



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

Projet

SINAPSI

asistance à la Navigation pour l'Accès aux Ports en Sécurité



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA



ISMAR
Istituto di Scienze Marine



UNIVERSITÉ DE
TOULON



AdSP MTS



CONSORZIO
LaMMA



EUROPEAN
RESEARCH
INSTITUTE



CCI VAR

ACTIVITÉ T1.1: REALISATION DU RÉSEAU DE SURVEILLANCE

**PRODUIT T1.1.3: RAPPORT DES CAMPAGNES DE VÉRIFICATION DE
L'INSTRUMENTATION**

Partenaire responsable: CNR-ISMAR

Partenaires contributeurs: UNIGE, UTLN, ADSP-MTS, LaMMA



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

SOMMAIRE

Description du produit	1
1. INTRODUCTION	1
2. PORT DE GÊNES	1
2.1 Campagnes de mesure avec drifter	1
2.1.1 Drifter	2
2.1.2 Sonar	6
2.1.3 Essais préliminaires en mer	7
2.2 Campagnes de mesure avec ADCP mobile	12
2.3 Essais des radars	14
3. PORT DE LIVORNO	20
4. PORT DE TOULON	27



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

Description du produit

Après avoir acquis l'instrumentation pour la surveillance des paramètres météorologiques et maritimes dans les ports du projet SINAPSI, des opérations de test ont été effectuées sur cette instrumentation afin de vérifier son bon fonctionnement. Ce produit décrit les opérations de test effectuées et rapporte les résultats obtenus. En outre, après l'installation de l'instrumentation, des campagnes ont été réalisées pour vérifier les données acquises pendant la première période de fonctionnement de l'instrumentation fixe. Les campagnes ont été réalisées grâce à l'utilisation d'autres instruments, à savoir des courantomètres mobiles utilisés par les navires dans le Port de Gênes et l'installation temporaire d'autres courantomètres fixes dans le Port de Livourne. Ce rapport de synthèse présente les résultats obtenus lors des campagnes réalisées.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

1. INTRODUCTION

Le projet SINAPSI prévoyait l'achat, le test et l'installation de plusieurs systèmes de surveillance de la météo et de l'état de la mer dans les ports de Toulon, Gênes, Livourne et Piombino. Pour les détails des installations, voir le produit T1.1.2 "Installation de l'instrumentation et surveillance". Après l'achat de l'instrumentation, des opérations de test ont été effectuées pour vérifier son bon fonctionnement. Après l'installation de l'instrumentation, des activités ont été menées pour vérifier les données mesurées en utilisant d'autres méthodes de mesure. Ce rapport contient les premiers résultats obtenus par la mise en œuvre de ces activités. Les résultats concernant les campagnes de vérification des instruments rapportés dans ce produit sont préliminaires et seront approfondis après la fin du projet grâce à la coopération entre les partenaires et les parties prenantes impliqués dans le projet. D'autres campagnes de mesures et d'enquêtes seront réalisées et l'analyse conjointe des données permettra une étude approfondie des conditions météorologiques et marines qui caractérisent les environnements marins portuaires de la zone de coopération transfrontalière Maritime.

2. PORT DE GÈNES

Dans le port de Gênes, 4 courantomètres fixes ont été installés le long de la digue pour mesurer les courants marins et renvoyer les données en temps réel à la plateforme du projet. Des campagnes de vérification des données ont été réalisées au moyen de lancements de bouées dérivantes (drifter) et avec un courantomètre mobile utilisé par les bateaux. En outre, la zone de Gênes est impliquée dans l'installation d'un système radar HF pour mesurer les courants et les vagues en dehors de l'environnement portuaire. Voici les résultats obtenus lors des essais et de la mise à l'eau des bouées dérivantes, de l'utilisation du courantomètre mobile et des essais du système radar.

2.1 Campagnes de mesure avec drifter

L'analyse des processus physiques liés aux courants côtiers et aux processus de dispersion dans la bande côtière est d'une importance fondamentale tant d'un point de vue scientifique qu'appliqué. Le besoin d'outils d'analyse et de prévision de ces types de processus se fait sentir non seulement dans la planification et la programmation des activités humaines dans la zone côtière (c'est-à-dire le contrôle de



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

la dispersion des dragages, la conception des émissaires des stations d'épuration, les manœuvres d'amarrage des grands et petits bateaux), mais aussi dans le domaine de la gestion des urgences et de la qualité de l'eau (c'est-à-dire les déversements et la dispersion des polluants à terre et en mer, les accidents en mer et les opérations de recherche et de sauvetage).

Dans cette perspective, les modèles numériques capables de simuler l'hydrodynamique marine et côtière et les processus de dispersion d'un point de vue tant eulérien (dynamique de la concentration) que lagrangien (dispersion des masses et des objets) ont occupé une place centrale ces dernières années. Si ces modèles permettent de traiter de grandes quantités de données et de reproduire en détail les processus physiques qui se déroulent sous le littoral grâce à la croissance exponentielle de la puissance de calcul des ordinateurs modernes, ils doivent être soigneusement calibrés pour des études de cas spécifiques afin de pouvoir ensuite être utilisés dans la phase de prédiction avec des marges d'incertitude réduites.

L'acquisition de données réelles constitue donc une étape essentielle pour la définition de ce que l'on appelle les "benchmarks", c'est-à-dire des séries de données mesurées que l'on peut raisonnablement considérer comme une référence fiable pour valider les modèles numériques mentionnés ci-dessus (voir le rapport T2.1.1 "Définition de modèles numériques pour la dynamique marine des ports" pour une analyse plus approfondie). Dans cette optique, l'Université de Gênes (DICCA), dans le cadre du projet SINAPSI, a pu acquérir une série de drifter nécessaires à la mesure des courants marins caractéristiques de la zone d'étude du projet, ainsi qu'un instrument sonar permettant de mesurer la profondeur du fond marin (ce que l'on appelle la bathymétrie), informations essentielles pour le développement de modèles numériques de circulation côtière et, plus généralement, de génération et de propagation des marées et des vagues.

2.1.1 Drifter

Le modèle acheté est le Coastal Nomad BT V3 de la société SouthTex - Sensing Technologies (<https://www.southteksl.com/>), visible sur la figure 2.1.1..



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

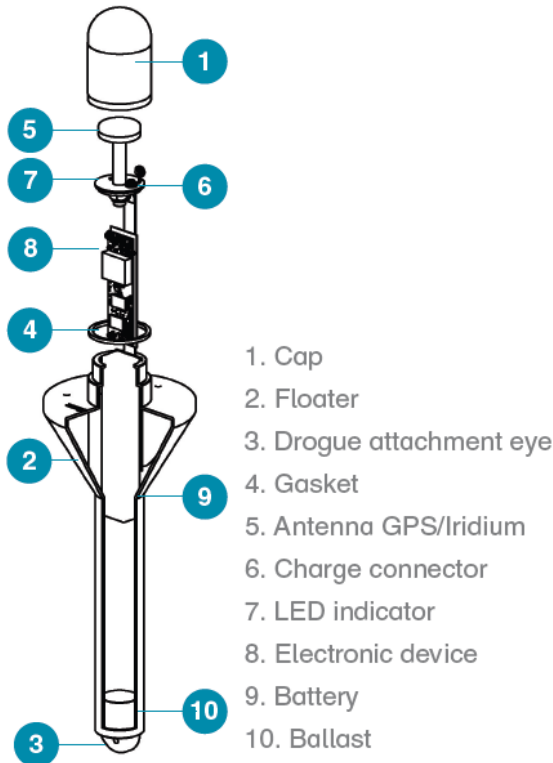
PRODUIT T1.1.3



Fig. 2.1.1 - Drifter coastal nomad BT V3.

La figure 2.1.2 présente les caractéristiques techniques de l'instrument..

Specifications



GSM	Quad-Band GSM 850/900/1800/1900 MHz
GPRS	Multi-slot class 12
GNSS	Receiver 32 channels GPS/GALILEO/SBAS: L1 1575.42 MHz GLONASS: L1 1597.5 MHz
Processor	ARM Core
Memory	5 MB (RAM) and 10 MB (Flash)
Battery	Lithium polymer (LiPo) Capacity standard 20400 mAh (Type M) Nominal = 3.7V
Antennas	Iridium: 2 dBi GNSS: 2.5 dBi
Charging conditions	DC 4.2V 2A max
Dimensions	72 cm x 22 cm x 22 cm
Weight	2895 gr

Fig. 2.1.2 - Caractéristiques techniques de coastal nomade BT.

Un drifter est un dispositif flottant, utile pour étudier les courants marins. N'étant pas ancré au fond, le dispositif se déplace par inertie par rapport aux courants marins, facilité en ce sens par une voile (ou drogue ; Fig. 2.1.3), fixée au fond afin de minimiser les effets de l'action du vent. Chaque appareil est suivi par satellite et transmet les données de position via un réseau GSM (Global System for Mobile communication) avec des fréquences d'échantillonnage assignées.

Les dispositifs coastal nomade BT sont conçus pour des campagnes de courte durée dans les zones côtières, garantissant une autonomie d'échantillonnage comprise entre deux et sept jours selon la fréquence d'échantillonnage ; la fréquence par défaut est de 10 minutes (c'est-à-dire que le dispositif enregistre la position toutes les 10 minutes). Les appareils peuvent toutefois être rechargés indéfiniment à l'aide de piles au lithium spéciales.

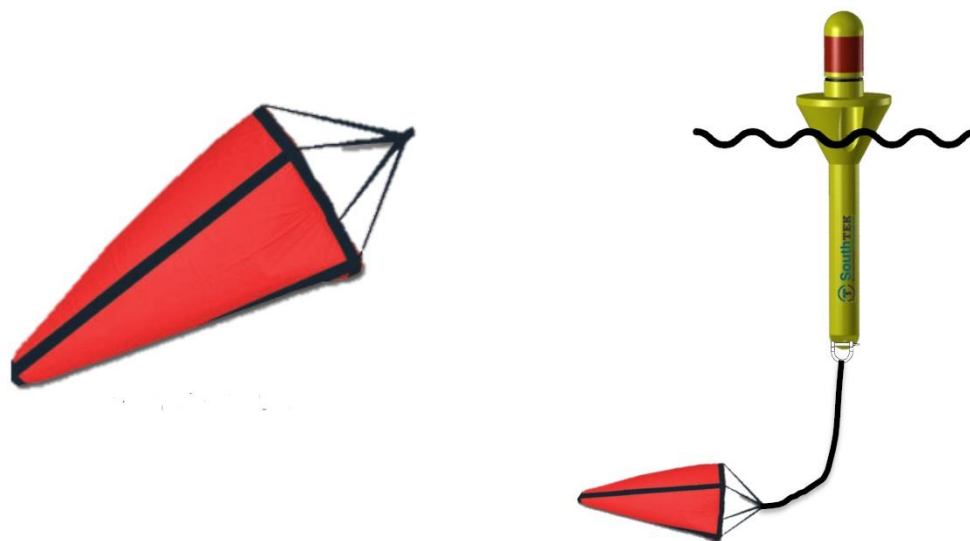


Fig. 2.1.3 - Voile fournie avec le drifter.


Enfin, le tableau ci-dessous présente la liste des appareils fonctionnant au DICCA avec leur code alphanumérique, tandis que la figure 2.1.4 montre une capture d'écran du site à partir duquel il est possible de modifier les paramètres de fonctionnement des drifters et de télécharger les données de position recueillies pendant les campagnes de mesure (<https://ldmanager.southteksl.com/public/login>).

Tableau 2.1.1 – Liste des drifters et son code d'identification (ID).

NO. DRIFTER	ID	NO. DRIFTER	ID
1	LCI00592	14	LCI00648
2	LCI00634	15	LCI00649
3	LCI00635	16	LCI00650
4	LCI00636	17	LCI00651
5	LCI00637	18	LCI00652
6	LCI00638	19	LCI00653
7	LCI00640	20	LCI00654
8	LCI00641	21	LCI00655
9	LCI00642	22	LCI00656
10	LCI00643	23	LCI00657
11	LCI00645	24	LCI00658
12	LCI00646	25	LCI00659
13	LCI00647		

Devices

Name: Prof. Giovanni Besio
Email: giovanni.besio@unige.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

Refresh
Events & alarms
Configure device
Search mode
Update software
Data available
Export data

Filter Per page

<input type="checkbox"/>	Model	ID	Status	Power	GPRS RC	Ir. RC	More
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00592	●	65%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00636	●	41%	2000		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00657	●	100%	1784		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00654	●	51%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00658	●	7%	2005		Show Details
<input type="checkbox"/>	Coastal Nomad-BT V3	LCI00653	●	78%	1979		Show Details

Fig. 2.1.4 - Interface du site pour la gestion des drifters.

2.1.2 Sonar

Le choix du sonar s'est porté sur le dispositif Deeper Smart Sonar PRO+2, qui permet de détecter la bathymétrie le long de certains transects dans les zones lacustres et/ou marines où il est utilisé. Plus précisément, il s'agit d'un sonar de type " coulable ", c'est-à-dire un dispositif de petite taille car il n'est pas capable de stocker des données. Cette caractéristique le rend extrêmement léger et maniable, et donc facile à transporter vers différents sites d'étude. Les données bathymétriques échantillonnées sont stockées dans des référentiels distants grâce à l'utilisation d'une APP associée à l'instrument (<https://deeperpersonar.com/>), qui permet de suivre le parcours grâce au Bluetooth (ce dernier étant associé à tout smartphone de nouvelle génération).

Vous trouverez ci-dessous deux images explicatives de l'instrument, soulignant sa petite taille et sa grande portée de mesure, puisque le PRO+ peut échantillonner des fonds marins jusqu'à 100 m de profondeur.

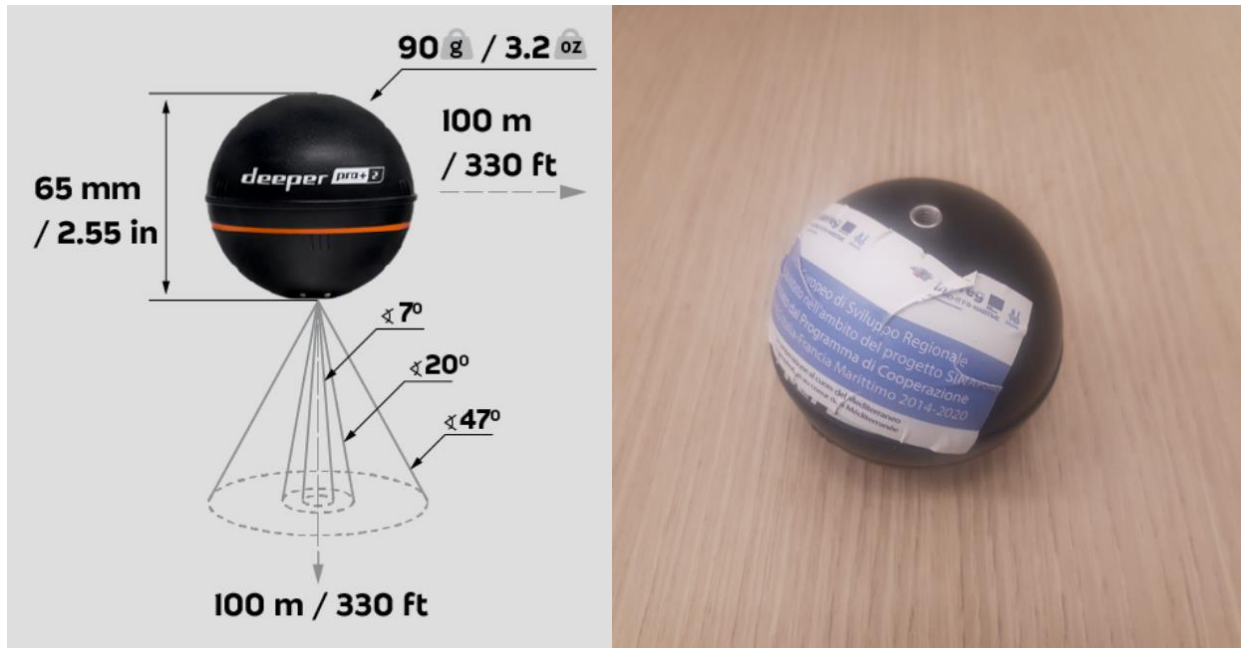


Fig. 2.1.5 - Caractéristiques du sonar Deeper Smart PRO+2.

2.1.3 Essais préliminaires en mer

Une campagne de test pour valider les données SONAR a eu lieu le 05/07/2022 le long de la côte de Sturla (Gênes, Italie). Au cours de la même campagne de tests, le bon fonctionnement d'un des drifters acquis par le projet a également été vérifié.

La figure 2.1.6 montre une capture d'écran de l'APP associé au dispositif PRO+2 pendant la campagne qui s'est tenue à Genova Sturla.

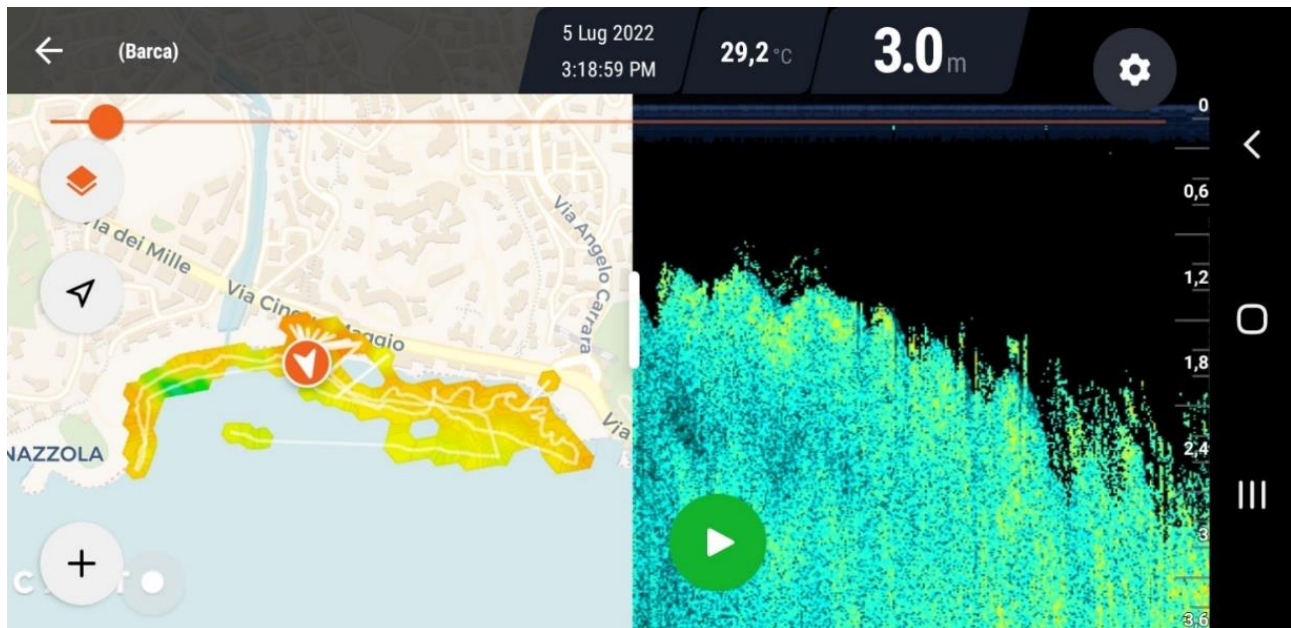


Fig. 2.1.6 - Capture d'écran de l'application associée au dispositif PRO+2. La partie gauche de l'écran montre les transects échantillonnés avec le sonar ; la partie droite de l'écran montre la section transversale du fond marin au point indiqué par la flèche orange dans le panneau gauche de l'image.

La figure 2.1.7 montre le dispositif fixé à un navire pendant la campagne de mesure.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3



Fig. 2.1.7 - Echantillonnage bathymétrique avec le sonar PRO+2 à Genova Sturla, le 05/07/2022.

La figure 2.1.8 montre certains des points de mesure échantillonnés pendant la campagne de mesure devant la plage de Genova Sturla. On peut observer que la bathymétrie est régulière, avec une élévation du fond proche de -10 m et une pente vers l'élévation émergée en direction de la côte. On peut voir certains points qui ont été placés par erreur dans la mer alors qu'ils se trouvent sur la terre ferme (voir le transect en bleu le long de la route sur la Fig. 2.1.8), ce qui nécessite un post-traitement des données afin d'éliminer les erreurs physiologiques dans l'échantillonnage et la transmission ultérieure des données.

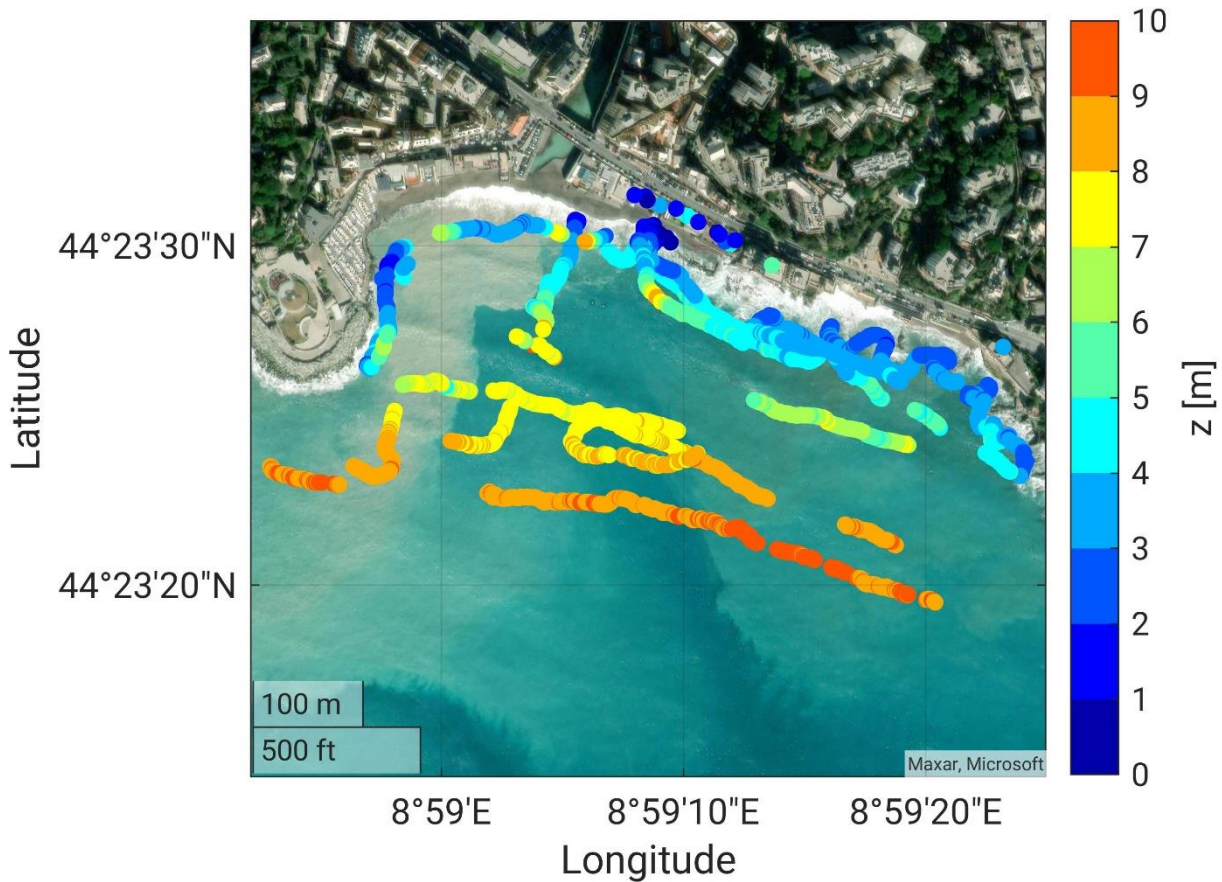


Fig. 2.1.8 - Points élevés devant Sturla échantillonnés à l'aide du sonar PRO+2. Les couleurs correspondent à différentes élévations, comme le montre l'échelle sur le côté de la figure.

La figure 2.1.9 montre le drifter placé dans l'eau pendant la campagne de mesure, tandis que la figure 2.1.10 montre les données recueillies pendant environ deux heures d'échantillonnage. On peut voir la trajectoire typique dans le sens inverse des aiguilles d'une montre du courant local qui se propage vers l'ouest, avant d'être affecté par l'effet d'écran du promontoire où se trouve la station d'épuration de Genova Sturla, qui constitue la limite occidentale de la plage de Sturla (et, inversement, la limite orientale de la plage voisine de Vernazzola).



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3



Fig. 2.1.9 - Drifter en place pendant la campagne de mesure le 05/07/2022.

Des échantillons similaires à celui de la figure 2.1.10 ont ensuite été placés dans les sites pilotes du projet SINAPSI, effectuant des enregistrements de quelques jours à l'aide de drifter (DICCA compte 25 appareils), avant que les instruments ne soient récupérés.

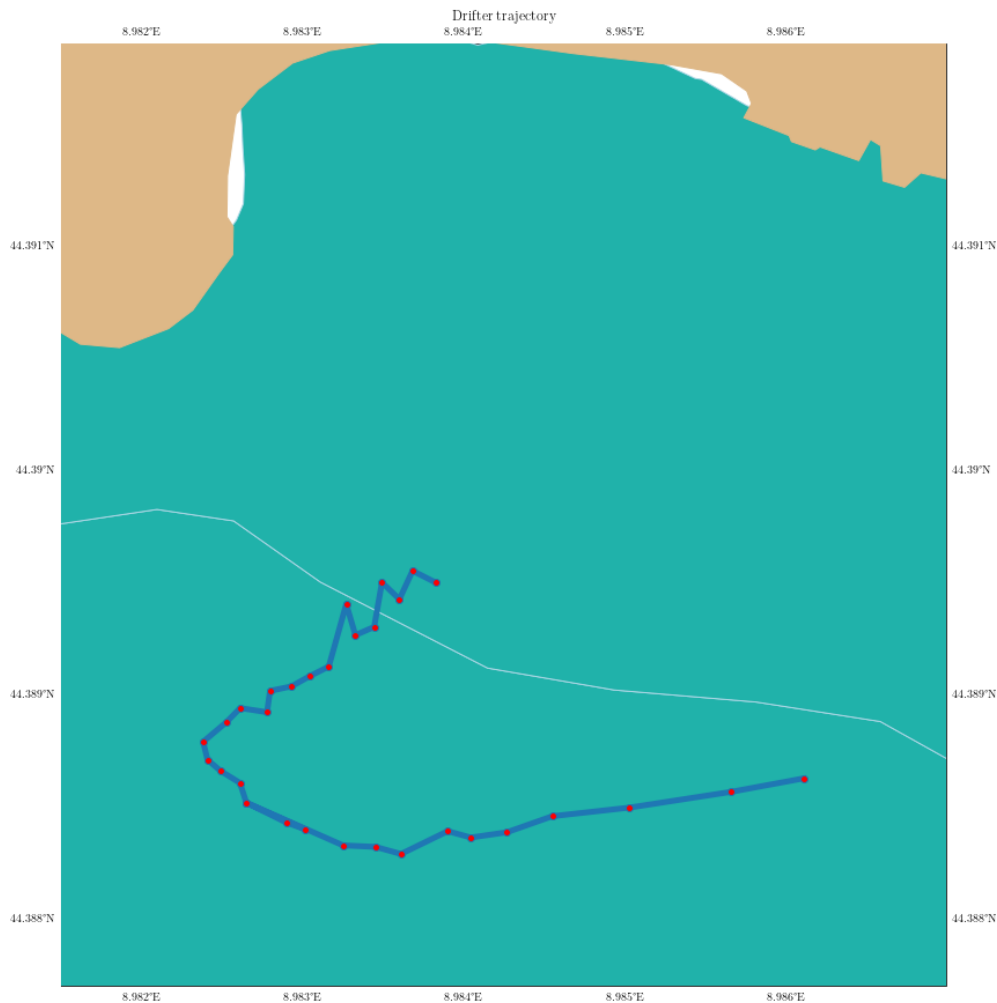


Fig. 2.1.10 - Mesures enregistrées par le drifter dans la baie de Sturla dans l'après-midi du 05/07/2022.

2.2 Campagnes de mesure avec ADCP mobile

Durant la période septembre-décembre 2022, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées par bateau pour acquérir des mesures de courants le long de la colonne d'eau dans le miroir d'eau du port de Gênes. Pendant les campagnes, un courantomètre vertical ADCP d'une fréquence de 1200 kHz a été utilisé et des mesures ont été effectuées aux 4 stations fixes installées sur le brise-lames (Fig. 2.2.1). En raison des conditions météorologiques et du trafic maritime, il n'a pas été possible d'effectuer des mesures à tous les H-ADCP lors de toutes les campagnes.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3



Fig. 2.2.1 – A gauche : le courantomètre V-ADCP pendant les mesures sur le bateau ; à droite : une station fixe pendant les mesures..

Les valeurs des directions de courant observées pendant les campagnes de mesure par le V-ADCP et le H-ADCP à chaque station fixe ont été comparées. Les mesures des directions des courants effectuées par les deux instruments sont en accord, avec des différences mineures entre les données mesurées par les deux types d'instruments, sachant que les mesures V-ADCP ont été effectuées à différentes distances des H-ADCP en fonction des conditions météorologiques et du trafic maritime, et que les H-ADCP enregistrent les courants sur une grande section horizontale à l'intérieur de laquelle il peut y avoir une variabilité dans les directions des courants. La correspondance est légèrement moindre dans les données de la station fixe de l'entrée orientale du port : tout le trafic maritime entrant et sortant du port est obligé de passer par cette partie du port et le transit continu des navires a un impact considérable sur la dynamique des courants ; en outre, la largeur de l'entrée elle-même entraîne également une certaine variabilité dans la dynamique à travers l'entrée, en particulier en présence de vents forts et de mers du sud-est ou du nord.

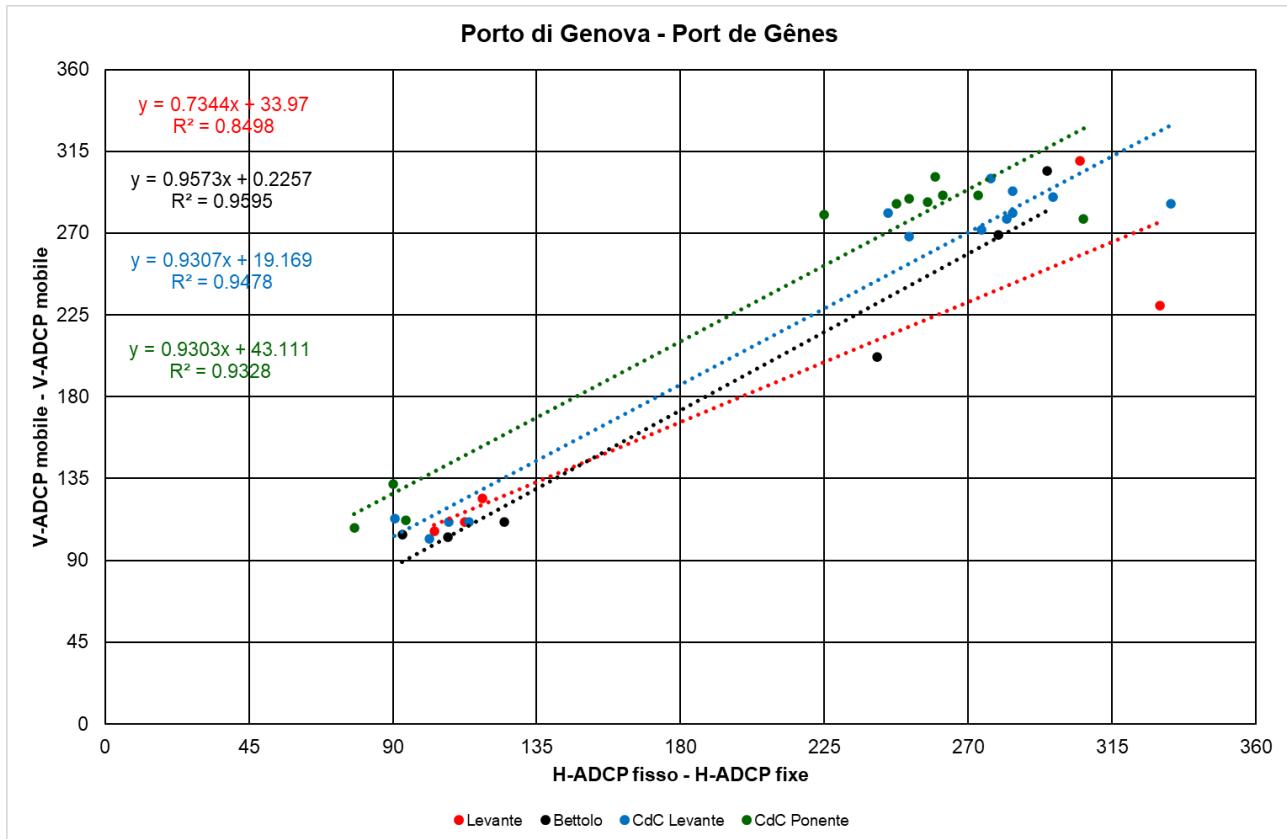


Fig. 2.2.2 – Valeurs des directions du courant mesurées par les V-ADCP et H-ADCP.

2.3 Essais des radars

Cette section rend compte des résultats des tests du système radar en bande HF acheté par le CNR grâce aux fonds du projet SINAPSI. Au moment de la rédaction du présent document, il n'a pas été possible d'effectuer un autre type de campagne d'essais car les deux radars HF, prévus dans les zones de Gênes Voltri et Quarto dei Mille, ne sont pas encore opérationnels. Le radar en question est un modèle WERA IV produit par la société HELZEL MESSTECHNIK GMBH et est utilisé pour la télédétection continue et en temps réel des courants marins de surface et du mouvement des vagues.

Comme il s'agit d'un équipement destiné à la télédétection de paramètres océanographiques, les essais ont eu lieu sur un site d'essai qui reflète l'environnement de fonctionnement typique d'un radar HF, c'est-à-dire un site proche de la mer, avec une vue dégagée et en l'absence d'interférences électromagnétiques pertinentes. Le site identifié était le port de Viareggio, Viale Marinai d'Italia et le phare du barrage de Foranea, où un autre radar HF du réseau transfrontalier était déjà opérationnel.



PRODUIT T1.1.3

La figure 2.3.1 montre la disposition des éléments qui faisaient partie de l'instrumentation scientifique testée. Les 28, 29 et 30 mars 2022, les antennes de réception et de transmission ont été installées et calibrées sur la plage près du phare de la digue de Viareggio. Une camionnette (icône bleue "van with electronics") contenant l'électronique d'acquisition était garée le long de la route près du phare.

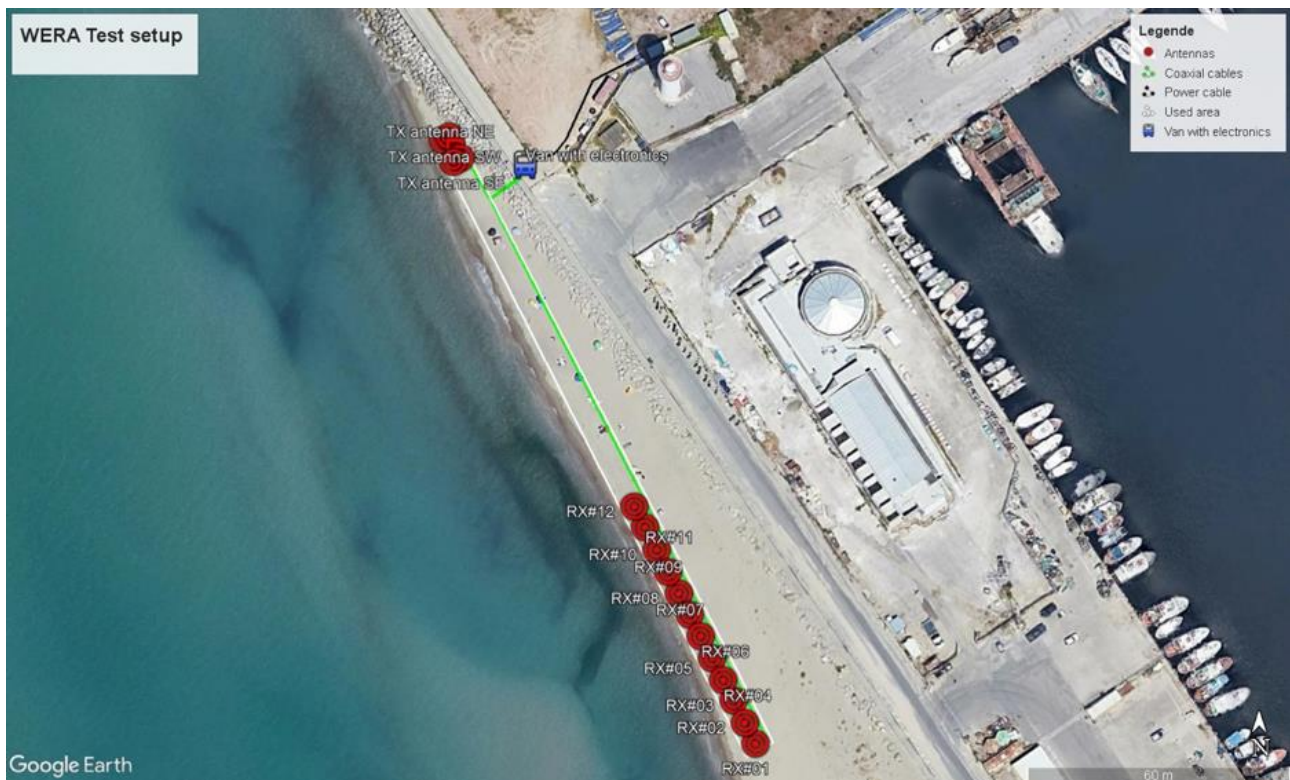


Fig. 2.3.1 - Schéma de la disposition des principaux éléments du système radar Hf pendant les essais au port de Viareggio.

Deux groupes d'antennes ont été positionnés le long de la plage, occupant deux rectangles de 10 x 6 mètres (groupe d'icônes rouges TX = émission) et 60 x 6 mètres (groupe d'icônes rouges RX = réception), respectivement, le côté long étant parallèle à la ligne de côte. Les antennes sont de minces montants verticaux soutenus par des poteaux en bois d'une section de quelques centimètres et d'une hauteur maximale de 2,5 mètres. Le réseau d'antennes TX fonctionne en radiofréquence sur les bandes attribuées par l'Union internationale des télécommunications (UIT) pour les applications océanographiques. La puissance d'émission est limitée à 7 watts et le rectangle indiqué a été délimité par des marques visibles. Le groupe d'antennes RX ne fonctionnait qu'en réception.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

Des câbles coaxiaux posés sur le sol ou enterrés juste sous le sable reliaient les deux jeux d'antennes à l'électronique d'acquisition, en suivant approximativement les lignes vertes indiquées sur la figure. Un câble d'alimentation a été retiré du phare du barrage grâce au soutien du Comando Zona Fari de La Spezia. Les deux radars HF ont été connectés en séquence au même jeu d'antennes, chacun pendant une durée suffisante pour assurer la stabilité du système et le bon déroulement des mesures, de l'acquisition et du traitement des données. Pendant toutes les opérations, le personnel du CNR-ISMAR a été soutenu par les ingénieurs de HELZEL.

Les figures suivantes illustrent certains des résultats de la vérification des instruments et les principaux éléments du système radar HF.

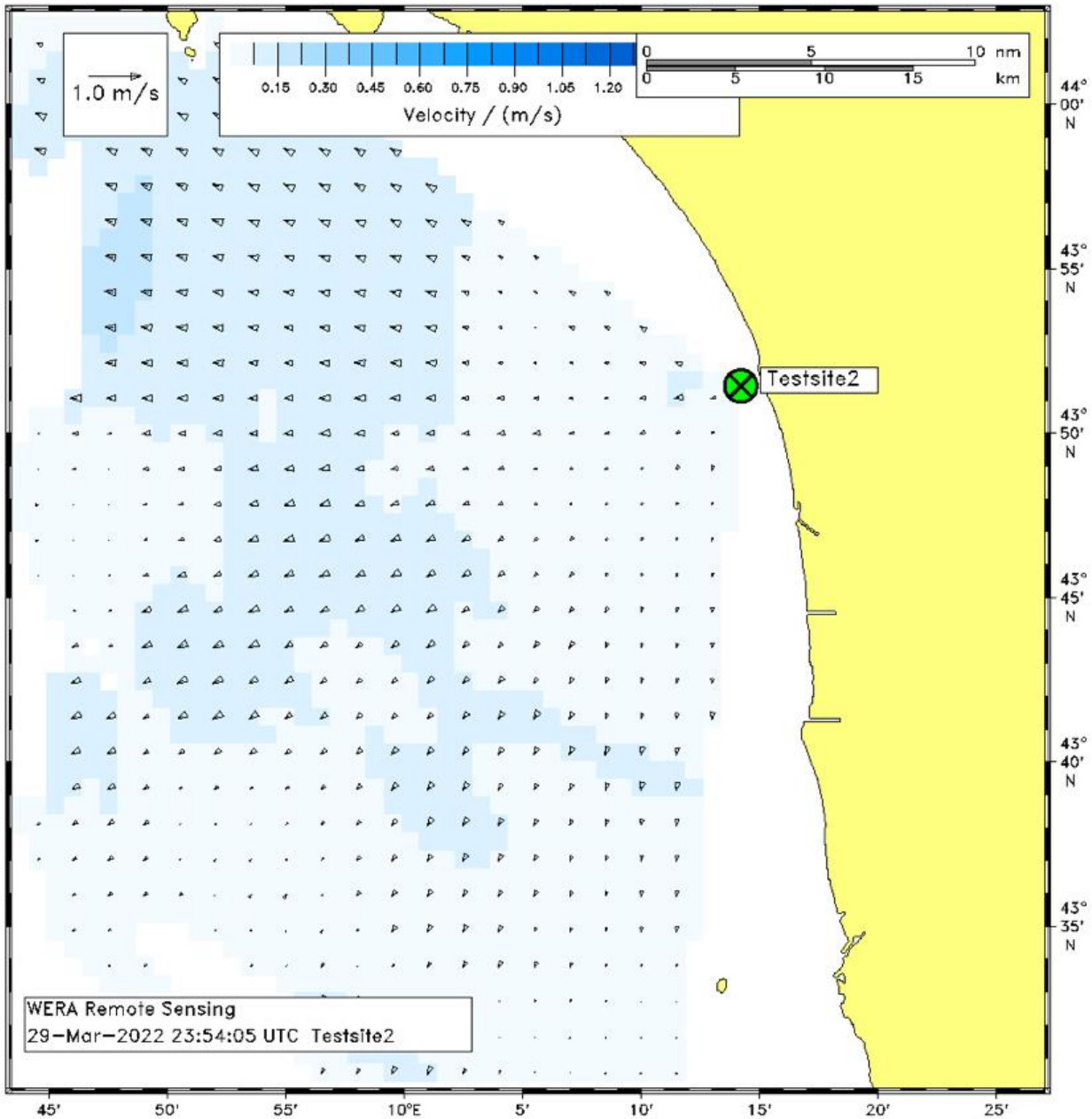


Fig. 2.3.2 - Carte des vitesses de courant mesurées par la station radar HF individuelle (composante radiale).

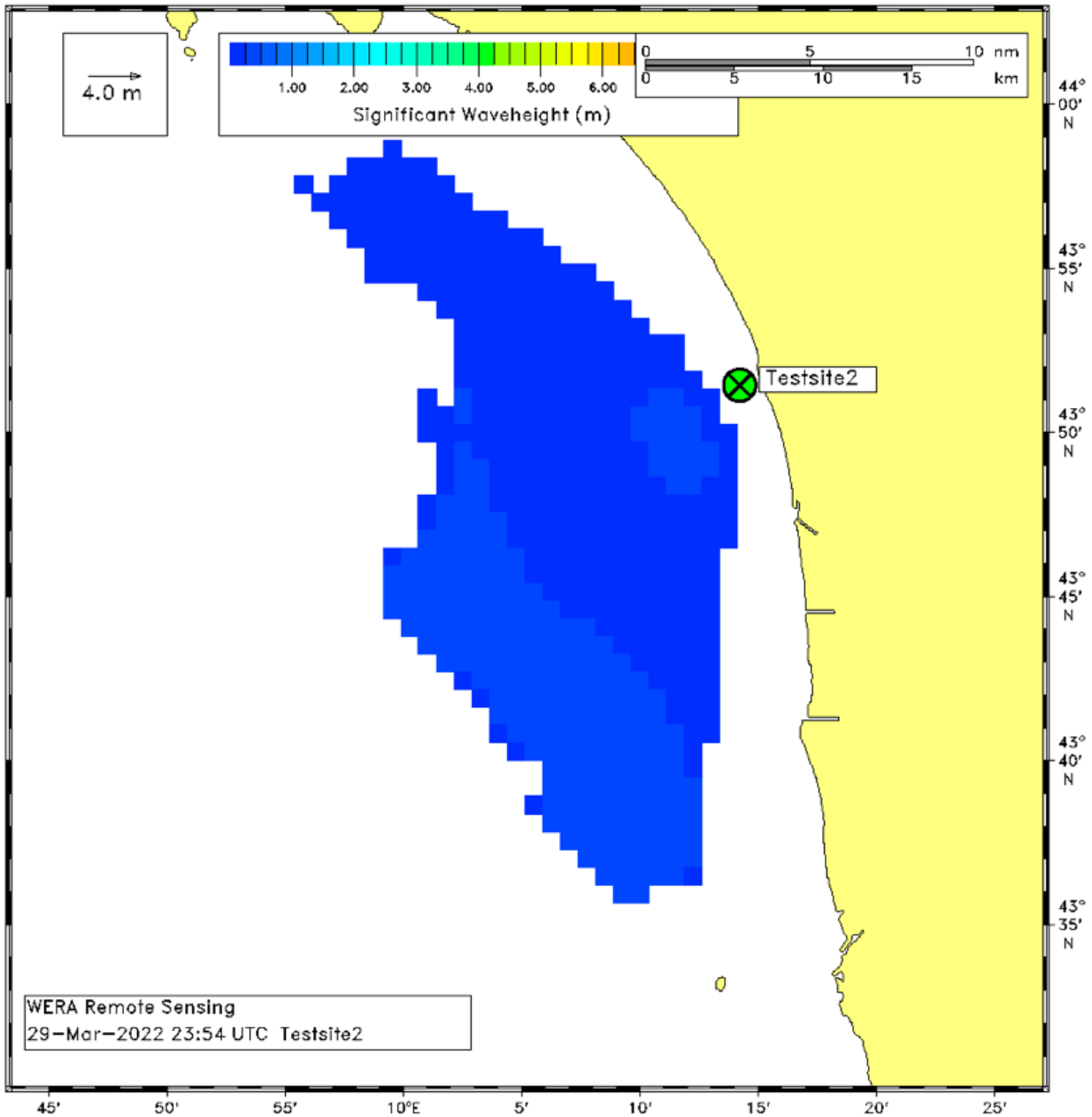


Fig. 2.3.3 - Carte des valeurs de hauteur significative des vagues détectées par la station radar HF individuelle (composante radiale).



Fig. 2.3.4 - Photo de la configuration du système radar HF pendant les tests. En haut, l'unité émettrice-réceptrice placée dans la camionnette ; en bas, le groupe d'antennes de réception installé sur la plage.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODUIT T1.1.3

3. PORT DE LIVORNO

Ce chapitre fournit une première description des données collectées dans le cadre des campagnes de mesure menées par le LaMMA dans le cadre de SINAPSI. Les données se réfèrent à la zone portuaire de Livorno, où une première expérimentation des courantomètres/ondamètres ADCP acquis par le Consortium LaMMA dans le cadre du projet a eu lieu. Les deux ADCP ont été acquis et installés par le LaMMA dans le but de collecter des données supplémentaires, pendant des périodes limitées, nécessaires aux opérations de calibration et de validation des modèles hydrodynamiques et de mouvement des vagues avec lesquels le système de prévision portuaire est réalisé.

L'analyse de ces données est toujours en cours et celle présentée dans ce document doit être considérée comme préliminaire.

Traitement des données ADCP

Une première campagne de mesure utilisant les ADCPs LaMMA a commencé le 23 juin 2022 dans la zone portuaire de Livorno. Les données ont été acquises en continu jusqu'au 5 octobre 2022, date à laquelle une première récupération de l'instrumentation a été effectuée afin de vérifier les acquisitions correctes jusqu'à cette date et d'effectuer une première analyse des données enregistrées dans la mémoire. A partir du 3 novembre 2022, les ADCP ont été à nouveau positionnés sur le fond afin de conclure la période d'acquisition prévue fin janvier/début février 2023.

Les positions des installations (Fig. 3.1) ont été choisies de manière à permettre d'évaluer à la fois les principaux flux d'énergie des courants et des vagues qui traversent la zone marine du port, et les changements que ces flux subissent par interaction avec les structures internes du port. Ces observations complètent celles des stations de mesure des courants et des vagues installées par l'AdSP-MTS, également dans le cadre du projet.



Identificativo	ADCP (600 KHz) - Lamma1
Posizione GPS	43°31.7490'N 10°17.6480'E
Batimetria misurata	15,2 m
Identificativo	ADCP (1000KHz) - Lamma2
Posizione GPS	43°32.2160'N 10°17.6600'E
Batimetria misurata	8 m

Fig. 3.1 - Localisation des ADCPs près du port de Livourne.

Les ADCP déployés sont du type AWAC Nortek et sont capables de mesurer à la fois les profils de courant et les données relatives aux vagues, telles que la période (moyenne et pic), la direction (moyenne et pic), la hauteur significative et moyenne des vagues, et le spectre. Ils fonctionnent à des fréquences de 600 kHz et 1000 kHz et sont installés à des profondeurs de 15,2 m et 8 m respectivement.

Vous trouverez ci-dessous quelques graphiques des paramètres acquis.

La figure 3.2 (colonne de gauche) montre les tracés de hauteur de vague pour les deux ADCP et le tracé polaire correspondant (colonne de droite) dans lequel on peut voir la distribution de la direction moyenne des vagues. Cette direction, dans le cas du mouvement des vagues, provient du troisième quadrant, pendant toute la période observée, et correspond à la direction du vent dominant auquel le port est exposé, c'est-à-dire le sud-ouest (SW). Les pics sont visibles en correspondance avec les houles qui se sont produites à la fin du mois de septembre, ce qui est également confirmé par



PRODUIT T1.1.3

le graphique du Centre fonctionnel régional (CFR-Toscane), par rapport à la bouée à vagues située près de l'île de Gorgona (Fig. 3.3). Ce dernier graphique montre une tendance similaire à celle des ADCP, avec des valeurs de pointe plus élevées, en raison de la plus grande exposition de la bouée au mouvement des vagues, du fait de sa plus grande distance de la côte, égale à environ 15 NM.

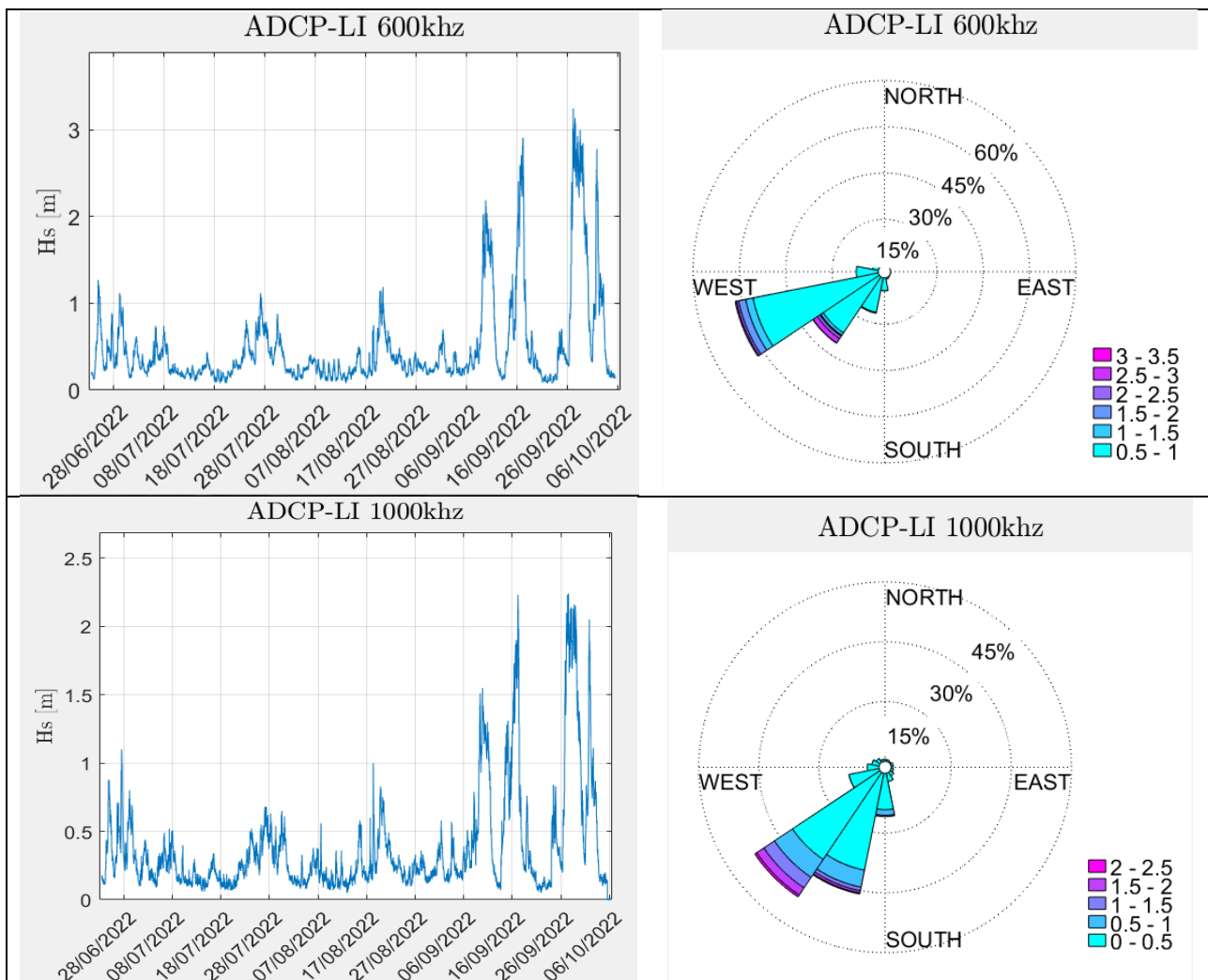


Fig. 3.2 - A gauche les graphiques de la hauteur des vagues sur la période des enregistrements (23/06/2022-05/10/2022), à droite les graphiques polaires de la hauteur des vagues pour la même période.

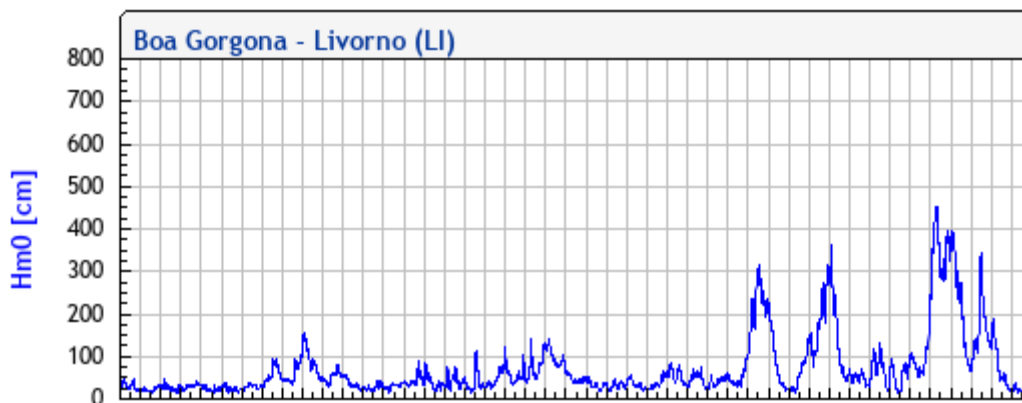


Fig. 3.3 - Graphique de la tendance de la hauteur significative des vagues enregistrée par la bouée régionale de mesure des vagues. (CFR).

Toujours en ce qui concerne la figure 3.2, une rotation de la direction des vagues peut être observée entre les jauges de courant placées à une profondeur d'environ 15 m et d'environ 8 m respectivement, ce qui laisse la forme de la distribution inchangée mais tend à la faire tourner vers le sud, en raison des processus de transformation des vagues en eau peu profonde, c'est-à-dire la réfraction et la diffraction des vagues.

Cet effet de rotation, pour donner un exemple d'événement, est illustré à la figure 3.4, dans laquelle est représenté le spectre de la houle du Libeccio (SW) du 27 septembre 2022. La colonne de gauche fait référence à l'ADCP-600 kHz, la colonne de droite à l'ADCP-1000 kHz. Sont représentés de haut en bas respectivement : le spectre complet de la houle (en fréquence et en direction) en coordonnées polaires, le spectre directionnel contenant la variation de la direction en fonction de la fréquence, et le spectre d'énergie contenant la distribution d'énergie de la houle en fonction de la fréquence. La houle observée a un contenu énergétique maximal à une fréquence d'un peu plus de 0,1 Hz, soit un peu moins de 10 secondes, et une direction sud-ouest pour les deux ADCP. Dans le spectre de l'ADCP-1000 kHz, situé dans la zone la plus intérieure du port, des composantes plus importantes apparaissent à des fréquences plus élevées, ce qui peut être attribué à la présence de bruit pendant l'acquisition mais aussi à la plus grande quantité de réflexion des différentes composantes de la vague.

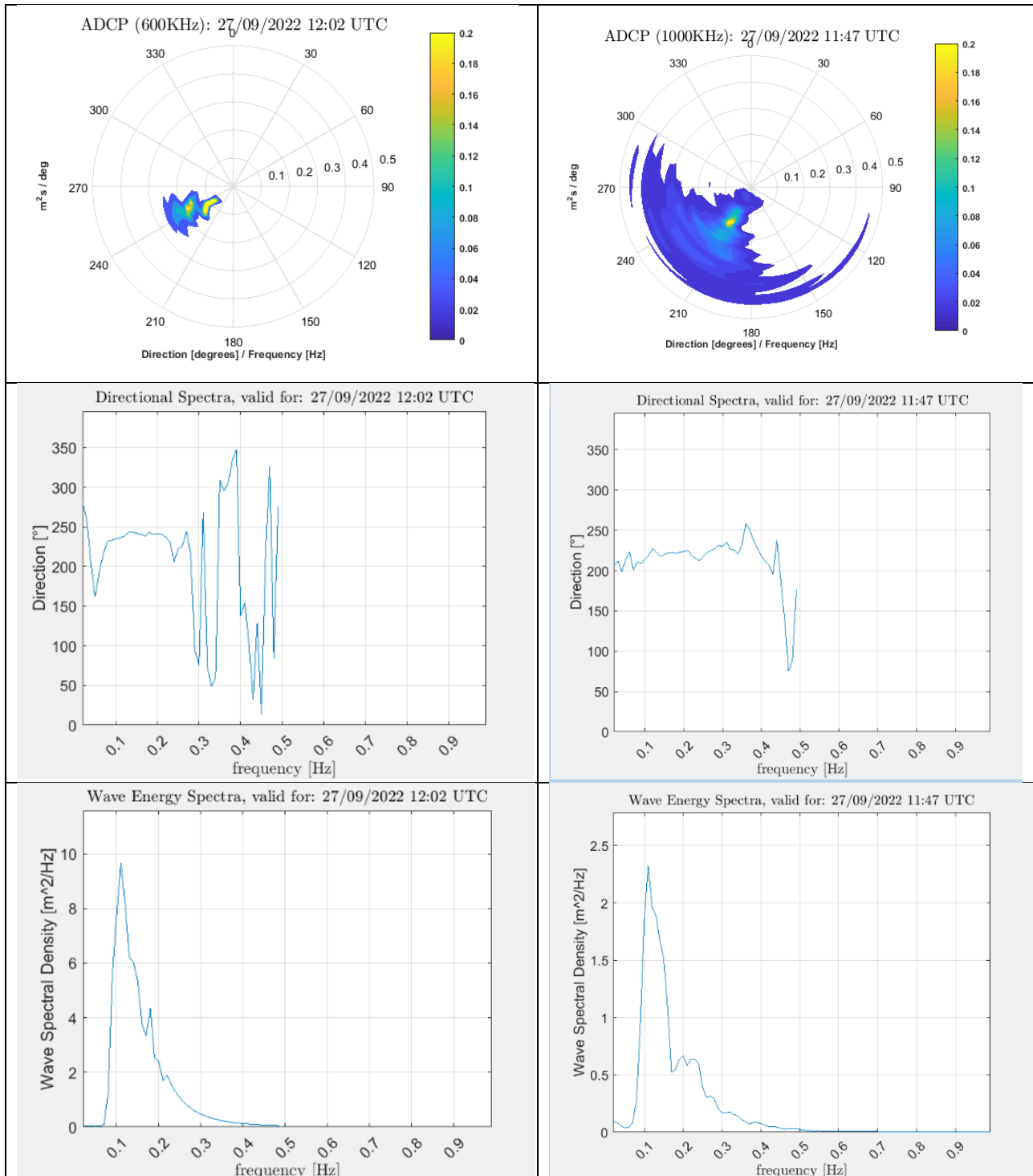


Fig. 3.4 - Analyse dans le domaine spectral des vagues. Dans la colonne de gauche se trouvent les spectres de l'ADCP-600 kHz. A droite ceux de l'ADCP-1000 kHz. De haut en bas sont représentés respectivement : le spectre complet des vagues, en direction et en fréquence, le spectre directionnel et la densité spectrale d'énergie.



PRODUIT T1.1.3

La figure 3.5 montre la distribution des intensités de courant en coordonnées polaires. A titre d'exemple, en procédant de gauche à droite, les graphiques des courants de l'état le plus profond à l'état de surface sont représentés. En particulier, à une distance de 1,5 m, 7,5 m et 14,5 m du fond pour l'ADCP fonctionnant à 600 kHz, et à 0,9 m, 4,4 m et 7,9 m pour celui fonctionnant à 1000 kHz.

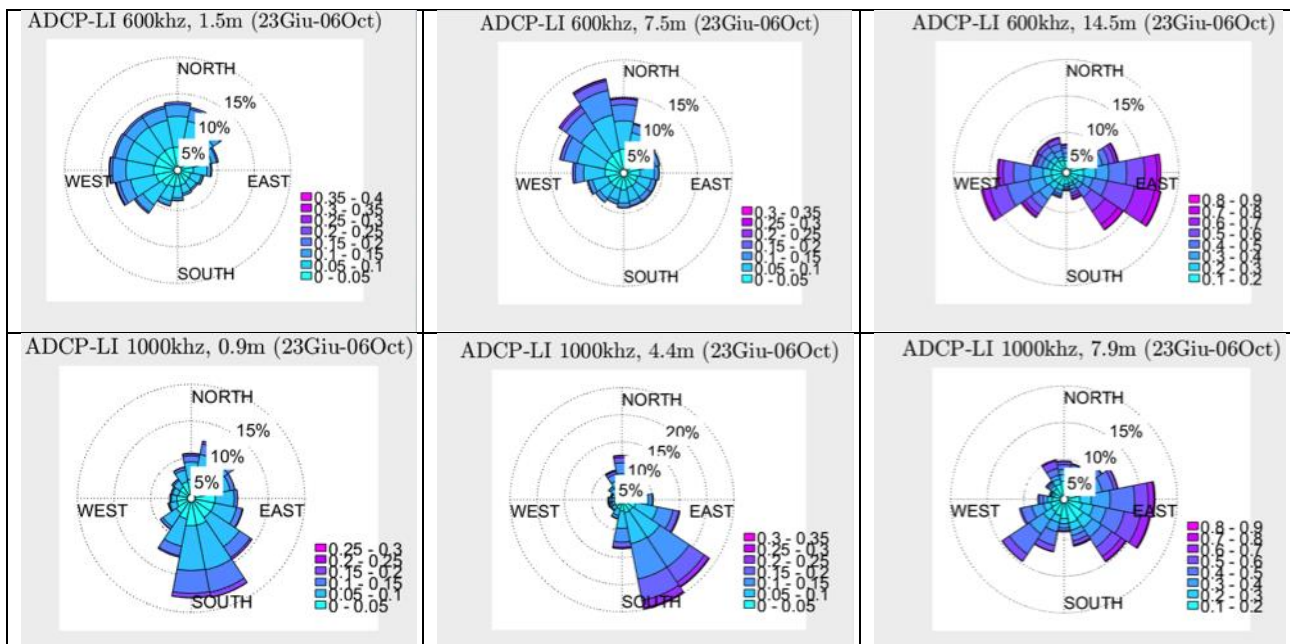


Fig. 3.5 - De gauche à droite, les graphiques des courants de l'état le plus profond à l'état le moins profond. Les distances sont : 1,5 m, 7,5 m et 14,5 m du fond pour l'ADCP fonctionnant à 600 kHz, et 0,9 m, 4,4 m et 7,9 m pour celui fonctionnant à 1000 kHz.

La figure 3.6 ci-dessous montre le graphique moyen, sur toute la période examinée, du profil vertical de l'intensité du courant.

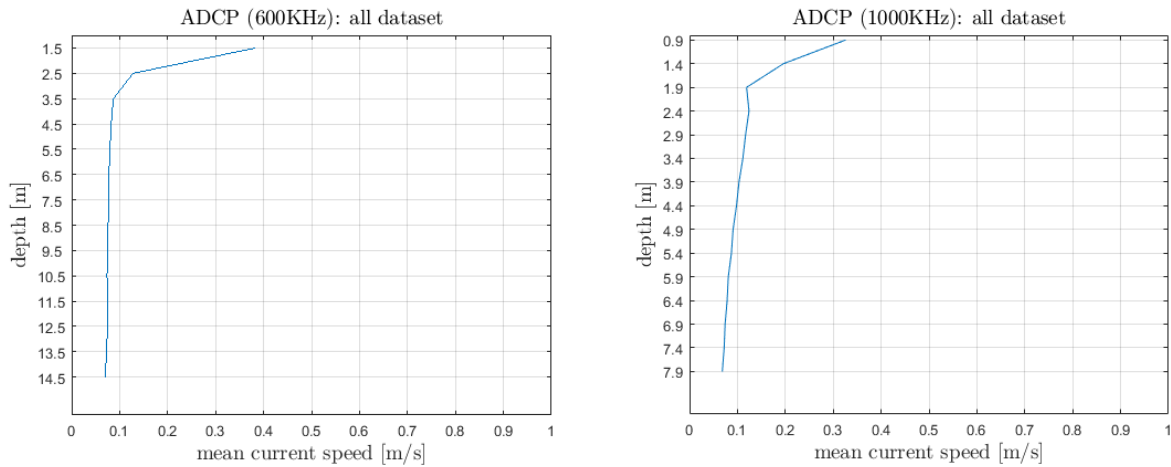


Fig. 3.6 - Profil moyen de courant pour toute la période considérée (23/06/2022 - 06/10/2022). La gauche se réfère à l'ADCP-600 kHz, la droite à l'ADCP-1000 kHz.

La figure 3.7 montre, à titre d'exemple, l'évolution temporelle de la direction du courant de surface pour les deux ADCP. Pour des raisons de visualisation, seule une sous-période est représentée.

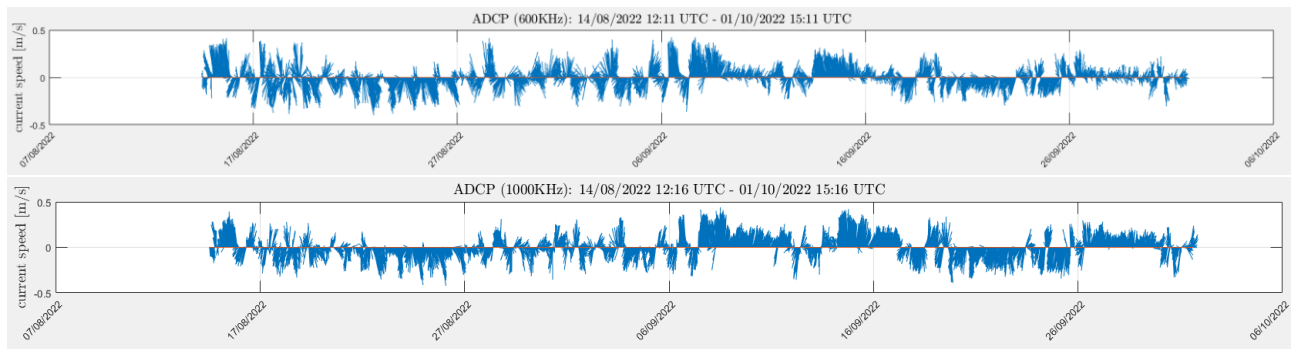


Fig. 3.7 - Direction des courants de surface pour une sous-période (14/06/2022 - 01/10/2022). Le graphique supérieur se réfère à l'ADCP-600 kHz, le graphique inférieur à l'ADCP-1000 kHz.

4. PORT DE TOULON

Trois systèmes de mesure ont été installés dans le Port de Toulon, comme le montre la figure 4.1: ST1 et ST2 respectivement à Saint-Mandrier et devant le port des Oursinières, et ST au centre de la rade.



Fig. 4.1 - Localisation des stations de mesure.

La figure 4.2 illustre les roses des vents à l'intérieur de la baie de Toulon sur la station ST3. Le panneau (a) pour l'intensité et la direction du vent mesurées, tandis que le panneau (b) représente l'intensité du courant et sa direction après avoir fait la moyenne des valeurs de vitesse des couches supérieures 0-3m.



PRODUIT T1.1.3

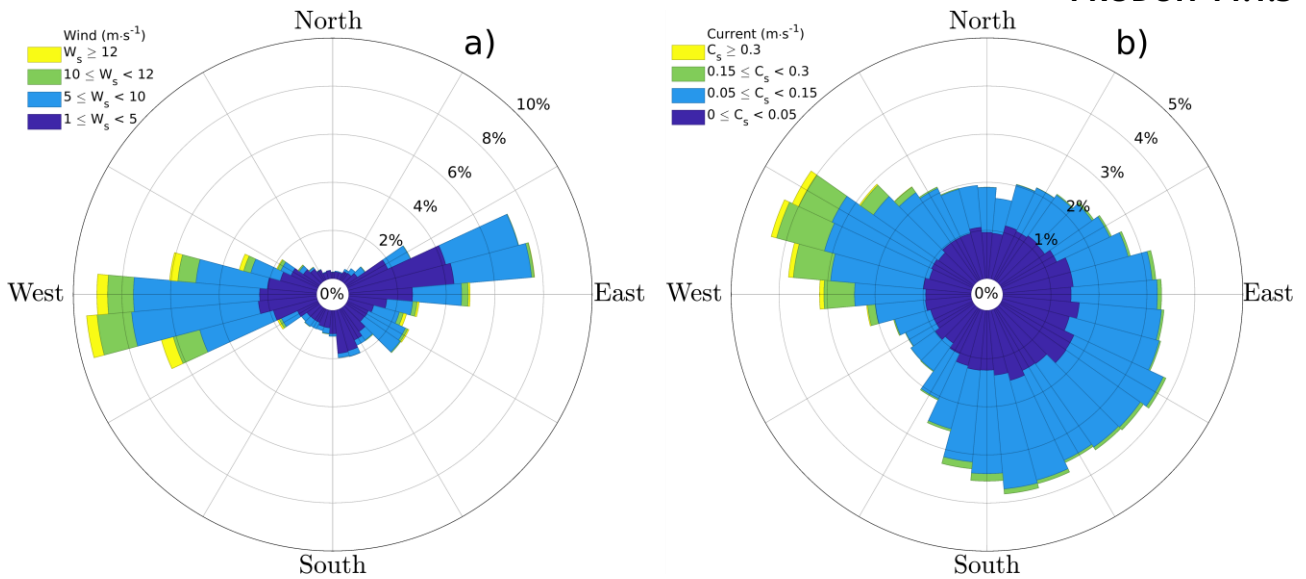


Fig. 4.2 - Rose des vents (a) et des courants (b) à la station ST3 à l'intérieur de la rade de Toulon. La rose des courants est estimée en moyennant les 3 premiers mètres de surface.

Les figures 4.3-4.5 représentent les profils de la vitesse du courant (panneaux du haut) et des directions du courant (panneaux du bas) le long de la colonne d'eau pour une période de mesure d'un an. Les axes verticaux correspondent aux niveaux de profondeur en mètres et l'axe horizontal au temps suivant la convention mois/année. Les espaces blancs dans le diagramme pour ST1 et ST2 sont dus à des opérations de maintenance pendant la période d'enregistrement. Étant donné que ST3 a été déployé en surface (ADCP vers le bas), les opérations de maintenance ont été moins invasives par rapport à ST1 et ST2 qui sont des ADCP de fond dirigé vers la surface.

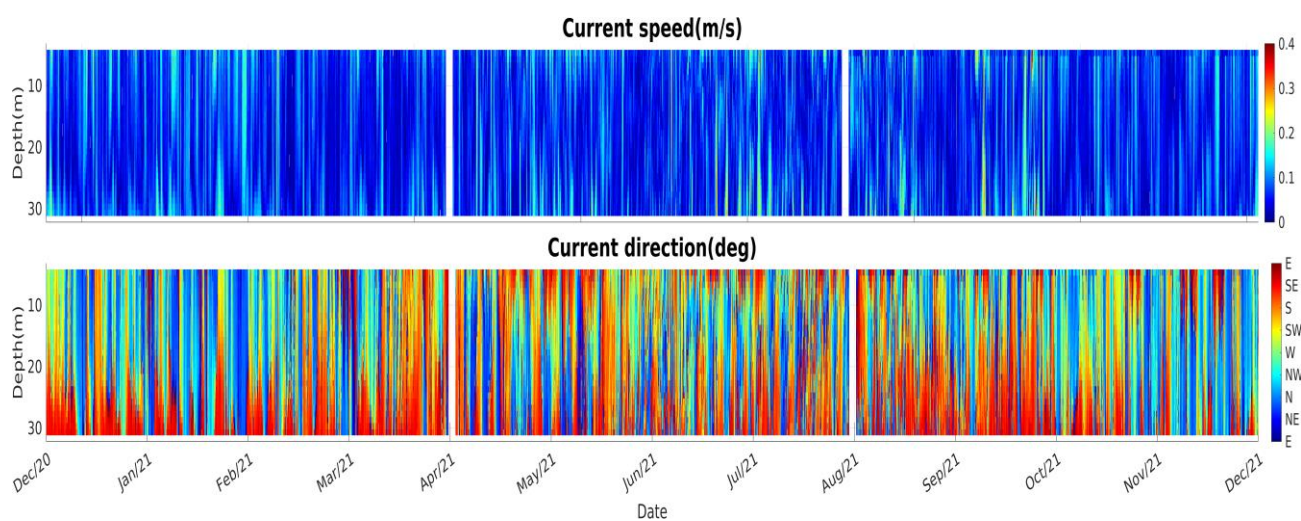


Fig. 4.3 - Evolution temporelle des profils verticaux de l'intensité (en haut, en m/s) et direction (en bas, convection Cartesienne) du courant en ST1.

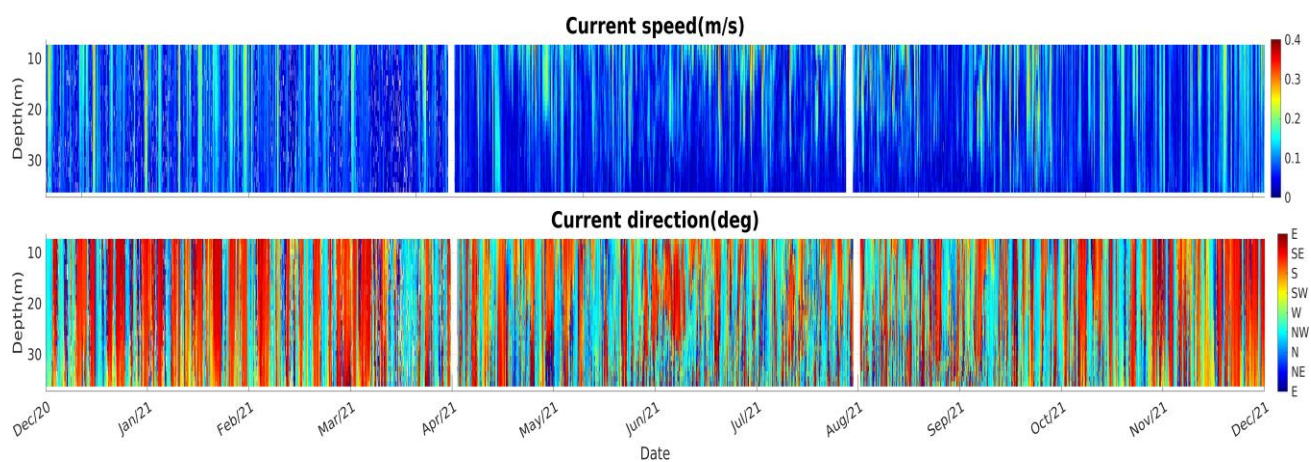


Fig. 4.4 - Evolution temporelle des profils verticaux de l'intensité (en haut, en m/s) et direction (en bas, convection Cartesienne) du courant en ST2.

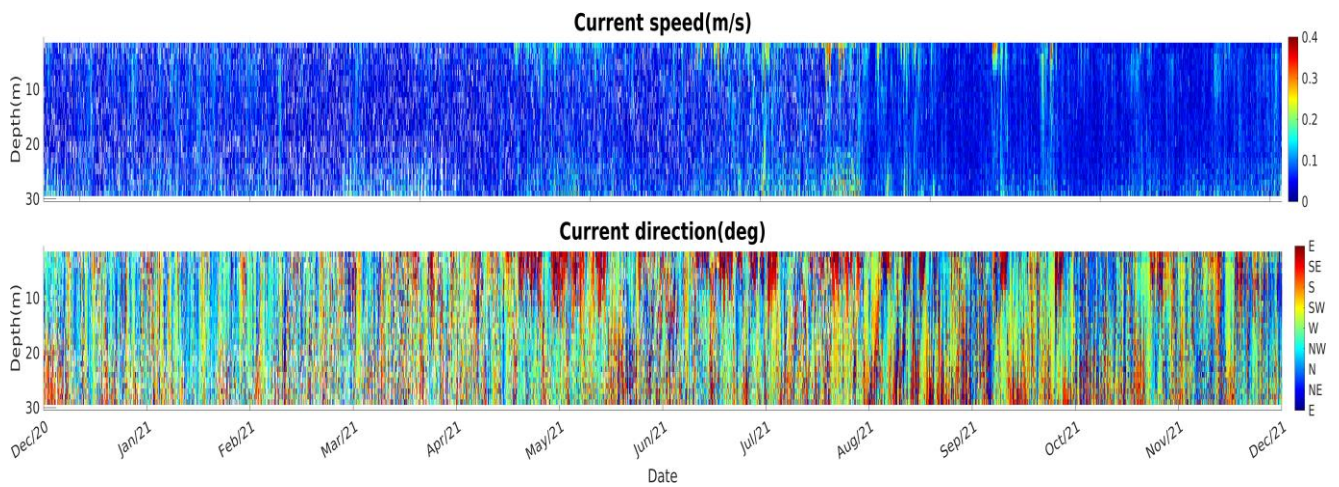


Fig. 4.5 - Evolution temporelle des profils verticaux de l'intensité (en haut, en m/s) et direction (en bas, convection Cartesienne) du courant en ST3.