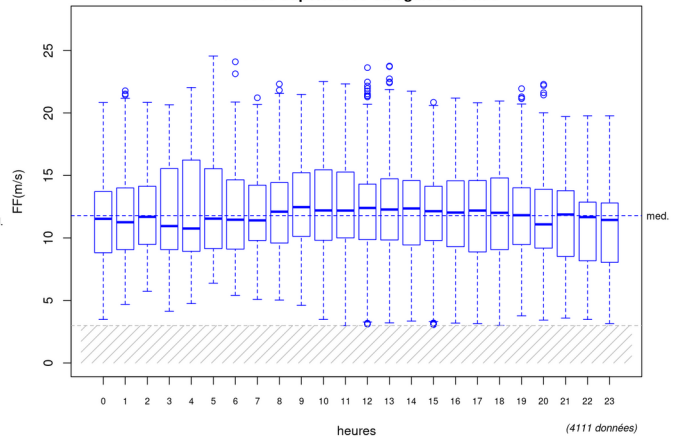
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/10/2025 au 31/10/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



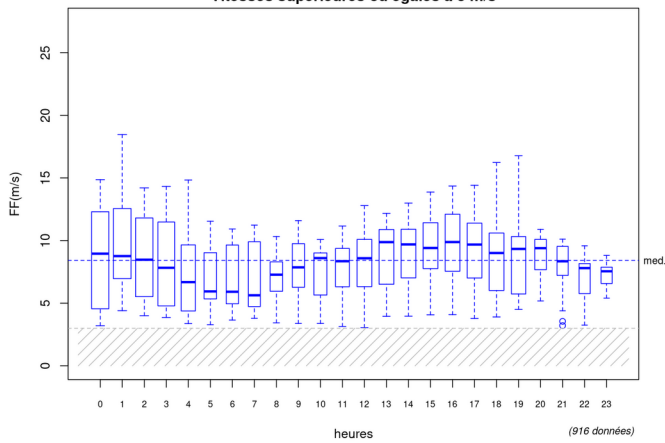
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/11/2025 au 30/11/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



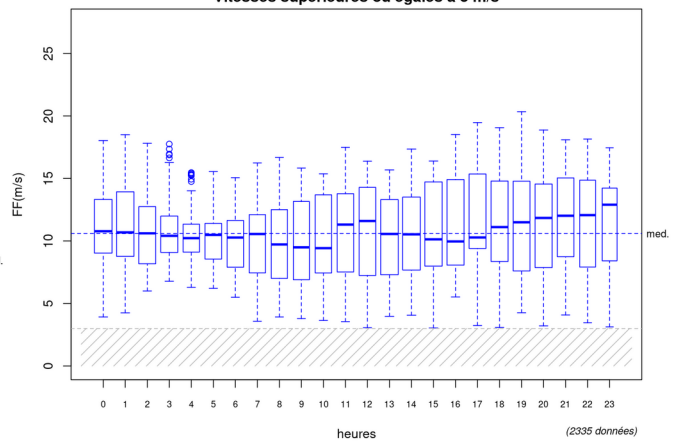
Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/12/2025 au 31/12/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/01/2026 au 31/01/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

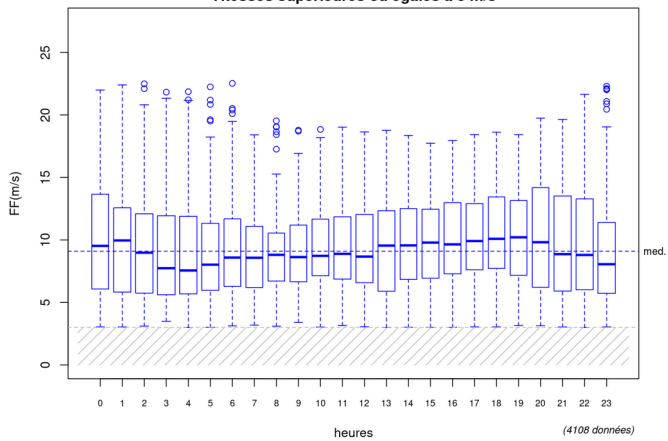


Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/02/2026 au 28/02/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

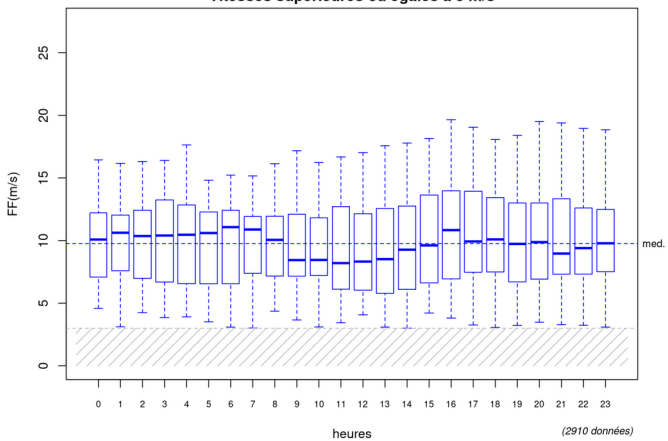




Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/03/2026 au 31/03/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Répartition des FF "LIDAR(100m)" par heure
Période du 01/04/2026 au 21/04/2026,
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[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[26,27[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
[25,26[	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.0	.	.	0.0
[24,25[	.	0.0	.	.	.	.	.	.	0.1	0.0	.	.	0.1
[23,24[	0.0	0.0	.	.	.	0.1	0.0	.	0.1	0.0	.	.	0.2
[22,23[	0.1	0.1	.	.	.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	.	0.7
[21,22[	0.1	0.1	.	.	.	0.2	0.4	0.5	0.1	0.3	.	.	1.7
[20,21[	0.0	0.4	.	0.1	.	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	.	.	3.5
[19,20[	0.1	0.6	0.2	0.0	.	0.7	1.2	0.8	1.1	0.6	0.1	0.0	5.3
[18,19[	0.1	1.0	0.3	0.1	0.0	1.2	2.2	2.3	1.7	0.7	0.1	0.2	9.8
[17,18[	0.2	1.3	0.9	0.2	0.2	1.3	3.0	2.7	2.0	0.9	0.2	0.3	13.1
[16,17[	0.2	0.8	2.0	0.4	0.6	1.5	3.4	4.2	3.0	1.3	0.7	0.3	18.5
[15,16[	0.5	1.1	4.9	1.1	0.9	1.5	4.3	4.7	2.7	1.8	0.7	0.4	24.5
[14,15[	0.6	2.5	10.2	2.1	1.2	3.8	6.9	8.6	3.5	1.7	0.9	0.9	42.9
[13,14[	0.6	4.0	12.1	2.9	2.6	5.2	8.6	12.9	5.6	2.8	2.2	1.3	60.8
[12,13[	2.2	5.8	11.5	3.7	3.0	7.4	10.0	12.6	6.8	4.1	4.1	1.6	72.8
[11,12[	2.9	7.6	11.1	3.5	3.4	7.8	12.1	15.2	8.5	5.7	5.4	2.6	85.7
[10,11[	3.9	10.4	11.8	5.0	3.9	7.0	10.5	16.9	9.1	5.8	5.0	3.5	92.7
[9,10[	3.4	11.1	8.9	4.6	3.1	8.6	8.1	16.2	9.0	7.6	6.4	3.7	90.5
[8,9[	4.9	10.5	9.4	3.5	2.9	6.3	7.2	13.3	8.3	8.1	6.1	3.3	84.0
[7,8[	6.7	11.1	13.0	4.8	4.0	4.6	7.0	9.8	8.9	7.4	7.4	5.2	90.1
[6,7[	7.3	8.7	7.9	4.3	3.6	2.5	4.6	8.2	11.6	8.8	6.5	5.5	79.6
[5,6[	5.0	6.9	5.1	3.2	3.5	2.2	2.9	6.5	9.4	10.0	7.6	4.5	66.7
[4,5[	6.0	4.5	3.0	3.2	2.0	1.8	3.1	5.5	6.0	7.5	6.1	5.9	54.5
[3,4[	5.5	2.8	3.4	2.1	2.0	1.6	2.9	3.2	3.5	5.1	5.5	7.4	45.0
[0,3[	6.3	4.9	4.3	3.3	4.6	3.3	2.6	3.2	3.6	5.4	8.1	7.6	57.1
Total	56.5	96.2	120.0	48.1	41.5	69.4	101.8	147.9	105.2	86.1	73.0	54.3	1000.0

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

MARS 2025 - LIDAR (100m)

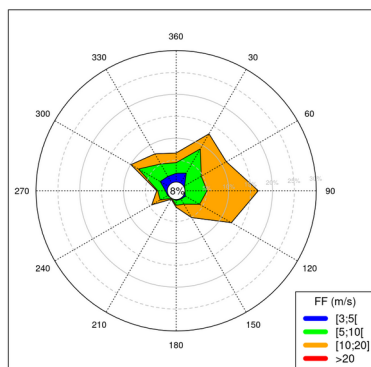


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 454

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	2.6	6.4	4.0	.	13.0
60	0.2	4.4	6.6	.	11.2
90	.	5.1	11.7	.	16.7
120	0.4	3.7	8.4	.	12.6
150	0.2	1.3	3.5	.	5.1
180	0.2	1.1	0.4	.	1.8
210	.	.	0.2	.	0.2
240	0.2	2.0	2.2	.	4.4
270	0.4	1.8	0.2	.	2.4
300	2.2	5.7	2.0	.	9.9
330	1.8	3.3	2.6	.	7.7
360	2.0	2.4	2.2	.	6.6
Total	10.4	37.2	44.1	.	91.6
[0; 3[	.	.	.	8.4	.

AVRIL 2025 - LIDAR (100m)

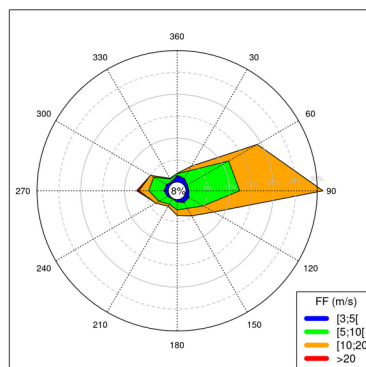


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 716

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.3	2.0	1.3	.	4.5
60	0.7	10.9	7.5	.	19.1
90	0.7	11.6	19.0	.	31.3
120	1.1	3.8	2.8	.	7.7
150	1.1	1.5	2.0	.	4.6
180	0.6	1.8	1.3	.	3.6
210	0.1	1.4	0.6	.	2.1
240	0.6	2.2	0.8	.	3.6
270	1.0	3.5	2.2	0.6	7.3
300	0.8	3.4	0.8	.	5.0
330	0.4	0.7	0.1	.	1.3
360	1.5	0.4	.	.	2.0
Total	9.9	43.2	38.4	0.6	92.0
[0; 3[	.	.	.	8.0	.

MAI 2025 - LIDAR (100m)

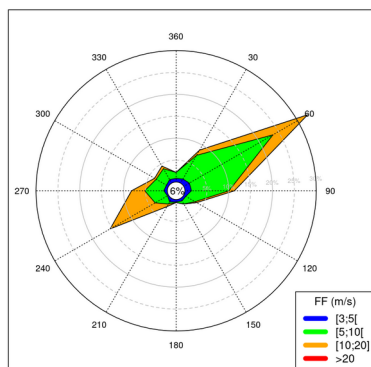


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 735

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.1	6.3	1.4	.	8.7
60	1.5	22.0	9.1	.	32.7
90	1.5	8.6	1.2	.	11.3
120	0.5	2.4	0.4	.	3.4
150	0.7	0.8	.	.	1.5
180	0.5	0.1	.	.	0.7
210	1.0	0.5	0.7	.	2.2
240	0.3	3.3	11.8	.	15.4
270	0.8	4.4	3.0	.	8.2
300	0.5	2.7	0.4	.	3.7
330	1.0	2.9	0.7	.	4.5
360	0.8	1.4	.	.	2.2
Total	10.2	55.4	28.7	.	94.3
[0; 3[	.	.	.	5.7	.

JUIN 2025 - LIDAR (100m)

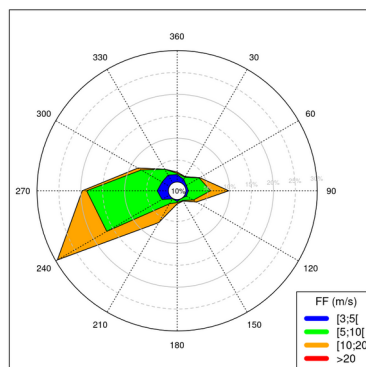


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 707

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.0	0.6	0.1	.	1.7
60	0.4	3.4	0.1	.	4.0
90	0.6	5.1	4.1	.	9.8
120	0.4	1.8	0.8	.	3.1
150	.	0.6	0.1	.	0.7
180	0.4	0.3	0.3	.	1.0
210	0.1	1.3	5.0	.	6.4
240	2.0	14.6	13.0	.	29.6
270	2.5	16.1	1.0	.	19.7
300	2.0	5.5	0.8	.	8.3
330	2.1	1.6	.	.	3.7
360	1.7	0.3	0.3	.	2.3
Total	13.3	51.1	25.7	.	90.1
[0; 3[	.	.	.	9.9	.

JUILLET 2025 - LIDAR (100m)

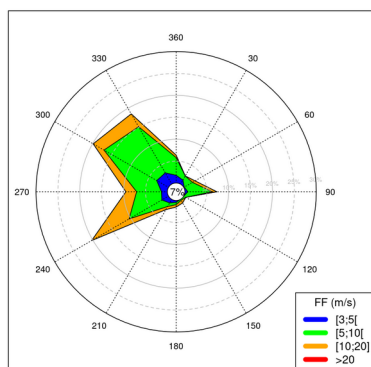


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 740

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.1	1.1	.	.	2.2
60	0.1	2.2	0.7	.	3.0
90	0.7	5.5	1.1	.	7.3
120	.	0.5	.	.	0.5
150	.	0.3	0.7	.	0.9
180	0.4	0.5	0.5	.	1.5
210	0.9	0.9	0.8	.	2.7
240	1.8	8.6	9.9	.	20.3
270	1.4	5.7	2.4	.	9.5
300	3.1	13.9	2.8	.	19.9
330	3.0	12.2	3.4	.	18.5
360	1.8	4.1	0.5	.	6.4
Total	14.2	55.5	22.8	.	92.6
[0; 3[	.	.	.	7.4	.

AOÛT 2025 - LIDAR (100m)

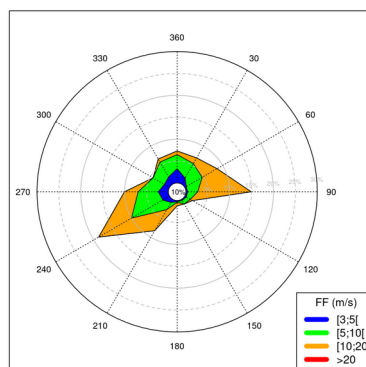


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 739

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	1.6	3.8	1.5	.	6.9
60	0.4	4.2	3.9	.	8.5
90	0.4	2.3	12.2	.	14.9
120	0.4	1.1	0.5	.	2.0
150	0.3	0.9	.	.	1.2
180	0.3	0.1	0.8	.	1.2
210	0.8	1.9	5.5	.	8.3
240	1.8	8.3	8.7	.	18.7
270	2.3	4.6	3.1	.	10.0
300	1.4	3.0	.	.	4.3
330	1.9	3.9	0.8	.	6.6
360	3.2	3.2	0.8	.	7.3
Total	14.7	37.3	37.9	.	90.0
[0; 3[	.	.	.	10.0	.

SEPTEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

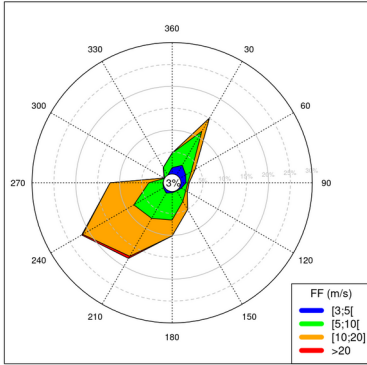


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 691

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	2.6	9.0	3.5	.	15.1
60	1.6	1.4	1.0	.	4.1
90	1.2	0.4	0.3	.	1.9
120	0.4	1.2	0.4	.	2.0
150	0.1	2.7	2.2	.	5.1
180	0.3	6.2	3.6	.	10.1
210	0.7	6.7	10.0	0.6	17.9
240	0.3	7.8	13.5	0.3	21.9
270	0.1	3.2	8.8	.	12.2
300	.	.	0.1	.	0.1
330	.	2.0	.	.	2.0
360	1.4	3.3	.	.	4.8
Total	8.8	44.0	43.4	0.9	97.1
[0; 3[					2.9

OCTOBRE 2025 - LIDAR (100m)

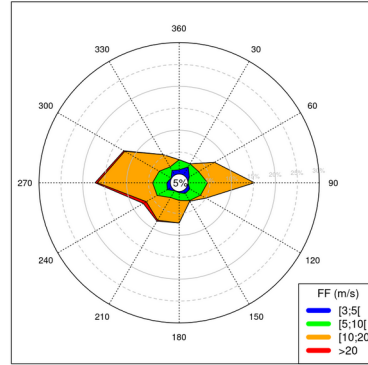


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 738

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	2.2	0.8	.	.	3.0
60	0.7	2.4	4.2	.	7.3
90	.	4.5	10.7	.	15.2
120	0.8	2.8	1.4	.	5.0
150	0.8	1.9	0.1	.	2.8
180	0.3	1.8	5.1	.	7.2
210	0.1	1.8	6.0	0.3	8.1
240	1.1	2.7	2.8	0.8	7.5
270	0.8	3.3	12.6	0.5	17.2
300	0.1	3.1	9.1	0.3	12.6
330	1.2	0.9	3.3	.	5.4
360	0.9	2.3	.	.	3.3
Total	9.1	28.3	55.3	1.9	94.6
[0; 3[					5.4

NOVEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

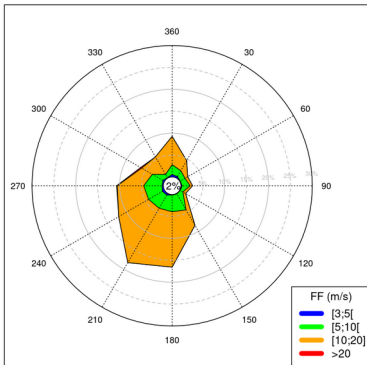


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 712

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.4	1.5	2.7	.	4.6
60	0.1	1.3	0.7	.	2.1
90	0.3	1.8	0.6	.	2.7
120	0.1	0.7	0.7	.	1.5
150	0.1	4.2	4.1	.	8.4
180	0.1	3.8	12.6	.	16.6
210	0.4	3.5	14.3	.	18.3
240	0.6	3.7	7.9	.	12.1
270	0.3	4.2	6.0	0.1	10.7
300	0.4	2.8	2.8	0.3	6.3
330	0.1	0.8	4.6	.	5.6
360	0.6	2.2	6.5	.	9.3
Total	3.7	30.6	63.5	0.4	98.2
[0; 3[					1.8

DÉCEMBRE 2025 - LIDAR (100m)

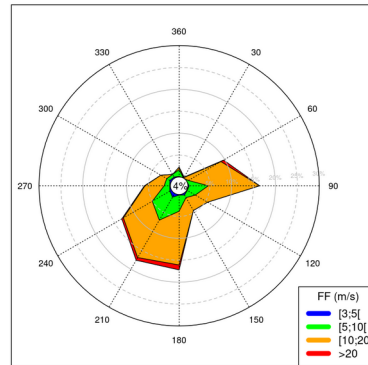


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 769

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	.	.	0.1	0.1	0.3
60	.	0.4	8.6	0.7	9.7
90	0.3	4.4	11.7	.	16.4
120	0.1	2.1	3.2	.	5.5
150	0.4	0.7	3.4	.	4.5
180	0.1	3.7	12.3	1.1	17.2
210	1.0	6.1	9.9	0.7	17.6
240	0.4	4.7	7.6	0.4	13.1
270	0.1	1.3	4.4	0.1	5.9
300	0.4	0.8	1.6	.	2.8
330	0.3	0.7	.	.	1.0
360	0.1	1.6	0.6	.	2.3
Total	3.4	26.4	63.3	3.2	96.3
[0; 3[					3.7

JANVIER 2026 - LIDAR (100m)

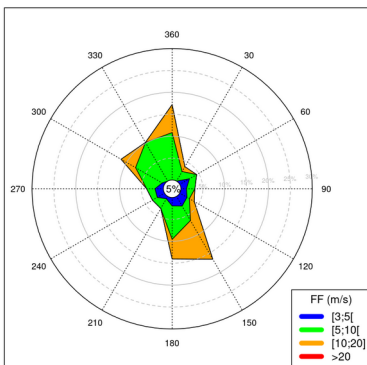


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 157

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	.	2.5	1.3	.	3.8
60	2.5	1.9	.	.	4.5
90	1.3	1.9	.	.	3.2
120	1.9	0.6	1.3	.	3.8
150	2.5	3.8	10.2	.	16.6
180	1.9	7.6	4.5	.	14.0
210	0.6	2.5	.	.	3.2
240	1.9	1.3	.	.	3.2
270	1.9	1.9	.	.	3.8
300	0.6	7.0	3.8	.	11.5
330	.	10.2	.	.	10.2
360	.	10.8	6.4	.	17.2
Total	15.3	52.2	27.4	.	94.9
[0; 3[					5.1

FÉVRIER 2026 - LIDAR (100m)

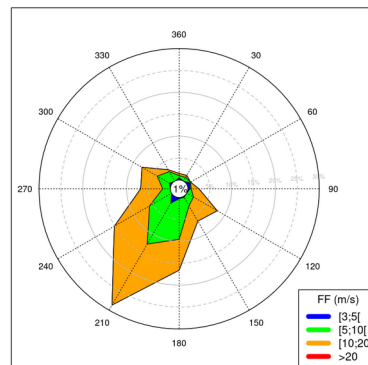


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 398

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	.	1.0	0.5	.	1.5
60	0.8	0.3	.	.	1.0
90	0.5	0.3	1.8	.	2.5
120	.	1.8	6.3	.	8.0
150	0.3	2.3	4.0	.	6.5
180	0.3	9.3	7.0	.	16.6
210	1.8	10.8	16.1	.	28.6
240	.	5.8	9.3	.	15.1
270	.	1.8	5.0	.	6.8
300	0.5	3.3	4.0	.	7.8
330	.	2.5	0.5	.	3.0
360	0.5	0.5	0.5	.	1.5
Total	4.5	39.4	55.0	.	99.0
[0; 3[					1.0

MARS 2026 - LIDAR (100m)

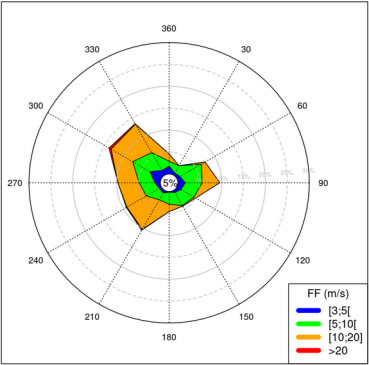


Tableau de répartition (en %)

Nombre total de cas : 722

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.6	1.9	.	.	2.5
60	0.8	5.7	1.0	.	7.5
90	1.7	3.9	4.0	.	9.6
120	1.1	3.5	0.4	.	5.0
150	0.6	3.5	0.1	.	4.2
180	0.1	2.8	1.7	.	4.6
210	0.7	1.8	7.8	0.3	10.5
240	0.6	3.5	5.1	0.1	9.3
270	1.2	3.6	4.8	.	9.7
300	3.0	4.6	5.7	0.6	13.9
330	1.2	4.7	7.5	0.1	13.6
360	1.8	1.1	1.7	.	4.6
Total	13.4	40.4	39.8	1.1	94.7
[0; 3 [					5.3

AVRIL 2026 - LIDAR (100m)

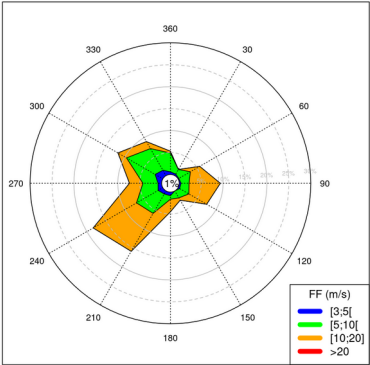
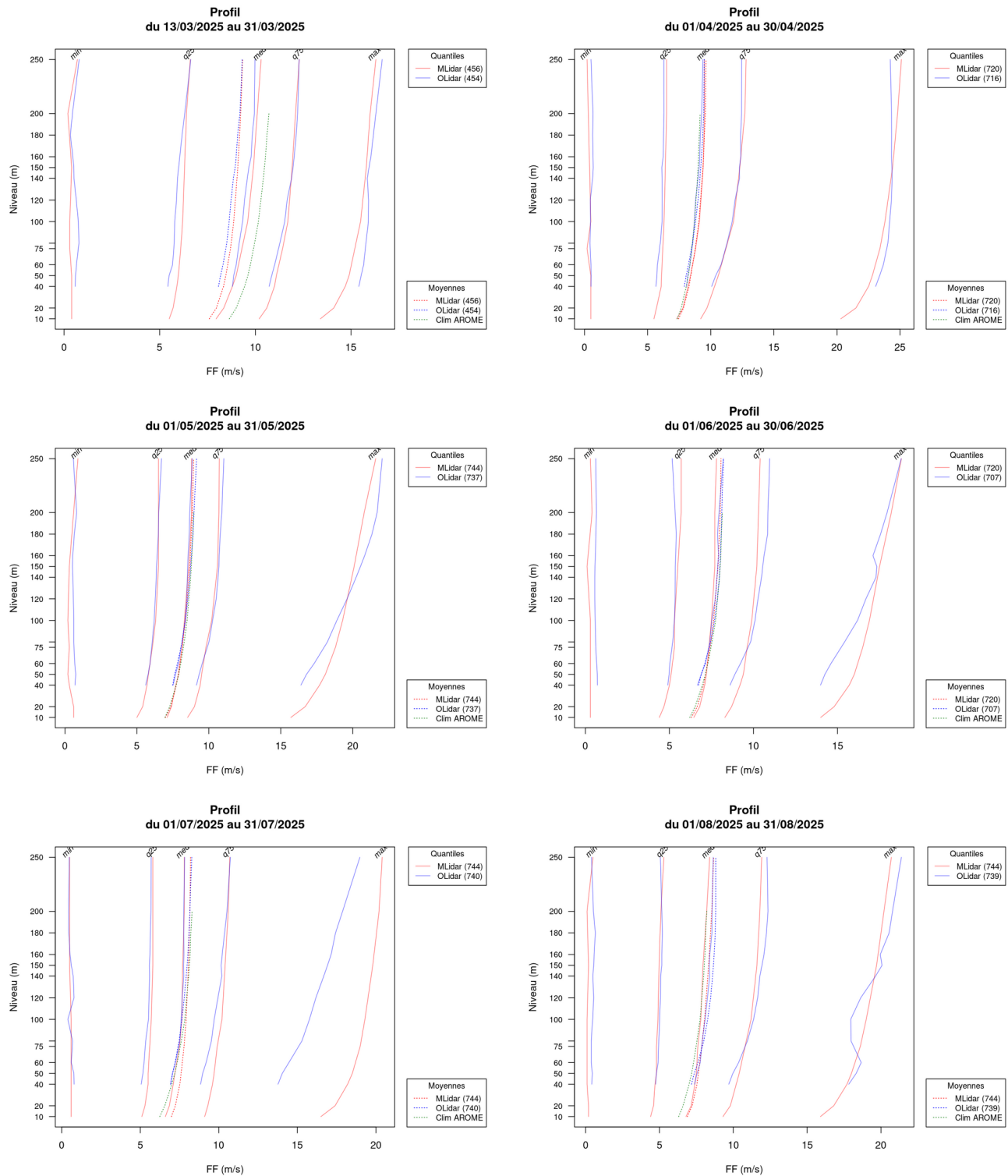


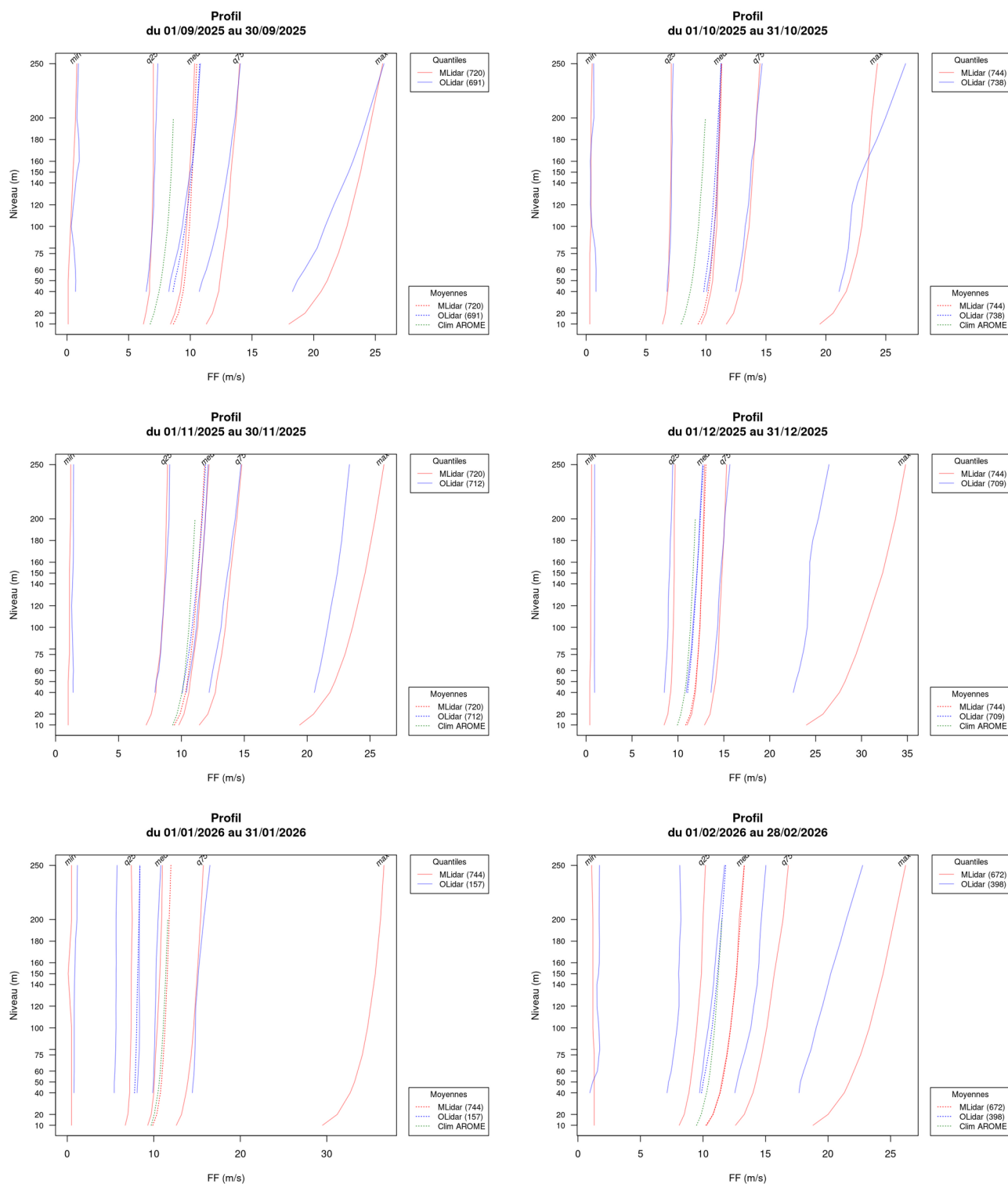
Tableau de répartition (en %)

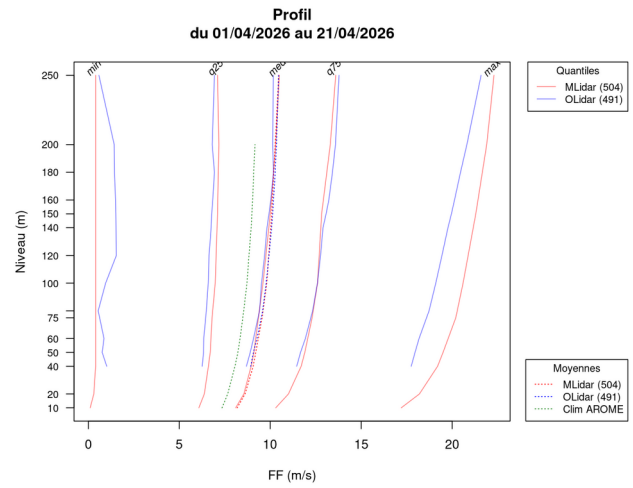
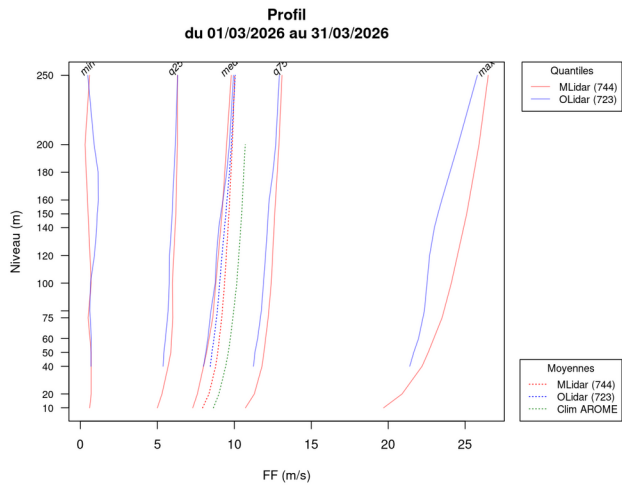
Nombre total de cas : 491

	[3;5[	[5;10[	[10;20[	>20	total
30	0.4	1.2	.	.	1.6
60	0.2	3.1	2.4	.	5.7
90	0.4	1.8	7.1	.	9.4
120	0.4	2.4	4.7	.	7.5
150	.	1.8	0.6	.	2.4
180	0.8	0.8	2.9	.	4.5
210	0.8	5.1	10.0	.	15.9
240	1.2	5.7	11.4	.	18.3
270	0.8	3.5	3.1	.	7.3
300	2.0	7.5	2.2	.	11.8
330	1.4	5.7	1.8	.	9.0
360	0.6	4.3	0.4	.	5.3
Total	9.2	43.0	46.6	.	98.8
[0; 3 [					1.2

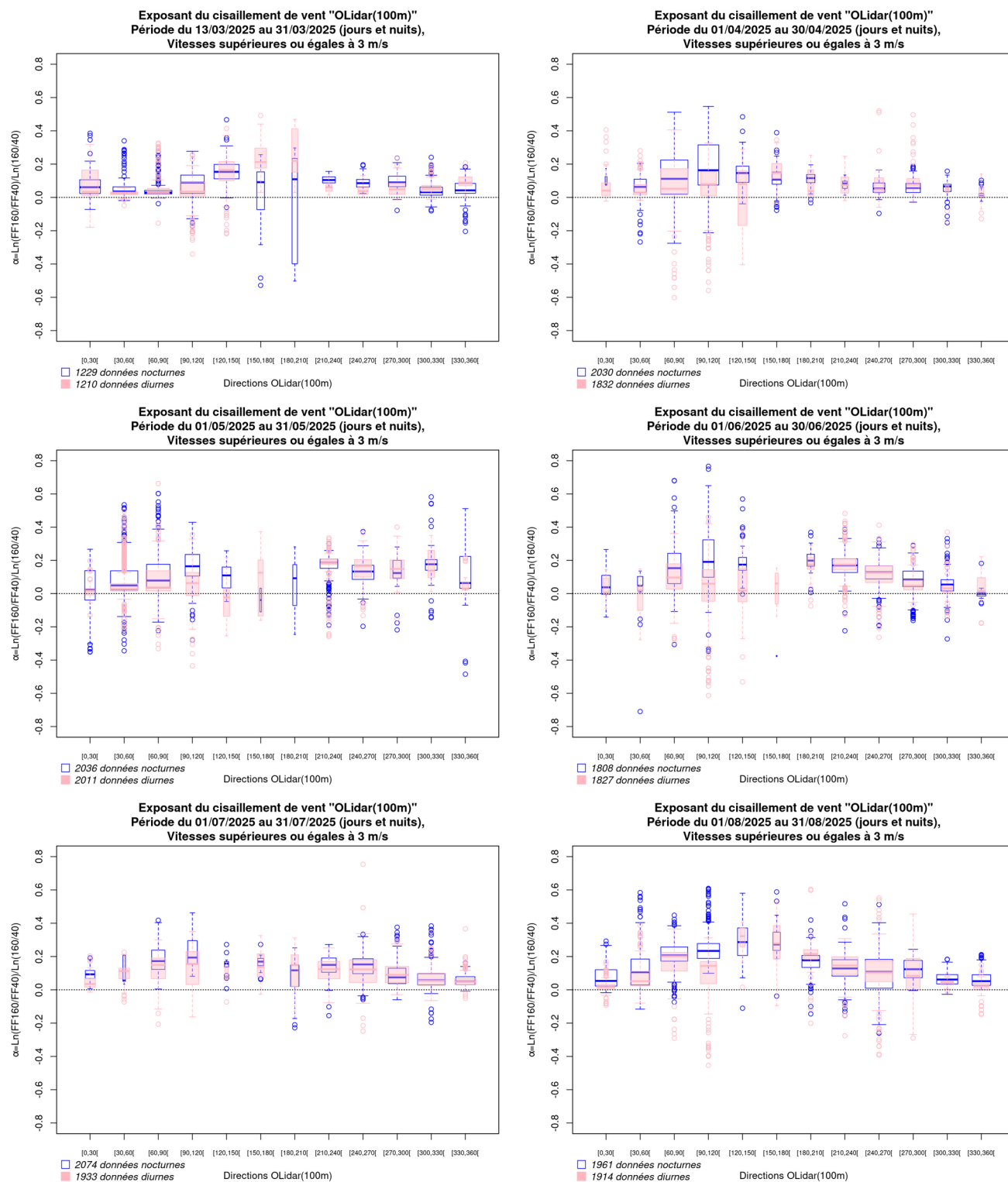
Annexe 8 : profils de vent du LiDAR

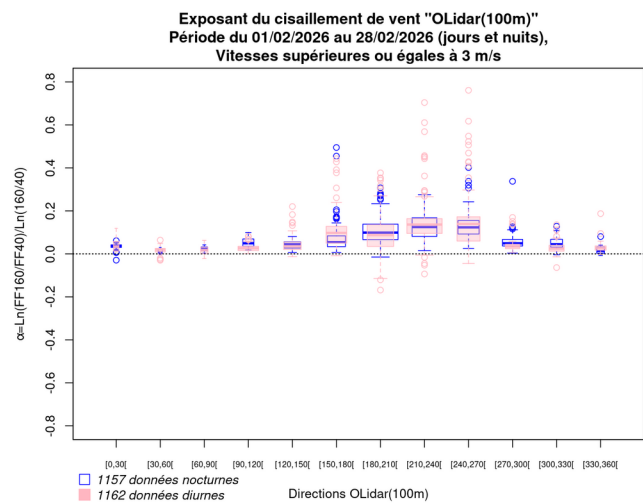
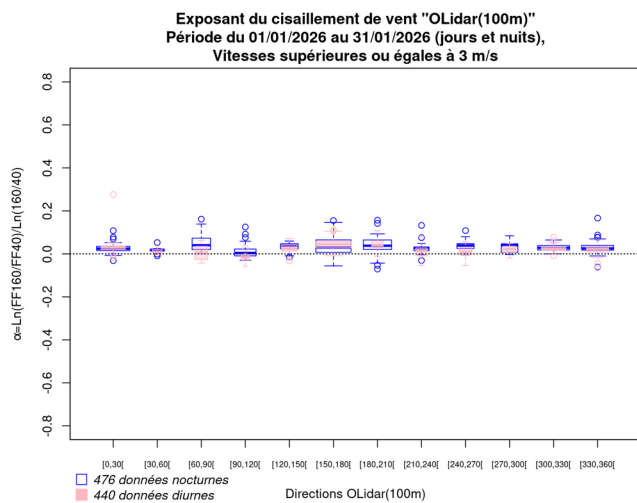
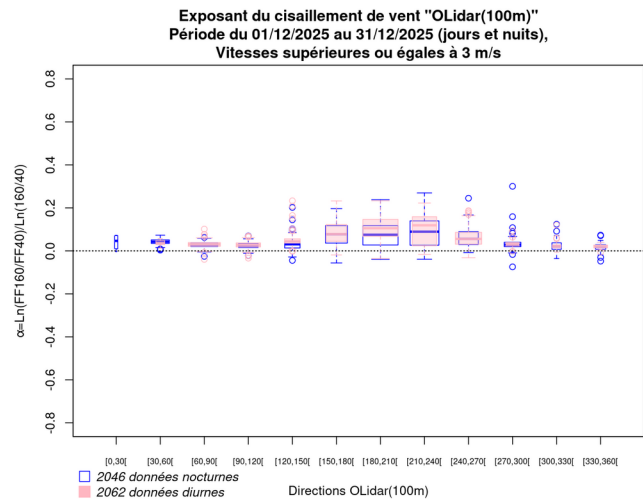
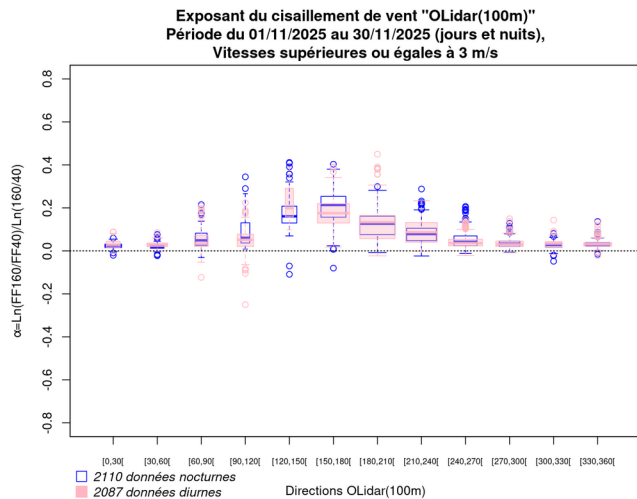
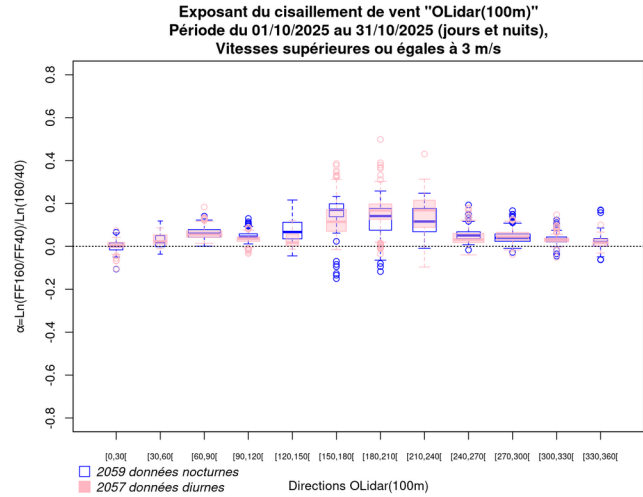
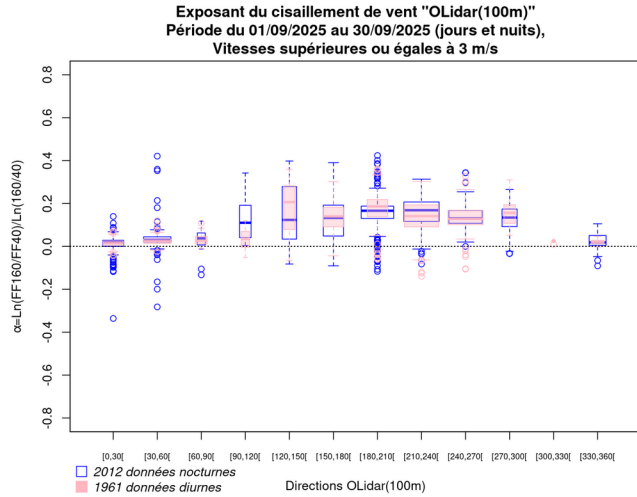


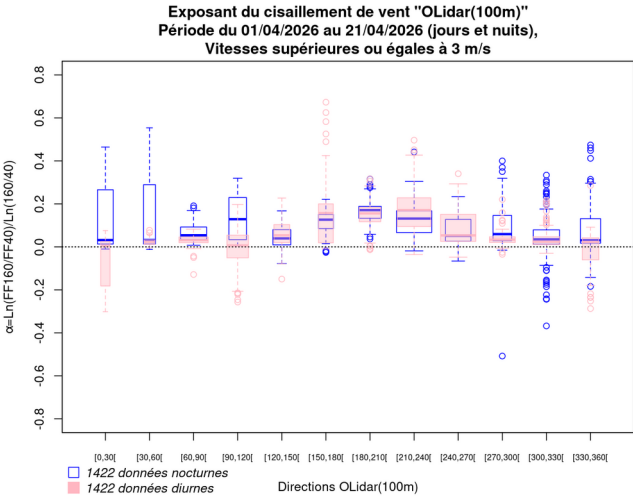
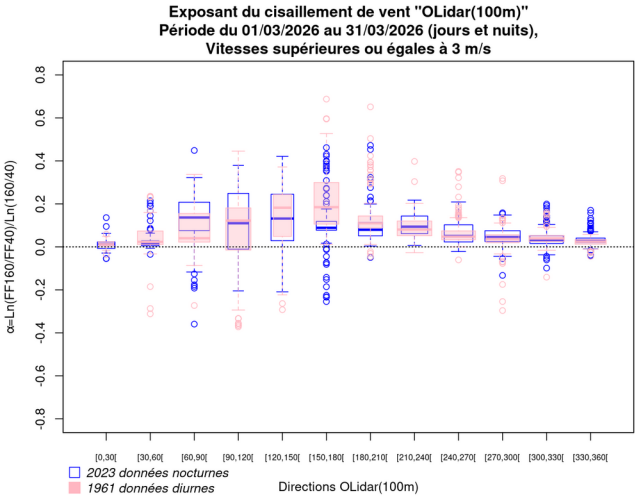




Annexe 9 : cisaillement du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)

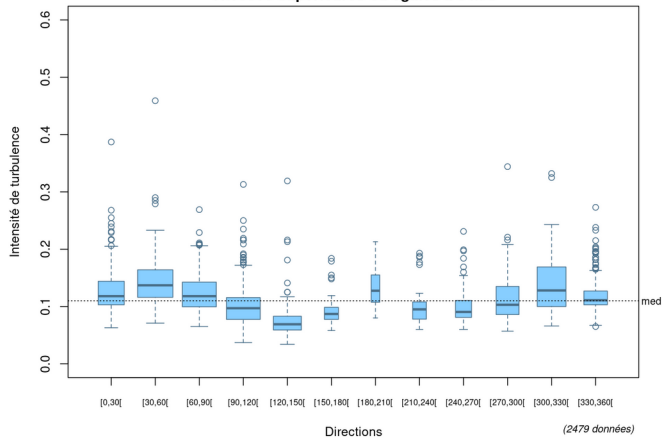




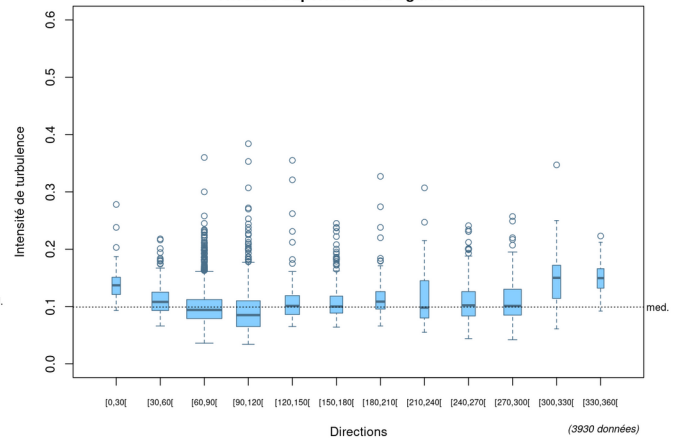


Annexe 10 : turbulence du vent du LiDAR à 100 m (données seuillées à 3 m/s)

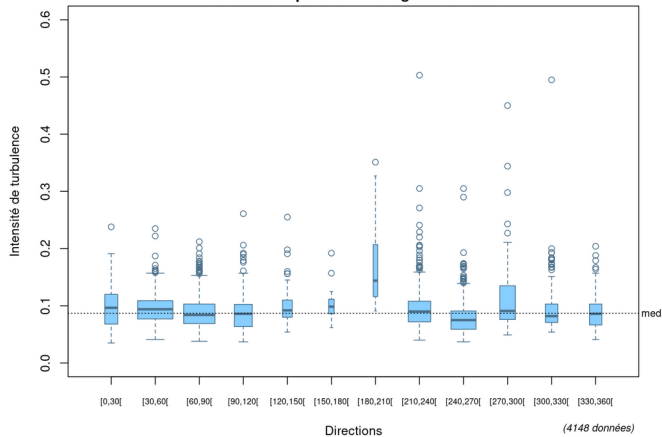
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 13/03/2025 au 31/03/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



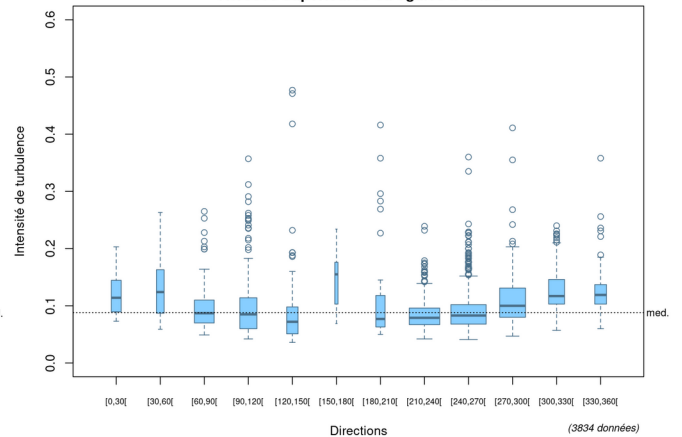
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/04/2025 au 30/04/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



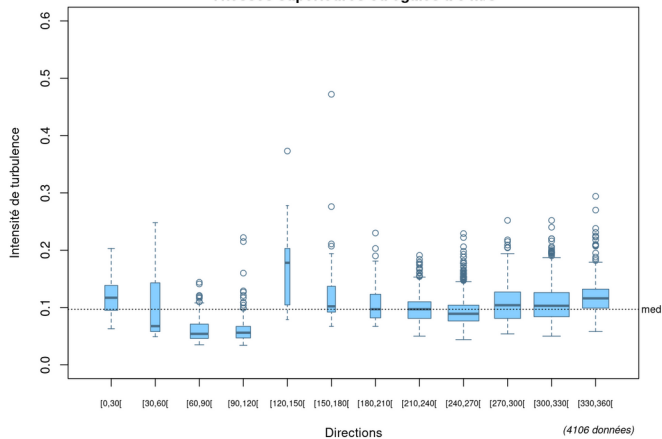
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/05/2025 au 31/05/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



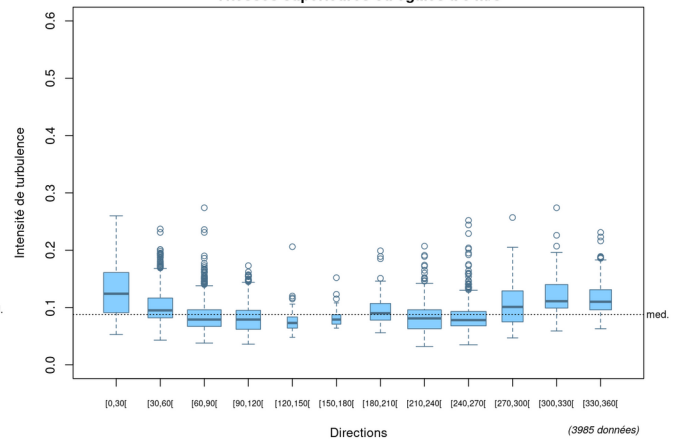
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/06/2025 au 30/06/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



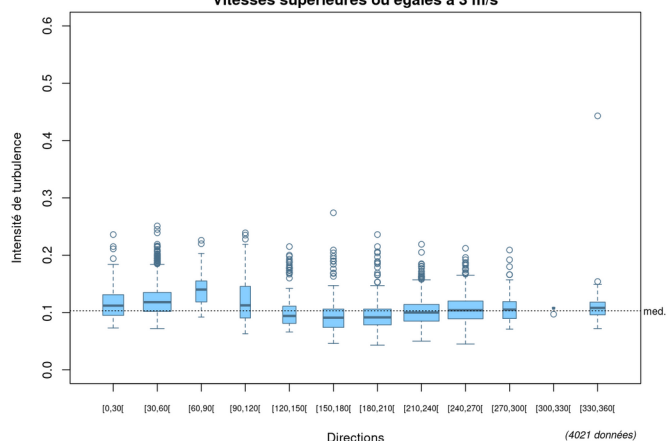
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/07/2025 au 31/07/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



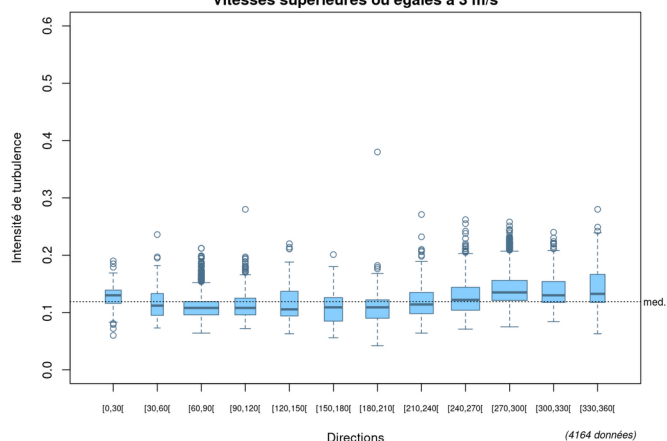
Turbulence du LiDAR à 100 m par directions
Période du 01/08/2025 au 31/08/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



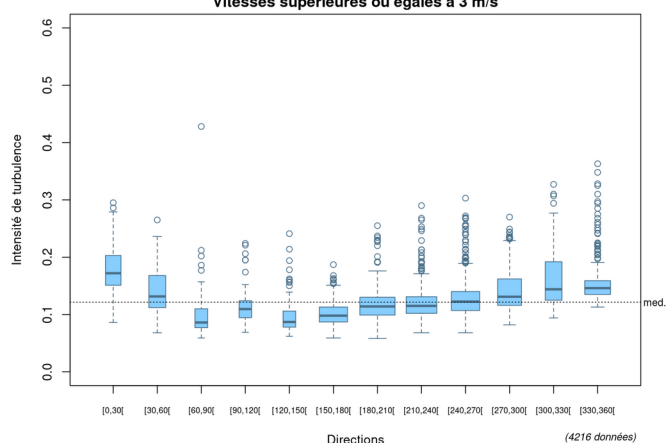
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/09/2025 au 30/09/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



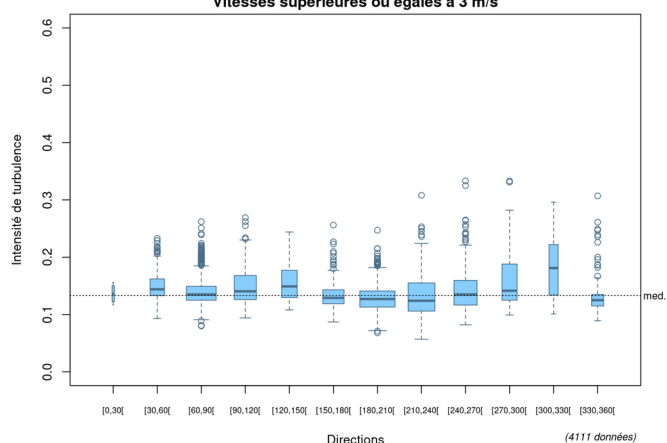
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/10/2025 au 31/10/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



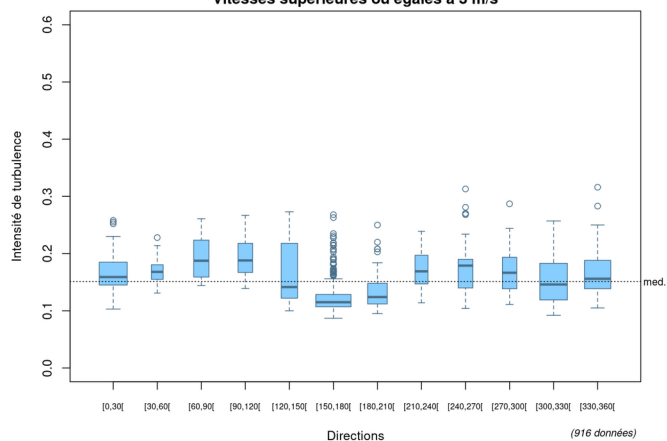
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/11/2025 au 30/11/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



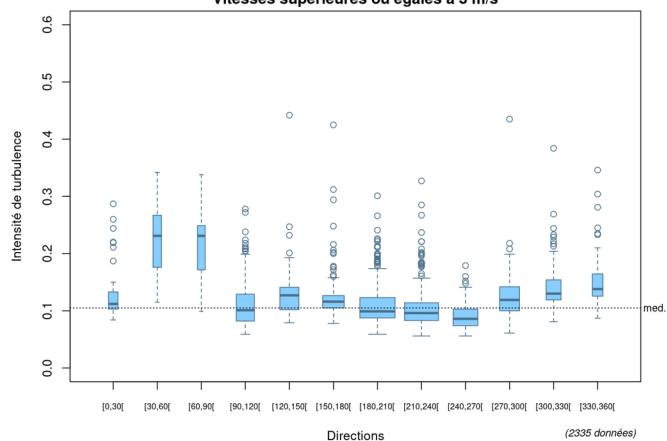
Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/12/2025 au 31/12/2025,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s

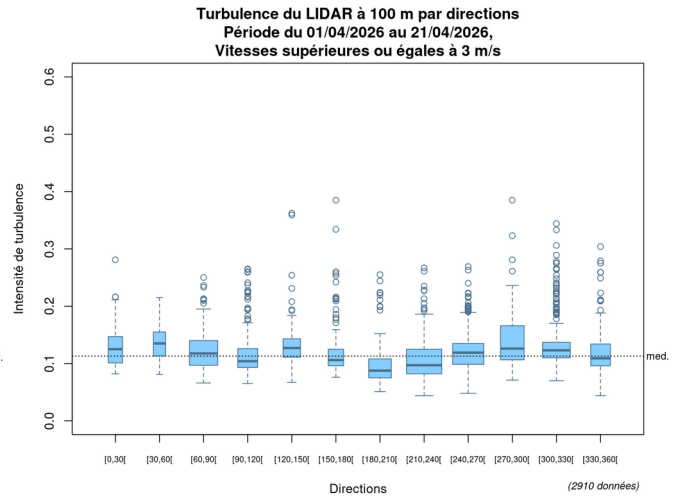
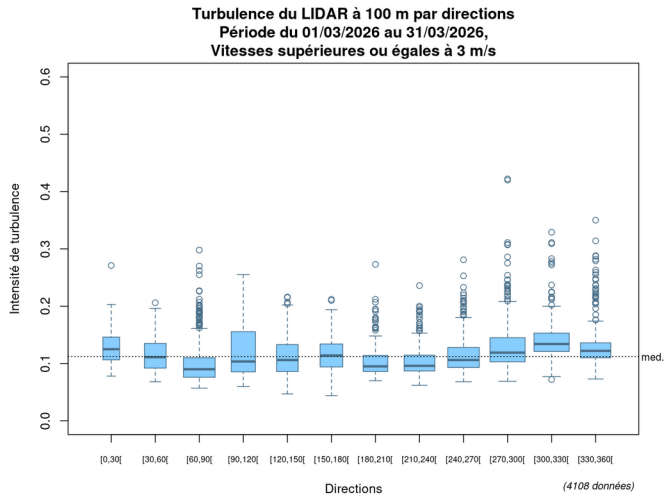


Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/01/2026 au 31/01/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s



Turbulence du LIDAR à 100 m par directions
Période du 01/02/2026 au 28/02/2026,
Vitesses supérieures ou égales à 3 m/s





FIN DE DOCUMENT
