

SUIVI DE LA TURBIDITE PHASE D'INSTALLATION DES ANCRES ET DES LIGNES D'ANCRAGE

Rapport d'analyse-campagne novembre à décembre 2023

Préparé par	EFGL
Référence du suivi	SC2 Turbidité
Version	2.0
Date	18/04/2024

exail



Informations du document

Préparé pour	EFGL
Contact	Thomas Bodron (thomas.bodron@oceanwinds.com)
Référence du document	823C42_LEFGL_Nov-Dec2023_V2
Code & Nom du suivi	SC2 Suivi turbidité en phase travaux

Révisions

VERSION	DATE	DESCRIPTION	AUTEURS	RELECTEUR
1.0	13/02/2024	Version initiale	AB	ABO
2.0	26/04/2024	Mise à jour suite à commentaires	AB	ABO

Coordonnées

	SIÈGE	CHEF DE PROJET
NOM	EXAIL	Agnès BOURRET Responsable du pôle océanographie
ADRESSE	46, quai François Mitterrand, Nef A 13600 La Ciotat, France	
TEL.	T. : +33 1 30 08 98 88 F. : +33 1 30 08 88 00	+33 6 32 65 01 23
MAIL / SITE	www.exail.com	agnes.bourret@exail.com



Tables des Matières

Table des Figures	6
Liste des Tableaux.....	7
1. Introduction.....	8
2. Glossaire	9
3. Déroulement DU SUIVI ET DES TRAVAUX.....	10
4. Matériel ET méthode.....	11
4.1. Localisation des stations de suivi.....	11
4.2. Principe d'installation	12
4.3. Instrumentation – mesure de température, salinité, pression, turbidité	12
4.4. Instrumentation – mesure de courant	13
4.5. Calibration des instruments.....	15
4.6. Configuration	15
4.7. Unités ET CONVENTION	16
5. Disponibilité DES MESURES	17
6. Contexte hydrodynamique de la zone d'étude	18
6.1. Généralités	18
6.2. Forçage du vent.....	21
6.3. Houle issue du reseau candhis.....	22
6.4. Mesures de courant-station sud.....	23
6.4.1. Contrôle qualité	23
6.4.2. Résultats	23
7. Mesures hydrologiques – stations sud et nord	29
7.1. Mesures de pression	29
7.2. TEMPERATURE	30
7.3. Salinité.....	31
7.4. Turbidité.....	32
7.4.1. Généralités.....	32
7.4.2. Période avant-travaux	34
7.4.3. Période pendant les travaux – 19 au 27 novembre	36
7.4.4. Période pendant les travaux – 28 novembre au 5 décembre.....	38
7.4.5. Période après-travaux.....	40
8. Synthèse	41



9. Bibliographie.....	43
10. Annexes.....	44
10.1. Évolution temporelle du vent.....	44
10.2. Évolution temporelle du courant	45
10.3. Corrélogrammes DU COURANT.....	47



Table des Figures

Figure 1 : Déroulement du suivi et des travaux.....	10
Figure 2 : Localisation des stations.....	11
Figure 3 : Schéma d'installation	12
Figure 4 : Capteur de turbidité.....	13
Figure 5 : Courantomètre profileur Nortek.....	14
Figure 6 : Calibration de la turbidité	15
Figure 7 : Processus majeurs du golfe du Lion (Sources : Gatti J. et Pairaud I., Ifremer, 2013)	19
Figure 8 : Modélisation de la moyenne de l'intensité et de la direction des courants engendrés par les différents types de vent Vent de Nord-Ouest homogènes (en haut à gauche) ; vents de Nord homogènes (en haut à droite) ; vent de Nord-Ouest inhomogènes (en bas à gauche) ; vent de Nord inhomogènes. Les larges flèches représentent les champs de vent, le cadre rouge délimite la zone Espexs (Estournel et al, 2003 ; Berné et al, 2012).....	20
Figure 9 : Rose des vents représentant la répartition de l'intensité en fonction de la direction des vents	21
Figure 10 : Position de la bouée Candhis.....	22
Figure 11 : Évolutions de la direction et de la hauteur de la houle au niveau de Leucate	22
Figure 12 : valeur du pitch et roll de l'ADCP au cours de la campagne	23
Figure 13 : Profils de la direction et de l'intensité du courant à la station Sud	24
Figure 14 : Distribution des courants de surface à la station Sud	25
Figure 15 : Distribution des courants du fond à la station Sud	26
Figure 16 : Hodographe représentant le déplacement d'une particule à partir des mesures de courant en station Sud	27
Figure 17 : Évolution de la pression aux stations Sud (fond et milieu) et Nord (fond)	29
Figure 18 : Évolution de la température de l'eau au niveau du fond et milieu au Sud et au fond au Nord	30
Figure 19 : Évolution de la salinité des stations Nord et Sud.....	31
Figure 20 : Illustration de la gamme de variation de la turbidité	32
Figure 21 : Évolution de la turbidité aux trois stations durant la campagne	33
Figure 22 : Boîte à moustache de la turbidité des trois stations	34
Figure 23 : Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 14 au 19 novembre	35
Figure 24 : Localisation des stations et distance entre les ancrages et les stations.....	36
Figure 25 : Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 19 au 28 novembre	37
Figure 26 : Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 28 novembre au 5 décembre	39
Figure 27 : Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 5 au 12 décembre	40
Figure 28 : Évolution de la vitesse et de la direction du vent (Météo France)	44
Figure 29 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant en surface station Sud	45



Figure 30 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant en milieu de profondeur de la station Sud.....	45
Figure 31 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant au fond de la station Sud.....	46
Figure 32 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant en surface à la station Sud.....	47
Figure 33 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant au milieu à la station Sud.....	47
Figure 34 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant au fond à la station Sud.....	48

Liste des Tableaux

Tableau 1 Localisation des stations et des instruments	11
Tableau 2: Spécifications techniques EXO3 ou équivalent.....	13
Tableau 3: Paramètres mesurés par l'ADCP Nortek.....	14
Tableau 4: Spécification pour la mesure de courant.....	14
Tableau 5: Configuration d'échantillonnage	15
Tableau 6: Détails des unités de mesure des paramètres	16
Tableau 7: Taux de disponibilité des données	17
Tableau 8: Liste des travaux entre le 19 et le 27 novembre au niveau des ancres EFG1-ML1, EFG2-ML2, EFG3- ML2, EFG3-ML3.....	36
Tableau 9: Liste des travaux entre le 28 novembre et le 5 décembre au niveau des ancres EFG1-ML1, EFG2-ML2, EFG3- ML2, EFG3-ML3	38



1. Introduction

Le projet de ferme pilote des « Éoliennes Flottantes du Golfe du Lion » (EFGL), sélectionné par l'État le 3 novembre 2016, prévoit l'installation et la mise en service, à l'horizon 2024, d'une ferme pilote de 3 éoliennes flottantes (30 MW) à 16 km au large des communes de Leucate (11) et du Barcarès (66) et son raccordement au Réseau Public de Transport d'électricité (RPT).

Conformément au cahier des charges de l'appel à projets EoFlo dans lequel s'inscrit le projet, le projet EFGL doit répondre à 10 objectifs. L'un d'eux vise à apporter un retour d'expérience sur les impacts sur les autres activités et sur l'environnement.

C'est dans ce contexte que la société Les éoliennes flottantes du golfe du Lion (LEFGL), dont les actionnaires sont Ocean Winds et la Banque des Territoires, a mandaté la société Exail pour étudier le phénomène de remise en suspension des sédiments vaseux provoqué par la pose des ancrs des éoliennes (phase d'installation) et durant l'exploitation du parc du fait du ragage des lignes d'ancrage sur le fond (phase d'exploitation). Ce suivi est assuré par mesure des paramètres hydrologiques sur le site d'implantation d'éoliennes au large de Leucate durant 2 campagnes (phase d'installation et phase d'exploitation) de 1 mois et 4 mois respectivement. Deux stations sont instrumentées :

- la station située au sud de la zone, avec un suivi de la turbidité au fond et à mi-profondeur et le suivi du courant sur toute la hauteur d'eau
- la station située au nord de la zone, avec le suivi de la turbidité au fond

Le présent rapport présente les mesures acquises durant la première campagne (phase d'installation des ancrs) qui s'est déroulée du 13/11/2023 au 12/12/2023.



2. Glossaire

- **ADCP** Acoustic Doppler Current Profiler – courantomètre profileur à effet doppler
- **CTD** Sonde pour la mesure Conductivité, Température, Profondeur (Depth) et salinité



3. Déroulement DU SUIVI ET DES TRAVAUX

Les stations de suivi de la turbidité ont été installées le 13 novembre 2023 et récupérées le 12 décembre 2023, soit 29 jours de mesures.

Le bateau principal d'installation des ancres était le Maersk Mariner, bateau de 95 m de long et 25 m de large. Le Maersk Marine était sur zone du 15 novembre au 5 décembre 2023. Il a été secondé par le Maersk Transporter, bateau de 73 m de long et 20 m de large, du 17 au 26 novembre.

La phase d'installation des 9 ancres des 3 éoliennes a débuté le 19 novembre pour se terminer le 5 décembre. Au préalable à ces opérations d'installation, une inspection par ROV des zones de pose des ancres et des stations de suivi de la turbidité a été réalisée entre le 17 et le 18 novembre.

La campagne de mesure a donc couvert l'intégralité de la période de travaux. La frise ci-dessous présente le déroulement des opérations.

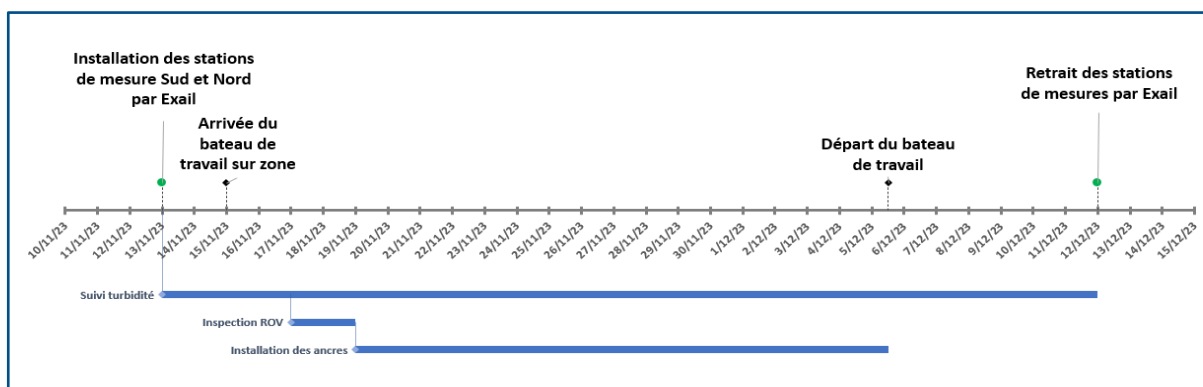


Figure 1: Déroulement du suivi et des travaux



4. Matériel ET méthode

4.1. Localisation des stations de suivi

Durant cette campagne en phase d'installation de 29 jours, conformément au protocole validé par le Comité de Suivi Technique du projet EFGL, deux stations ont été instrumentées :

- Station Sud (T1) : suivi de la turbidité au fond et à mi-profondeur et suivi du courant sur toute la hauteur d'eau ;
- Station Nord (T2) : suivi de la turbidité au fond, station située au nord de la zone.

Les deux stations sont globalement situées à la même profondeur. La figure ci-après permet de localiser les deux stations de mesures et les ancres.

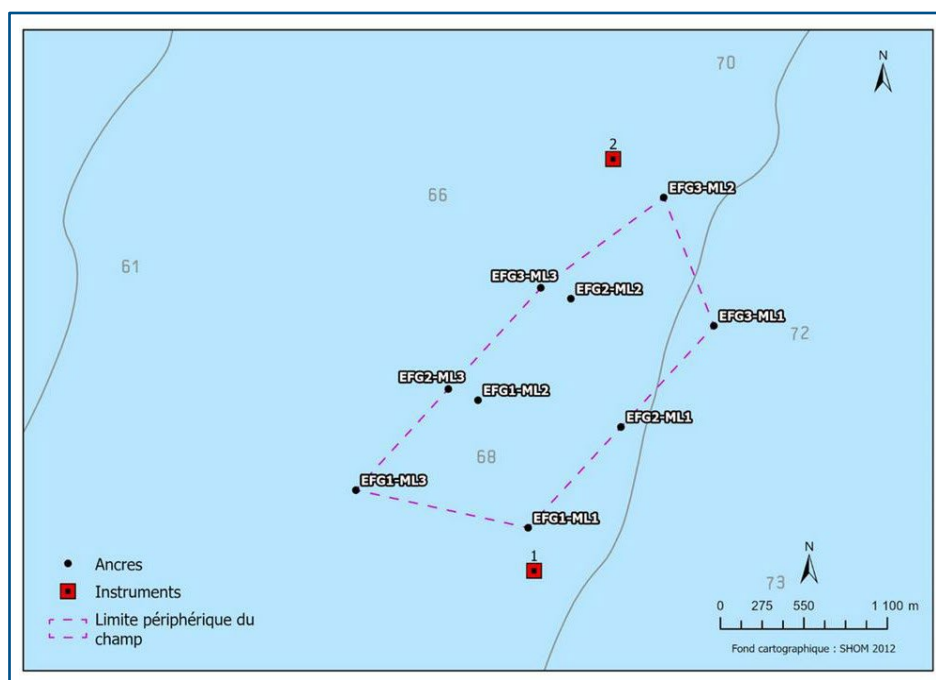


Figure 2 : Localisation des stations

Tableau 1 Localisation des stations et des instruments

DESCRIPTION	ID	DEGRÉS DÉCIMAUX		DEGRÉS MINUTES		INSTRUMENTS
		LAT	LONG	LAT	LONG	
Station 1	Sud (t1)	N 42,83793	E 3,24815	N 42°50,276'	E 003°14,889'	Sonde CTD et turbidité en milieu de colonne d'eau (34m de profondeur)
						Sonde de turbidité à 2m, Sonde CTD à 4m, et ADCP à 7 m au-dessus du fond)
Station 2	Nord (t2)	tN 42,86216	E 3,25283	N 42°51,730'	E 003°15,170'	Sonde CTD et turbidité à proximité du
						Sonde de turbidité à 2m, Sonde CTD à 4m,



4.2. Principe d'installation

Les instruments sont installés le long de chaque ligne de mouillage. Cette méthode évite tout frottement de la ligne de mouillage sur le fond.

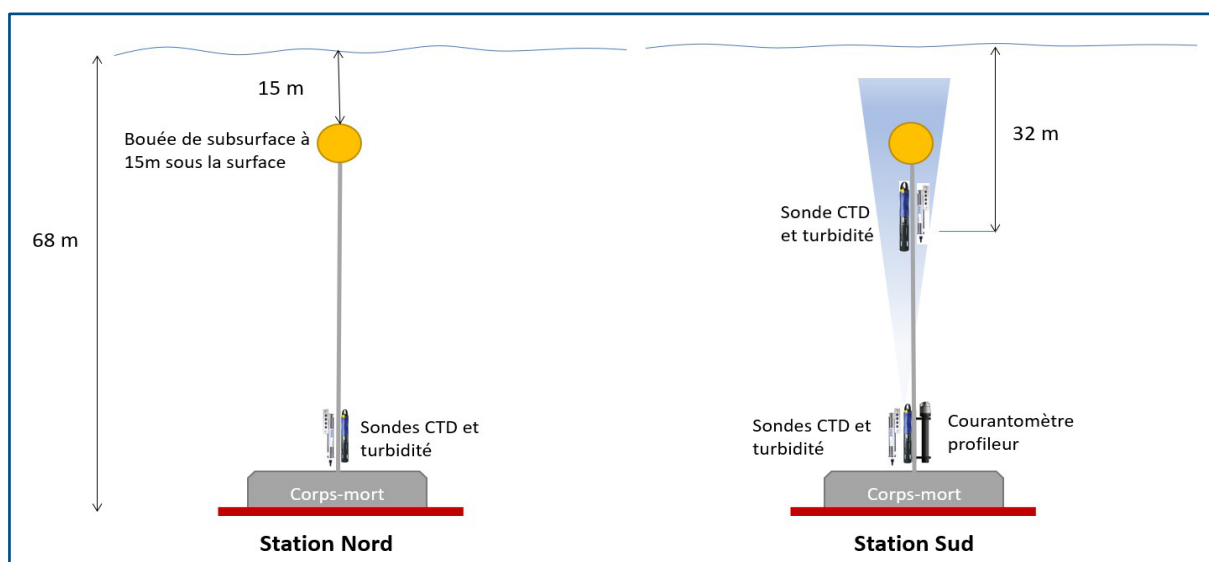


Figure 3: Schéma d'installation

Les 2 stations de mesure seront constituées des éléments suivants :

- Corps-mort de 100 kg en air ;
- Ligne tendue en textile ;
- 1 bouée de 20 L à 15 m de la surface.

4.3. Instrumentation – mesure de température, salinité, pression, turbidité

3 sondes EXO ont été déployées, 2 au fond et 1 à mi-profondeur. Ces sondes sont équipées d'un capteur de température, d'un capteur de conductivité/salinité, d'un capteur de pression et d'un capteur de turbidité.

Le turbidimètre de la sonde fait appel à la technique par néphélométrie qui, par définition, est la mesure par photométrie des concentrations en particules dans la colonne d'eau par diffusion à 90° (Pelletier, 2013). La lumière émise par l'émetteur (proche infrarouge à 860 nm) dans la colonne d'eau est dispersée par les particules présentes (Sadar, 2003). Un détecteur à photodiode positionné à 90° par rapport au faisceau de lumière incident détecte la lumière diffusée par les particules et la convertit en une valeur de turbidité, en utilisant les coefficients de conversion fournis sur le certificat-usine d'étalonnage (Sadar, 2011). Les mesures néphélométriques, la position du détecteur et la longueur d'onde de la source de lumière utilisée par ce turbidimètre sont conformes à la norme ISO 7027 de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO – International Standards Organization) (Rasmussen *et al.*, 2009; YSI Incorporated, 2012).



La mesure de turbidité est une mesure extrêmement sensible aux bio salissures ou aux dépôts. De ce fait, la sonde est munie d'un balai très robuste pour un nettoyage mécanique efficace du capteur.

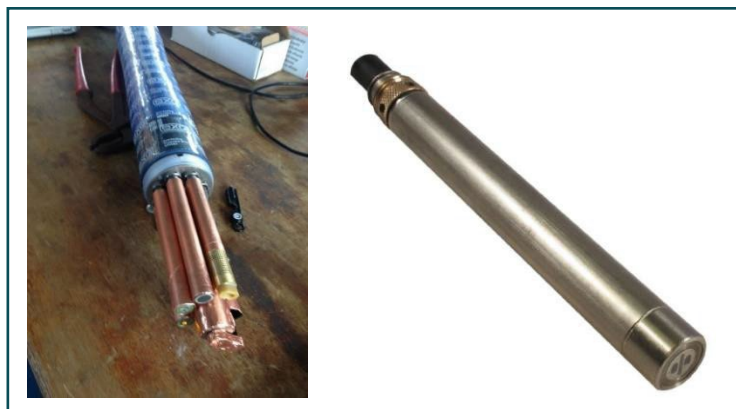


Figure 4: Capteur de turbidité

Tableau 2: Spécifications techniques EXO3 ou équivalent

PARAMÈTRES	GAMME DE MESURE	RÉSOLUTION	PRÉCISION
Turbidité	0 – 4000 NTU	<ul style="list-style-type: none"> 0 to 999 NTU = 0.01 NTU; 1000 to 4000 NTU = 0.1 NTU 	<ul style="list-style-type: none"> 0 to 999 NTU: 0.3 NTU ou $\pm 3\%$ de la lecture 1000 to 4000 NTU: $\pm 5\%$ de la lecture
Température	-5 à +50°C	$\pm 0.001^\circ\text{C}$	0.2°C
Conductivité	0 à 100mS/cm	0.0001 unité	$\pm 1\%$ de la valeur mesurée $\pm 0.002\text{mS/cm}$
Salinité	0 à 70ppt	$\pm 0.01\text{ ppt}$	0.1ppt ou 1% de la lecture
Pression	-100m	0.001m	0.1m

4.4. Instrumentation - mesure de courant

Pour la mesure du profil de courant, un Aquaprofiler de Nortek 400 kHz d'une portée de 70 m a été déployé. Le principe de mesure est basé sur le principe de l'effet Doppler. Cette méthode est peu sensible aux biosalissures. Cet instrument est muni de 3 faisceaux acoustiques.

Comme pour tous les courantomètres, il n'y a pas de mesures valides immédiatement devant les transducteurs, c'est une zone blanche (< 1 m) correspondant au temps nécessaire pour que les transducteurs passent d'émetteur à récepteur. La couche près de la surface correspond à une deuxième zone blanche (~10% de la hauteur d'eau) où les mesures sont invalides du fait d'interférences des faisceaux acoustiques avec la surface. Ces zones blanches sont inhérentes à la mesure par ADCP.



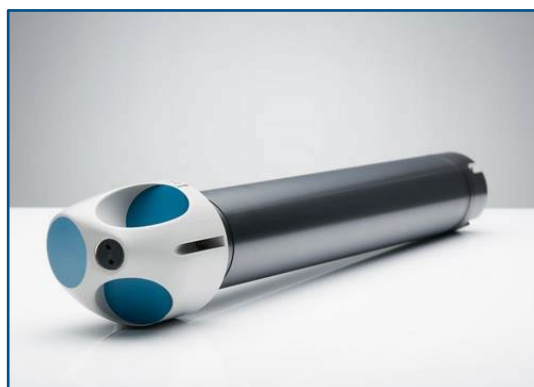


Figure 5: Courantomètre profileur Nortek

Selon la configuration d'échantillonnage, l'ensemble de mesures constitué d'un certain nombre de points est moyenné pour augmenter la précision.

Les ADCPs sont autonomes et équipés d'un datalogger et de packs batteries. Les paramètres mesurés par l'instrument sont listés dans le tableau suivant.

Tableau 3: Paramètres mesurés par l'ADCP Nortek

PARAMÈTRES	COMMENTAIRE
Vitesses coordonnées terrestres	u, v, w / vitesse et direction
Température	Utilisé en post-traitement pour recalculer la vitesse du signal acoustique
Pression absolue	Utilisé en post-traitement pour recalculer la profondeur des cellules
Inclinaison (roulis, tangage)	Utilisé en post-traitement pour recalculer la profondeur des cellules
Cap	Utilisé en post-traitement pour calculer les composantes de vitesses en coordonnées terrestres
Intensités du signal	Utilisé en post-traitement pour valider la qualité des mesures de vitesse

Tableau 4: Spécification pour la mesure de courant

AQUADOPP PROFILER 400 KHZ	
Fréquence d'émission	400 kHz
Portée max.	90 m
Taille min. des cellules	2 m
Zone blanche instrument	1 m
Immersion maxi	100 m
Résolution	1 mm/s
Gamme de mesure	1 – 5000 mm/s
Biais mesure vitesse	1% de la mesure +/- 5 mm/s
Fréquence d'échantillonnage	1 Hz
Biais/Résolution Cap	$\pm 2^\circ/0.1^\circ$ pour inclinaison $< 20^\circ$
Biais/Résolution Tangage et Roulis	$\pm 0.2^\circ/0.1^\circ$ (inclinaison max $\pm 30^\circ$)



4.5. Calibration des instruments

Calibration des sondes :

Les sondes Exo sont calibrées pour le paramètre de turbidité selon deux solutions à 124 NTU et 0 NTU. Les fichiers de calibration sont présentés ci-après.

KOREXO CALIBRATION FILE EXPORT	KOREXO CALIBRATION FILE EXPORT	KOREXO CALIBRATION FILE EXPORT
Calibration Start Time=,02/11/2023 12:13:37 Calibration End Time=,02/11/2023 12:18:24 Calibration Status=,Completed QC Score=,Bien Instrument Type=,EXO3 Instrument Name=,Sonde 20L100389 Instrument Serial Number=,20L100389 Instrument Firmware Version=,1.0.86 Parameter Type=,Turbidity (NTU) Sensor Type=,Turbidity [Cal Point 1] Standard=,0,00 NTU Pre Calibration Value=,-2,82 NTU Post Calibration Value=,0,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,19,607 °C Stability Achieved=,Yes [Cal Point 2] Standard=,124,00 NTU Pre Calibration Value=,122,26 NTU Post Calibration Value=,124,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,19,420 °C Stability Achieved=,Yes	Calibration Start Time=,02/11/2023 11:28:09 Calibration End Time=,02/11/2023 11:34:32 Calibration Status=,Completed QC Score=,Bien Instrument Type=,EXO2 Instrument Name=,Sonde 16F103973 Instrument Serial Number=,16F103973 Instrument Firmware Version=,1.0.73 Parameter Type=,Turbidity (NTU) Sensor Type=,Turbidity [Cal Point 1] Standard=,0,00 NTU Pre Calibration Value=,1,99 NTU Post Calibration Value=,0,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,19,376 °C Stability Achieved=,Yes [Cal Point 2] Standard=,124,00 NTU Pre Calibration Value=,129,23 NTU Post Calibration Value=,124,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,19,058 °C Stability Achieved=,Yes	Calibration Start Time=,09/11/2023 10:05:02 Calibration End Time=,09/11/2023 10:10:30 Calibration Status=,Completed QC Score=,Bien Instrument Type=,EXO3 Instrument Name=,Sonde 23B100242 Instrument Serial Number=,23B100242 Instrument Firmware Version=,1.0.86 Parameter Type=,Turbidity (NTU) Sensor Type=,Turbidity [Cal Point 1] Standard=,124,00 NTU Pre Calibration Value=,117,18 NTU Post Calibration Value=,124,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,14,805 °C Stability Achieved=,Yes [Cal Point 2] Standard=,0,00 NTU Pre Calibration Value=,1,19 NTU Post Calibration Value=,0,00 NTU Raw Value=,0,00 NTU Temperature=,15,172 °C Stability Achieved=,Yes

Figure 6: Calibration de la turbidité

Calibration du courantomètre :

La mesure de vitesse par effet doppler ne se calibre pas. Pour ce qui est du compas du courantomètre, il est vérifié et ajusté avant chaque déploiement selon la procédure du constructeur.

4.6. Configuration

Tableau 5: Configuration d'échantillonnage

SONDES CTD, TURBIDITÉ	
Intervalle de mesure	15 min
MESURE DE COURANT	
Intervalle de mesure	15 min
Nombre de points	100 pts
Fréquence d'acquisition	1 Hz



4.7. Unités ET CONVENTION

Tableau 6: Détails des unités de mesure des paramètres

PARAMÈTRES	DÉTAIL ET UNITÉS
Vitesse du vent	m/s
Direction du vent	°
Vitesse du courant	m/s
Direction du courant	°
Pression absolue	dbar
Salinité	PSU (PSS 78)
Température	°C (ITS90)

L'horodatage est en **UT**.

La pression absolue mesurée par les sondes CTD est la somme de la hauteur d'eau et du poids de l'atmosphère au-dessus du capteur (pression hydrostatique et atmosphérique).

Par convention, pour le vent et la houle, la direction correspond à la direction de provenance. Elle est établie par rapport au nord géographique.

Par convention, pour les courants, la direction correspondant à la direction vers laquelle le courant se dirige. Les directions ne sont pas corrigées de la déclinaison magnétique, de l'ordre de 2° à cette localisation.



5. Disponibilité DES MESURES

La disponibilité des mesures après post-traitement, contrôle qualité et validation des données est présentée dans le **Tableau 7**. Elle est calculée pour une campagne de 29 jours.

La disponibilité des mesures est la résultante des mesures collectées à la fin de la campagne (par rapport au nombre de mesures théoriques) sur lesquelles un post-traitement automatique et visuel a été appliqué pour éliminer les données aberrantes.

Tableau 7: Taux de disponibilité des données

COURANT	TEMPÉRATURE	SALINITÉ	TURBIDITÉ	COURANT
Station 1 Sud milieu		100%	100%	100%
Station 1 Sud fond	100%	100%	100%	100%
Station 1 Nord		96.6%	96.6%	96.6%

La sonde Exo en station 2 Nord a été configurée pour un enregistrement des mesures le 14/11 à 12h au lieu du 13/11, ce qui explique un pourcentage de disponibilité de mesure plus faible.



6. Contexte hydrodynamique de la zone d'étude

6.1. Généralités

La zone d'installation des 3 éoliennes du projet EFGL se situe au large de Leucate. Cette zone se trouve sur le plateau continental du golfe du Lion, là où il présente sa plus grande largeur. En effet, celui-ci peut s'étendre jusqu'à plus de 80 km des côtes, contrairement à la Côte d'Azur où le plateau continental est quasi inexistant par endroit.

Les courants sur le plateau sont principalement contrôlés par les vents. Leur variabilité tant en intensité qu'en direction induit une grande variabilité des courants. La stratification saisonnière induit des courants différents entre la surface et le fond en été, et des courants relativement homogènes sur la verticale en hiver, lorsque cette stratification s'amoindrit. Sur la zone d'étude, les vents dominants sont des vents continentaux, la Tramontane, vent de Nord-ouest, le Mistral, Vent de Nord et des vents marins de secteur Sud à Sud-Est.

Le plateau continental du golfe fait que les courants grande-échelle tel que le courant Nord-Méditerranéen restent au large, au niveau du talus continental. Celui-ci part de la mer Ligure au large de Gênes, longe les côtes azuréennes et provençales puis passe devant le golfe du Lion. Généralement, le courant Nord-Méditerranéen (CNM) ne longe pas les côtes du Languedoc Roussillon ([Milot 1990](#)), la veine de courant se situe entre 200 m (en été) et 300 m (en hiver) de profondeur ([Petrenko, 2003](#)) au-delà du plateau continental, sur des fonds de 1000 m à 2000 m. Ce courant ne déborde pas sur le plateau, mais par moment il se peut que le courant se déplace vers le Nord et fasse une intrusion sur le plateau sous des conditions de vent particulières. Des intrusions sur le plateau ont été observées en trois sites privilégiés (**Figure 7**) à partir de données satellitaires, hydrologiques et courantologiques et notamment à l'ouest du golfe du Lion ([Petrenko, 2003](#), [Petrenko et al, 2008](#)). La **Figure 5** représente le CNM, ses tourbillons et ses possibles intrusions (flèches bleues), la zone de dilution du Rhône (en rose), les upwellings (dans les zones numérotées en bleu, d'après Millot (1979), la zone privilégiée de formation d'eau dense sur le plateau et leur plongée le long de la pente (en gris) ([Ulses et al, 2008](#)) et des structures tourbillonnaires temporaires (flèches noires) ([Hu et al, 2011](#), [Schaeffer et al, 2010](#), [Allou et al, 2010](#), [Rubio et al, 2009](#)).



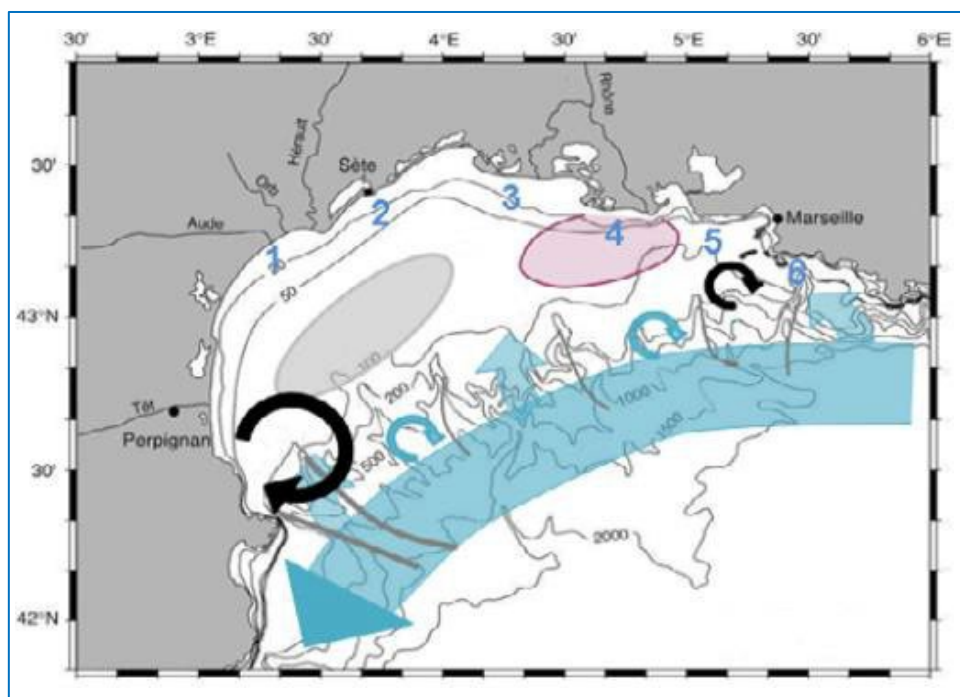


Figure 7: Processus majeurs du golfe du Lion
(Sources : Gatti J. et Pairaud I., Ifremer, 2013)

Le Mistral engendre aussi des phénomènes d'upwellings côtiers : les eaux de surface étant poussées vers le large, des eaux profondes, plus froides remontent à la côte (Millot, 1990). Six zones ont ainsi été identifiées. Enfin, en hiver, ces vents du Nord entraînent des masses d'air polaire ou continental froid et sec. Ils refroidissent rapidement les eaux de surface, et provoquent une évaporation de ces eaux. Elles deviennent alors plus froides et plus salées. Ces eaux denses formées principalement à la côte s'écoulent sur le plateau sous forme de veines de fond et se propagent sous l'action des courants engendrées par les vents jusqu'en limite du plateau (Ulses, 2005, Millot, 1990, Gaudin et al, 2006).

Du fait des conditions météorologiques très variables sur la zone, seuls des modèles sont capables de fournir une présentation générale de l'intensité et de la direction des courants. La **Figure 6** c-dessous représente les résultats de modélisation selon différentes configurations de vent en termes de direction et d'homogénéité spatiale en conditions hivernales d'après [Estournel et al, 2003](#) et du rapport d'Etude d'évaluation des enjeux et d'amélioration des connaissances sur la zone ESPEXS (Zone possible d'extraction de granulats pour le rechargement des plages du Languedoc Roussillon) dans le Golfe du Lion » VOLET PHYSIQUE- ECOLOGIQUE - Rapport de phase 1 (Agence des aires marines protégées).



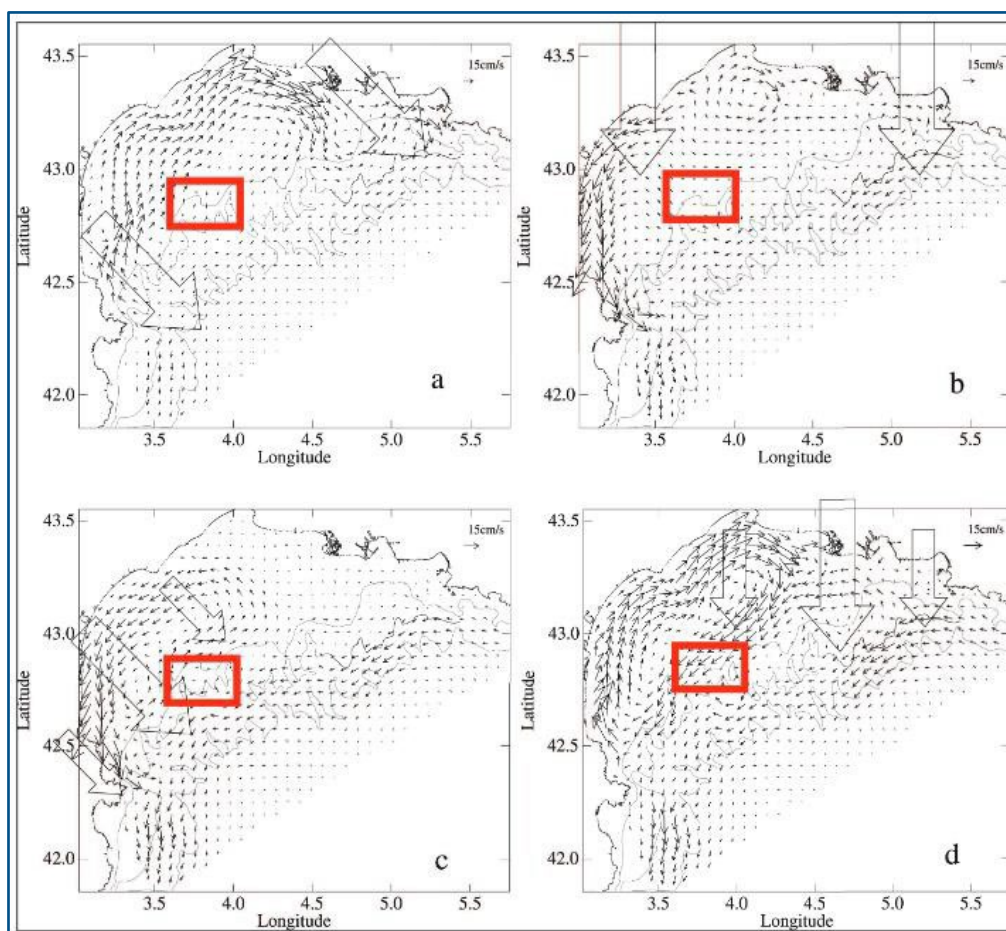


Figure 8: Modélisation de la moyenne de l'intensité et de la direction des courants engendrés par les différents types de vent

Vent de Nord-Ouest homogènes (en haut à gauche) ; vents de Nord homogènes (en haut à droite) ; vent de Nord-Ouest inhomogènes (en bas à gauche) ; vent de Nord inhomogènes.

Les larges flèches représentent les champs de vent, le cadre rouge délimite la zone Espexs (Estournel et al, 2003 ; Berné et al, 2012).

La zone d'étude se situe au Nord-Ouest de la zone Espexs (cadre rouge). A cet endroit, les courants peuvent être de direction Sud-Ouest ou Nord-Ouest selon la direction du vent et son homogénéité. Par vents de Nord homogènes ou de Nord-Ouest inhomogènes, les courants sur le plateau sont principalement dirigés vers le Sud. Par vents de secteur Nord-Ouest (Tramontane) homogènes ou vents de Nord inhomogènes, une veine de courant allant vers le Nord-Est est observée le long de la côte, plus ou moins proche selon la direction du vent.



6.2. Forçage du vent

Sur la zone d'étude, les vents dominants sont des vents continentaux, la Tramontane, vent de Nord-ouest, le Mistral, Vent de Nord et des vents marins de secteur Sud à Sud-Est.

La vitesse et la direction du vent mesurées par la station météorologique de MétéoFrance à Leucate durant la campagne de mesure du 13 novembre au 11 décembre 2023 ont été analysées. Ces mesures sont réalisées à terre et non à proximité du site. En outre, ces mesures de vent fournis par MétéoFrance correspondent au vent moyen sur 1 heure. Ces vitesses de vent sont donc inférieures aux conditions effectives en mer mais permettent de connaître la variabilité du vent et sa direction. L'évolution temporelle du vent est présentée en annexe.

Les épisodes de vent provenant du **Nord-Ouest** (Tramontane) sont identifiés par une couleur bleue. C'est un secteur de vent dominant sur la zone. Comme observé sur la figure ci-dessous, la **Tramontane** a été particulièrement présente. Une période de **Tramontane** est caractérisée par un vent soufflant à une vitesse supérieure de 6 m/s dans une même direction pendant minimum **6 heures**. On dénombre 9 épisodes de Tramontane. Ces épisodes ont des durées variables allant de quelques heures à plusieurs jours. Durant ces phénomènes, le vent est à une vitesse comprise entre **6 et 16 m/s**. La valeur maximale enregistrée est de **16,2 m/s** le 24/11 durant un épisode de Tramontane particulièrement long. Celui-ci commence le 20/11 à 13 h et se termine le 25/11 à 17 h. Il aura duré un peu plus de **5 jours**. La **Figure 9**. représente la rose des vents calculée sur la période du 13/11 au 12/12. Elle permet une vision globale de la répartition des intensités des vents en fonction de la direction.

La rose des vents ne montre une seule provenance des vents. Celle-ci montre bien la dominance de la **Tramontane** sur cette zone à cette période. En effet, les vents proviennent du Nord-Ouest. De plus, ce sont des vents avec des vitesses comprises entre **8-12 m/s**.

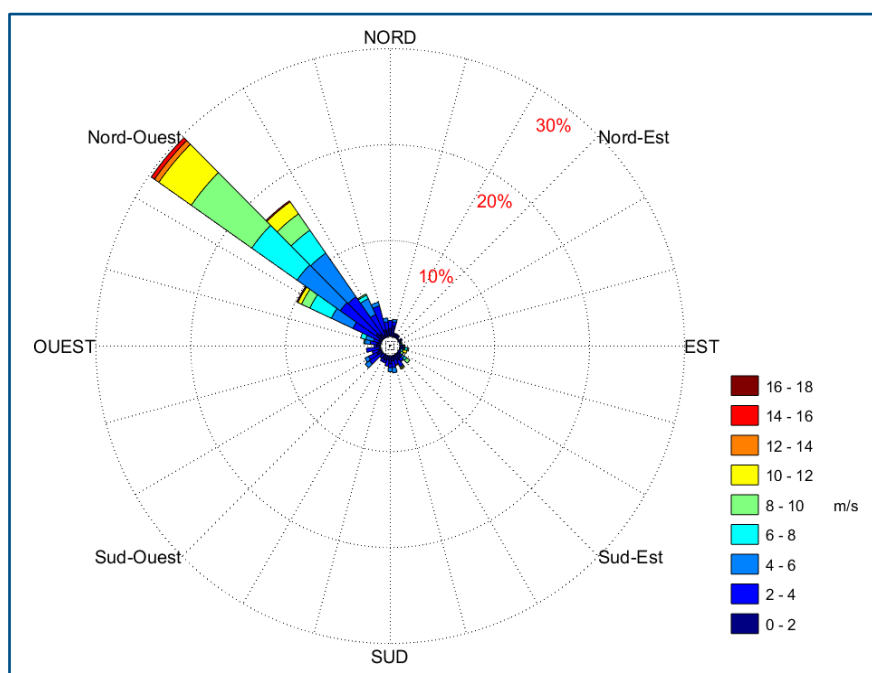


Figure 9 : Rose des vents représentant la répartition de l'intensité en fonction de la direction des vents



6.3. Houle issue du reseau candhis

Des mesures de houle (hauteur et direction) ont pu être récupérées à partir de la bouée de houle du réseau Candhis, **bouée Leucate** de la DREAL Occitanie, CEREMA, et de la Direction interrégionale de la mer. La **Figure 10** représente la localisation de celle-ci, elle est à une distance d'environ **13 km** de la **station Sud**.

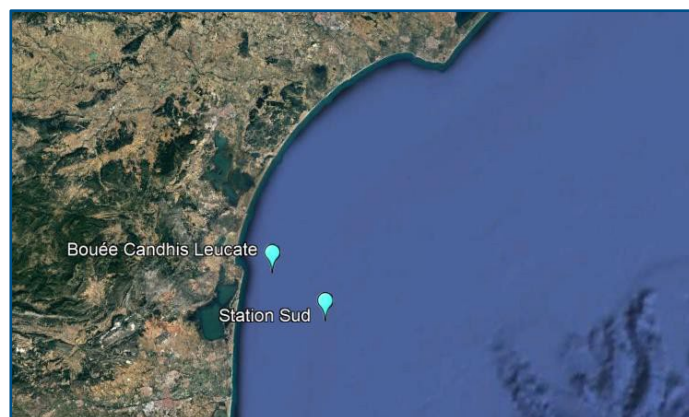


Figure 10 : Position de la bouée Candhis

La **Figure 11** représente l'évolution de la direction et de la hauteur de la houle mesurée du 13/11 au 08/12 par la bouée Leucate. Deux secteurs de houle sont présents, une houle provenant du **Nord** (300-10°) et une houle provenant de l'**Est-Sud-Est** (80-160°). La hauteur de la houle est comprise entre 0.1m et 1.9m. Le maximum est atteint le 24/11 avec une hauteur de **1.9 m** et une direction de **313°**. Cette hauteur maximale est comprise durant une longue période de houle provenant du Nord débutant le 21/11 et se terminant le 24/11. Cet épisode de houle du Nord est généré par une forte période de **Tramontane**.

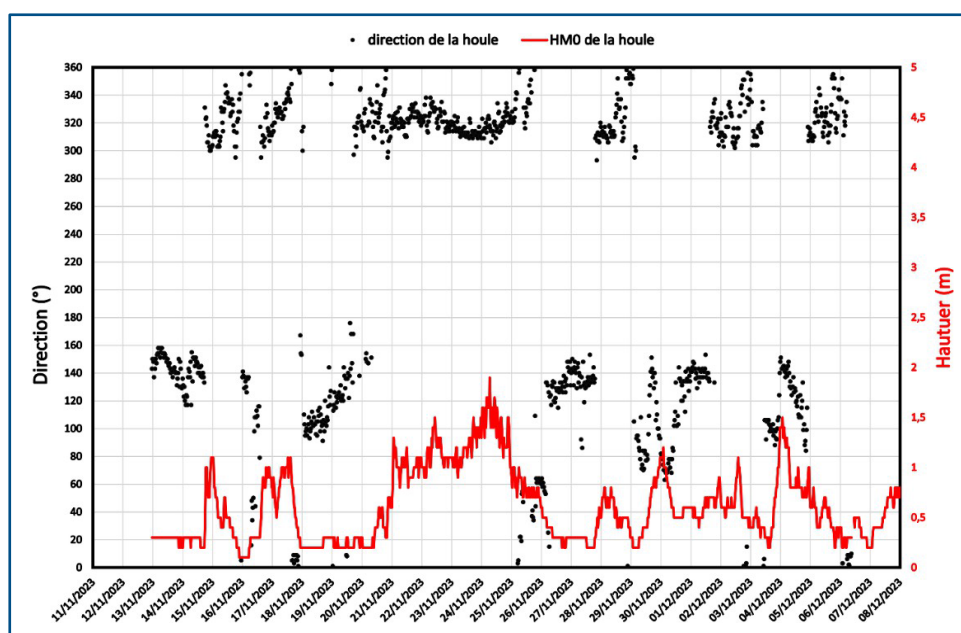


Figure 11 : Évolutions de la direction et de la hauteur de la houle au niveau de Leucate



6.4. Mesures de courant-station sud

6.4.1. Contrôle qualité

La qualité des mesures de l'ADCP dépend de l'inclinaison de l'instrument durant la période de mesure. S'il est trop incliné, les faisceaux ne mesurent pas les vitesses dans la même couche d'eau et l'hypothèse d'homogénéité des courants entre les faisceaux, indispensable à la transformation des vitesses de coordonnées faisceaux en coordonnées terrestres ne pourrait être valable.

La **Figure 12** montre l'évolution de l'inclinaison du courantomètre, *i.e.* **le pitch (tangage) et le roll** (roulis) de l'ADCP au cours de la campagne. Le tangage et le roulis sont compris entre 0° et 15°, ce qui est conforme aux recommandations constructeur pour la validité des mesures. Le maximum du pitch et du roll est atteint le 19/11 pour des valeurs respectives de 15 et -15°, dues au mouvement de l'ADCP généré par l'inclinaison de la ligne suite à un courant important.

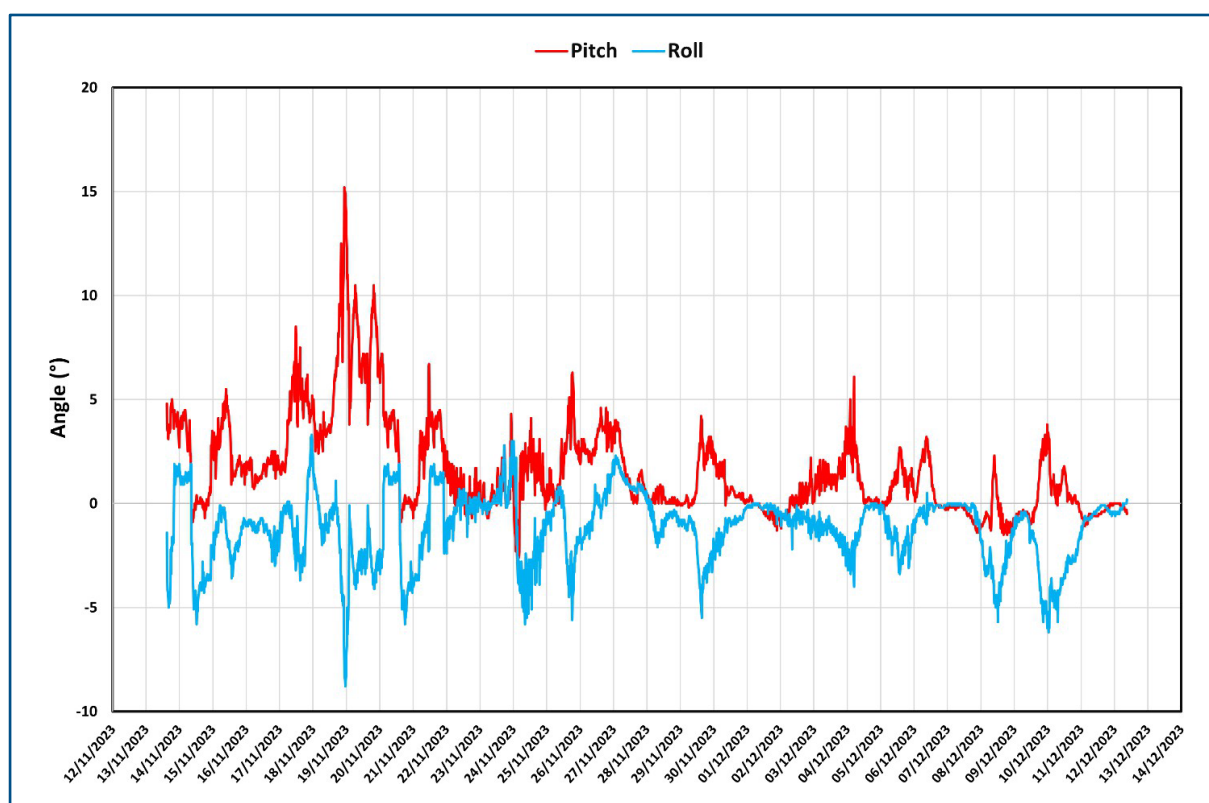


Figure 12 : valeur du pitch et roll de l'ADCP au cours de la campagne

6.4.2. Résultats

Le courantomètre est installé au niveau de la station T1 appelée station **Sud**, située au sud de la zone d'ancrage des éoliennes. La profondeur est de 62 m.

La **Figure 13** est une représentation du profil vertical de la direction et de la vitesse du courant durant la période d'acquisition. L'ordonnée représente la profondeur et l'abscisse le temps. Le graphique présente la direction (figure du haut) et la vitesse (figure du bas).



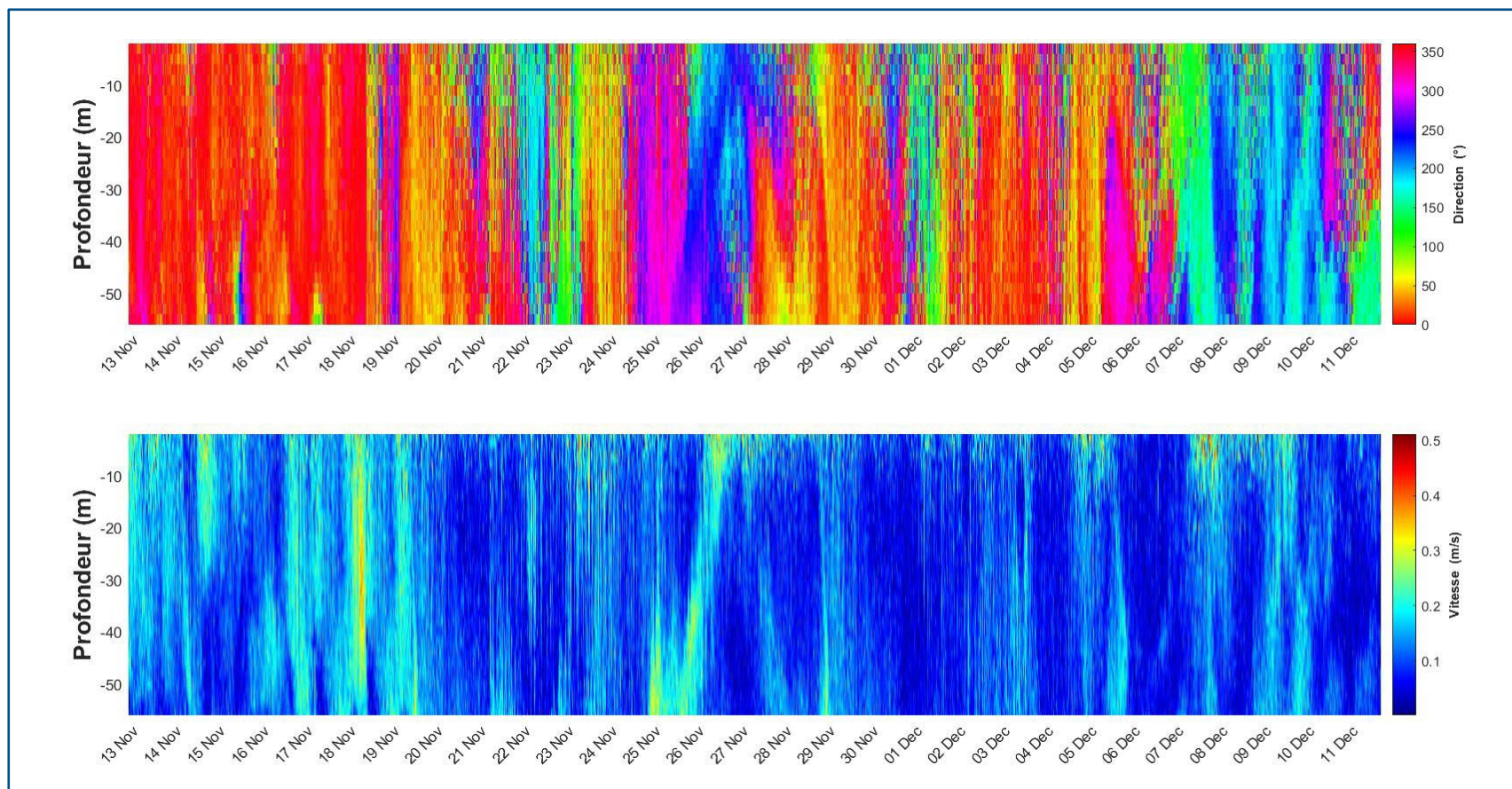


Figure 13 : Profils de la direction et de l'intensité du courant à la station Sud



Les courants sont globalement inférieurs à 0.3 m/s avec une direction générale vers le Nord-Nord-Est/Sud- Sud-Ouest comme le montrent sur les figures ci-après des roses de direction des courants en surface et au fond. La position des stations de mesure est donc cohérente avec l'hydrodynamique locale afin de détecter au mieux d'éventuels panaches turbides.

Durant une période de 5 à 6 jours, du 13/11 au 18/11, un fort courant est présent et dirigé vers le Nord. Ce courant allant vers le Nord est accompagné d'une vitesse élevée entre **0.2 et 0.3 m/s**, avec un pic maximal à 0.4 m/s le 18/11. Ensuite, un courant dirigé vers l'Ouest est observé à partir du 25/11 durant 2 jours, celui-ci débute du fond puis se propage jusqu'à la surface. Il apparaît après le long épisode de Tramontane de 5 jours (20/11 – 25/11).

À partir du 28/11, les courants présentent de nouveau une tendance générale vers le Nord-Nord-Ouest jusqu'au 06/12 avec ponctuellement un courant d'Est le 01/12. À la fin de la campagne, les courants ont principalement une direction Sud.

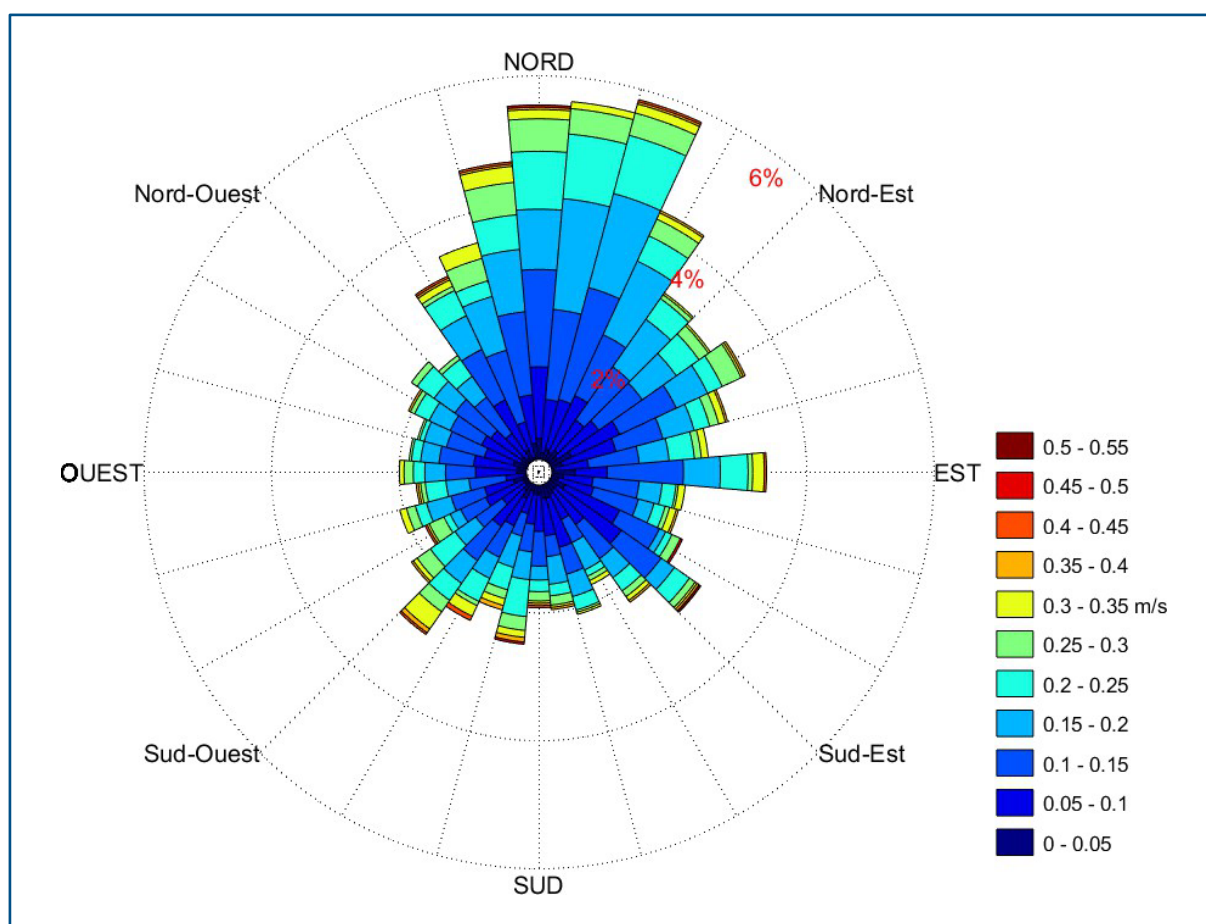


Figure 14 : Distribution des courants de surface à la station Sud



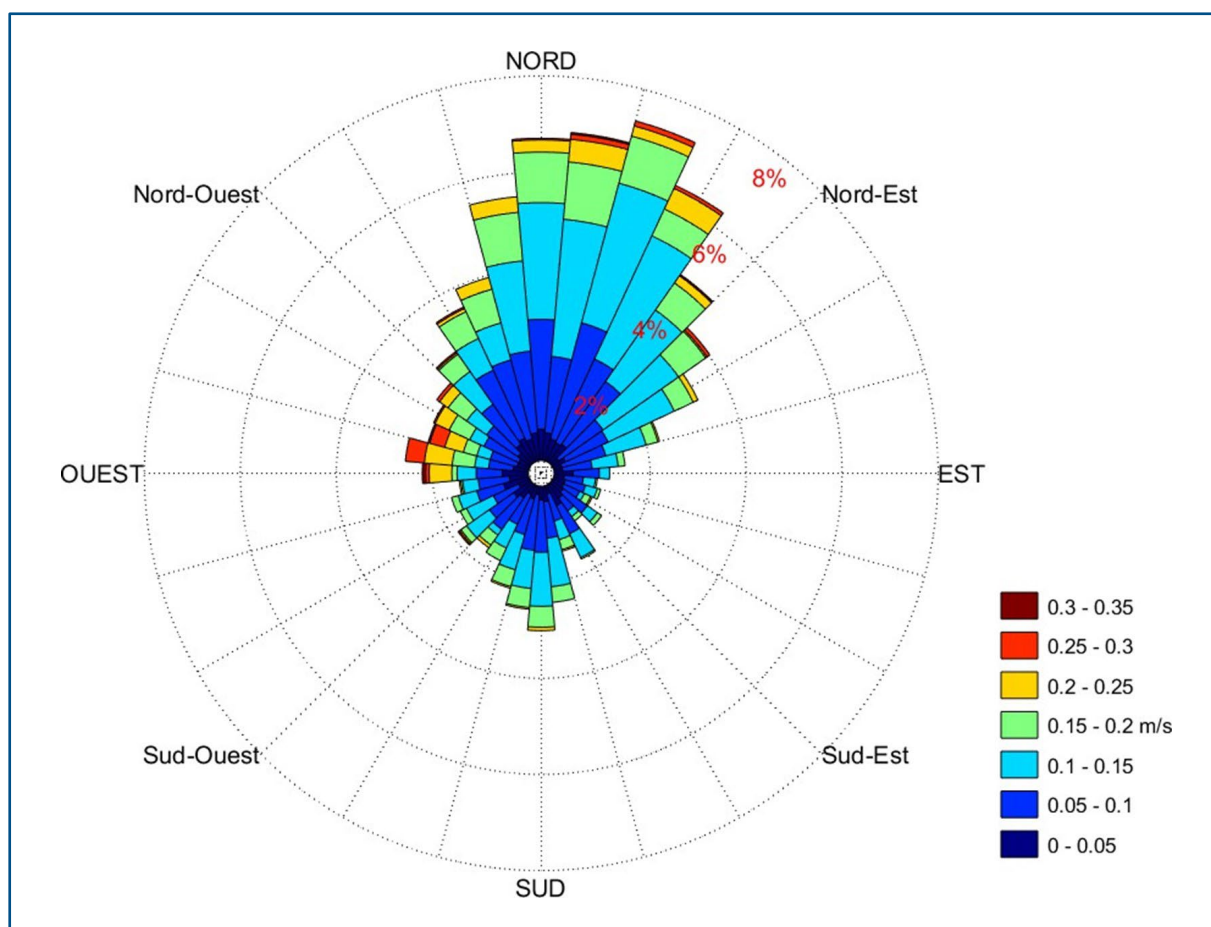


Figure 15 : Distribution des courants du fond à la station Sud

La **Figure 16** représente le déplacement d'une particule fictive calculé à partir du courant de la station sud pour les profondeurs **2 m, 18 m, 34 m et 50 m au-dessus du fond**. Les déplacements se font majoritairement vers le Nord. Quelques déplacements vers l'Ouest et l'Est sont observés. Très peu de différences s'observent entre les différentes profondeurs. Les particules prennent une trajectoire commune en direction du Nord du début de la campagne (13/11) jusqu'au 19/11. Le choix de localisation des stations au Nord et au Sud de la zone d'étude pour étudier d'éventuels panaches turbides est donc pertinent au regard du déplacement particulaire. Durant cette période, les particules auraient pu se déplacer de 50 km en 6 jours. Ensuite, elles dévient vers l'Ouest. Seule celles à la surface dévient vers l'Est. Suivant ces résultats, un panache de matière en suspension généré par les travaux en EFG1-ML1 peut atteindre la sonde en station Nord située à 2.45 km, en seulement 8 heures. Et si le panache était généré à l'ancre la plus proche soit environ 300 m, il atteindrait la station Nord en environ 1 heure.



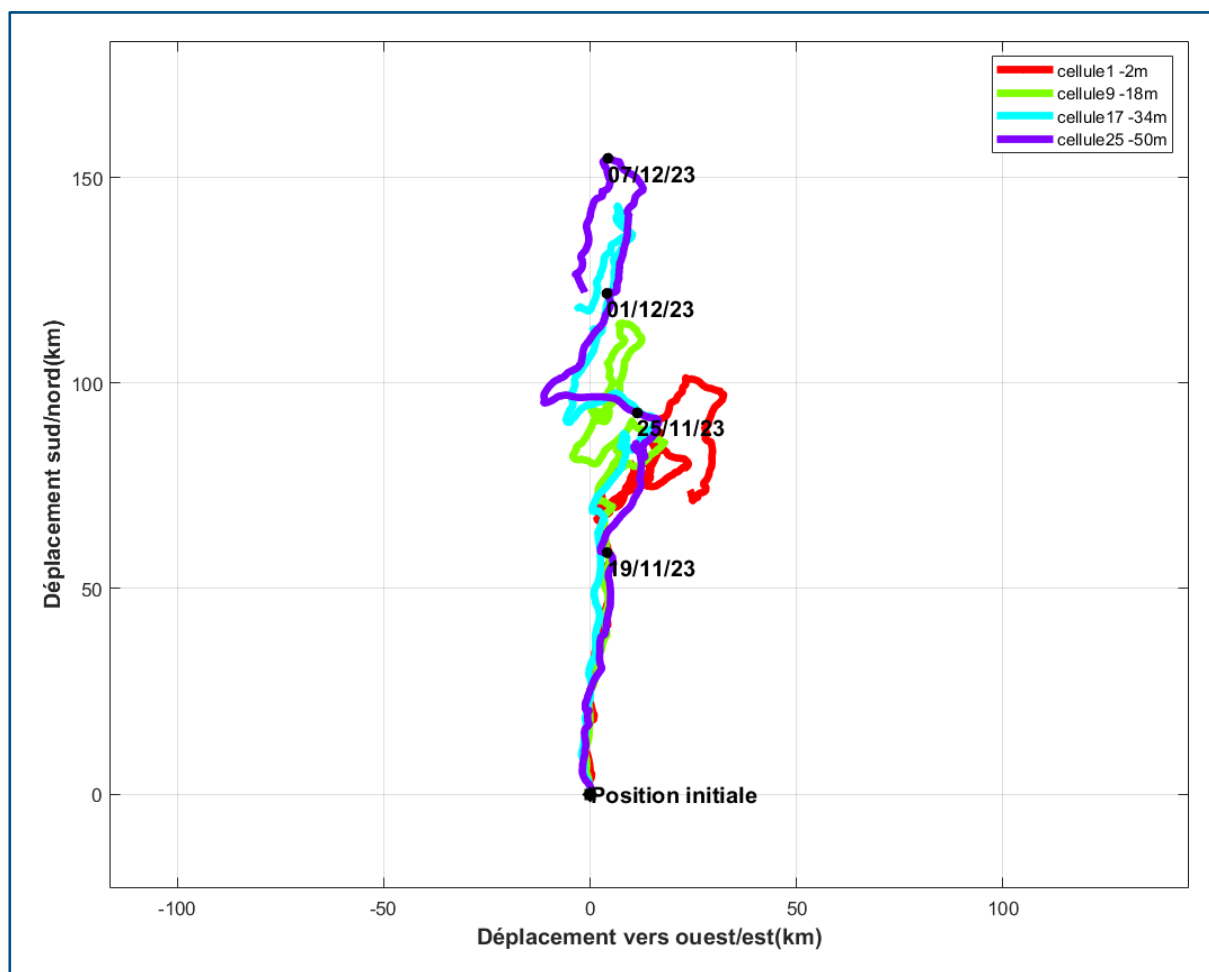


Figure 16 : Hodographe représentant le déplacement d'une particule à partir des mesures de courant en station Sud

L'évolution de la vitesse et de la direction du courant à trois profondeurs différentes, respectivement surface, milieu et fond est représentée sur les figures en annexe. Le corrélogramme des combinaisons de la vitesse et de la direction pour la station Sud à trois profondeurs différentes, respectivement surface, milieu et fond est également présenté en annexe.

Les corrélogrammes confirment la direction des courants dominants comme observée sur le profil.

Une grande proportion des courants est concentrée autour de la direction 0° pour la totalité de la colonne d'eau. Cependant, en surface, le courant n'est pas totalement uniforme. Le courant reste majoritairement dans la direction Nord, mais s'étale autour de celle-ci. La vitesse du courant en surface est globalement plus élevée qu'en profondeur. En surface, **42 %** des courants sont supérieurs à **0.15 m.s-1** alors qu'en milieu et au fond le pourcentage respectif est de **18.8 %** et **20.4 %**.

La direction en surface est beaucoup plus éparse comme cela est observé sur le profil et également sur le corrélogramme de la surface. De plus, en surface, la vitesse présente une variabilité importante alors qu'en profondeur cette variabilité est plus faible.



Les deux épisodes de **Tramontane** les plus longs et violents (20/11-25/11 et 01/12-04/12) n'ont pas de réel impact sur la vitesse, mais plus sur la direction du courant. En effet, lors de ces deux épisodes de **Tramontane**, la direction habituellement vers le **Nord** change vers une direction entre **Est** et **Sud-Est**. En surface, ce vent provoque une dispersion des directions. En profondeur, la direction change de manière décroissante et régulière en une direction de 100° au milieu et au fond. Le début du changement de direction débute avec un retard de quelques heures par rapport au déclenchement des épisodes de **Tramontane** les plus violents.

Un courant de Sud-Ouest est observé dans la nuit du **25/11** ; il débute au fond par une nette augmentation de la vitesse avec un pic supérieur à 0.3 m/s, accompagné d'un changement brusque de la direction du **Nord** vers le **Sud-Ouest**. Cet épisode (25/11) se ressent jusqu'à la surface. Cependant, le second du 09/12 n'est qu'observable qu'au milieu et au fond de la colonne d'eau.



7. Mesures hydrologiques - stations sud et nord

Les mesures hydrologiques ont été acquises par des sondes de pression, température, salinité, turbidité, déployées à proximité du fond aux deux stations et par une sonde supplémentaire en milieu de colonne d'eau à la station **Sud**.

7.1. Mesures de pression

La **Figure 17** représente l'évolution de la pression mesurée par les sondes CTD aux deux stations durant la campagne. La pression reste **constante** durant toute la campagne. Une variation mineure s'observe le 19/11 sur toutes les sondes. Cette variation peu importante est expliquée par un fort courant induisant une inclinaison de la ligne de mouillage. Cette inclinaison a induit une modification temporaire de la profondeur de la sonde.

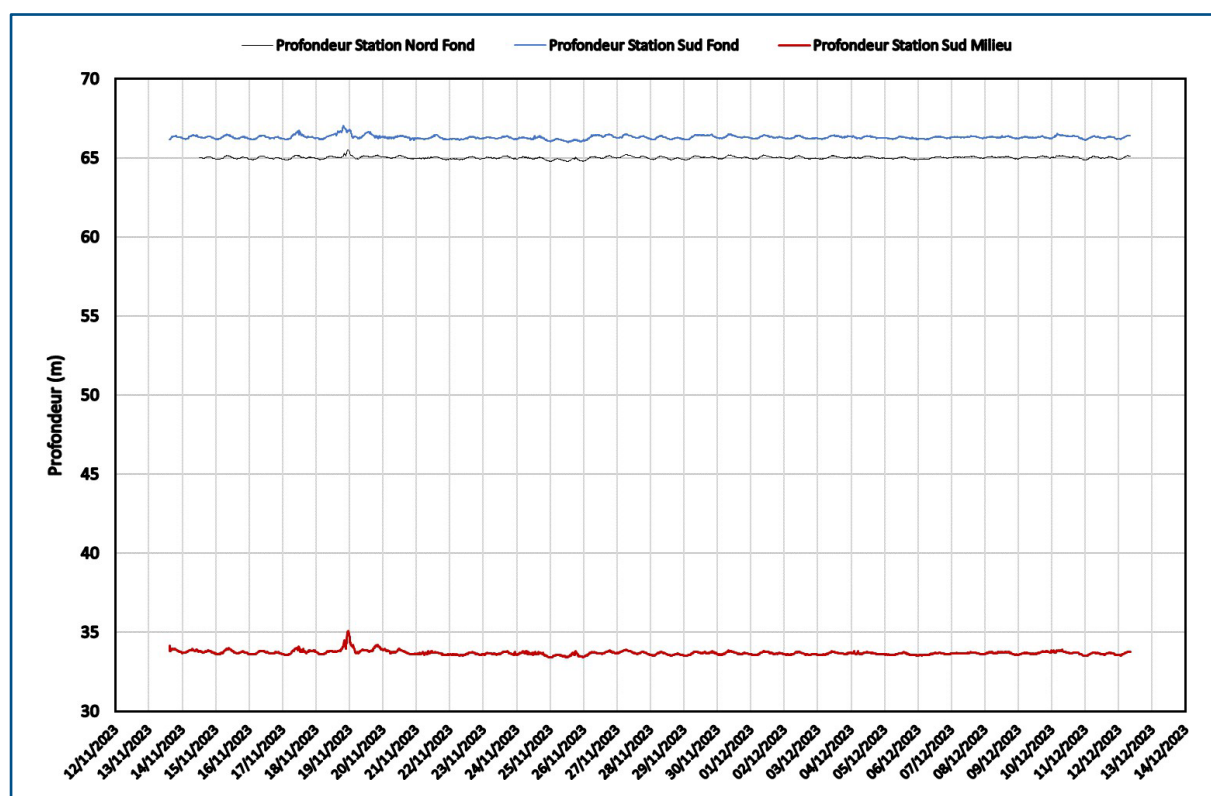


Figure 17 : Évolution de la pression aux stations Sud (fond et milieu) et Nord (fond)



7.2. TEMPERATURE

La figure suivante représente le suivi de la température pour les stations **Sud et Nord**. L'évolution de la température générale décroît globalement pour toutes les sondes durant la campagne. La température mesurée par la sonde à la station Sud en milieu de colonne d'eau est plus élevée que celles mesurées par les stations installées au fond ; la colonne d'eau est stratifiée en température au début de la campagne. Ensuite pour les sondes du fond, la température évolue en deux phases. Une première phase d'évolution avec d'importantes variations est présente. Cette période instable est déjà présente au moment de l'installation et se finit le 22/11. Durant cette période, la température augmente passant d'une température initiale de 14,5 °C à 16,5°C après le 22/11. La température au niveau des sondes fond et milieu évolue conjointement, la colonne d'eau étant plus homogène. Mais la température au fond reste majoritairement inférieure à celle du milieu.

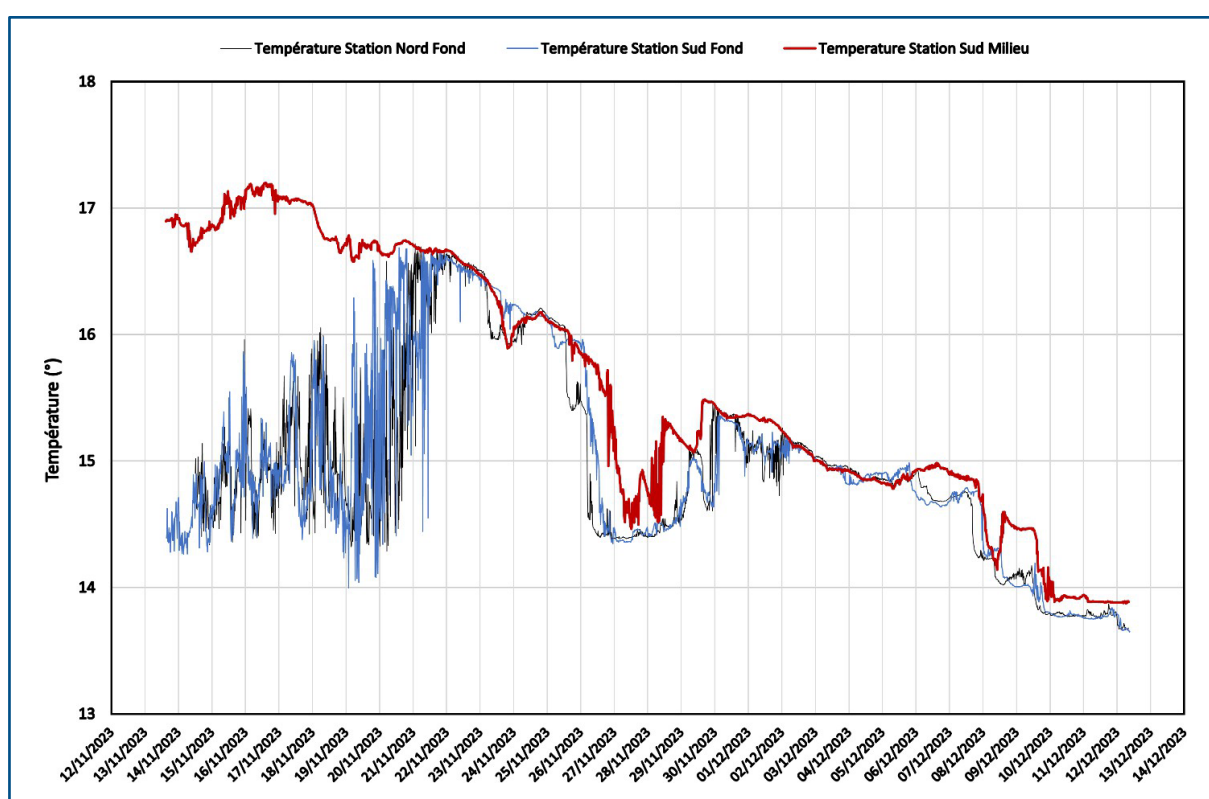
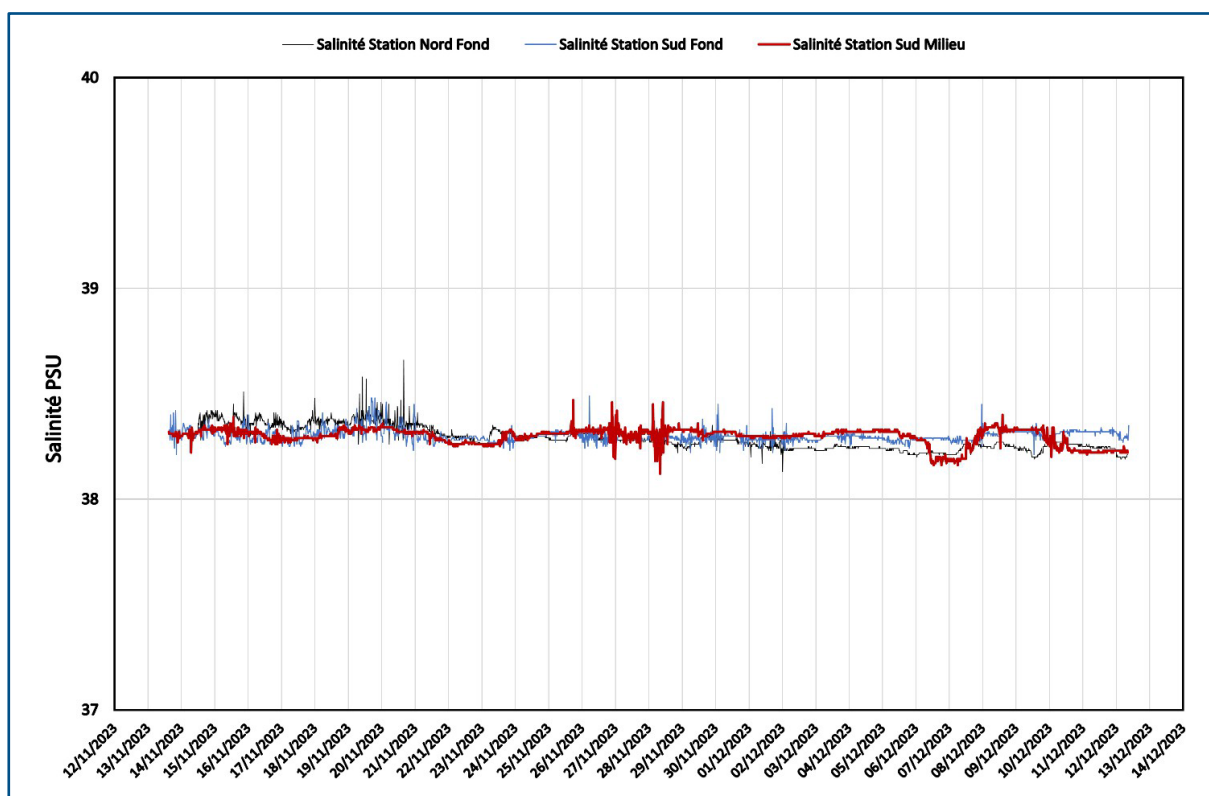


Figure 18 : Évolution de la température de l'eau au niveau du fond et milieu au Sud et au fond au Nord



7.3. Salinité

La **Figure 19** représente l'évolution de la salinité pour les stations Sud et Nord. L'évolution de la salinité des stations n'a pas de variation particulière, elle est relativement constante et oscille plus ou moins autour d'une valeur de 38.3 PSU. La salinité du fond en station Sud a une variabilité légèrement plus importante. Cette variation est temporaire, elle est conjointe avec la période instable de la température. Cette instabilité commune entre la salinité et la température pourrait être due à



une présence de différentes masses d'eau entre le fond et le milieu.

Figure 19 : Évolution de la salinité des stations Nord et Sud



7.4. Turbidité

7.4.1. Généralités

La turbidité constitue l'un des paramètres physiques descriptifs de la colonne d'eau. On entend ici par « turbidité » l'obstruction à la pénétration de la lumière dans l'eau, due à la présence de particules solides en suspension dans l'eau. La mesure de turbidité se fait de manière indirecte, au moyen de capteurs optiques. La mesure obtenue, exprimée en unités normalisées – le plus communément Nephelometric Turbidity Unit (NTU) ou Formazin Nephelometric Unit (FNU) –, ne peut être transformée en grammes par litre qu'à la suite d'une calibration qui requiert systématiquement des prélèvements d'eau in situ (Cayocca F., 2012).

Il est à noter que la mesure de turbidité dépend de la concentration, de la taille, de la forme et de l'indice de réfraction des particules ainsi que de la longueur d'onde de la lumière incidente. Une eau peut paraître chargée en sédiment tout en ayant une valeur de turbidité relative faible. La gamme de turbidité dans les eaux naturelles, exprimées en unités de turbidité néphélométriques (NTU) peut aller de moins de 0,1 NTU dans certaines eaux du large à plusieurs dizaines, voire centaines de NTU dans les estuaires. La gamme de variation couvre 0 à 4000 NTU pour les sondes utilisées dans ce projet. Cette gamme est illustrée visuellement ci-après. Il s'agit d'une gamme de variation très large. Des valeurs de turbidité inférieures à 10 NTU correspondent à des eaux claires à très claires, très peu chargées en matières en suspension.

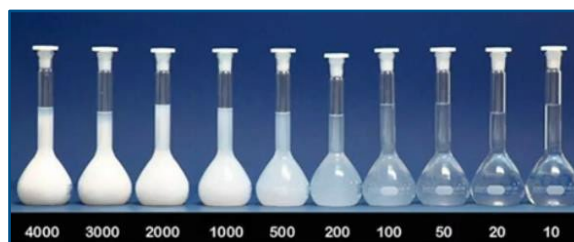


Figure 20 : Illustration de la gamme de variation de la turbidité

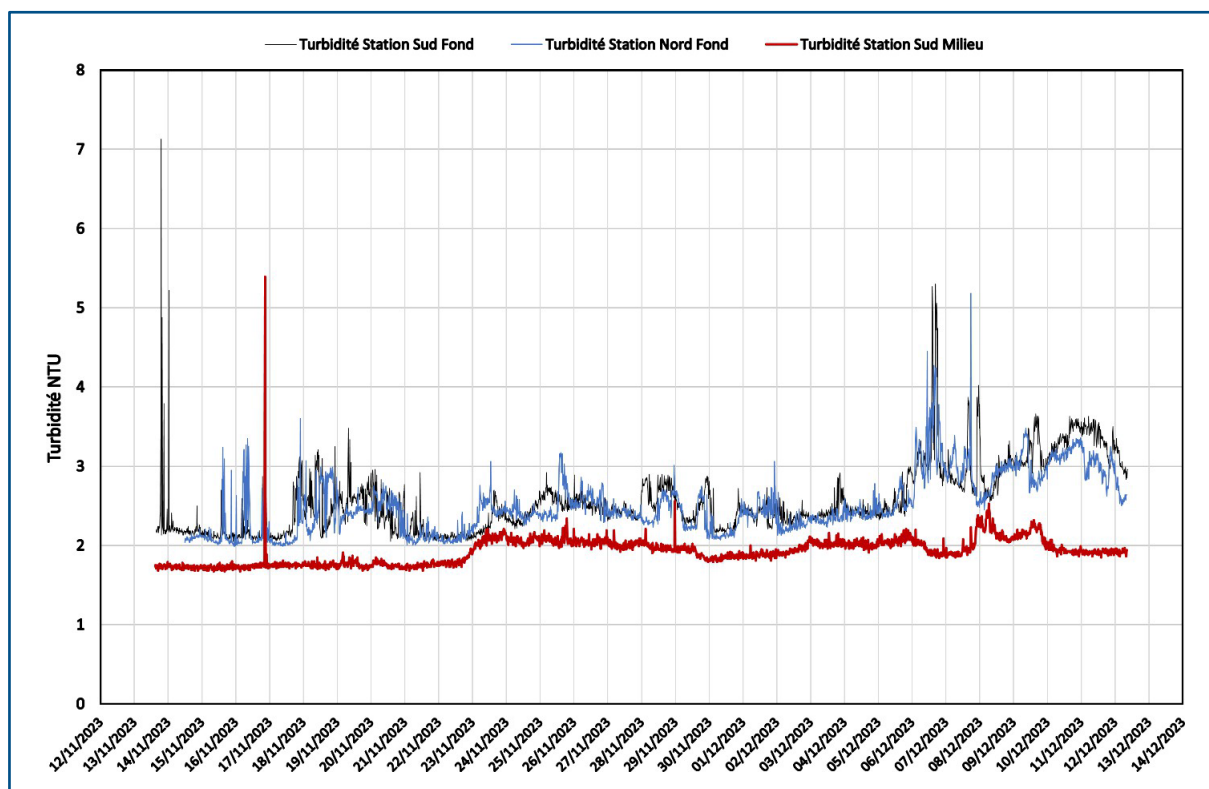
À titre de comparaison, des mesures de turbidité réalisées par 28 m de fond à 3 km de Canet-en-Roussillon montrent une gamme de variation allant de quelques NTU à plus de 150 NTU, durant l'année 2018, variations liées notamment à des épisodes de houle remettant en suspension les sédiments marins. ([Bourrin, 2019](#)). Le Parc naturel marin du golfe du Lion indique dans son plan de gestion (Plan de gestion du Parc naturel marin du golfe du Lion soumis au Conseil d'administration de l'Agence des aires marines protégées – version 1.21) que l'indicateur « Qualité d'eau » prend en compte, entre autres paramètres, la turbidité, avec une métrique bleu associée à des valeurs inférieures à 5 NTU, une métrique verte pour des turbidité comprises entre 5 et 10 NTU et une métrique jaune pour des eaux de turbidité supérieure à 10 NTU.

La **Figure 21** montre l'évolution de la turbidité du 13/11/2023 au 12/12/2023 mesurée au niveau des points de mesure. La turbidité est relativement faible, inférieure à 5 NTU pendant toute la durée de la campagne, hormis quelques épisodes ponctuels durant lesquels elle est comprise entre 5 et 10 NTU, qui sont étudiées ci-après. De manière générale, l'indicateur de qualité d'eau basée sur la mesure de la turbidité correspond à une métrique bleue voire verte au niveau de ce site. La turbidité aux deux stations au fond a le même ordre de grandeur et subit les mêmes variations. La



turbidité au milieu de la station Sud est plus faible que celles mesurées par les deux stations au fond (de l'ordre de 0.5 NTU plus faible que celle au fond en station Sud) et elle montre moins de variation.

Le maximum mesuré est de 7.1 NTU au fond de la station Sud le 13/11, 4 h après le déploiement des instruments. Ce pic n'est donc pas lié au panache généré lors de l'installation de ceux-ci. Quant à elle, la sonde au fond de la station Nord n'était pas encore lancée et n'a pas pu mesurer ce pic. L'origine de cette variation n'a pas été identifiée. Le valeur maximale mesurée en Station Sud milieu est de 5.4 NTU le 16/11. Les mesures de turbidité à ce moment-là aux stations Nord et Sud fond



sont respectivement de 3.6 et 2.9 NTU.

Figure 21 : Évolution de la turbidité aux trois stations durant la campagne

La figure ci-dessous illustre les caractéristiques statistiques des 3 séries temporelles de turbidité sous forme de boîtes de Tukey. La ligne centrale dans la boîte indique la médiane des données. Le bas et le haut de la boîte montrent les 25^e et 75^e quantiles. Les lignes en pointillés qui s'étendent de la boîte représentent les valeurs de données minimales et maximales. Les séries temporelles du fond présentent des boîtes de Tukey très similaires. La série temporelle en milieu de colonne d'eau présente une série avec une plus faible valeur médiane et une plus faible variabilité, comme le montre la longueur de la boîte, plus faible que pour les deux autres stations.



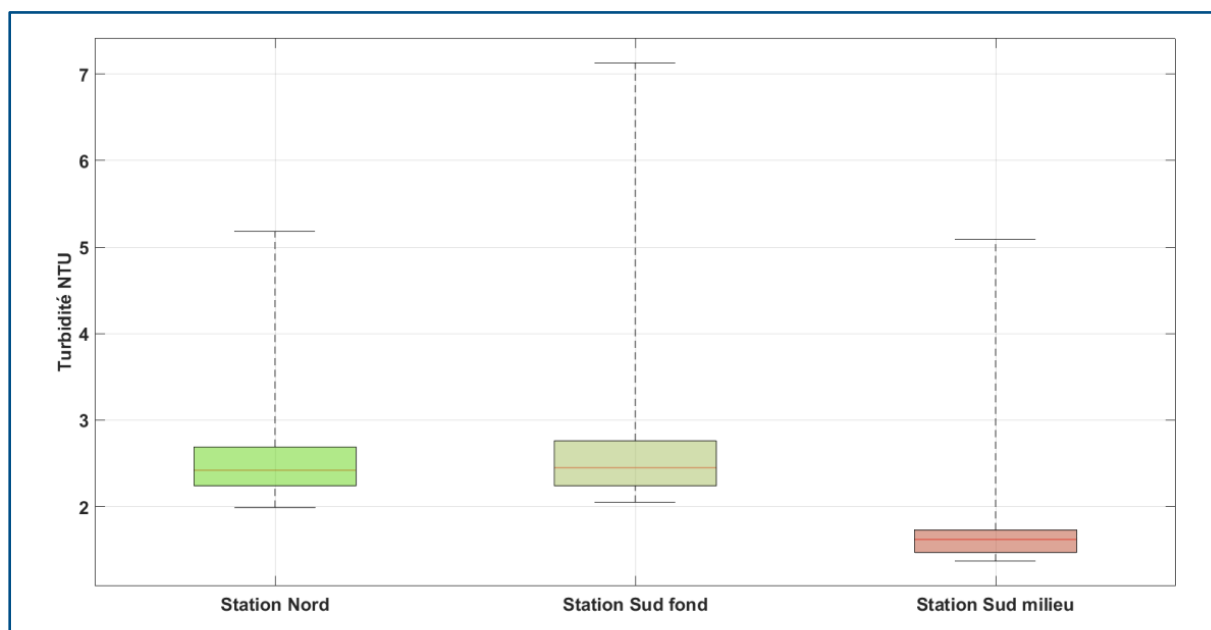


Figure 22 : Boîte à moustache de la turbidité des trois stations

7.4.2. Période avant-travaux

Cette période avant-travaux s'étend du 13 novembre au 18 novembre inclus. La **Figure 23** représente l'évolution de la turbidité des stations Nord et Sud. En bleu sont indiquées les périodes d'inspections par ROV des stations où sont installés les instruments. La zone verte correspond aux périodes d'inspection préalable des zones d'installation des ancres par ROV.

Avant le 17 novembre, quelques variations ponctuelles sont observées notamment au fond. Elles sont de l'ordre de 1 à 2 NTU. Une variation légèrement plus importante est observée en milieu de colonne d'eau le 13 novembre en fin de journée et le 16 novembre après midi, sans lien avec l'installation des stations de mesure ou les inspections des zones d'ancrage. Cette augmentation n'est pas visible en profondeur.

Des variations de turbidité sont observées à partir du 17 novembre vers 15 h, avant le début des inspections et cela aux deux stations au fond. Cela pourrait être dû au courant de fond qui est légèrement plus important à partir de cette date.

Lors des inspections des lignes instrumentées, il est à noter une augmentation de turbidité très ponctuelle de 1 NTU.

La gamme de variation durant cette période avant-travaux de 6 jours, certes courte, permet toutefois de caractériser la gamme de variabilité naturelle de la turbidité durant cette période de l'année.



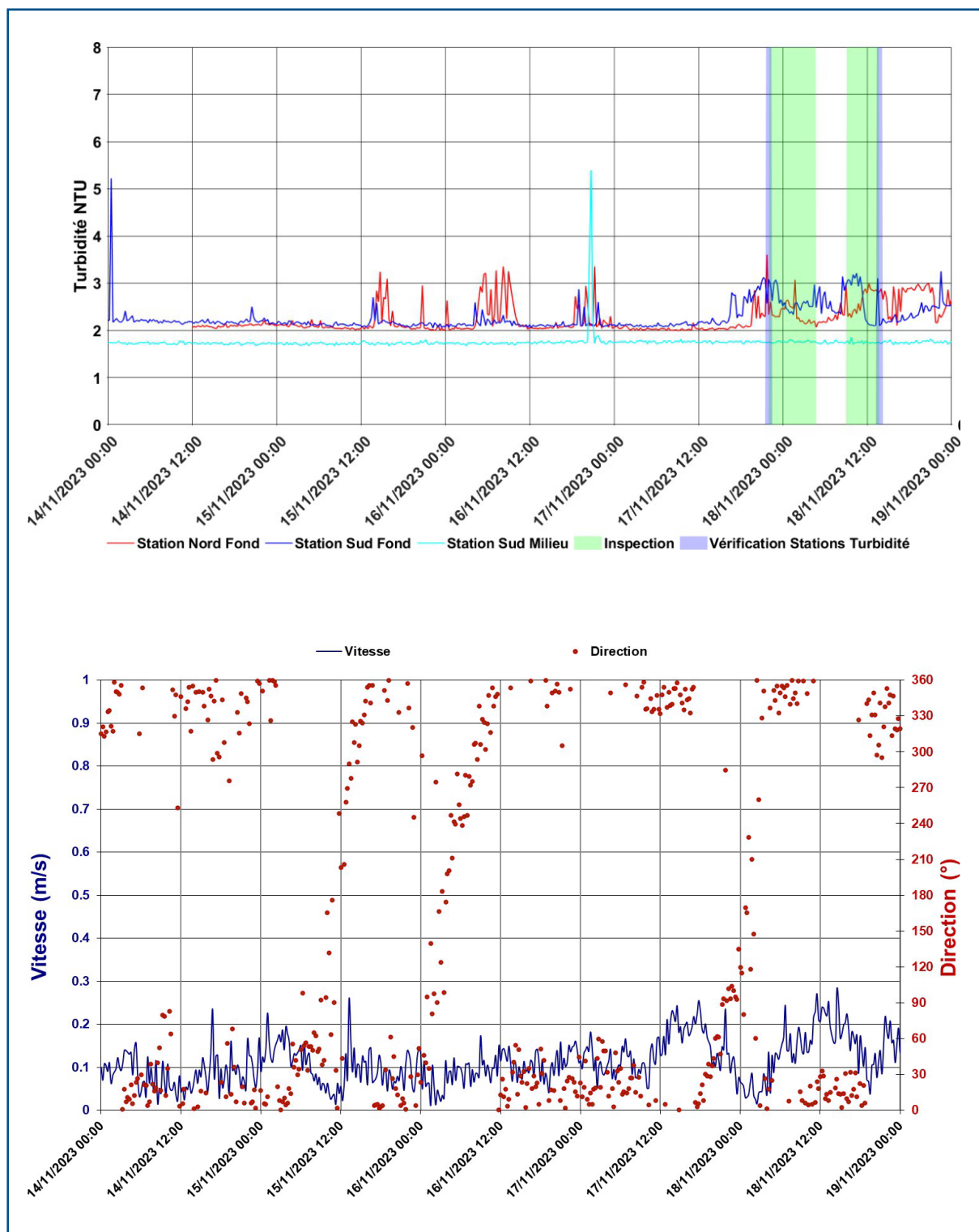


Figure 23: Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 14 au 19 novembre



7.4.3. Période pendant les travaux – 19 au 27 novembre

Du fait de la faible variabilité de la turbidité observée au niveau des deux stations de suivi, l'étude des opérations au niveau des ancrages les plus proches des stations a été privilégiée. La position des ancrages est rappelée ci-après ainsi que les distances des ancrages à chacune des deux stations de suivi de la turbidité. Les ancrages les plus proches des stations de suivi sont les ancrages EFG1-ML1 pour la station Sud et EFG3-ML2, EFG3-ML3 et EFG2-ML2 pour la station Nord.

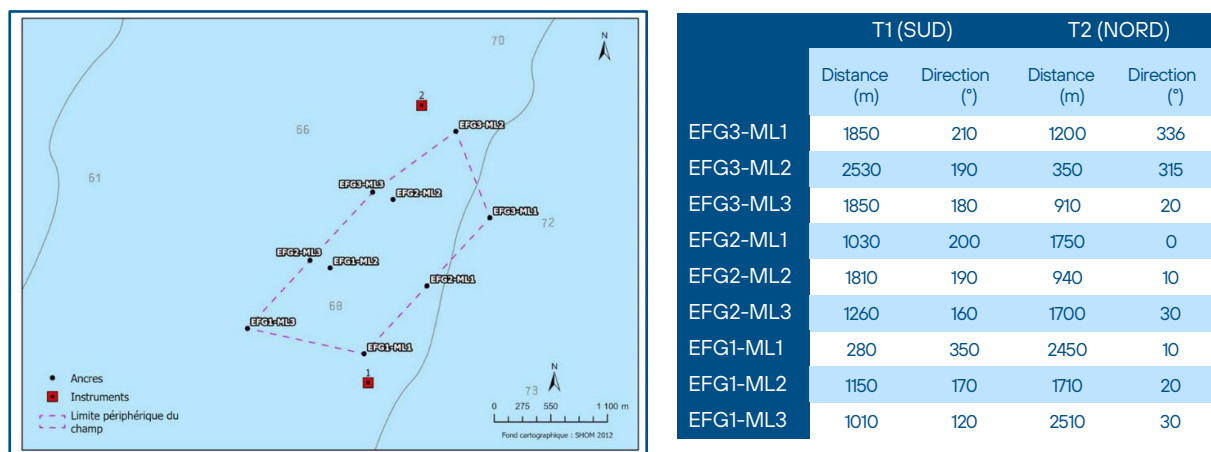


Figure 24 : Localisation des stations et distance entre les ancrages et les stations

Seules les opérations au niveau des ancrages les plus proches, *i.e.* EFG1-ML1 pour la station Sud et EFG3-ML2, EFG3-ML3 et EFG2-ML2 pour la station Nord ont été listées dans le tableau ci-après pour la période du 19 au 27 novembre inclus. La direction et l'intensité des courants durant chaque période d'intervention sont également précisées.

Tableau 8: Liste des travaux entre le 19 et le 27 novembre au niveau des ancrages EFG1-ML1, EFG2-ML2, EFG3-ML2, EFG3-ML3

DATE ET HEURE	LIEU	DÉTAIL	INFORMATION SUR LE COURANT
19/11 de 2h à 24h	EFG1-ML1	<ul style="list-style-type: none"> Déploiement de l'ancre et du ROV Orientation de l'ancre Mise sous tension, ancre installée Vérification par ROV 	Courant de Nord le matin assez faible puis Ouest plus intense l'après midi
21/11 20h30 – 22h30	EFG3-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Déploiement de l'ancre et du ROV Orientation de l'ancre 	Courant de Nord-Est de 0.1m/s en moyenne
21/11 23h – 22/11-1h	EFG2-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Déploiement de l'ancre et du ROV Orientation de l'ancre 	Courant de Nord-Ouest de 0.15m/s
22/11 10h15-12h30	EFG3-ML3	<ul style="list-style-type: none"> Déploiement de l'ancre et du ROV Orientation de l'ancre 	Courant de Nord-Ouest de 0.15m/s
25/11 16h00 – 19h15	EFG3-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Mise sous tension : l'ancre ne tient pas (545m parcouru) 	Courant d'Ouest de 0.2m/s
26/11 3h15-5h45	EFG3-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Récupération de l'ancre 	Courant d'Ouest de 0.2m/s
26/11 7h00-13h	EFG2-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Mise sous tension, ancre installée 	Courant d'Ouest de 0.2m/s
26/11 15h30- 27/11 00h30	EFG3-ML2	<ul style="list-style-type: none"> Mise sous tension, ancre installée 	Courant de Sud-Ouest de 0.1m/s
27/11 01h30 – 05h30	EFG3-ML3	<ul style="list-style-type: none"> Mise sous tension, ancre installée 	Courant de Sud-Ouest de 0.1m/s



La **Figure 25** présente l'évolution de la turbidité aux trois stations, les travaux au niveau des ancres prises en considération ainsi que le courant durant la période du 19 au 28 novembre. Une augmentation faible de la turbidité à la station Sud Fond est visible dans la matinée du 19 novembre, lorsque des travaux ont lieu au niveau de l'ancre EFG1-ML1, ancre la plus proche de cette station et située à 280 m. Cependant les courants sont de direction Nord-Ouest à Nord-Est et le panache éventuellement généré par ces travaux ne devrait pas être visible à cette station. Il est donc peu probable que les travaux soient à l'origine de ce pic.

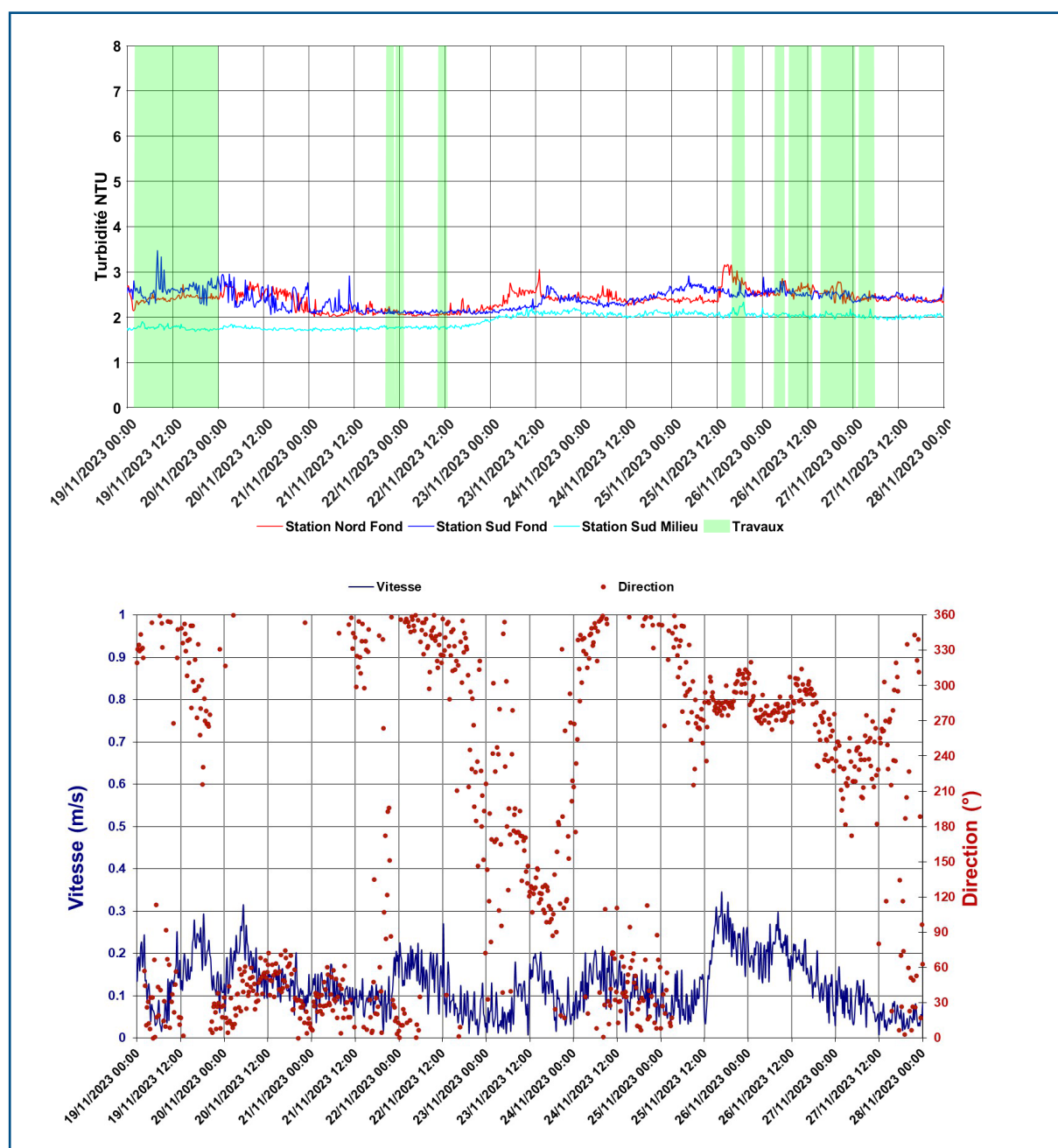


Figure 25: Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 19 au 28 novembre



Ensuite, au cours des épisodes de travaux suivants, aucune augmentation pertinente de la turbidité ne semble être observée. En effet, l'augmentation observée dans l'après-midi du 25 novembre au niveau de la station Nord commence avant que les travaux sur l'ancre EFG3-ML2, située à 350 m de la station Nord débutent.

7.4.4. Période pendant les travaux – 28 novembre au 5 décembre

Les travaux concernant les 4 ancres étudiées sur la période du 28 novembre au 5 décembre sont listés ci-dessous.

Tableau 9 : Liste des travaux entre le 28 novembre et le 5 décembre au niveau des ancres EFG1-ML1, EFG2-ML2, EFG3- ML2, EFG3-ML3

DATE ET HEURE	LIEU	DÉTAIL	INFORMATION SUR LE COURANT
29/11 de 2h à 12h30	EFG1-ML1	• Fin d'installation	Courant de Nord-Est de 0.1 m/s
30/11 05h45 – 20h45	EFG3-ML2	• Fin d'installation	Courant de Nord-Est de 0.1 m/s
30/11 21h15 – 01/12 08h	EFG2-ML2	• Fin d'installation	Courant de Nord de 0.1 m/s
04/12 05h-16h	EFG3-ML3	• Fin d'installation	Courant de Nord de plus de 0.1 m/s
04/12 17h15- 05/12 01h15	EFG2_ML2	• Fin d'installation	Courant de Nord de moins de 0.1 m/s

La **Figure 26** présente l'évolution de la turbidité aux trois stations, les travaux au niveau des ancres prises en considération ainsi que le courant durant la période du 28 novembre au 5 décembre. Lors des 5 périodes de travaux à proximité des ancres étudiées, aucune variation de la turbidité n'a été observée.



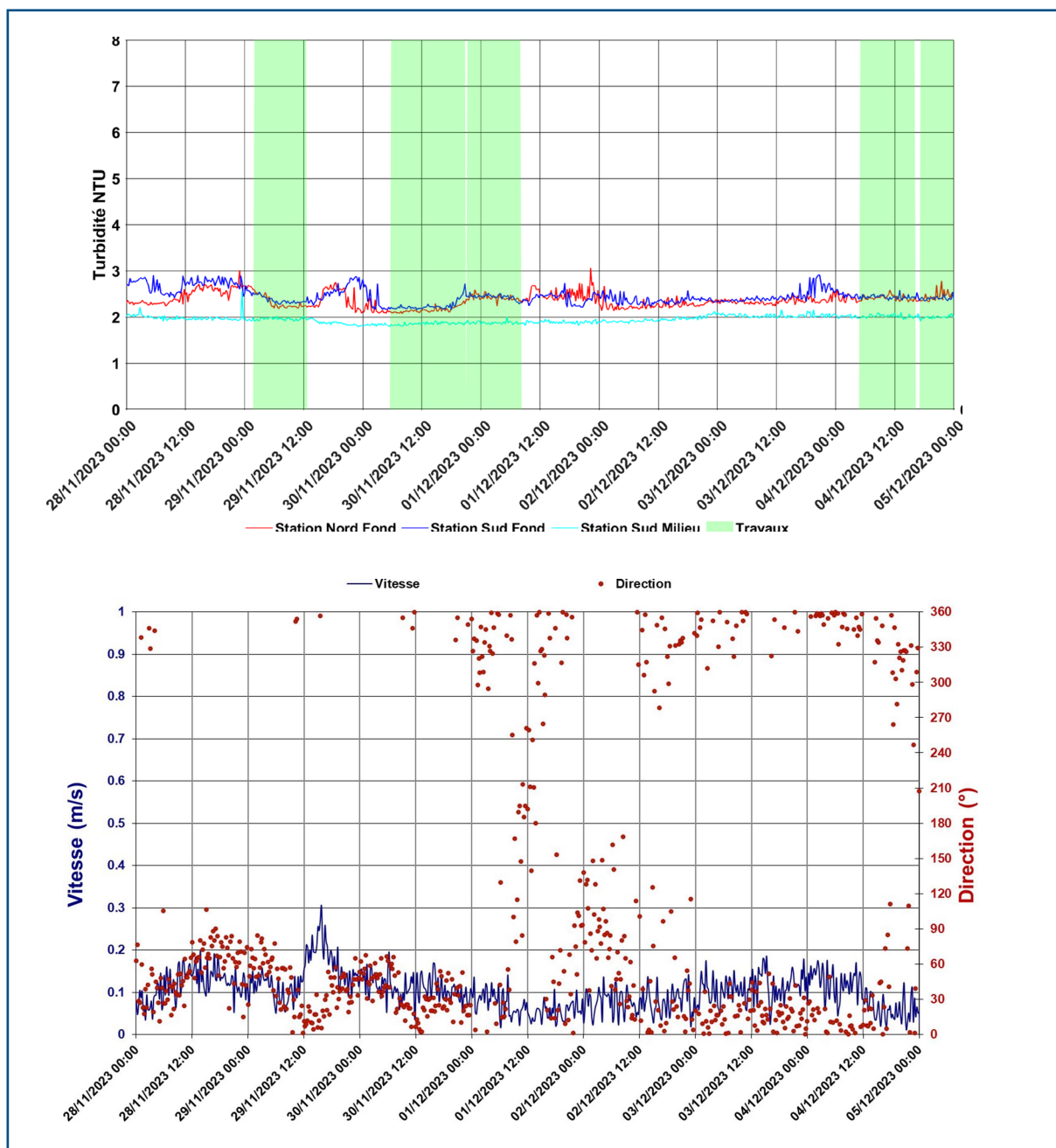


Figure 26 : Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 28 novembre au 5 décembre



7.4.5. Période après-travaux

Après la période après-travaux, à partir du 5 décembre, quelques variations de turbidité sont observées, notamment le 6 décembre. Ces variations ne semblent pas en lien avec l'intensité du courant.

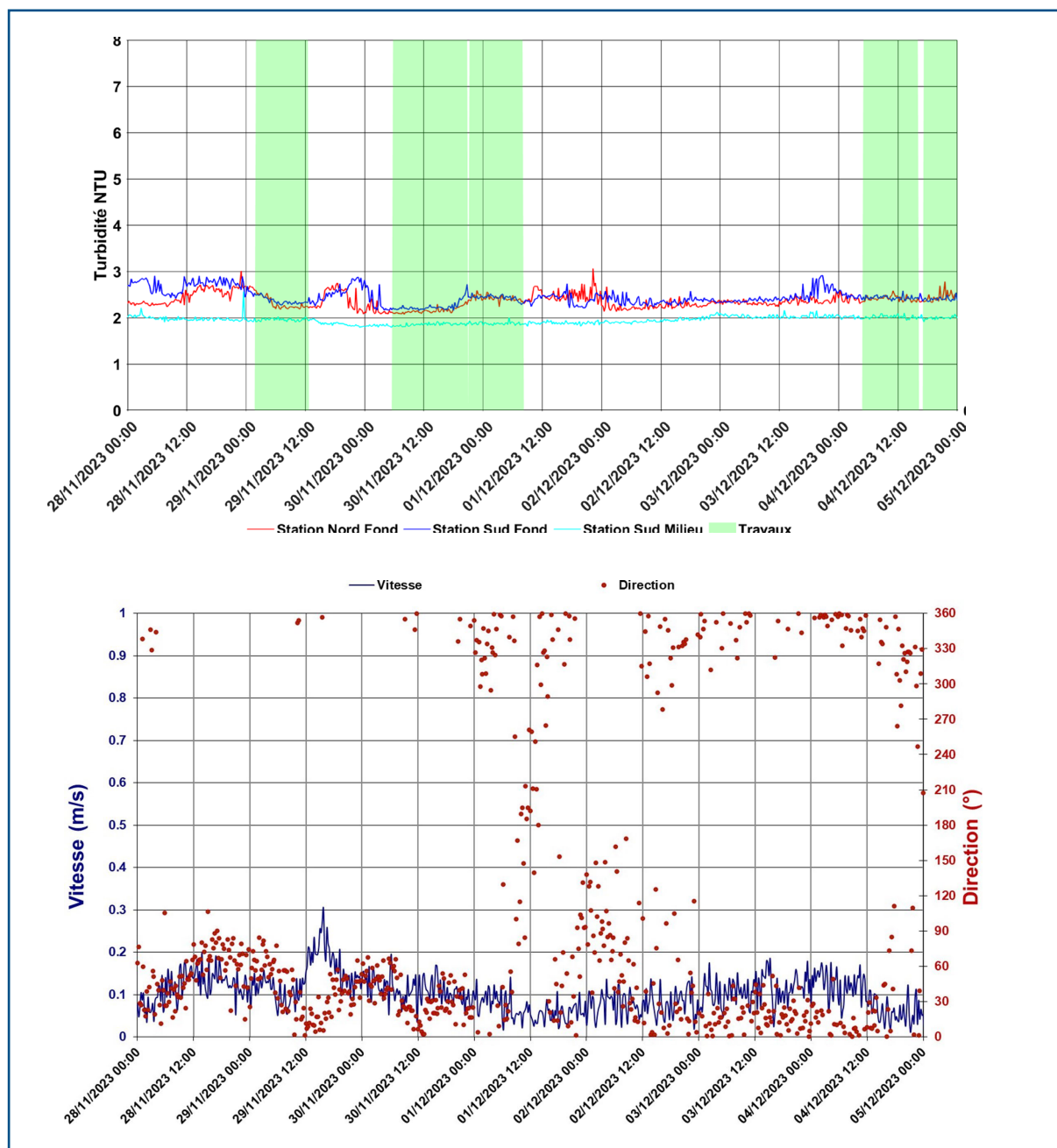


Figure 27: Évolution de la turbidité et des courants aux stations Sud et Nord du 5 au 12 décembre



8. Synthèse

Exail a été mandatée par la société LEFGL pour réaliser le suivi de la turbidité à proximité de la zone de travaux lors de la phase d'installation et d'exploitation de la ferme pilote éolien flottant EFGL. Cette étude a pour objectif d'étudier les panaches de sédiments générés durant la pose des ancres et des lignes d'ancrage des éoliennes (travaux les plus susceptibles d'augmenter la turbidité en phase d'installation) et durant l'exploitation des éoliennes (phase d'exploitation). Ce suivi est assuré par mesure des paramètres hydrologiques sur le site d'implantation des 3 éoliennes au large de Leucate durant 2 campagnes (phase d'installation et phase d'exploitation) de 1 mois et 4 mois respectivement.

Exail a effectué une première campagne de mesure au large de Leucate comportant des mesures de courant, de salinité, de température et de turbidité du 13 novembre au 12 décembre 2023, à l'occasion de la pose des 9 ancres et lignes d'ancrage du projet EFGL. Il est à noter que ces mesures sont uniquement représentatives de la période de novembre à décembre 2023.

Deux stations ont été instrumentées :

- la station située au Sud de la zone, avec un suivi de la turbidité au fond et à mi-profondeur et le suivi du courant sur toute la hauteur d'eau
- la station située au Nord de la zone, avec le suivi de la turbidité au fond

La localisation des stations, validée par le Comité de Suivi Technique du projet EFGL, a été déterminée en fonction de l'hydrodynamisme local avec des directions principalement Nord-Sud. Cela a été confirmé par les mesures de courant réalisées durant le suivi. La position des stations était donc pertinente pour l'étude d'éventuels panaches générés par l'installation des ancres.

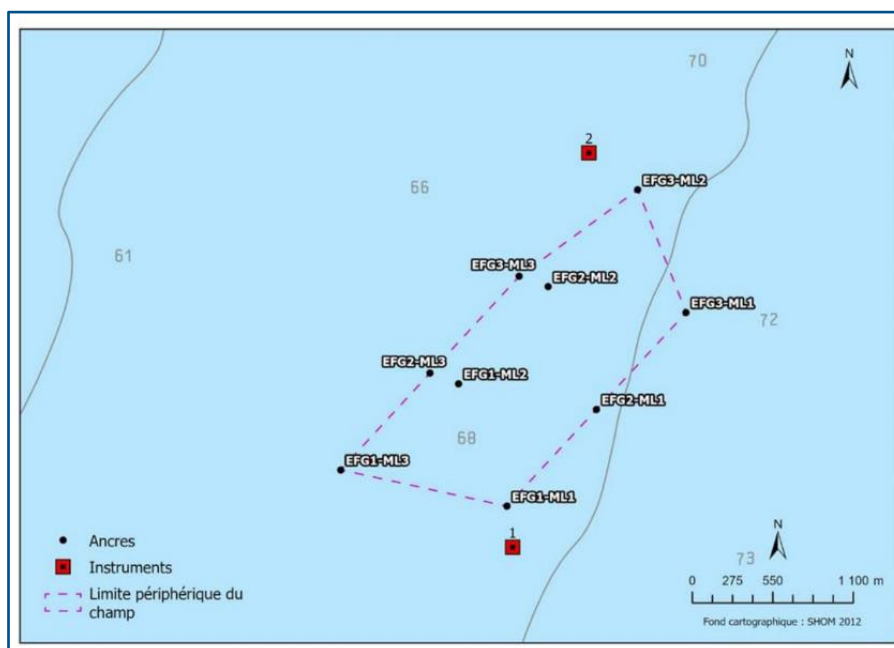
En station Sud :

- Au fond, un courantomètre mesure le courant sur toute la colonne d'eau. Une sonde multi-paramètre mesure la turbidité, la salinité, la profondeur et température.
- En milieu de colonne d'eau, une sonde multi-paramètre mesure la turbidité, la salinité, la profondeur et température.

En station Nord :

- Au fond, une sonde multi-paramètre mesure la turbidité, la salinité, la pression et température.





Aucun incident particulier n'est à déplorer. Aucune sonde n'a eu de dysfonctionnement.

Les données de vent issues de la station météorologique de MétéoFrance à Leucate montrent que, durant la campagne, les vents sont majoritairement de Nord-Ouest (Tramontane). Ces vents provenant du Nord-Ouest avec de fortes rafales pouvant atteindre 16 m/s (vent moyen sur 1 heure, mesuré à terre, pendant notre campagne). Le courant est quant à lui dirigé essentiellement vers le Nord. Lors d'épisodes de Tramontane, le courant à la surface dévie vers une direction entre Est et Sud-Est.

Ponctuellement le courant se dirige vers le Sud entre le 26 et le 28 novembre et à la fin de la campagne de mesures. La mesure de courant la plus élevée a été mesurée à la surface avec une vitesse de 0.51 m/s le 08/11/2023 durant une période de **Tramontane**.

L'évolution de la température a montré une diminution régulière liée à la saison. Quant à elle, la salinité est relativement stable. La colonne d'eau est stratifiée en début de campagne puis devient homogène à partir du 22 novembre.

La turbidité reste globalement très faible et stable durant la campagne, y compris durant la période des travaux. La turbidité des deux stations au fond évolue de manière similaire, autour de **2.5 NTU**. La turbidité en milieu de colonne d'eau à la station Sud est légèrement plus faible. Quelques pics sont présents, mais ne sont pas liés aux travaux. Une augmentation de 1 NTU est cependant observée lors des inspections des mouillages. **L'étude conclut donc à l'absence d'influence des travaux sur la turbidité de la zone.**



9. Bibliographie

- Allou A., Forget P., Devenon J., 2010. Submesoscale vortex structures at the entrance of the Gulf of Lions in the Northwestern Mediterranean Sea. *Cont. Shelf Res.* 30, 7, 724-732.
- Bourrin, J. 2019. Projet Minteau, Convention de partenariat Relative à l'amélioration et à l'expérimentation de l'instrumentation de la bouée POEM. CEFREM.
- Estournel C *et al*, 2003. Observations and modeling of the winter coastal oceanic circulation in the Gulf of Lion under wind conditions influenced by the continental orography (FETCH experiment). *Journal of Geophysical research*, 108.
- Hu Z.H., Petrenko A.A., Doglioli A.M., Dekeyser I., 2011. Numerical study of eddy generation in the western part of the Gulf of Lion. *J. Geophys. Res.*, in revision.
- Millot C., 1979. Wind induced upwellings in the Gulf of Lions. *Oceanol. Acta*, 2, 3, 261-274
- Millot C., 1990. The Gulf of Lion's hydrodynamics : Continental Shelf research, V10, no 9-11, p885- 894.
- Pairaud I., Desmare, S., Gatti J., Taupier-Letage, I. (Caractéristiques et état écologique, Méditerranée Occidentale, Courantologie, Ifremer 2012)
- Petrenko A., 2003. Variability of circulation features in the gulf of Lion NW Mediterranean Sea. Importance of inertial currents. *Oceanol. Acta* 26, 323-338.
- Petrenko A., Dufau C., Estournel C., 2008. Barotropic eastward currents in the western Gulf of Lion, north-western Mediterranean Sea, during stratified conditions, *J. Mar. Syst.* 74, 406-428.
- Rubio A., Taillandier V., Garreau P., 2009. Reconstruction of the Mediterranean northern current variability and associated cross-shelf transport in the Gulf of Lions from satellite-tracked drifters and model outputs. *J. Mar. Syst.* 78, 63-78
- Schaeffer A., Molcard A., Forget P., Fraunié P., Garreau P., 2010. Generation mechanism of sub-mesoscale eddy in the Gulf of Lions: radar observation and modelling. *Ocean Dyn.*, 61, 10, 1587-1609. <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-011-0482-8>.
- Ulses C., Estournel C., Bonnin J., Durrieu de Madron X., Marsaleix P., 2008. Impact of storms and dense water cascading on shelf-slope exchanges in the Gulf of Lion (NW Mediterranean), *J. Geophys. Res.*, 113, C02010, doi:10.1029/2006JC003795.



10. Annexes

10.1. Évolution temporelle du vent

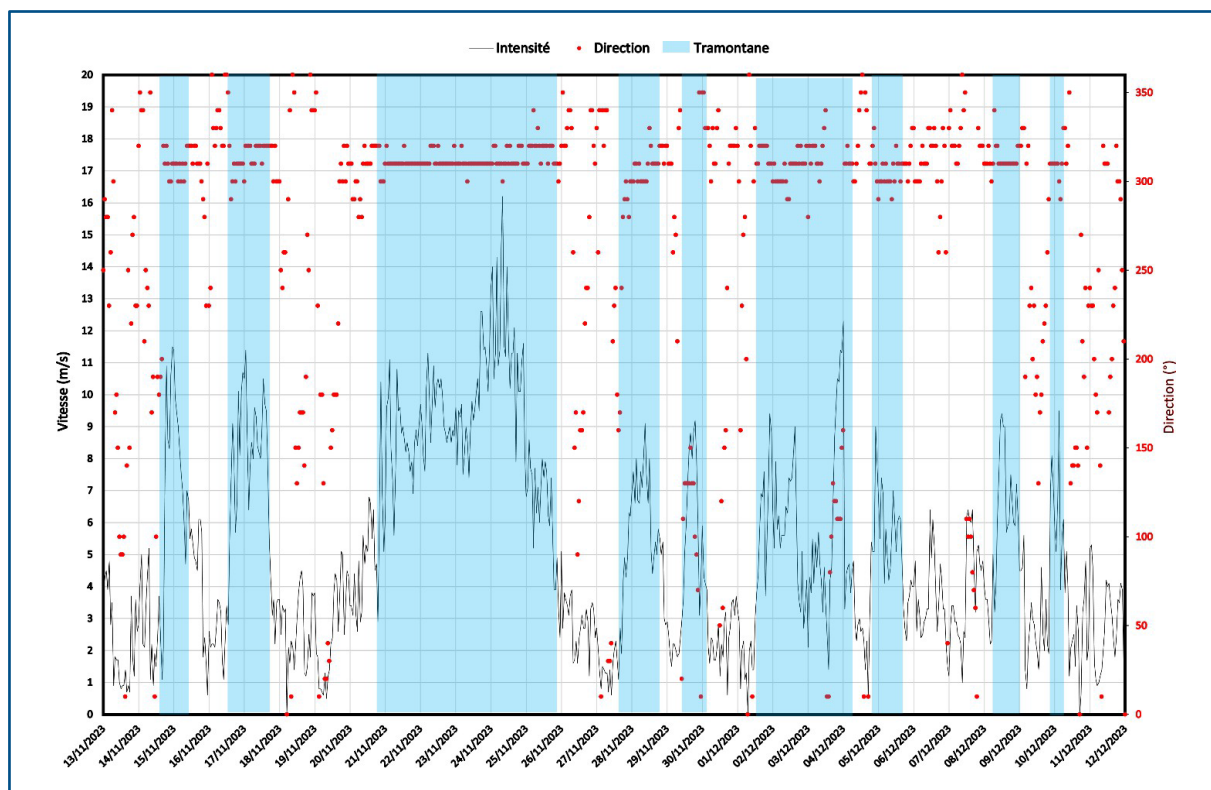


Figure 28 : Évolution de la vitesse et de la direction du vent (Météo France)



10.2. Évolution temporelle du courant

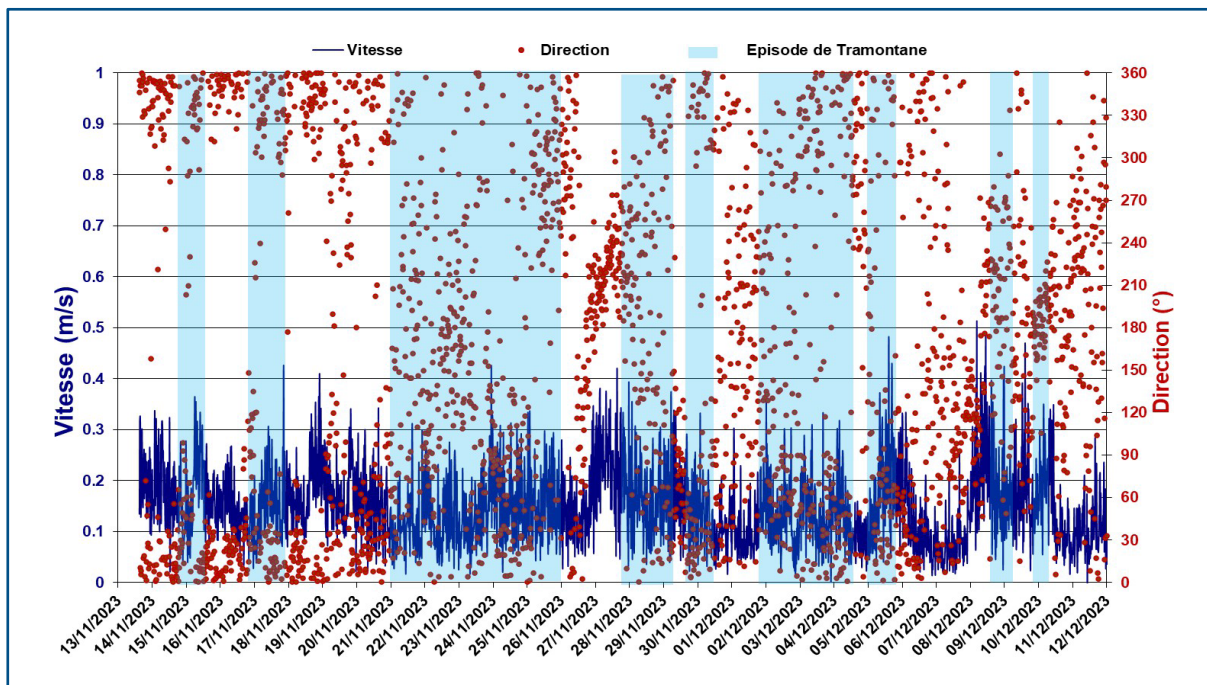


Figure 29 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant en surface station Sud

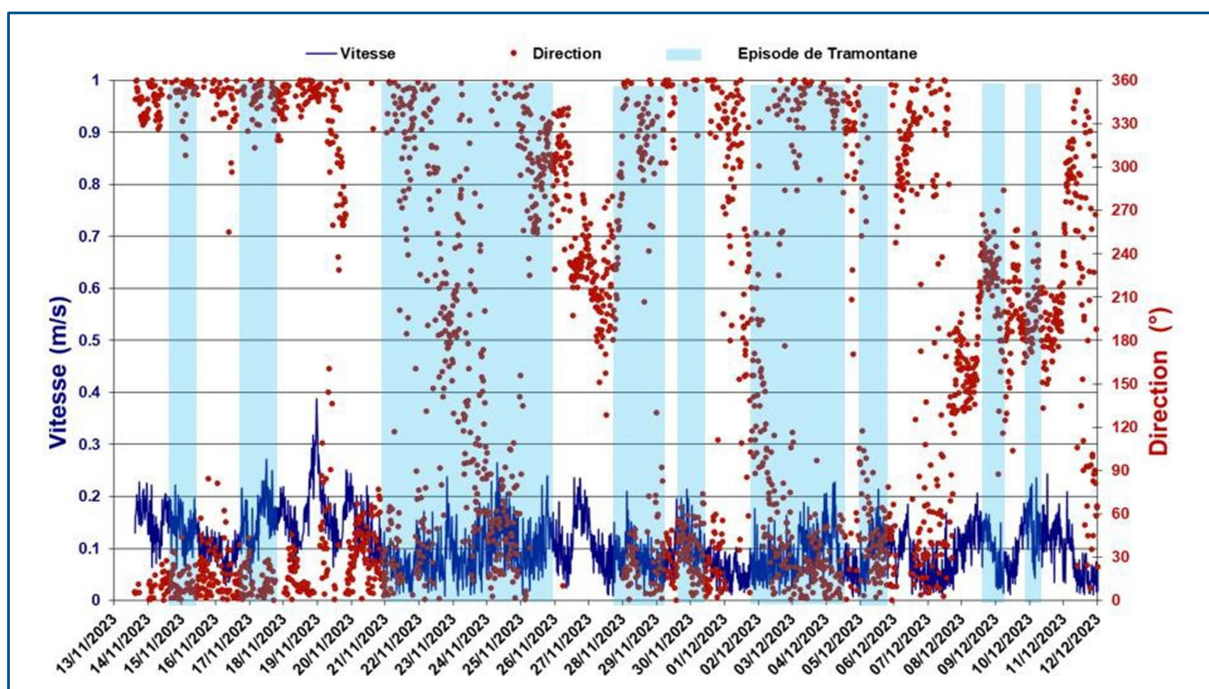


Figure 30 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant en milieu de profondeur de la station Sud



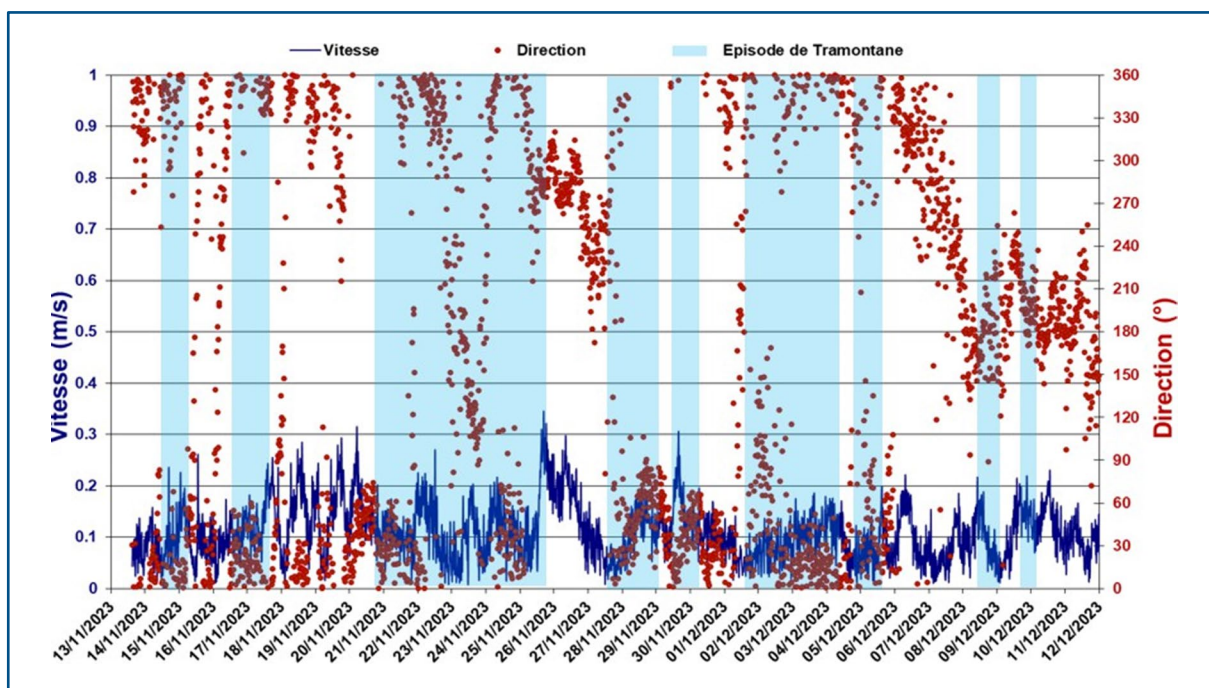


Figure 31 : Évolution de la vitesse et de la direction du courant au fond de la station Sud



10.3. Corrélogrammes DU COURANT

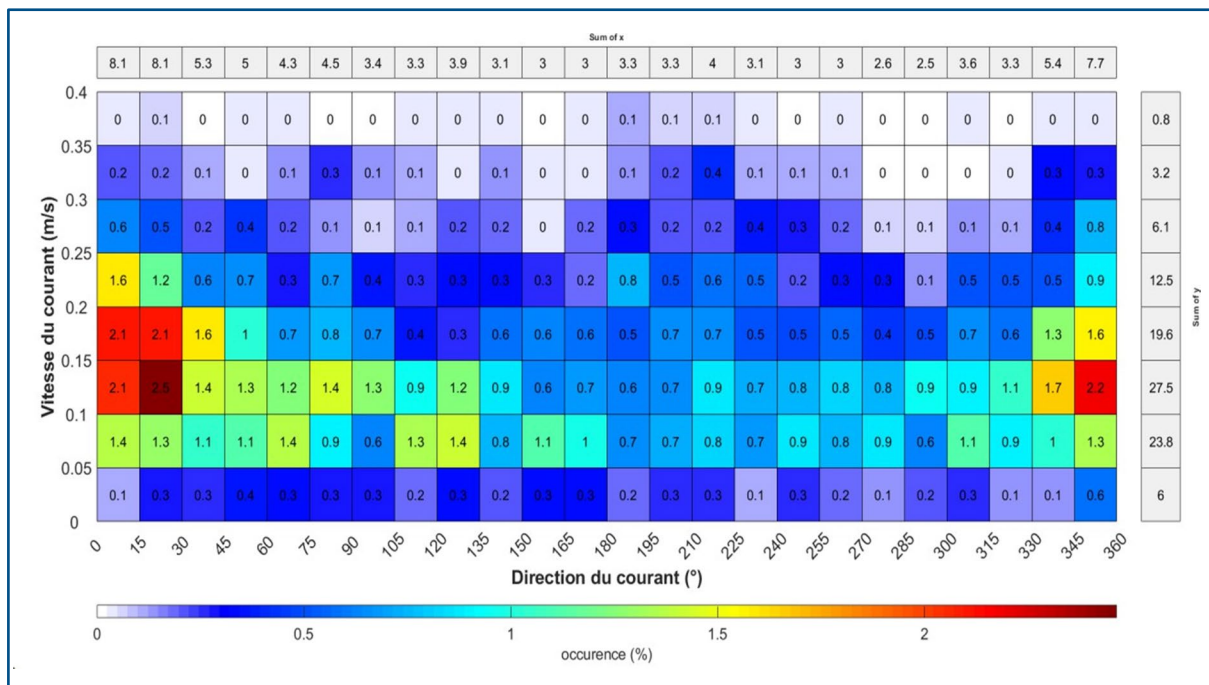


Figure 32 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant en surface à la station Sud

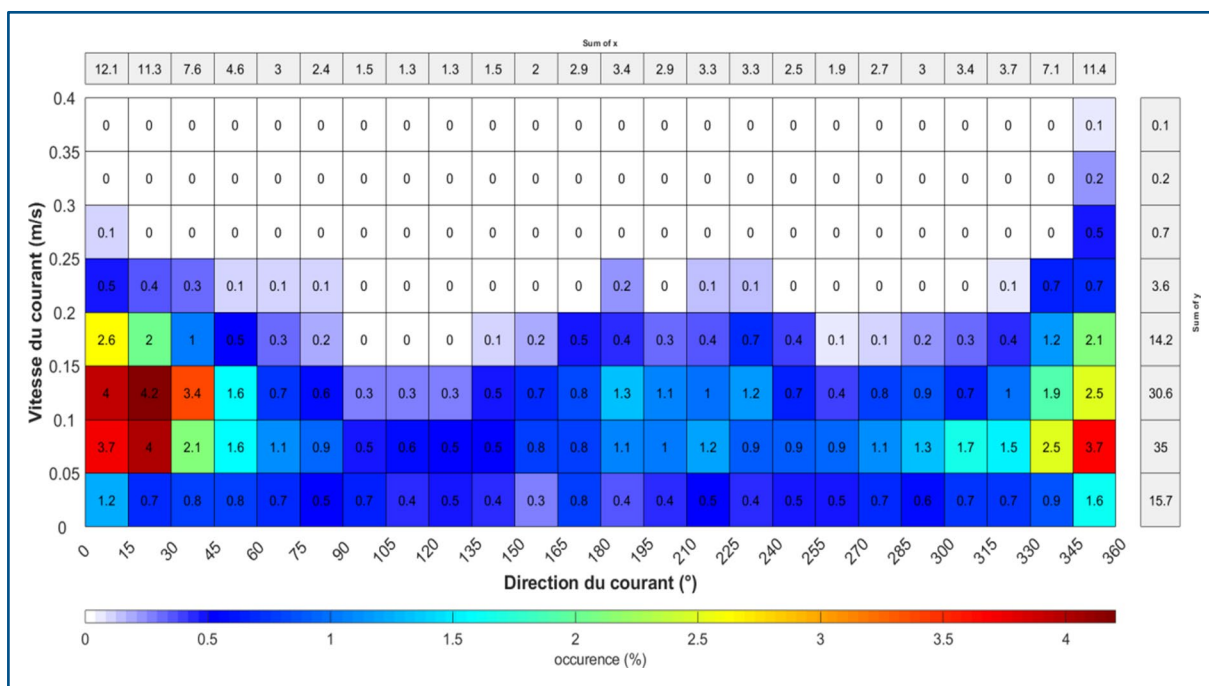


Figure 33 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant au milieu à la station Sud



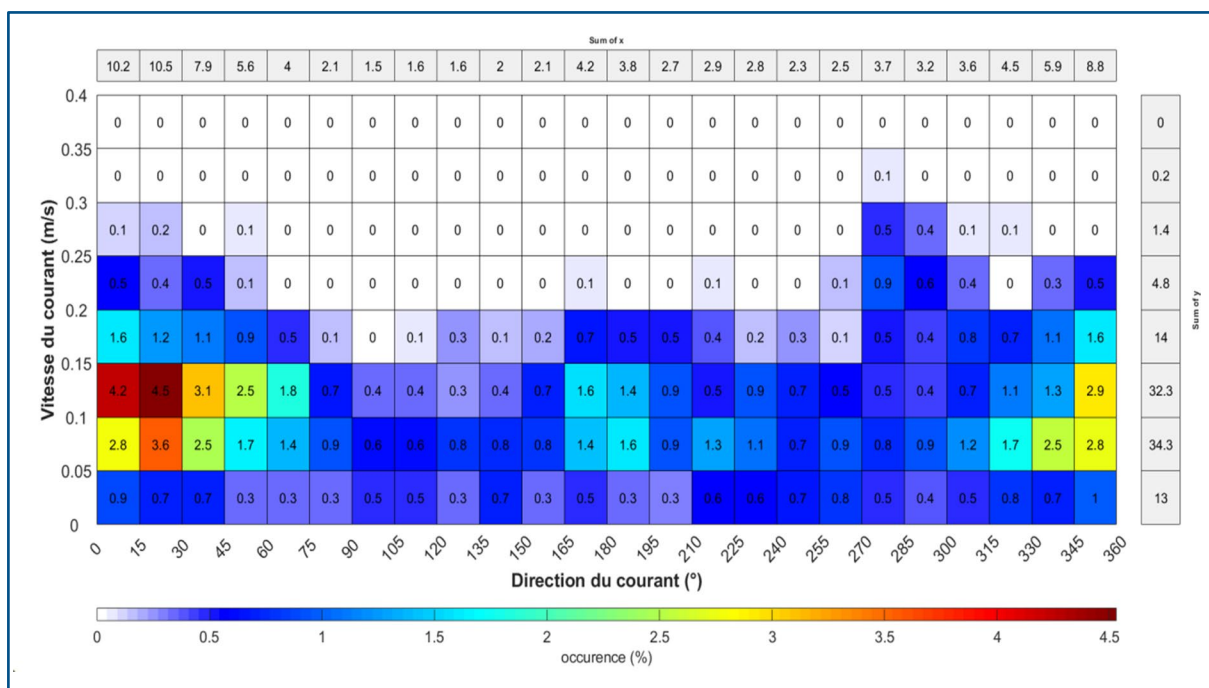


Figure 34 : Corrélogramme de la vitesse et la direction du courant au fond à la station Sud



SUIVI DE LA TURBIDITÉ
PHASE D'INSTALLATION DES ANCRES ET DES LIGNES D'ANCRAGE
Rapport d'analyse-campagne novembre à décembre 2023



Les éoliennes flottantes
du golfe du Lion