



EMR Dunkerque - Dossier « études des conditions météo-océaniques »

Volet « Courants » v1.1

Lot 3 – référence T3.C

Référence : convention SHOM/MEEM [DGEC], SHOM n°51/2016, relative à la réalisation des études de reconnaissance environnementale de la zone d’implantation d’éoliennes en mer au large de Dunkerque

Suivi de modifications

Version N°	Auteur (s)	Date	Action
0.0	Desmare S.	29/11/2016	Création - édition
0.1	Desmare S.	10/01/2017	Mise à jour après validation des données
1.0	Desmare S.	16/02/2017	Finalisation
1.1	Desmare S.	10/04/2017	Mise à jour et compléments suite relecture CEREMA

1. Introduction

Concernant le volet « courants » du dossier de reconnaissance géophysique, les livrables fournis sont résumés dans le tableau ci-après :

Type d'information	Type de données	Description livrables	Commentaires
Les courants	mesures in situ : 2 sites avec profileurs et courantomètres monocouche	Fichiers des mesures de courant in situ (u,v) en fonction du temps (toutes les 10 min pour les ponctuels, 10 min pour les profileur).	Mouillages effectués en été 2016
	Résultats de l'analyse statistique des mesures pour différentes immersions	Roses de courant aux coefficients 45 et 95 (toutes les heures autour de la pleine mer du port de référence)	Port de Référence choisi : Calais Format csv
	Qualification du modèle 3D de courants de marée Pas de Calais aux points géographiques des mesures	Tableaux de comparaison des données avec le modèle	
	Produit de courants de marée sur la zone d'étude	-Fichiers numériques des courants de marée pour 3 couches (surface, mi-profondeur et fond) + notice	Format ASCII

Tableau 1 : livrables du lot 3

Le livrable T1.C fourni par le Shom constituait un état de connaissance initiale en matière de courants marins sur la zone d'étude de Dunkerque. Y étaient recensés les mesures existantes et produits de courants de marée disponibles.

Le présent rapport fait état de la caractérisation des conditions de courants de marée dans la zone d'implantation d'éoliennes en mer au large de Dunkerque à partir de nouvelles connaissances.

2. Courantométrie

2.1. Instrumentation et observations

2.1.1. Mesures de courants

La mise en place de deux mouillages a été préconisée pour améliorer la connaissance de la zone notamment à des endroits caractéristiques pouvant influencer la dynamique à savoir les bancs où il y a forte probabilité de déferlement (petits fonds) et les vallées où le courant peut être modifié (en vitesse et en direction).

Deux mouillages instrumentés AWAC_1 et AWAC_2 ont donc été installés respectivement les 1er et 6 septembre 2016 (figure 1).

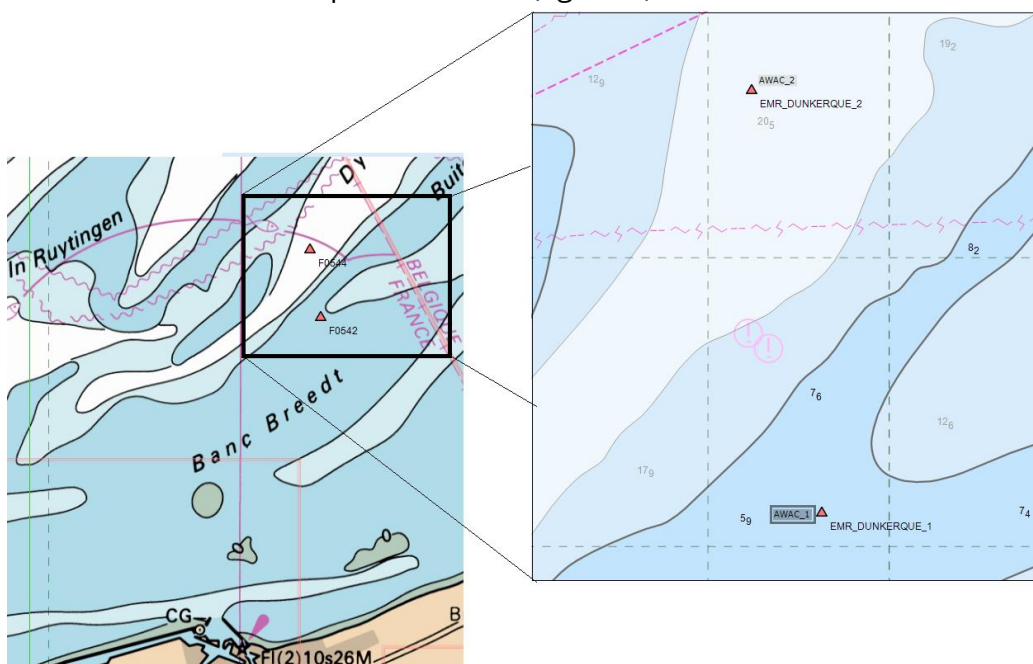


Figure 1. Situation des mouillages Shom effectués en 2016

Chaque mouillage disposait de deux types de courantomètres : un profileur acoustique houlographe (AWAC, NORTEK), un courantomètre monocouche (Aquadopp, NORTEK) ainsi que des turbidimètres.

Le tableau 2 ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces mouillages.

Mouillage	Position Profondeur (ZH)	Type d'instruments	Période d'acquisition
AWAC_1 (F0542)	51°10,118'N 002°24,633'E 10 m	Aquadopp 200 m AWAC 1 MHZ Turbidimètre NTUSB-389	Du 01/09/2016 au 23/09/2016

AWAC_2 (F0544)	51°11,581'N 002°24,244'E 25 m	Aquadopp 200 m AWAC 600 KHZ Turbidimètre NTURT-646	Du 06/09/2016 au 09/10/2016
-------------------	-------------------------------------	---	-----------------------------

Tableau 2 : Caractéristiques des mouillages posés en 2016 au large de Dunkerque

Les cages ont été posées sur le fond et les ADCP étaient orientés vers la surface (figure°2).

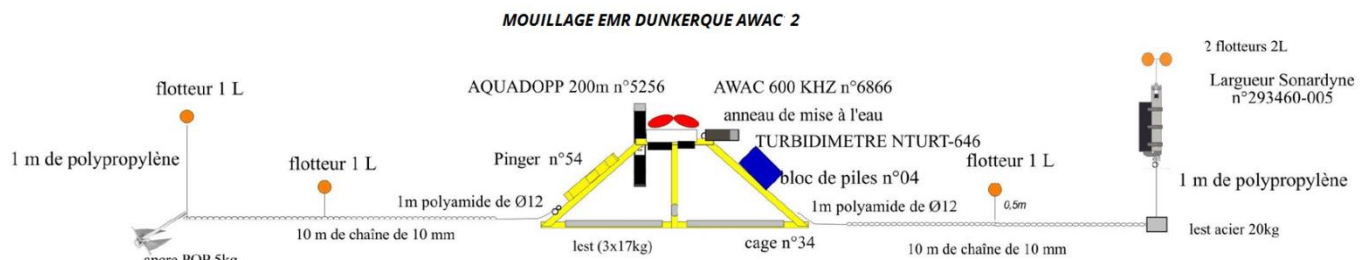


Figure 2. Schéma mouillage N° 1 des instruments (AWAC 2)

L'AWAC_1, mouillé sur cage tripode par 10 m de fond a été relevé le 23 septembre 2016. Le deuxième mouillage (par 25 m de fond) a été récupéré le 09 octobre 2016. Lors de la récupération de ce dernier mouillage, il a été constaté un ensablement de la cage au 2/3 de sa hauteur. Ce mouvement n'a, a priori, pas impacté la qualité des mesures des courantomètres.

Il y a donc plus de 20 jours de mesures, période durant laquelle, le coefficient de marée a varié de 31 à 111 (figure 3).

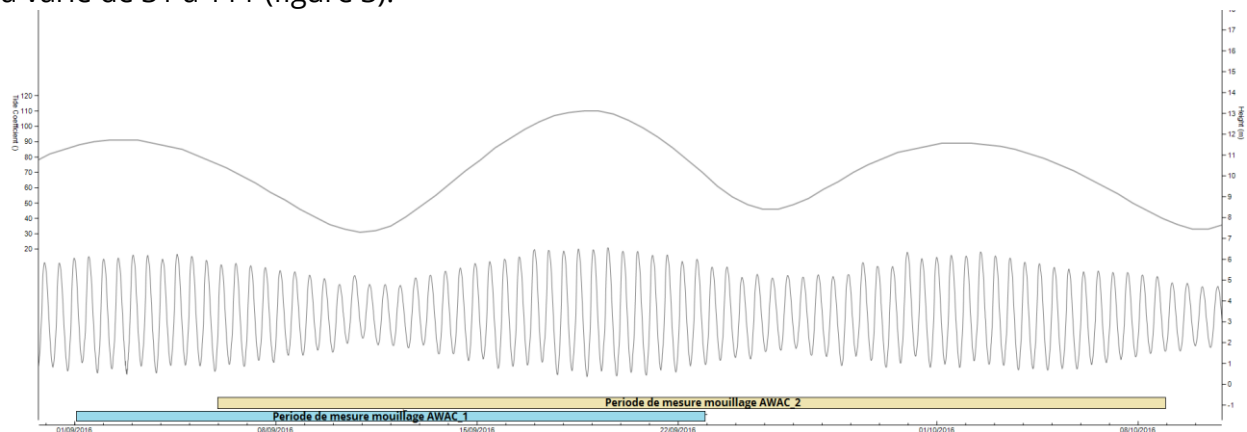


Figure 3 : Caractéristiques (hauteur d'eau à Dunkerque et coefficients de marée) sur la période de mesures

Le principe de la mesure des deux courantomètres acoustiques est basé sur l'effet Doppler (changement de fréquence dans les fluides en mouvement). Les réglages pour chaque courantomètre sont spécifiques et fonction de l'environnement du mouillage (voir tableau 3).

Ces appareils permettent de déterminer la vitesse du courant (vitesses u et v) dans une colonne d'eau sur une ou plusieurs couches d'épaisseurs déterminées.

La portée maximum dépend des conditions de diffusion acoustique (fréquence de l'appareil et de la présence de particules en suspension). Dans des eaux peu turbides, la portée risque d'être réduite.

Les courantomètres ont été paramétrés pour une acquisition toutes les 10 minutes (voir tableau 3).

Remarque : il existe une zone aveugle ou « blanking distance » à proximité des transducteurs (tête de mesure) dans laquelle il n'y a pas de mesure. Les transducteurs sont utilisés à la fois comme émetteurs et récepteurs, cette distance blanche correspond au temps pendant lequel les transducteurs se règlent après avoir émis une impulsion.

La première cellule de mesures se situe donc au-delà de ce blanc (figure 4).

Les mesures de l'Aquadopp sont « ponctuelles » et fournissent des informations monocouche de courant au niveau du capteur .

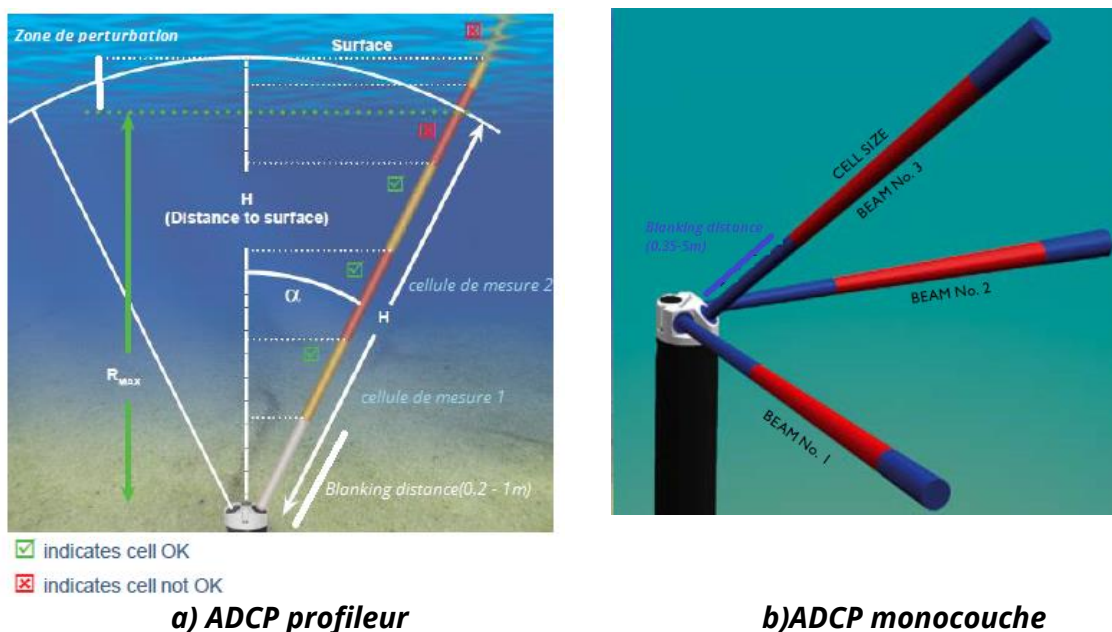


Figure 4 : Principe de fonctionnement et de mesures des ADCP

Mouillage	AWAC_1		AWAC_2	
Constructeur	NORTEK	NORTEK	NORTEK	NORTEK
Type	AWAC	DOPPLER	AWAC	DOPPLER
Numéro de série	5941	883	6866	5256
Nature	Profileur	Ponctuel	Profileur	Ponctuel
Fréquence	1 MHz	200 m	600 kHz	200 m
Portée théorique	30 m	/	50	/
Système horaire	UTC	UTC	UTC	UTC
Paramètre des mesures				
Zone blanche	0,40 m	0.35 m	0.5 m	0.35 m
Nombre de couches	20	1	18	1
Epaisseur d'une couche	1 m	0.75 m	2 m	0.75 m
Période d'intégration	1 min	1 min	1 min	1 min
Cadence d'acquisition	10 min	10 min	10 min	10 min
Paramètres de calibration				
Déclinaison magnétique	0.16 ° Est	0.16 ° Est	0.16 ° Est	0,16° Est
Dérive horloge	/	23 sec	/	/
Situation - Description	Courantomètre mouillé sur cage tripode N° 35 par 10 m de fond dans le cadre de la campagne EMR Dunkerque.		Courantomètre mouillé sur cage tripode N° 35 par 25 m de fond dans le cadre de la campagne	
Remarques			ensablement de la cage au 2/3 de sa hauteur sans incidence	

Tableau 3 : Paramètres des courantomètres mis en œuvre pour l'EMR Dunkerque

La précision théorique de la mesure donnée par les constructeurs est de l'ordre de 1 cm/s sur le module et 2° sur la direction.

2.1.2. Mesures Météorologiques

Des données météorologiques horaires (vent, pression atmosphérique, état de mer) ont été récupérées auprès du sémaphore de Dunkerque. Elles couvrent la période du 30 août 2016 au 16 octobre 2016 (figure 5).

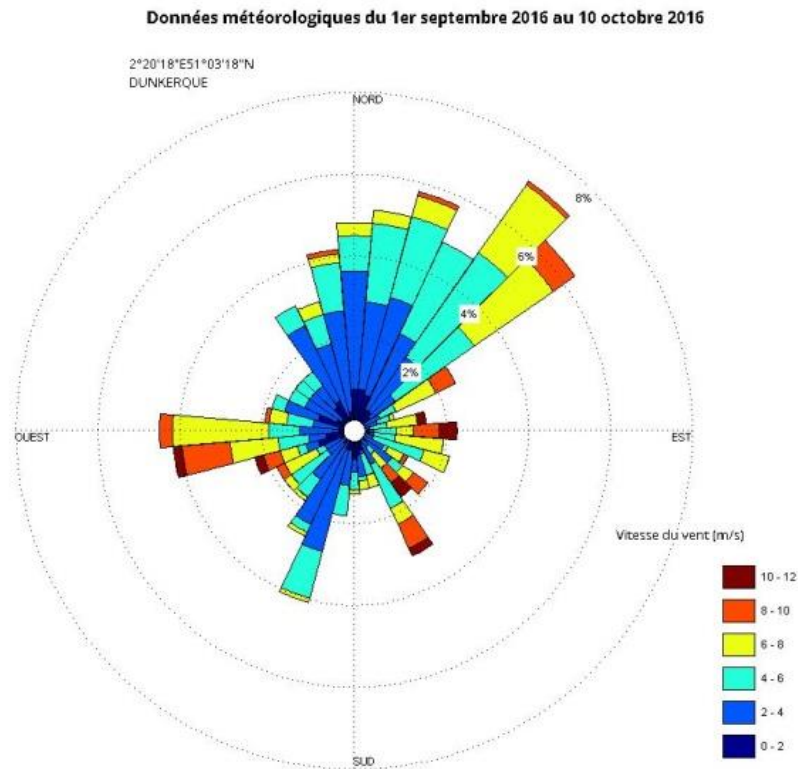


Figure 5 : Distribution des vitesses et direction du vent sur la période de mesure

2.2. Dépouillement et validation des mesures de courant

Cette partie ne porte que sur le traitement des mesures de courant issues des ADCP. Les autres observations (houle, turbidité) font l'objet de rapports spécifiques (T3.S et T3.H).

Le dépouillement des mesures a été effectué avec le module In situ Acoustic Doppler Viewer du progiciel HYPACK (outil spécifique utilisé au Shom, version 2016).

Après avoir supprimé les données correspondant au fonctionnement de l'appareil, avant sa mise à l'eau et après son relevage, les mesures ont été corrigées de la dérive d'horloge, de la déclinaison magnétique, de la déviation moyenne du compas.

Des capteurs internes aux ADCP permettent de connaître l'inclinaison du courantomètre durant la mesure et ainsi de redistribuer correctement chaque composante du vecteur vitesse à la bonne cellule. Ces capteurs sont normalement amagnétiques mais pas totalement car ils sont mouillés avec des cages métalliques et d'autres appareils (batteries, ...) qui peuvent avoir une influence magnétique sur eux.

Pour cette raison, le SHOM dispose, sur le site du Bergot, d'une plateforme d'étalonnage des compas pour l'étalonnage en cap et inclinaison de courantomètres et profileurs de

courant montés dans une cage de mouillage, avec ou sans accessoires utiles au mouillage (figure 6).



Figure 6 : Plateforme inclinée à 20 °. Bras de poussée au premier plan.

Des rapports d'étalonnage sont alors édités et associés à chaque instrument. Ils fournissent les corrections magnétiques à appliquer en fonction de la cage de mouillage et des instruments utilisés.

Mouillage	AWAC_1		AWAC_2	
Constructeur	NORTEK	NORTEK	NORTEK	NORTEK
Type	AWAC	DOPPLER	AWAC	DOPPLER
Numéro de série	5941	883	6866	5256
Etalonnage	oui	oui	oui	non
Dernier étalonnage	Mai 2014	Aout 2014	Octobre 2014	

Tableau 4 : Etats des étalonnages des courantomètres utilisés pour EMR Dunkerque

La validation des mesures corrigées porte alors sur la vérification des données d'attitude (cap, tangage et roulis) pour s'assurer que le mouillage n'a pas trop bougé sur la période de mesure ou que les mouvements de la cage restent dans la gamme acceptable de 10° et n'impactent pas la mesure (figure 7).

Des corrections d'étalonnages sont en général appliquées à ces valeurs d'attitudes pour prendre en compte les effets

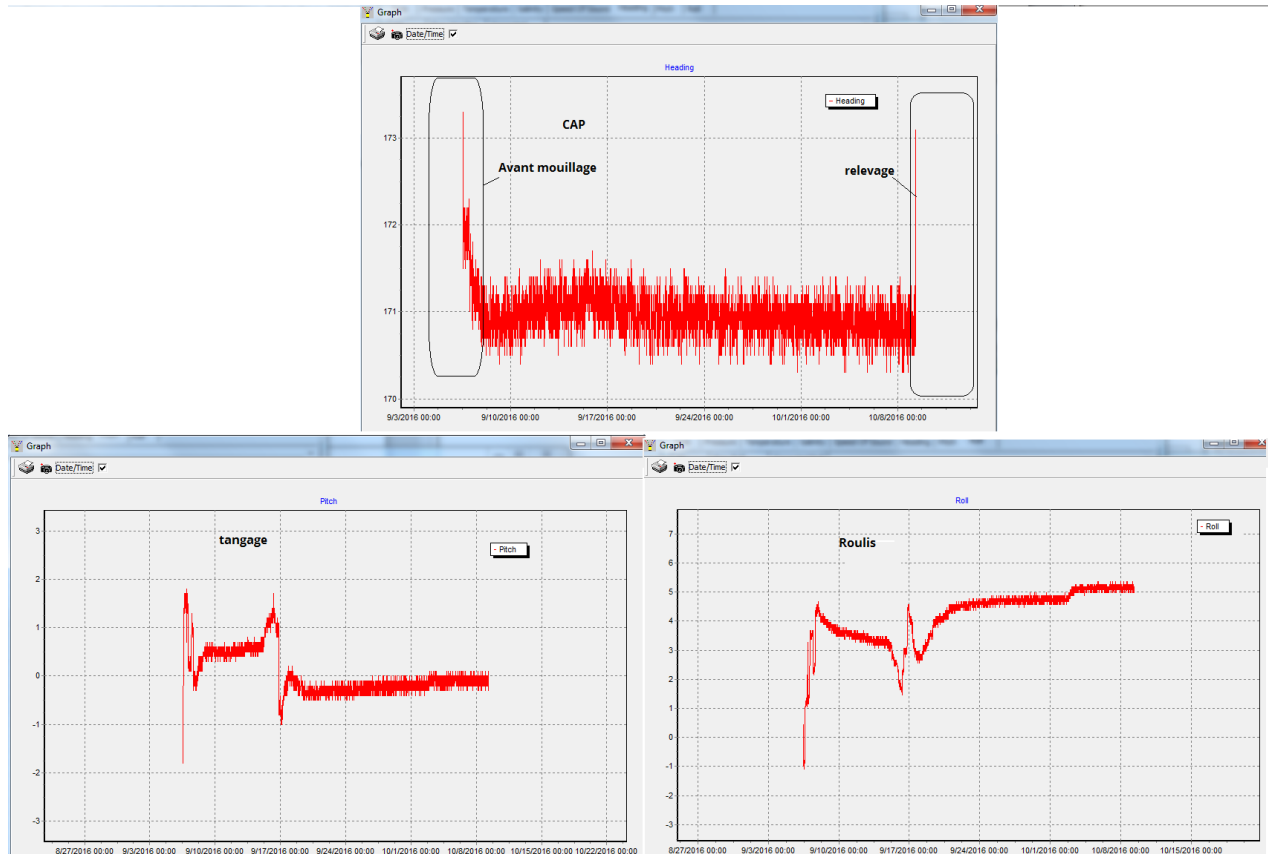


Figure 7 : Données d'attitude du mouillage AWAC 2 visualisées sous Hypack

Pour le cas des profileurs, les mesures ont été positionnées dans la colonne d'eau à une immersion par rapport à la surface libre en exploitant les observations de marée du MCN de Dunkerque ramenées au point de mouillage (avec MASG2, outils SHOM).

Les données enregistrées au cours du temps pour les différentes couches sont analysées pour détecter les couches qui sont hors d'eau ou qui présentent une qualité du signal dégradée. Les couches très proches de la surface libre sont très majoritairement de mauvaise qualité du fait de perturbations liées aux lobes secondaires à la surface.

D'autres incohérences sont déterminées graphiquement par des fortes discontinuités sur l'amplitude du signal enregistré (vitesse, écho rétrodiffusé) et via le contrôle des profils de vitesse et des hodographes.

Une fois toutes les vérifications effectuées, les mesures validées sont archivées en base (données, métadonnées, données annexes, etc.).

Mouillage	AWAC_1		AWAC_2	
Nature	Profileur	Ponctuel	Profileur	Ponctuel
Système horaire	UTC	UTC	UTC	UTC
Première immersion validée sous la surface	2.5 m	8.8 m	7m	24 m
Dernière immersion validée sous la surface	8.5 m	8.8 m	23 m	24 m
Nombre de couches	6	1	18	1
Epaisseur d'une couche	1 m	0.75 m	2 m	0.75 m
Remarques	Différence constatée de 0.16 m/s entre les vitesses mesurées à 8.5 m et à 8.8 m		Différence constatée de 0.13 m/s entre les vitesses mesurées à 23 m et à 24 m	

Tableau 5 : Paramètres des mesures validées

2.3. Caractéristiques des courants

On retrouve la variabilité du signal de marée sur les observations des vitesses. Les périodes de vives-eaux (VE) et forts coefficients sont marquées par des courants plus forts. Pour la station AWAC_1, situés en eau peu profonde, cette caractéristique s'observe sur toute la colonne d'eau, même si la variabilité est moins marquée au fond (8.8 m). Le même constat peut être fait sur la deuxième station, avec des vitesses moindres au fond (figure 8 et 9).

La direction des courants porte principalement vers l'ENE en flot et l'WSW en jusant. La composante zonale u (Ouest-Est) est plus importante que la composante méridienne v (Nord-Sud).

On observe deux directions principales pour le courant : de secteur ENE et l'autre de WSW. Pour les deux sites de mesures, les courants atteignent au maximum 1.3 m/s en surface, 0.8 m/s au fond.

Mouillage	Vmax et Vmoy en surface sur la période de mesure	Vmax et Vmoy à 1 m du fond sur période de mesure
AWAC_1	Maximum: 1.296 m/s (coeff 108) Moyenne: 0.60 m/s	Maximum: 0.876 m/s (coeff 91) Moyenne: 0.374 m/s
AWAC_2	Maximum: 1.26m/s (coeff 107) Moyenne: 0.50 m/s	Maximum: 0.83m/s (coeff 104) Moyenne: 0.325 m/s

Tableau 6 : Caractéristiques des courants sur la période de mesure

Il n'y a pas de courant résiduel bien établi pour les deux sites de courant, la valeur moyenne du courant résiduel est de 0,03 m/s à la station F0542, 0,05 m/s à la station F0544.

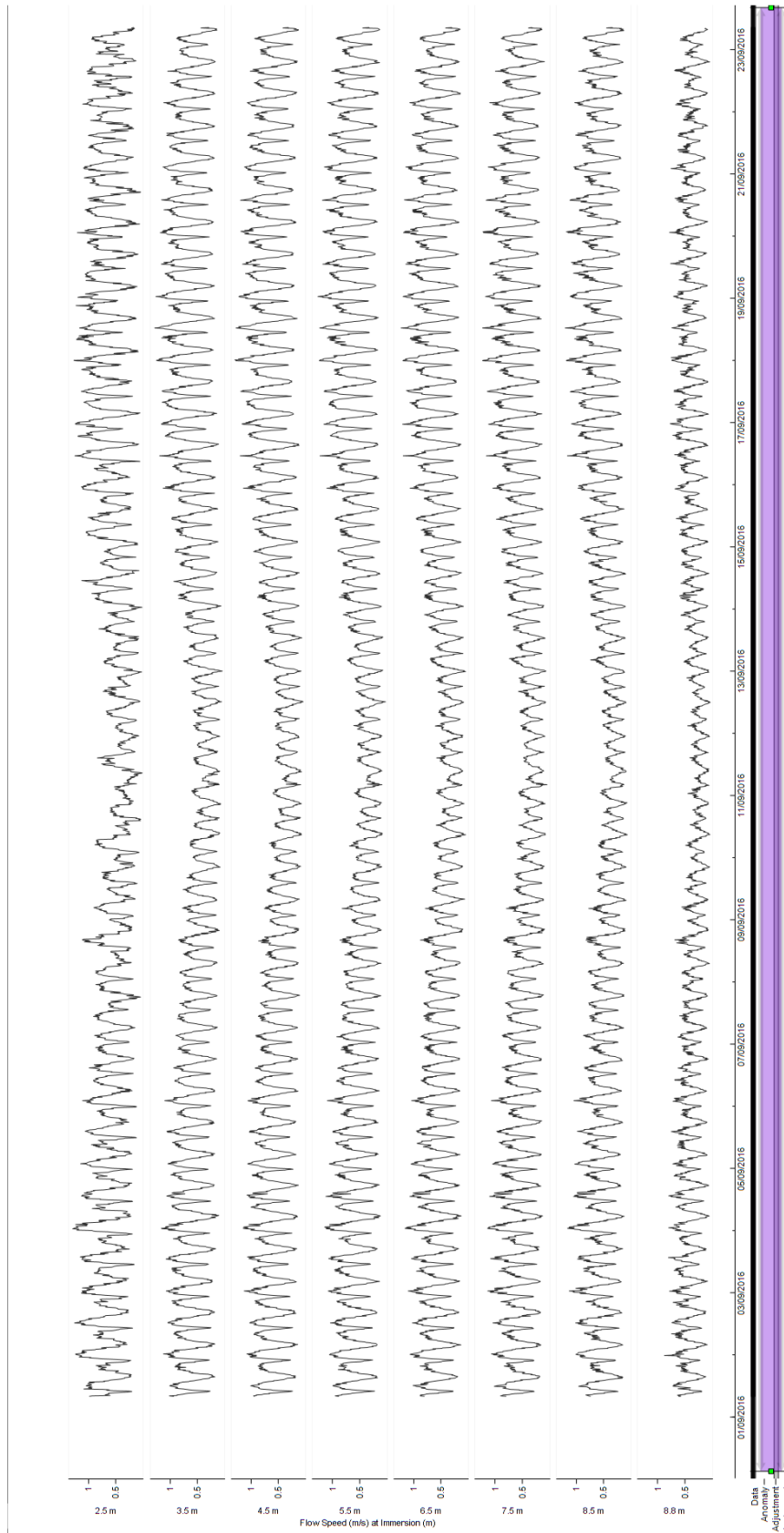


Figure 8. Mesures de courants réalisées à différentes immersions (de 2.5 m à 8.8 m sous la surface) dans la zone côtière de l'EMR Dunkerque du 01 au 23 septembre 2016 (point AWAC 1).

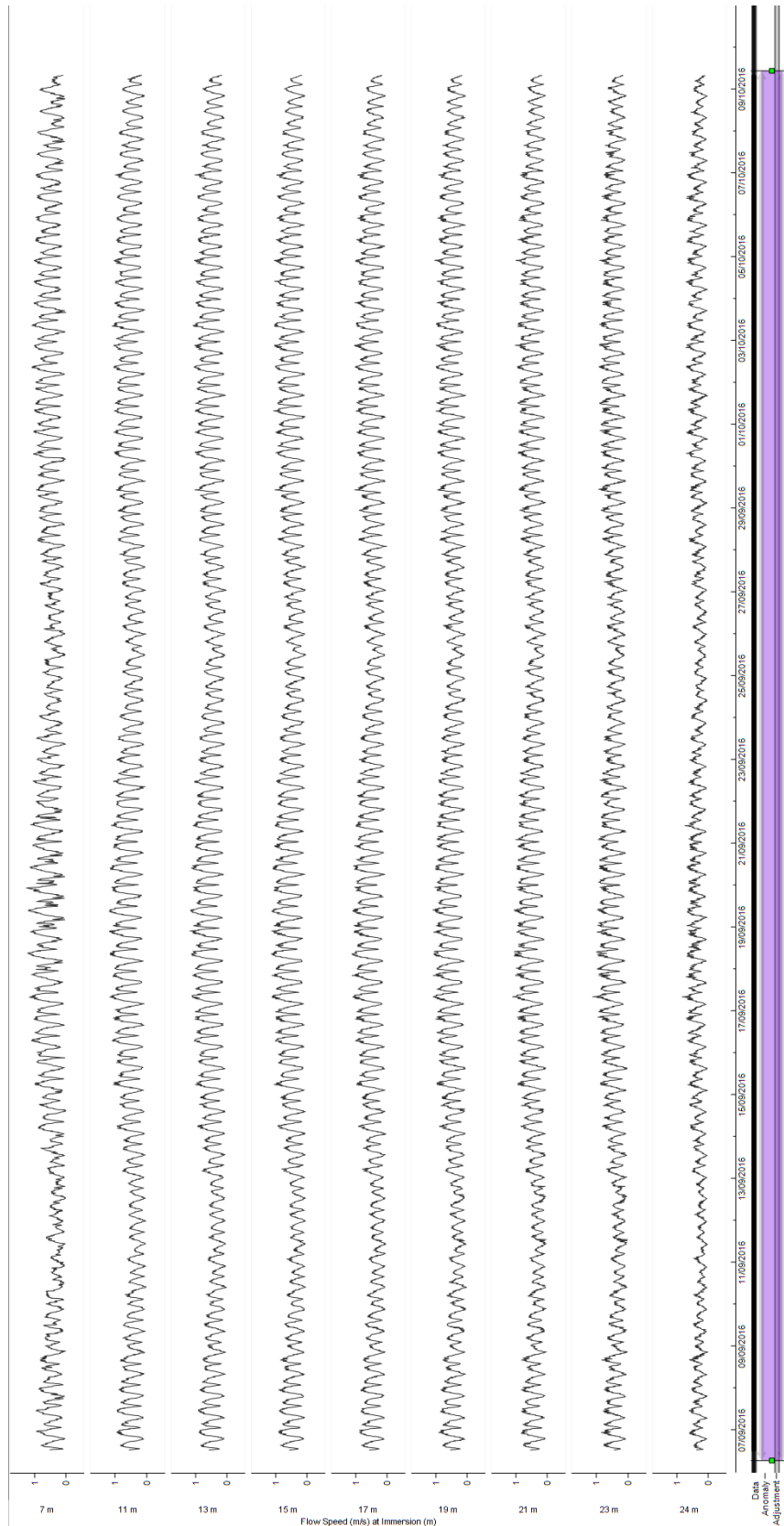


Figure 9. Mesures de courants réalisées à différentes immersions (de 7 m à 24 m sous la surface) dans la zone côtière de l'EMR Dunkerque du 06 septembre 2016 au 9 octobre 2016 (point AWAC 2).

2.3. Analyse et statistiques des courants de marée

Le courant de marée est la composante périodique du courant observé. Il est induit par la marée qui est essentiellement semi-diurne dans la zone de mesure.

Une analyse sur les données observées réduites des phénomènes apériodiques (courant résiduel filtré) permet de calculer les statistiques sur les courants de marée en fonction des coefficients de marée et de les recalcr en heure par rapport à l'instant de pleine mer de Calais ou de Dunkerque.

La figure 10 ci-après illustre la chaîne de calcul utilisée pour exploiter les données de courant et en extraire les informations de courant de marée portées dans les tableaux de courant et sur les hodographes.

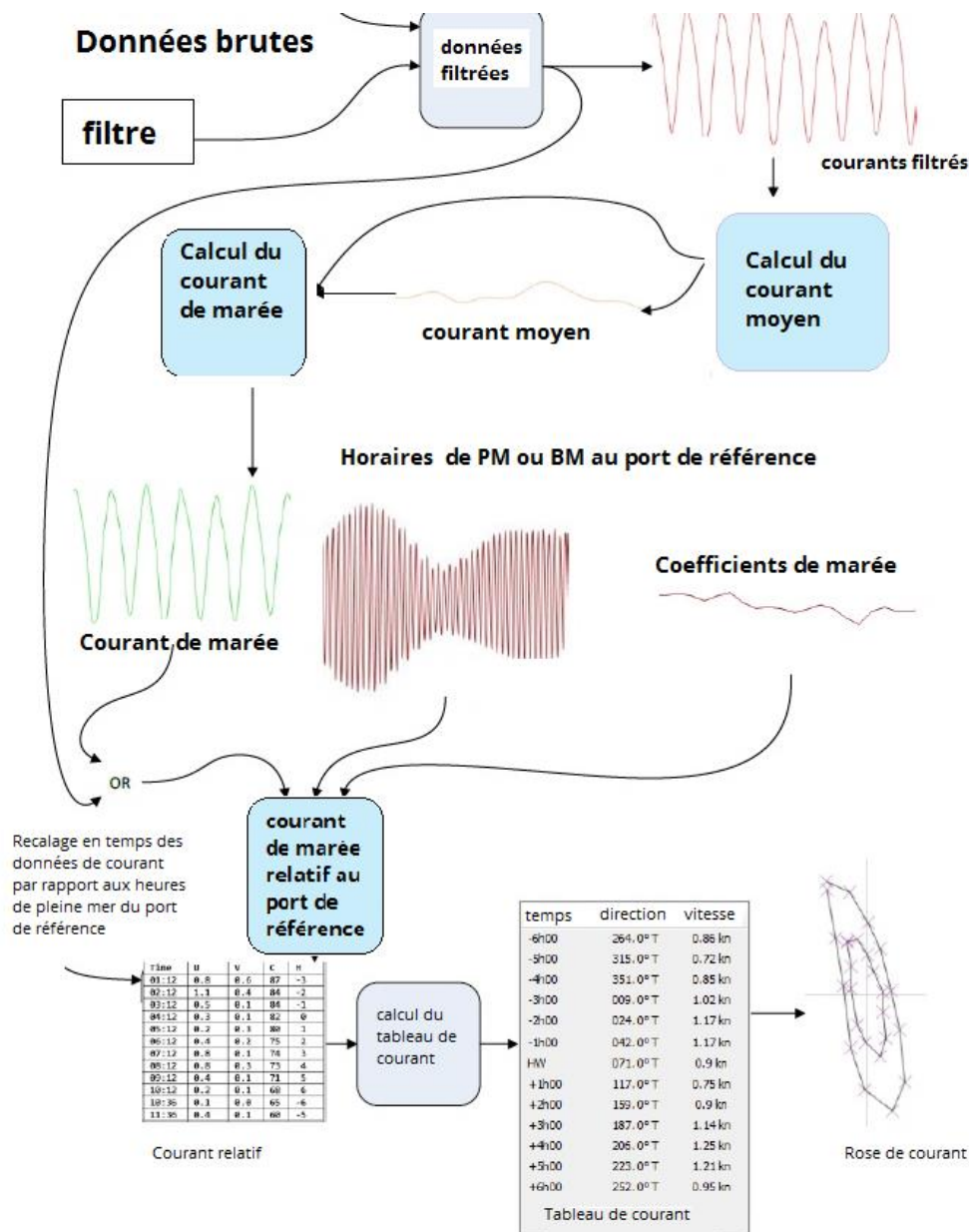


Figure 10 : Chaîne de calcul des tableaux de courant

Les résultats sont présentés sous forme de roses de courants rapportées à l'instant de la pleine mer de Calais (exemple en figure 11 et annexes III, IV) ou de tableaux de valeurs numériques (fournis au format csv pour chaque immersion cf. §5).

Cette analyse statistique a pu rendre compte de la variabilité des courants de marée au cours d'un cycle de marée et corroborer les connaissances déjà acquises auparavant.

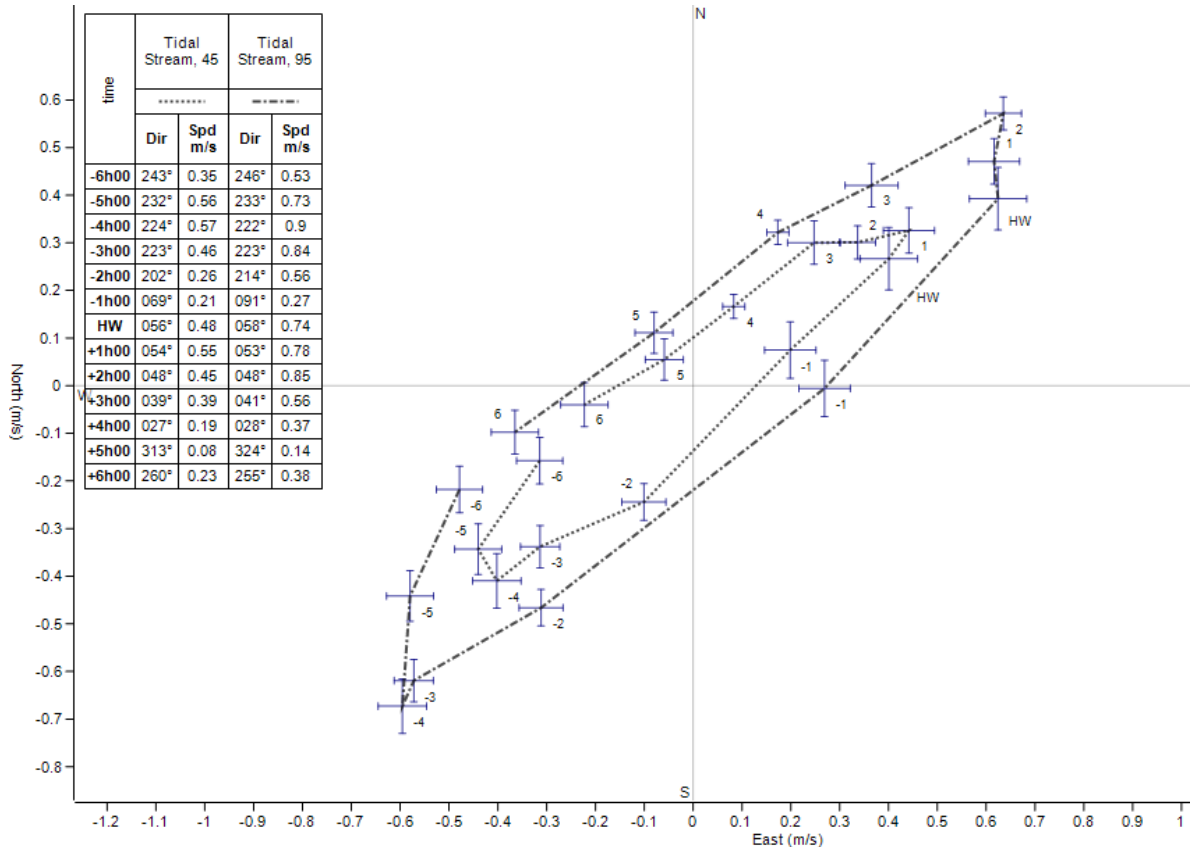


Figure 11 : Exemple de rose de courant calculée pour la station AWAC 2

3. Modèle hydrodynamique

3.1 Description du modèle numérique

Le Shom a mis en œuvre, en 2011, un modèle tridimensionnel sur la zone Pas de Calais-Baie de Somme. Cette modélisation hydrodynamique repose sur le système de calcul aux éléments finis TELEMAC-3D, développé par le LNHE d'EDF-R&D¹. Cet outil résout les équations tridimensionnelles de Navier Stokes et une équation également tridimensionnelle de transport-diffusion par traceur (température, salinité, concentration de matière en suspension). Ce modèle permet de simuler le courant côtier et notamment sa répartition et distribution verticale. Il prend en compte toutes les caractéristiques bathymétriques, les zones découvrantes et l'influence des phénomènes météorologiques (pression atmosphérique et vent).

¹ <http://www.opentelemac.org/>

La configuration du modèle utilisée au Shom couvrant la zone Pas de Calais – Baie de Somme (figure 12), est fondé sur un maillage aux éléments finis avec des résolutions spatiales relativement fines (50 m à la côte, 1.3 km dans la zone d'étude). Ce maillage est très dépendant de la connaissance bathymétrique ce qui a un impact sur la précision des résultats. La bathymétrie utilisée en 2011, pour le modèle Pas de Calais, semble avoir pris en compte quelques-unes des structures des bancs mais pas toutes (figure 12). Le modèle n'ayant pas été actualisé, la bathymétrie acquise en 2016 sur le domaine d'étude n'a pas été prise en compte.

Le calcul de la contrainte de frottement sur le fond est basé sur la loi de Chézy qui consiste à appliquer un coefficient de frottement dépendant de la rugosité du fond.

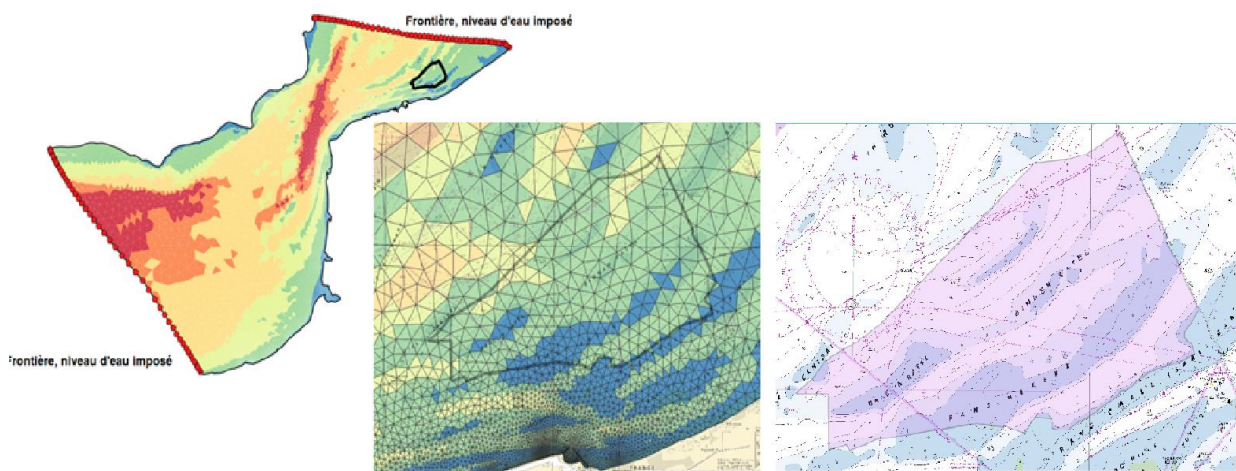


Figure 12. Maillage du domaine superposé à la bathymétrie (2011), zoom sur la zone EMR Dunkerque.

Les conditions de vent ne sont pas appliquées sur ce modèle. Il s'agit uniquement d'un modèle de propagation de la marée et des courants induits par celle-ci. Les conditions de forçage ne tiennent donc compte que de la marée sous forme de hauteur d'eau imposées aux frontières liquides. La courantologie reproduite par le modèle est directement liée à ces conditions de forçage.

La méthode de la modélisation repose sur une approche statistique. Les résultats (hauteur d'eau et composantes de courant (u,v)) sont alors disponibles pour deux conditions type de marée (coefficients 45 et 95) en chaque point du maillage non structuré et sur plusieurs plans (10 plans ici).

3.2 Validation du modèle

Les résultats du modèle Pas de Calais ont été validés en 2011 par comparaison avec les mesures in situ alors disponibles au SHOM sur toute l'emprise du modèle (28 points de comparaison prédiction - modèle pour les hauteurs d'eau et 28 points de comparaison

pour les vitesses (dont un profileur)). Les tableaux ci-dessous résument les résultats de cette validation et fournissent la précision du modèle alors estimée.

Points de validation	Ecart en amplitude (cm) σ = écart-type	Déphasage BM (minutes) σ = écart-type	Déphasage PM (minutes) σ = écart-type
28	6.4 ($\sigma=4.1$)	4 '($\sigma=3'$)	8 '($\sigma=6'$)

Tableau 7. Précisions du modèle de courants de marée Pas de Calais- Baie de Somme pour les hauteurs d'eau pour un coefficient de marée de 95 (SHOM, 2011).

Points de validation	Ecart flot (cm/s) σ = écart-type	Ecart jusant (cm/s) σ = écart-type
28	15.5 ($\sigma = 13.9$)	13.4 ($\sigma = 13.3$)

Tableau 8. Précisions du modèle de courants de marée Pas de Calais- Baie de Somme pour les vitesses pour un coefficient de marée de 95 (SHOM, 2011).

3.3 Qualification du modèle sur la zone d'étude

La capacité du modèle à reproduire les intensités des vitesses de courant est évaluée sur la zone d'étude avec le jeu de données in-situ acquises en 2016.

Le modèle est qualifié par des méthodes statistiques qui permettent de comparer les résultats obtenus X_{mod} avec les observations X_{obs} .

L'**erreur absolue moyenne** MAE (*Mean Average error*) et l'**erreur quadratique moyenne** RMSE (*root mean square error*) sont des variables statistiques classiques qui permettent de caractériser la précision du modèle. Leur valeurs ne peuvent être que positives et, plus elles tendent vers zéro moins l'erreur commise est importante.

- **erreur absolue moyenne**

$$MAE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n |X_{model} - X_{obs}| \right]$$

- **erreur quadratique moyenne**

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n |X_{model} - X_{obs}|^2 \right]^{1/2}$$

Un autre descripteur statistique appelé « **index of agreement** » introduit par Willmott (2011²), est de plus en plus employé dans les études de dynamique côtière et estuarienne. Ce paramètre **Skill**, a donc également été calculé. Il est fonction de la moyenne des données observées ($\overline{X_{obs}}$), et reflète le degré selon lequel les données observées sont estimées avec précision par la modélisation. Cet index n'est pas une mesure de la corrélation au sens strict du terme mais plutôt une estimation du degré du

² Willmott, C. J., S. M. Robeson, and K. Matsuura (2011) "A refined index of model performance," International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.2419

résultat du modèle sans erreurs, plus il tend vers 1 moins l'erreur commise est importante.

$$Skill = 1 - \frac{\sum |X_{model} - X_{obs}|^2}{\sum (|X_{model} - \bar{X}_{obs}| + |X_{obs} - \bar{X}_{obs}|)^2}$$

Comme vu au paragraphe §2.3, l'analyse statistique des mesures fournit les courants de marées types, en chaque point de mesure, pour une ME moyenne (coefficient 45) et une VE moyenne (coefficient 95). Les valeurs horaires des courants en ME et VE (direction, intensité, roses de courant, composantes de vitesse u et v) sont déterminées de 6h avant à 6h après la PM du port de référence.

Les résultats de la simulation fournissent une estimation des courants de marée en ME et VE moyenne, 6 heures avant et après la PM de Calais.

La figure 13 montre une comparaison graphique entre les roses de courants statistiques (issues de l'analyse des mesures) et le modèle.

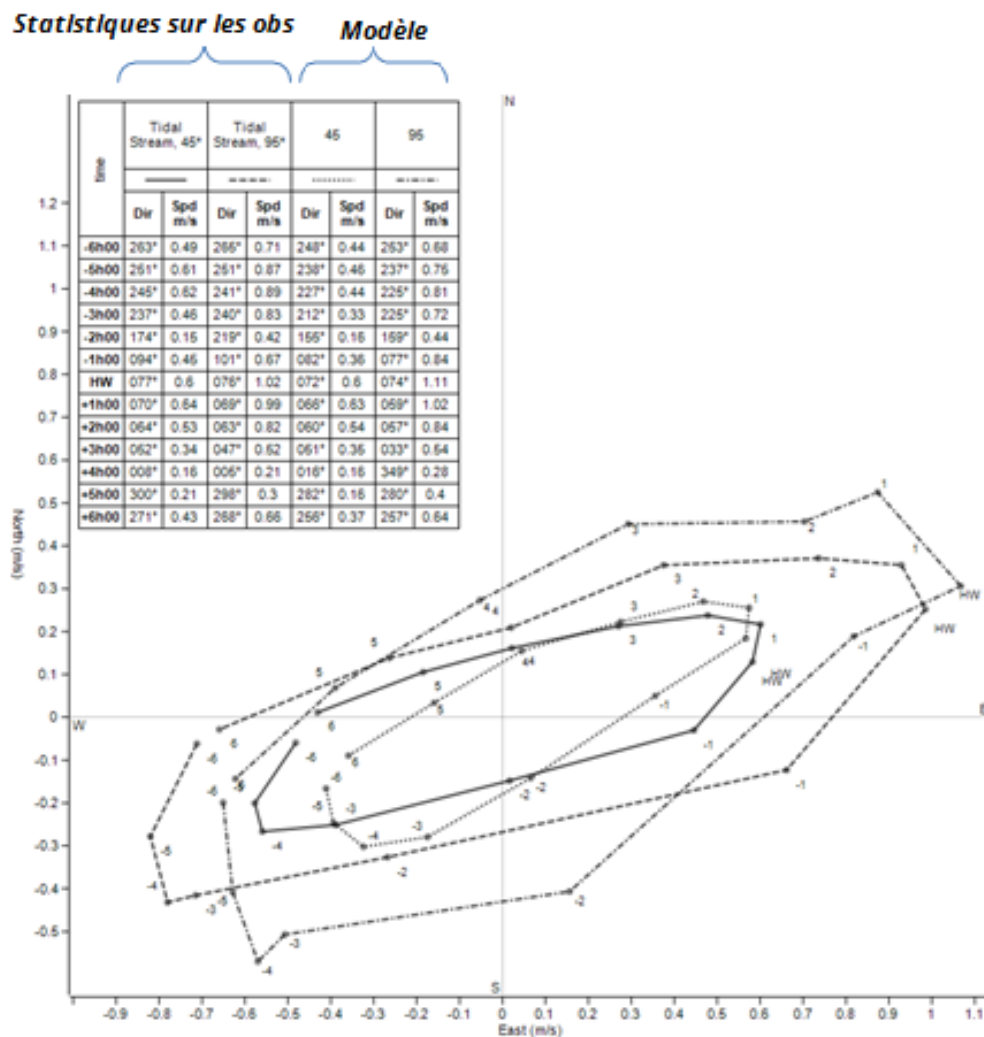


Figure 13: Superposition des roses de courants en VE et ME en surface au point AWAC 1.

La qualification du modèle se base sur les comparaisons entre ces informations horaires de u et v pour différentes couches par rapport à la surface libre suivant les deux sites de mesures. Les résultats sont détaillés dans les tableaux ci-dessous.

Point AWAC_1								
VE								
couches	MAE (m.s ⁻¹)		RMSE (m.s ⁻¹)		SD		Skill	
	u	v	u	v	u	v	u	v
2.5 m	0.11	0.15	0.13	0.18	0.07	0.11	0.79	0.88
surf	0.12	0.13	0.14	0.17	0.07	0.11	0.77	0.89
3.5 m	0.1	0.17	0.13	0.21	0.08	0.12	0.82	0.86
4.5 m	0.09	0.17	0.12	0.21	0.08	0.12	0.82	0.86
5.5 m	0.09	0.18	0.12	0.21	0.09	0.12	0.83	0.85
MI-PROF	0.09	0.17	0.12	0.2	0.09	0.11	0.82	0.86
6.5 m	0.07	0.18	0.11	0.22	0.09	0.13	0.86	0.84
7.5 m	0.08	0.23	0.13	0.3	0.1	0.2	0.83	0.8
8.5 m	0.11	0.33	0.17	0.41	0.13	0.25	0.77	0.7
8.8 m	0.13	0.26	0.17	0.3	0.11	0.15	0.68	0.62
fond	0.03	0.07	0.05	0.09	0.04	0.06	0.92	0.9
Moyenne	0.09	0.19	0.13	0.23	0.09	0.13	0.81	0.82
ME								
couches	MAE (m.s ⁻¹)		RMSE (m.s ⁻¹)		SD		Skill	
	u	v	u	v	u	v	u	v
2.5 m	0.05	0.09	0.06	0.12	0.03	0.09	0.85	0.88
surf	0.05	0.08	0.06	0.11	0.03	0.08	0.84	0.9
3.5 m	0.04	0.11	0.05	0.14	0.03	0.09	0.86	0.87
4.5 m	0.04	0.12	0.05	0.15	0.03	0.09	0.87	0.85
5.5 m	0.04	0.12	0.05	0.15	0.03	0.09	0.87	0.84
MI-PROF	0.04	0.12	0.05	0.15	0.03	0.08	0.87	0.84
6.5 m	0.04	0.13	0.05	0.15	0.03	0.08	0.88	0.83
7.5 m	0.04	0.13	0.05	0.16	0.03	0.09	0.87	0.82
8.5 m	0.05	0.2	0.06	0.25	0.04	0.16	0.84	0.72
8.8 m	0.06	0.13	0.09	0.19	0.08	0.14	0.8	0.73
fond	0.03	0.06	0.03	0.08	0.02	0.05	0.9	0.87
Moyenne	0.04	0.12	0.05	0.15	0.03	0.09	0.86	0.83

Tableau 9 : Qualification du modèle hydrodynamique en VE et ME au point AWAC_1 (Comparaison observations de courants et résultats TELEMAC 3D- Pas de Calais, 2011)

Point AWAC_2								
VE								
couches	MAE (m.s ⁻¹)		RMSE (m.s ⁻¹)		SD		Skill	
	u	v	u	v	u	v	u	v
7 m	0.1	0.17	0.15	0.24	0.12	0.17	0.87	0.8
surf	0.10	0.19	0.15	0.25	0.12	0.17	0.87	0.78
11 m	0.1	0.15	0.14	0.2	0.1	0.13	0.89	0.84
13 m	0.09	0.16	0.13	0.19	0.1	0.12	0.89	0.83
15 m	0.09	0.15	0.14	0.19	0.11	0.12	0.89	0.83
MI-PROF	0.09	0.15	0.13	0.19	0.1	0.12	0.89	0.84
17 m	0.09	0.15	0.14	0.19	0.11	0.12	0.89	0.84
19 m	0.09	0.15	0.14	0.18	0.1	0.11	0.89	0.83
21 m	0.1	0.15	0.14	0.18	0.1	0.1	0.87	0.83
1m/fond	0.09	0.11	0.12	0.14	0.09	0.1	0.88	0.87
fond	0.07	0.1	0.1	0.13	0.07	0.09	0.85	0.81
Moyenne	0.09	0.15	0.13	0.19	0.10	0.12	0.88	0.83
ME								
couches	MAE (m.s ⁻¹)		RMSE (m.s ⁻¹)		SD		Skill	
	u	v	u	v	u	v	u	v
7 m	0.05	0.09	0.06	0.1	0.03	0.06	0.89	0.84
surf	0.06	0.09	0.06	0.11	0.03	0.07	0.87	0.78
11 m	0.05	0.08	0.06	0.09	0.04	0.05	0.91	0.88
13 m	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.91	0.89
15 m	0.05	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05	0.91	0.9
MI-PROF	0.05	0.06	0.06	0.07	0.04	0.04	0.91	0.9
17 m	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.91	0.88
19 m	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.9	0.88
21 m	0.05	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.89	0.88
1m/fond	0.06	0.05	0.08	0.08	0.05	0.06	0.87	0.89
fond	0.03	0.05	0.04	0.06	0.02	0.03	0.9	0.85
Moyenne	0.05	0.07	0.06	0.08	0.04	0.05	0.90	0.87

Tableau 10: Qualification du modèle hydrodynamique en VE et ME au point AWAC 2 (Comparaison observations de courants et résultats TELEMAC 3D- Pas de Calais, 2011)

La comparaison des vitesses en fonction de la profondeur montre que le modèle reproduit bien les profils verticaux de courants.

Les résultats sont satisfaisants : le modèle reproduit correctement les composantes de courant aux deux points de mesures. La composante de vitesse zonale u est mieux représentée que la vitesse méridionale v. Cette vitesse u correspond à la composante principale du courant de marée sur la zone (direction du courant principalement orienté de WSW à ENE). Les écarts constatés sont plus importants en VE avec une MAE moyenne de 0.05 m.s⁻¹ pour u (0.15 m.s⁻¹

¹pour v. La RMSE est de 0.13 m.s⁻¹ (resp. 0.23 m.s⁻¹) en VE et de 0.05 m.s⁻¹ (resp. 0.15 m.s⁻¹) en ME pour u (resp. v) au point le plus au sud alors les résultats sur le point AWAC 2 sont meilleurs : 0.13 m.s⁻¹ (resp. 0.19 m.s⁻¹) en VE et de 0.06 m.s⁻¹ (resp.0.08 m.s⁻¹) en ME pour u (resp. v).

Le paramètre Skill, en moyenne supérieur à 0.80, permet de montrer la capacité du modèle à reproduire les intensités des vitesses de courant sur la zone.

A l'issue de cette qualification, le modèle est disposé pour la production de cartes de courants de marée sur la zone.

4. Produit de courant de marée 3D sur la zone

Le produit courant de marée 3D résultant de l'exploitation du modèle fournit des informations :

- de **vitesse** de courant de marée (m/s),
- de **direction** (°),
- le maximum de courant de marée,
- la **hauteur d'eau (totale)**,
- la cote du fond par rapport au niveau moyen.

Par sélection d'une couche (**surface, mi-profondeur et fond**) et d'une condition de marée (VE : coefficient 95 ou ME : coefficient 45), l'utilisateur accède à une information concernant les courants de marée.

Pour chaque point d'une grille irrégulière, les variables sont fournies toutes les heures, soit 13 échéances entre 6 heures avant et 6 heures après la pleine mer de Calais :

- les vitesses sont en m/s,
- les directions sont données relativement au Nord géographique et comptées de 0° (Nord) à 360° dans le sens des aiguilles d'une montre. La résolution spatiale est de 1.3 km,
- les hauteurs d'eau et cote du fond sont exprimées en m.

La notice associée donne une description plus détaillée du contenu du produit. Les informations fournies par ce produit permettent d'avoir un aperçu de la variabilité spatiale et temporelle des courants de marée sur la zone avec une représentation de type atlas de courant, par exemple.

5. Fournitures

Le dossier fourni est organisé en répertoires :

T3_1_Donnee_validees:

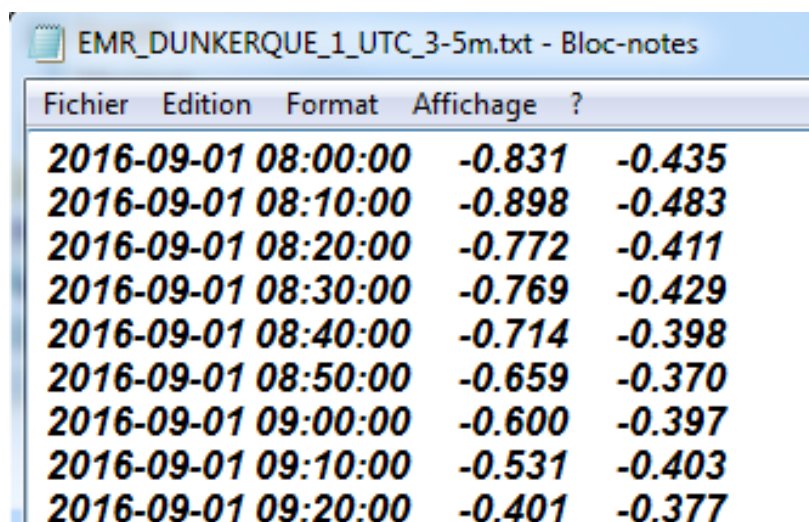
Pour les séries temporelles associées aux stations de courant : les données sont fournies sous forme de fichiers des mesures de courant in situ (u,v) en fonction du temps (toutes les 10 min) :

- o 1 fichier pour les courantomètres Monocouches
- o Autant de fichiers que de couches pour le courantomètre profileur

Sous- dossier	Position Lat/Lon	Appareil	Information sur les livrables
F0542_monocouche (mouillage AWAC_1)	51°10,118'N 002°24,633'E	Aquadopp (ponctuel)	1 immersion fournie (8.8 m) <i>EMR_DUNKERQUE_1.UTC_8-8m.txt</i>
F0542_profileur (mouillage AWAC_1)	51°10,118'N 002°24,633'E	AWAC (Profileur)	7 immersions fournies (de 2.5 m à 8.5 m tous les 1 m)
F0544_monocouche (mouillage AWAC_2)	51°11,581'N 002°24,244'E	Aquadopp (ponctuel)	1 immersion fournie (24 m) <i>EMR_DUNKERQUE_2.UTC_24m.txt</i>
F0544_profileur (mouillage AWAC_2)	51°11,581'N 002°24,244'E	AWAC (Profileur)	8 immersions fournies (de 7 m à 23 m tous les 2 m)

Le format des fichiers ascii : Format date heure (UTC) vitesse u (m/s) vitesse v (m/s)

Exemple :



Fichier	Edition	Format	Affichage	?
2016-09-01	08:00:00	-0.831	-0.435	
2016-09-01	08:10:00	-0.898	-0.483	
2016-09-01	08:20:00	-0.772	-0.411	
2016-09-01	08:30:00	-0.769	-0.429	
2016-09-01	08:40:00	-0.714	-0.398	
2016-09-01	08:50:00	-0.659	-0.370	
2016-09-01	09:00:00	-0.600	-0.397	
2016-09-01	09:10:00	-0.531	-0.403	
2016-09-01	09:20:00	-0.401	-0.377	

Un dossier **Données_Annexes** contient les données météorologiques.

T3_2 Statistiques

Dans les fichiers *.csv sont fournis les tableaux de courant associés aux analyses statistiques effectuées sur les mesures.

Mouillage	Sous- dossier	Position Lat/Lon	Information sur les livrables
AWAC_1	F0542_stat_fond	51°10,118'N 002°24,633'E	8.8 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>
	F0542_stat_surface	51°10,118'N 002°24,633'E	2.5 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>
	F0542_stat_mi-profondeur	51°10,118'N 002°24,633'E	5.5 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>
AWAC_2	F0544_stat_fond	51°11,581'N 002°24,244'E	24 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>
	F0544_stat_surface	51°11,581'N 002°24,244'E	7 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>
	F0544_stat_mi-profondeur	51°11,581'N 002°24,244'E	15 m Coefficient 45 et 95 <i>Pm Calais</i>

T3_3 Produit3D_courant

La fiche produit concernant le produit 3D de courants de marée du SHOM est disponible sous ce répertoire.

DOSSIER ME et VE

SURFACE / MI-PROFONDEUR / FOND :

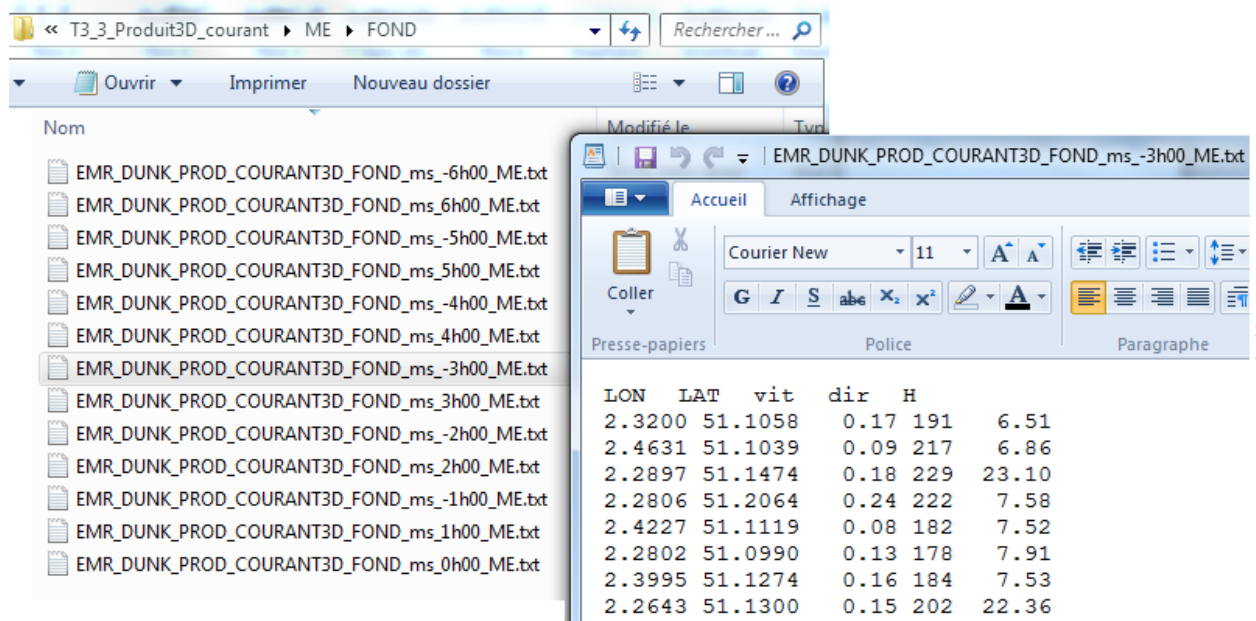
13 périodes de 6 heures avant à 6 heures après la pleine mer de Calais

➔ ASCII : Format **LON LAT vit dir H**

Coordonnées de la maille (LON LAT), vitesse (m/s), direction (degrés), niveau d'eau (m)

Séparateur tabulation

Exemple :



DOSSIER VMAX

SURFACE / MI-PROFONDEUR / FOND :

ASCII : Format **LON LAT vmax FD**

Coordonnées de la maille (LON LAT), vitesse maximale (m/s), fond (m)

Séparateur tabulation

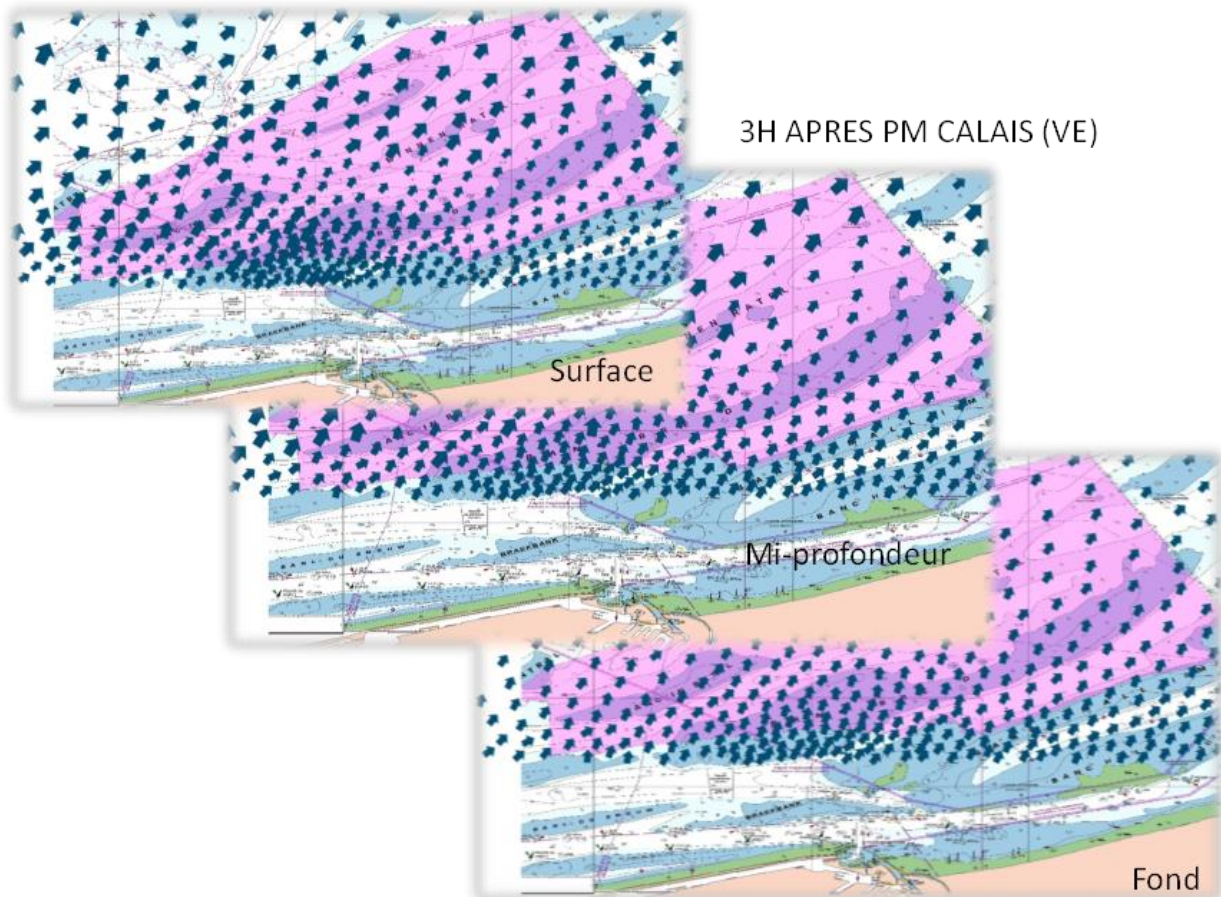
Exemple :

6. Conclusion

L'objet de ce document a été de présenter les données de courants qui ont été produites en 2016 sur deux nouveaux sites et de fournir les résultats de leur traitement. Une analyse statistique de ces observations a, dans un premier temps permis de confirmer les caractéristiques déjà décrites du courant sur la zone.

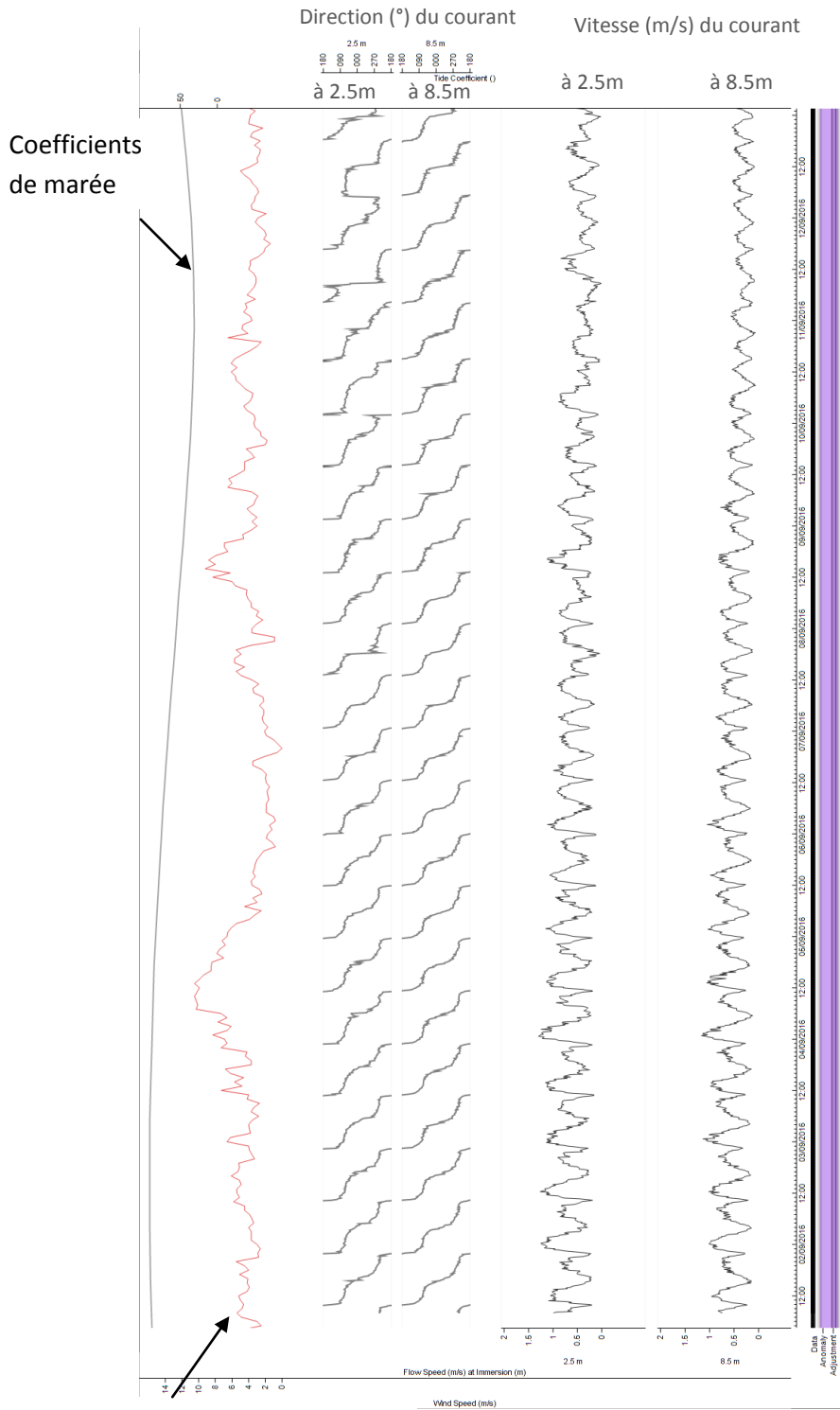
Une comparaison de ces nouvelles mesures de courants avec le modèle haute résolution de courants de marée 3D (Shom, Pas de Calais-Bais de Somme) a été faite. Les erreurs du modèle ont été estimées par des descripteurs statistiques (MAE, RMSE). Cette qualification est alors utile pour déterminer le degré de confiance à accorder au produit 3D livré dans le cadre de cette prestation.

L'ensemble des livrables de ce lot 3 est décrits en dernière partie du rapport.



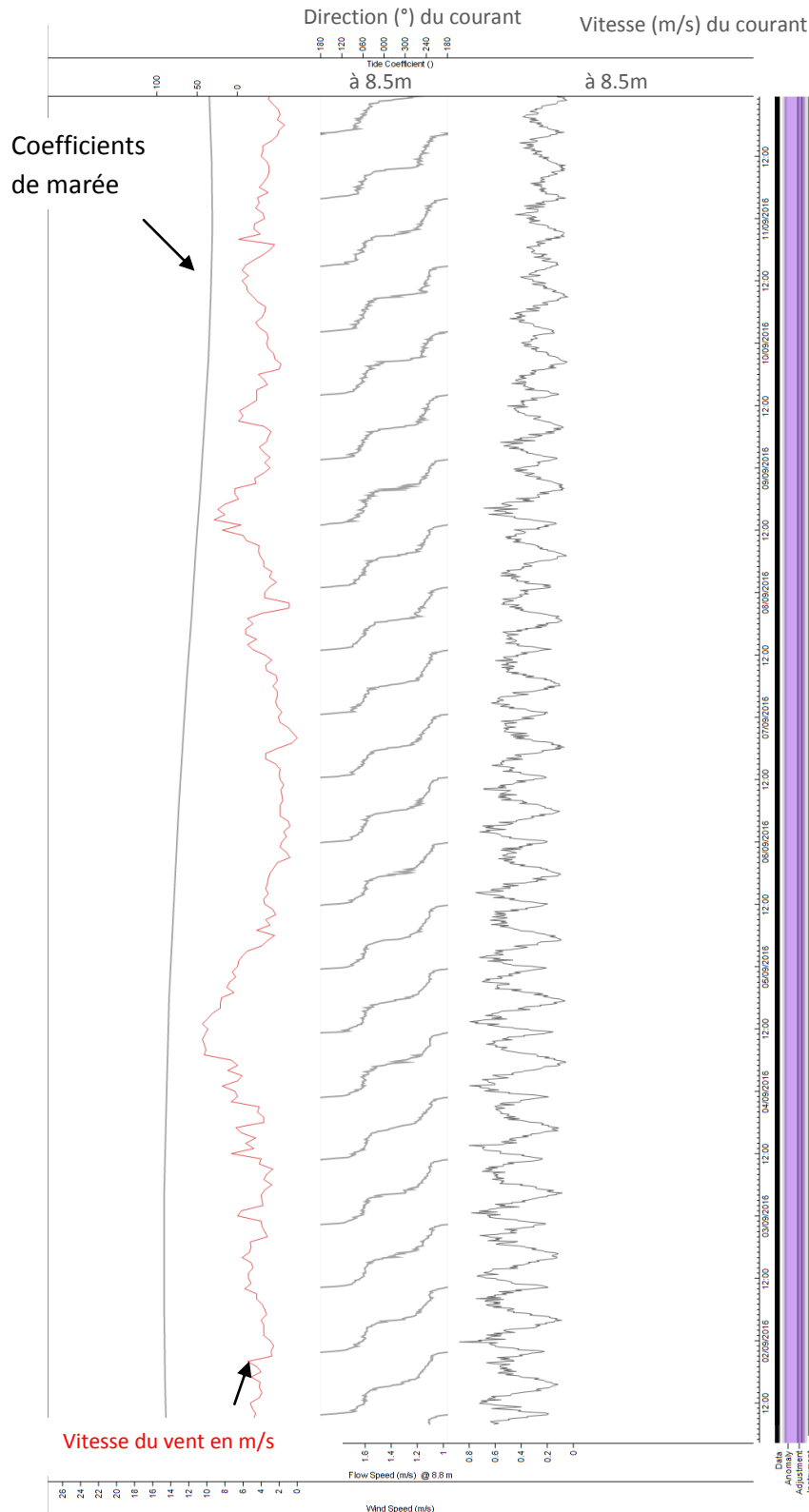
ANNEXE I :

Vitesse et direction du courant, vent sur toute la période d'observation site F0542 (AWAC_1) à 2.5 m et 8.5 m sous la surface (données profileur AWAC)

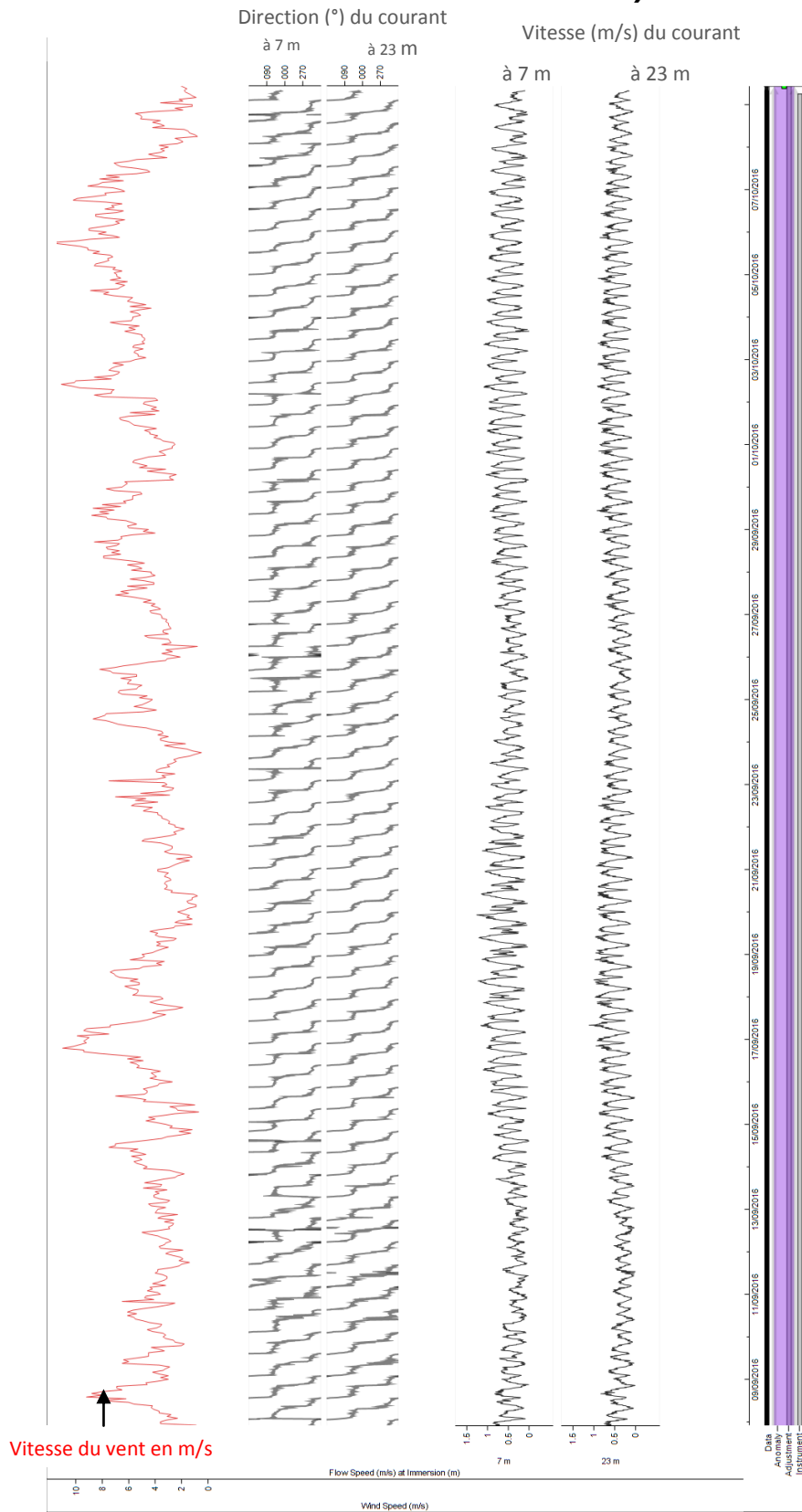


Vitesse du vent en m/s

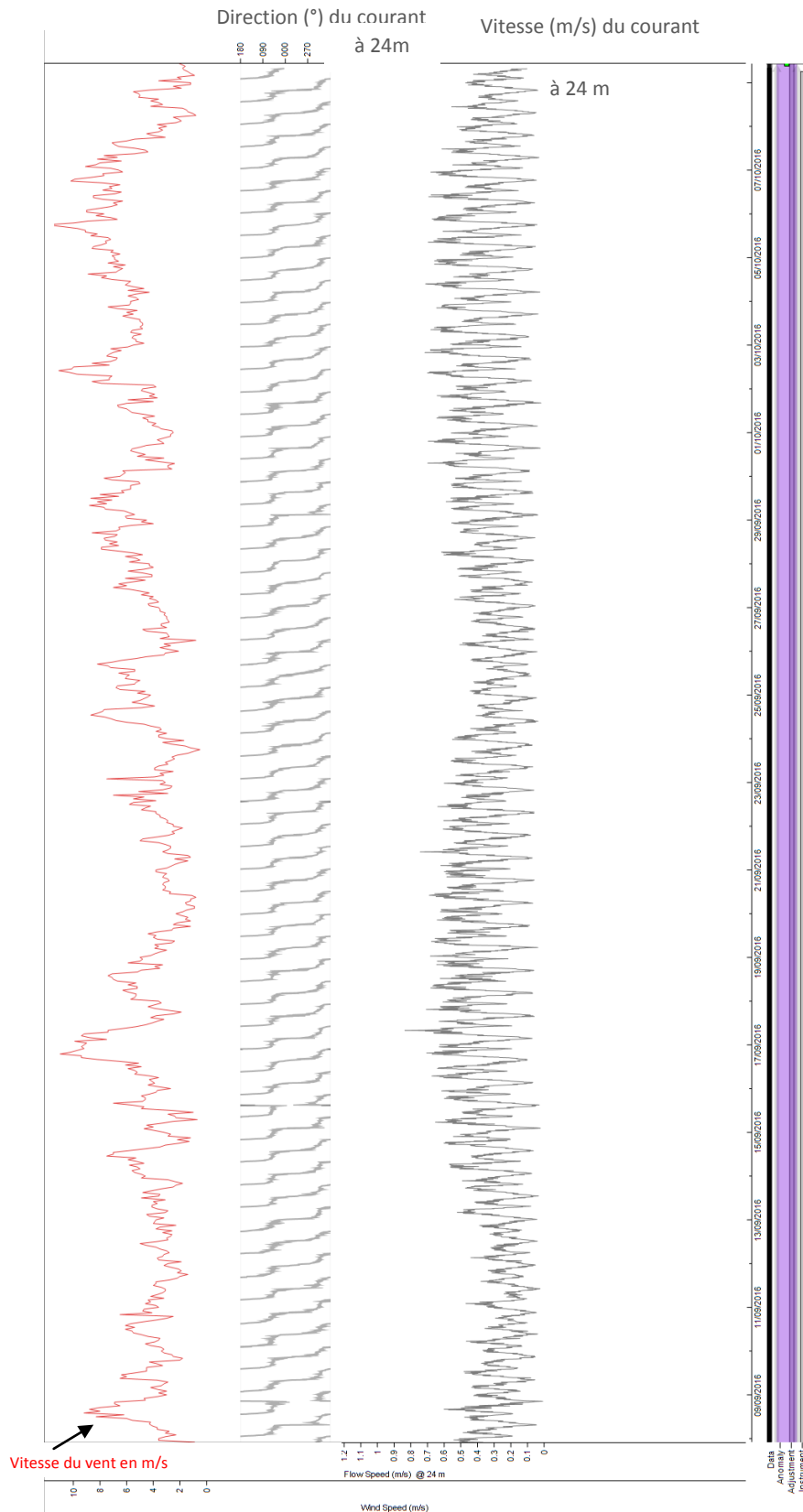
Vitesse et direction du courant, vent sur toute la période d'observation site F0542 (AWAC_1) à 8.8 m sous la surface (données courantomètre Aquadopp)



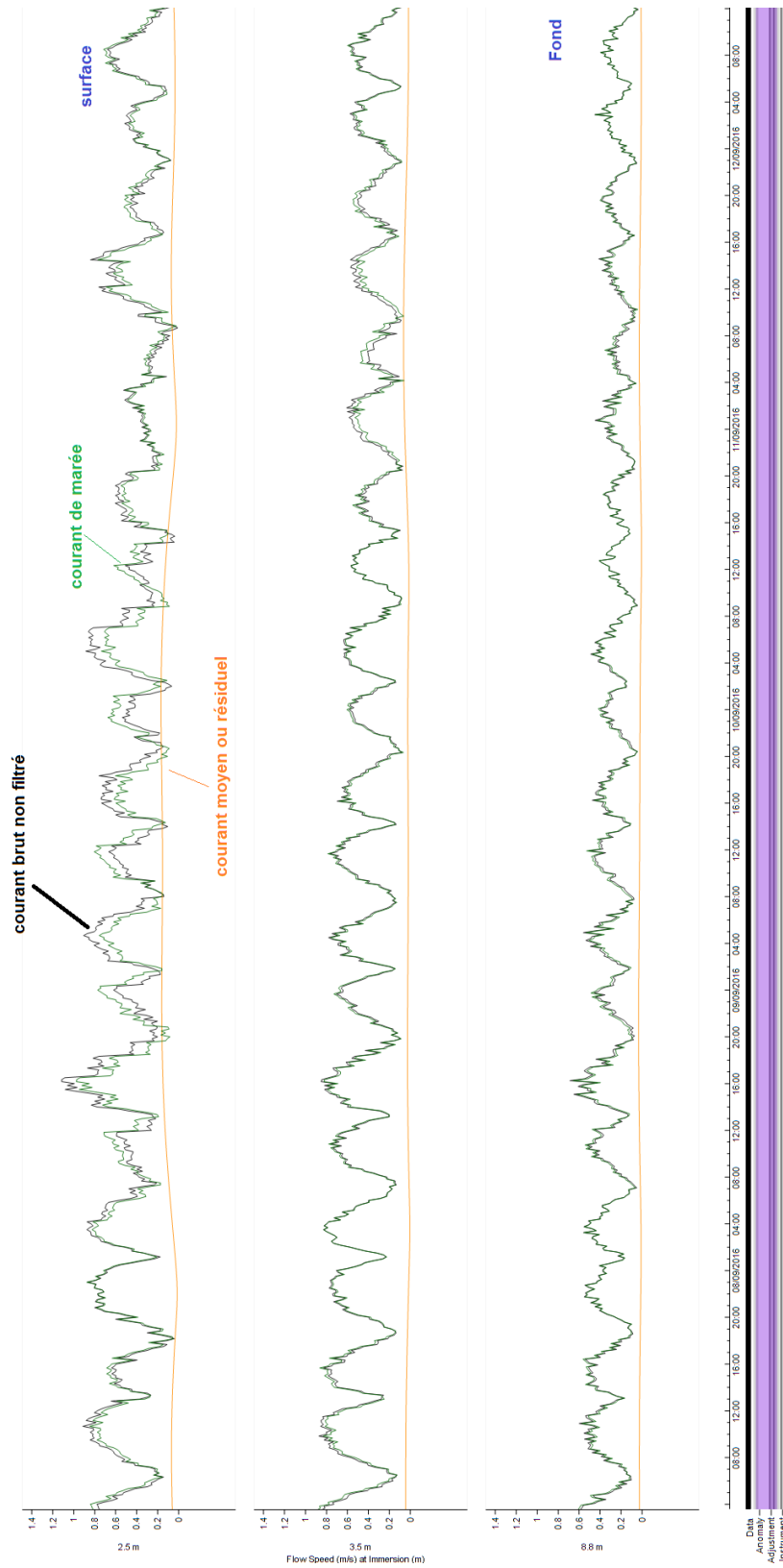
Vitesse et direction du courant, vent sur toute la période d'observation site F0544 (AWAC_2) à 7 m et 23 m sous la surface (données profileur AWAC)



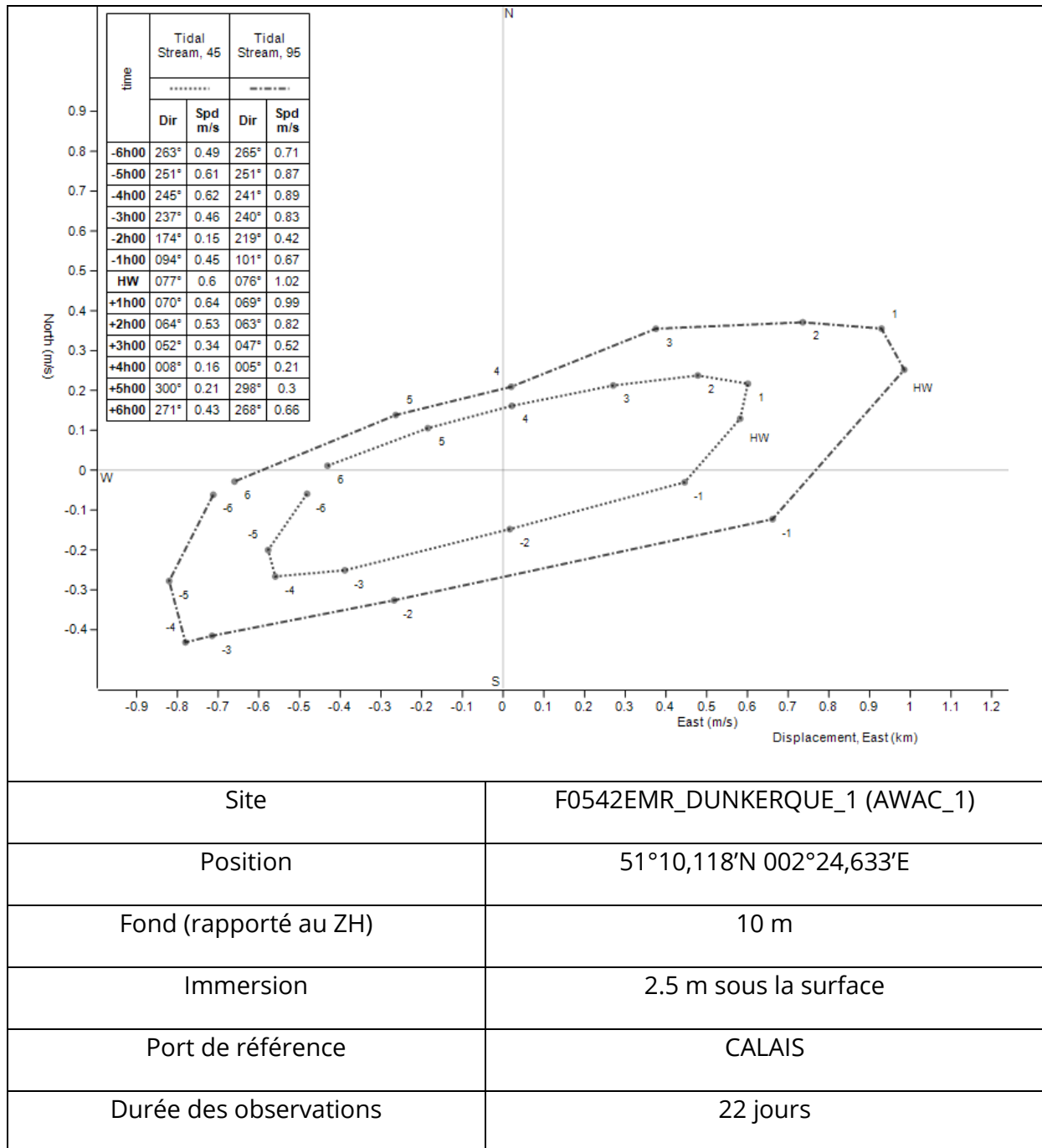
Vitesse et direction du courant, vent sur toute la période d'observation site F0544 (AWAC_2) à 24 m sous la surface (données courantomètre Aquadopp)

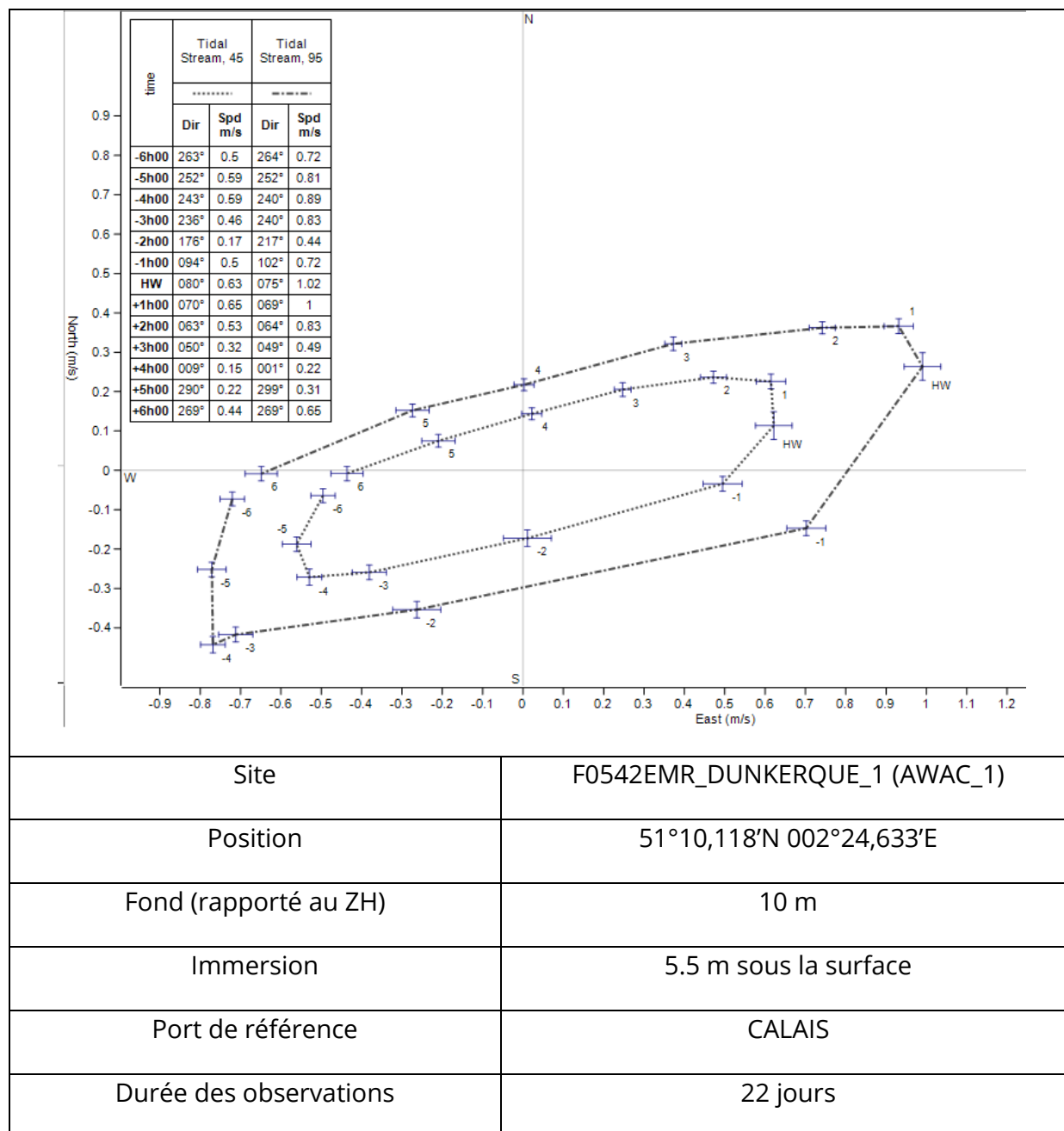


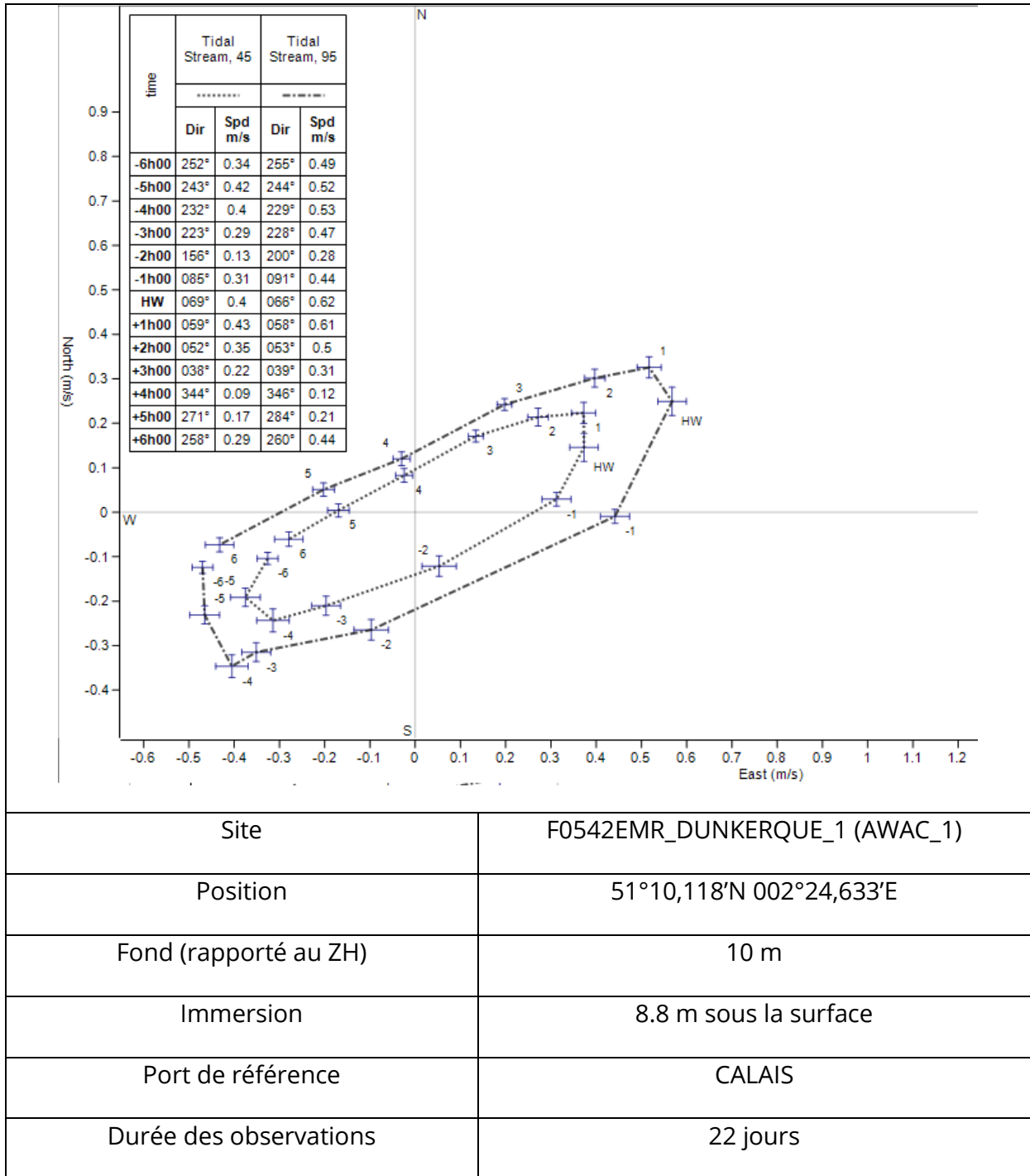
ANNEXE II : Courants mesurés et filtrés pour le site F0542 (AWAC_1)



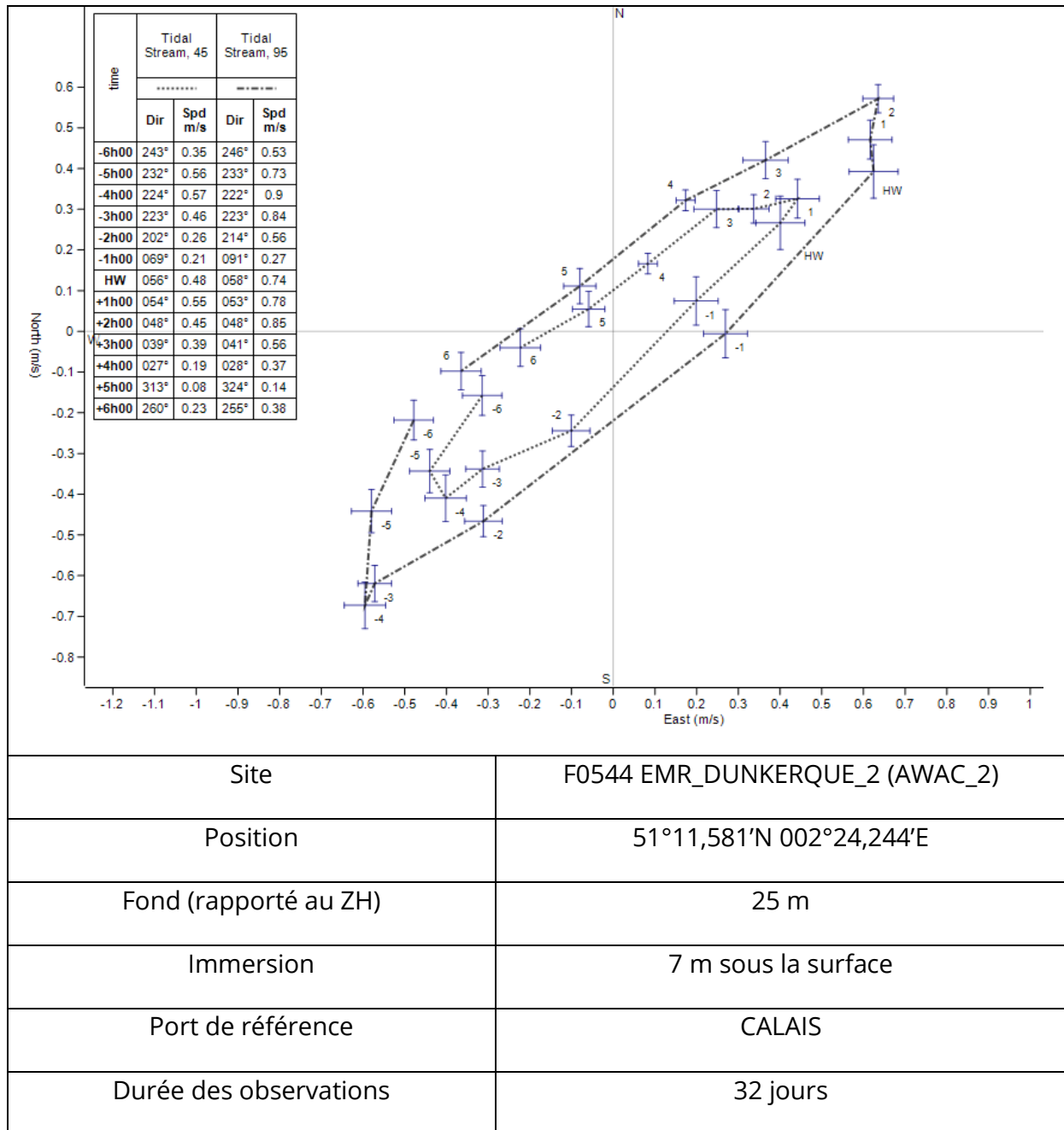
ANNEXE III : Statistiques de courant pour le site F0542







ANNEXE IV : Statistiques de courant pour le site F0544



Site

F0544 EMR_DUNKERQUE_2 (AWAC_2)

Position

51°11,581'N 002°24,244'E

Fond (rapporté au ZH)

25 m

Immersion

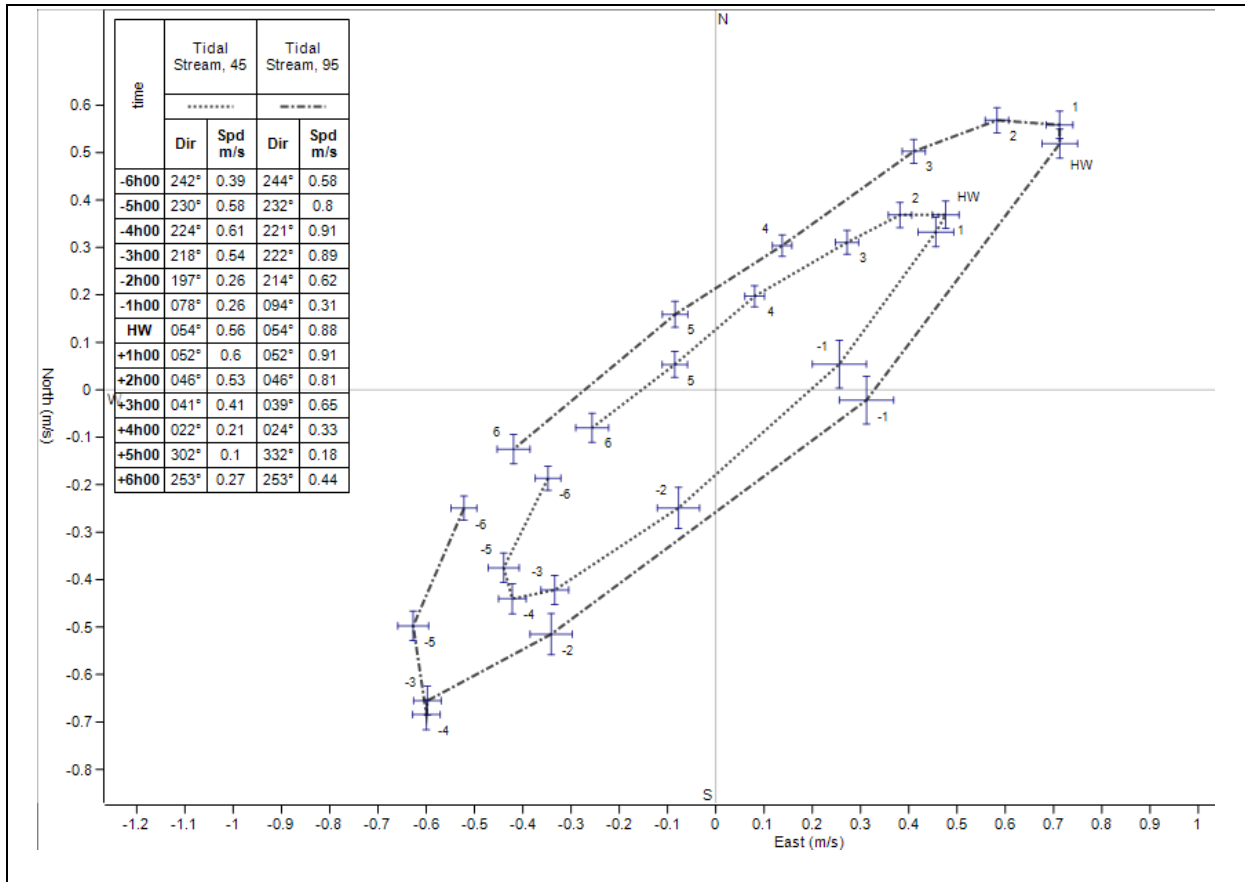
7 m sous la surface

Port de référence

CALAIS

Durée des observations

32 jours



Site	F0544 EMR_DUNKERQUE_2 (AWAC_2)
Position	51°11,581'N 002°24,244'E
Fond (rapporté au ZH)	25 m
Immersion	15 m sous la surface
Port de référence	CALAIS
Durée des observations	32 jours

