

Projet

SINAPSI

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



ACTIVITE' T1.1: RÉALISATION DU RÉSEAU DE SURVEILLANCE

LIVRABLE T1.1.1: CONCEPTION DE SURVEILLANCE

Partenaire responsable : CNR-ISMAR

Partenaires contributeurs : UNIGE, UTLN, ADSP-MTS, LaMMA, ERI, CCI VAR

Nom du livrable	Écrit par:	Validé par:
T1.1.1 - Conception de surveillance	Anna Reboa, Gabriele Ferretti, Laura Cutroneo (UNIGE), Carlo Mantovani, Lorenzo Corgnati (CNR-ISMAR), Gregorio Barbieri (ADSP-MTS), Carlo Brandini (LaMMA), Anne Molcard (UTLN), Elena Tonon (CCI-VAR)	Marcello Magaldi (CNR-ISMAR), Marco Capello (UNIGE)

INDEX

Description du livrable	i
Descrizione del prodotto	i
1. INTRODUCTION	1
2. PORT DE GÊNES.....	2
2.2 CORRENTOMETRIE DANS LE PORT DE GÊNES	3
3. RADAR HF OCEANOGRAPHIQUE	13
3.1 RADAR HF	13
3.2 DESCRIPTION DU SYSTEME RADAR HF DU SINAPSI.....	17
4. PORTS DE LIVOURNE ET DE PIOMBINO.....	23
4.1 PORTO DI LIVOURNE	23
4.2 PORT DE PIOMBINO	26
a. ÉQUIPEMENT ACHETÉ PAR ADSP-MTS.....	28
b. INSTRUMENTATION ACHETÉE PAR LAMMA	30
c. INSTRUMENTS SUPPLÉMENTAIRES MIS À DISPOSITION PAR ADSP-MTS ET LAMMA.....	31
d. AUTRES INSTRUMENTS : MESURES DU NIVEAU DE LA MER	37
5. PORT DE TOULON	39
6. BIBLIOGRAPHIE.....	40

Description du livrable

Le plan de surveillance des vagues et des courants qui sera mis en œuvre dans le cadre du projet SINAPSI est décrit ici pour chaque port du projet. Les ports du projet sont : Gênes, pour lequel les courants seront surveillés à l'intérieur du bassin grâce à l'installation de courantomètres ADCP et à l'extérieur, ainsi que les paramètres du champ d'ondes, grâce à l'installation d'un système radar océanographique HF; Toulon, pour lequel les vagues et les courants seront surveillés grâce à un courantomètre ; Livourne, pour lequel des courantomètres seront installés à l'intérieur du bassin portuaire ; et Piombino, qui prévoit la surveillance des vagues grâce à un ondamètre qui sera placé à l'extérieur du port.

Descrizione del prodotto

Il piano di monitoraggio delle onde e delle correnti che verrà messo in opera nell'ambito del progetto SINAPSI è qui descritto per ciascun porto coinvolto. I porti coinvolti sono: Genova, per il quale verranno monitorate le correnti all'interno del bacino tramite installazione di correntometri ADCP e all'esterno, insieme ai parametri del campo d'onda, tramite l'installazione di un sistema di radar oceanografici in banda HF; Tolone, nel quale verranno monitorate onde e correnti tramite un correntometro; Livorno, per il quale è prevista l'installazione di correntometri all'interno del bacino portuale; e Piombino, che prevede il monitoraggio delle onde tramite un ondametro che verrà posizionato all'esterno del porto.

1. INTRODUCTION

Le projet SINAPSI prévoit la réalisation d'un système de surveillance et de diffusion des caractéristiques physiques de la mer telles que les courants, les vagues et le vent dans des positions stratégiques pour la gestion du trafic portuaire. Le système d'observation physique comprend à la fois des technologies traditionnelles (ADCP, houlographes et dériveurs) et des outils innovants tels que les radars côtiers HF. L'objectif ultime est de fournir aux utilisateurs des ports (capitaines, pilotes, capitaineries, etc.), par le biais d'outils TIC, des données en temps réel sur les conditions de mer afin d'améliorer la sécurité de la navigation.

Le cadre du programme Interreg Italie-France garantit l'étude et l'application des bonnes pratiques de manière coordonnée et harmonisée dans toute la zone transfrontalière. Les modèles réussis peuvent être reproduits dans d'autres domaines.

Le réseau d'observation a été conçu par les partenaires en consultation avec les parties prenantes locales et les groupes cibles afin d'identifier les emplacements idéaux des instruments de surveillance à l'intérieur ou à l'extérieur des ports étudiés. Les données acquises seront non seulement mises directement à la disposition des parties prenantes, mais aussi utilisées pour améliorer la fiabilité des modèles numériques de circulation et de prévision des vagues développés ad-hoc pour les différentes réalités portuaires.

Ces dernières années, plusieurs projets du programme Maritime Interreg Italie-France, dont MOMAR, SICOMAR, IMPACT, SICOMARplus, ont contribué au développement, tant en termes d'extension spatiale que d'évolution technologique, d'un réseau partagé de surveillance de l'état de la mer pour soutenir la protection de l'environnement et la sécurité de la navigation dans la zone transfrontalière. De nombreux partenaires de SINAPSI ont contribué à ce parcours, dans lequel SINAPSI représente une nouvelle

étape importante. Les instruments qui seront installés dans le cadre du plan de surveillance prévu par le SINAPSI permettront d'étendre et de compléter le réseau de surveillance existant. Grâce à des méthodologies communes et des services interopérables de partage et d'intégration des données, il sera possible d'approfondir la connaissance des caractéristiques météorologiques et marines qui caractérisent la zone transfrontalière, une connaissance essentielle pour le développement de tout instrument visant à améliorer la sécurité de la navigation.

Les activités de surveillance prévues dans chaque port du projet SINAPSI sont décrites ci-dessous.

2. PORT DE GÊNES

Le Port de Gênes (Fig. 2.1) est essentiellement constitué de trois bassins différents : le bassin central-oriental, qui donne sur le centre ville de Gênes et les quartiers de Sampierdarena et Cornigliano ; le bassin occidental de Gênes Multedo, qui comprend le terminal pétrolier ; le bassin extrême occidental qui comprend le terminal à conteneurs de Prà-Voltri. Le bassin central-oriental (Fig. 2.2), le sujet du projet SINAPSI, peut à son tour être divisé en deux macro-secteurs : le bassin central-oriental qui comprend l'entrée orientale du port, le bassin Evolution, le bassin Porto Vecchio et le Vieux Port, et le bassin occidental qui comprend le canal de Sampierdarena, l'embouchure de la rivière Polcevera, le canal Calma de l'aéroport et l'entrée occidentale du port.



Fig. 2.1 Port de Gênes (<https://www.portsofgenoa.com/it/map-ports.html#genova>)



Fig. 2.2 Port de Gênes, bassin oriental (<https://www.portsofgenoa.com/it/map-ports.html#genova>)

2.2 CORRENTOMETRIE DANS LE PORT DE GÊNES

L'activité de surveillance qui sera menée dans le port de Gênes comprendra l'installation de trois profileurs de courant acoustiques Doppler horizontaux (HADCP). Les trois instruments, qui existent déjà à l'Autorité du système portuaire de la mer Ligure occidentale (ADSP-MLO), seront repris par l'Université de Gênes, entretenus et

installés dans le port. Les courantomètres en question sont trois RDInstruments Workhorse HADCP, avec une fréquence de 300 kHz (Fig. 2.3). Ces courantomètres avaient déjà été utilisés pour le suivi continu des courants pendant le dragage du Port de Gênes de 2009 à 2014 et étaient positionnés l'un à l'entrée est (lumière rouge), et l'autre à l'entrée ouest (pointe extrême du brise-lames intérieur devant l'embouchure de Polcevera) (Cutroneo et al., 2012 et 2014). Un troisième compteur de courant a servi de sauvegarde, pour couvrir l'absence d'un des compteurs de courant installés pendant la maintenance.

Les HADCP comportent trois transducteurs positionnés horizontalement à un angle de 25° qui émettent trois faisceaux acoustiques distincts à la fréquence spécifique de 300 kHz avec une ouverture conique de 2,1°.



Fig. 2.3 Workhorse ADCP horizontal (RDInstruments)

L'ADCP mesure la vitesse des courants marins en émettant trois faisceaux (*beams*) à une fréquence fixe connue à travers la masse d'eau à l'aide de ses trois transducteurs

et en enregistrant la fréquence et l'amplitude de l'écho du signal acoustique (*backscatter* en dB) réfléchi par les particules en suspension dans la masse d'eau, qui sont supposées se déplacer à la même vitesse que la masse d'eau elle-même (RD Instruments, 2008). Chaque faisceau acoustique est subdivisé en *n* segments (*bins* ou cellules de mesure) de dimensions fixes fixées par l'opérateur, à l'intérieur desquels les données obtenues sont moyennées par l'instrument pour le rendu d'une seule donnée de réponse (Fig. 2.4). Le mouvement de ces particules, lorsqu'elles s'approchent ou s'éloignent des transducteurs ADCP, produit un effet Doppler dans l'écho de retour que l'ADCP utilise pour calculer la vitesse, la direction et le sens du mouvement des particules et donc le courant. L'ADCP utilise ensuite l'effet Doppler enregistré dans chaque *bin* et chaque *beam* pour mesurer le vecteur vitesse des particules et, en tenant compte de la vitesse du son et des temps de retour des échos, il attribue à chaque bac sa propre profondeur et la vitesse du courant correspondante. De cette façon, la réponse que donne l'ADCP est équivalente à celle d'une chaîne de *n* courantomètres conventionnels positionnés à des hauteurs fixes et équidistants le long de la colonne d'eau. L'interpolation des données obtenues à partir des trois transducteurs permet à l'instrument de fournir des données de courant précises dans l'espace.

En fonction de la fréquence de travail de l'instrument (dans le cas des instruments Gênes, 300 kHz), l'ADCP peut pénétrer dans la masse d'eau devant lui sur une distance d'environ 100-120 m, selon la quantité de matériau en suspension dans l'eau et la densité de la masse d'eau elle-même.

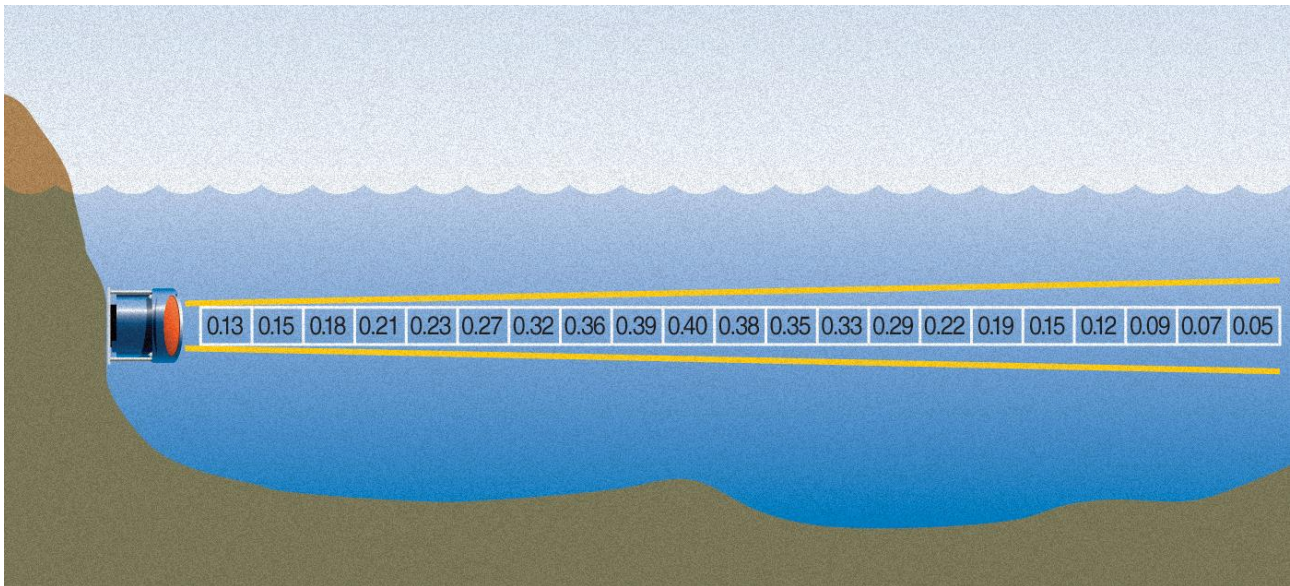
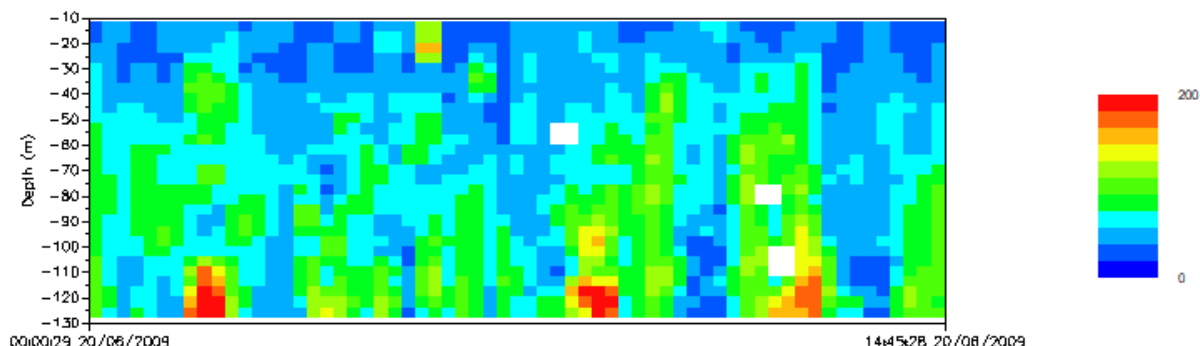


Fig. 2.4 Diagramme montrant la vitesse du courant mesurée à l'intérieur des cellules de mesure individuelles d'un ADCP horizontal monté à mi-hauteur de la colonne d'eau (RD Instruments)

L'ADCP renvoie alors pour chaque mesure la vitesse (mm s^{-1}), la direction et le sens du courant ($^{\circ}$ N ; Fig. 2.5), les deux composantes de la vitesse Nord-Sud, Est-Ouest, la composante verticale et les données relatives à l'erreur et à la qualité de la mesure, ainsi que la rétrodiffusion mesurée par chaque transducteur.

Velocity Magnitude (mm/s)



Velocity Direction (Degrees)

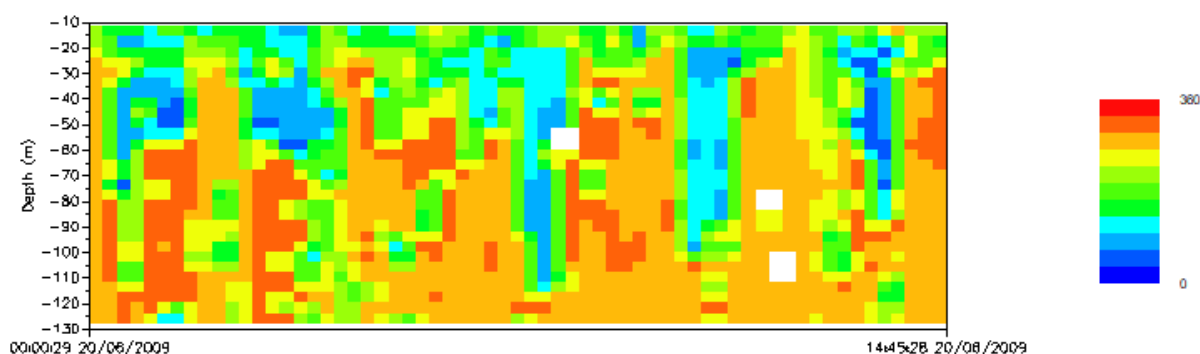


Fig. 2.5 Exemples de profils horizontaux renvoyés par l'HADCP pour la vitesse du courant et la direction du courant

Les HADCP seront installés de manière fixe sur la jetée et les transducteurs enregistreront les courants le long de la masse d'eau en face à des intervalles de temps discrets. Les compteurs de courant seront installés dans le canal de Sampierdarena (un en face du nouveau quai de Calata Bettolo et un en face de Ponte Eritrea) et dans le bassin d'évolution (Fig. 2.6).

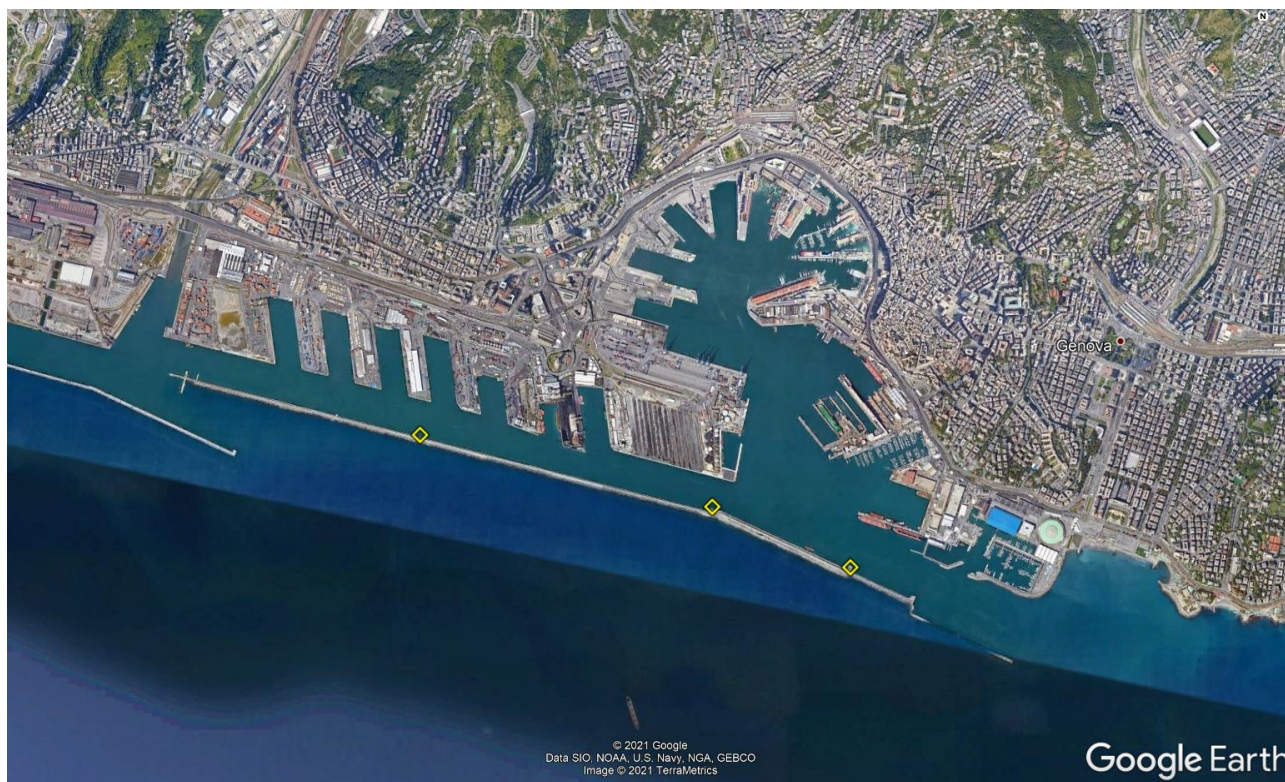


Fig. 2.6 Emplacement des trois compteurs de courant (losanges jaunes)

Le choix de la position pour l'installation des compteurs de courant découle de la surveillance environnementale effectuée par l'UNIGE-DISTAV de 2007 à 2014 dans le cadre du dragage capital des sédiments des fonds marins du port, du dragage ponctuel ultérieur pour maintenir la navigabilité effectué pour le compte de l'ADSP-MLO, ainsi que des réunions tenues avec les parties prenantes du port, c'est-à-dire l'ADSP-MLO, la capitainerie du port de Gênes, le corps des pilotes, les marins et les capitaines de navire. En particulier, la décision de positionner les compteurs actuels à l'intérieur du Canal de Sampierdarena découle de la modification que la circulation des masses d'eau a subie suite à l'enlèvement de la dent de l'ancien barrage Duca di Galliera devant l'actuelle « Darsena degli olii minerali ». La "dent" était constituée de blocs de roche provenant de l'ancien barrage et faisant saillie vers l'intérieur du canal, constituant ainsi une sorte

de goulot d'étranglement et d'obstacle qui empêchait la libre circulation des masses d'eau du bassin d'évolution vers le Canal de Sampierdarena et vice versa. La suppression de la dent a permis à l'eau de passer librement, ce qui a entraîné une augmentation de la dynamique dans le Canal de Sampierdarena. La différence de vitesse du courant a également été signalée par les pilotes et les capitaines des navires entrant dans le Port de Gênes et manœuvrant et s'amarrant le long du canal. Le site dans le bassin d'évolution a été signalé directement par les pilotes du port qui ont besoin de données actuelles pour soutenir les manœuvres effectuées par les grands porte-conteneurs ou les navires de croisière dans ce bassin pendant l'évolution avant de se rendre au quai d'accostage.

Par conséquent, afin de répondre aux besoins des opérateurs portuaires impliqués dans la manœuvre des navires dans le Port de Gênes, il a été décidé de positionner les courantomètres dans ces deux zones clés du port et de fournir aux opérateurs des données en temps réel sur la vitesse et la direction du courant.

En détail, les trois courantomètres seront positionnés le long de la digue à travers une structure en acier inoxydable à une profondeur d'environ 7 m (la profondeur exacte sera déterminée au moment de l'installation). Un exemple de structure est illustré à la figure 2.7 : la structure permettra non seulement le positionnement des instruments à la profondeur donnée, mais aussi leur récupération facile pour l'entretien périodique.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1

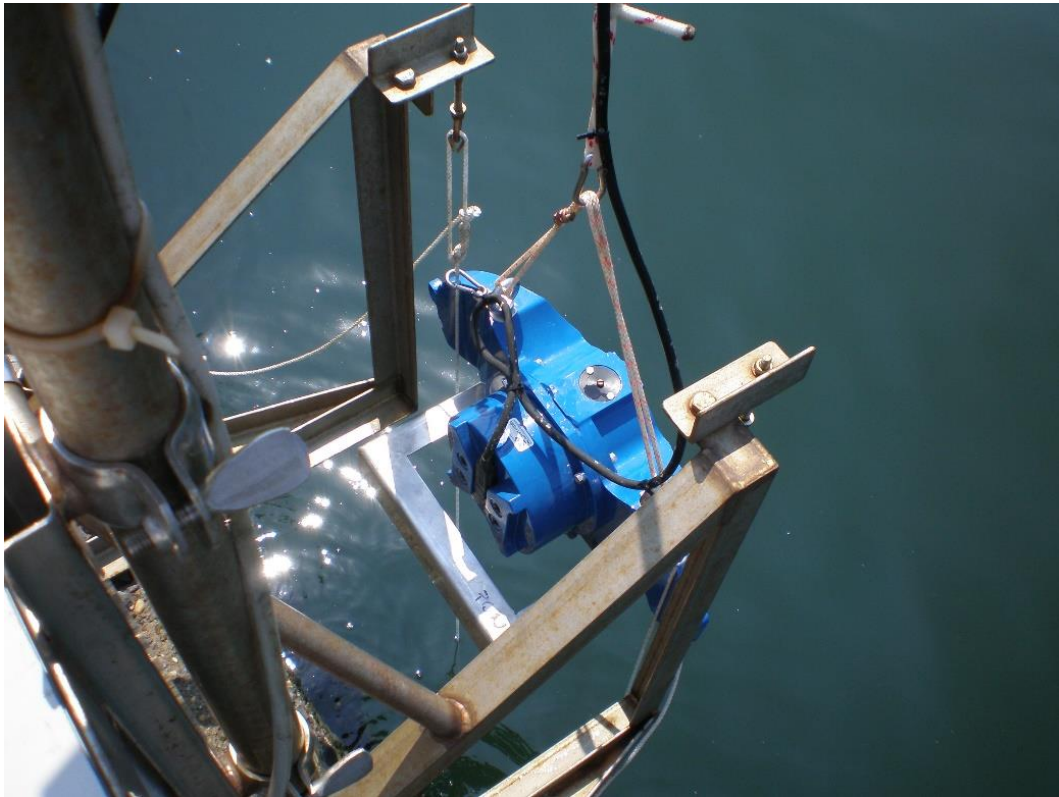


Fig. 2.3 Structure de support horizontal de l'ADCP (Dragage du Port de Gênes)

La figure 2.8 montre quelques photographies sous-marines prises aux courantomètres installés le long du barrage pendant le suivi du dragage du port de Gênes. La même configuration sera maintenue pendant le suivi prévu pour SINAPSI. Les compteurs de courant seront gérés par une unité de contrôle située sur le brise-lames et alimentés par des panneaux solaires et des batteries tampon (Fig. 2.9).



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1



Fig. 2.4 Photos sous-marines de l'ADCP horizontal (Dragage du Port de Gênes)



Fig. 2.5 Unité de contrôle électronique et panneaux solaires pour l'alimentation électrique (Dragage du Port de Gênes)

NOTE : Il est prévu d'agrandir le Port de Gênes par la construction d'un nouveau brise-lames situé plus au large que la configuration actuelle et par la démolition de la section du brise-lames qui protège actuellement le Canal de Sampierdarena. Par conséquent, il faudra peut-être déplacer les compteurs actuels lorsque le nouveau brise-lames sera construit.

3. RADAR HF OCEANOGRAPHIQUE

3.1 RADAR HF

Afin de surveiller l'état de la mer à l'extérieur du Port de Gênes, un système de radars océanographiques HF sera installé et mis en service.

Les radars HF sont des instruments de télédétection qui permettent d'acquérir et de mettre automatiquement à disposition des informations actualisées sur les courants marins de surface et sur les vagues, et dans certaines conditions sur la direction du vent. Ils permettent une surveillance continue et automatique à haute résolution spatiale (grilles de 1 à 6 km) et temporelle (une carte toutes les 30 ou 60 minutes) sur des zones de plusieurs milliers de kilomètres carrés (Fig. 3.1).

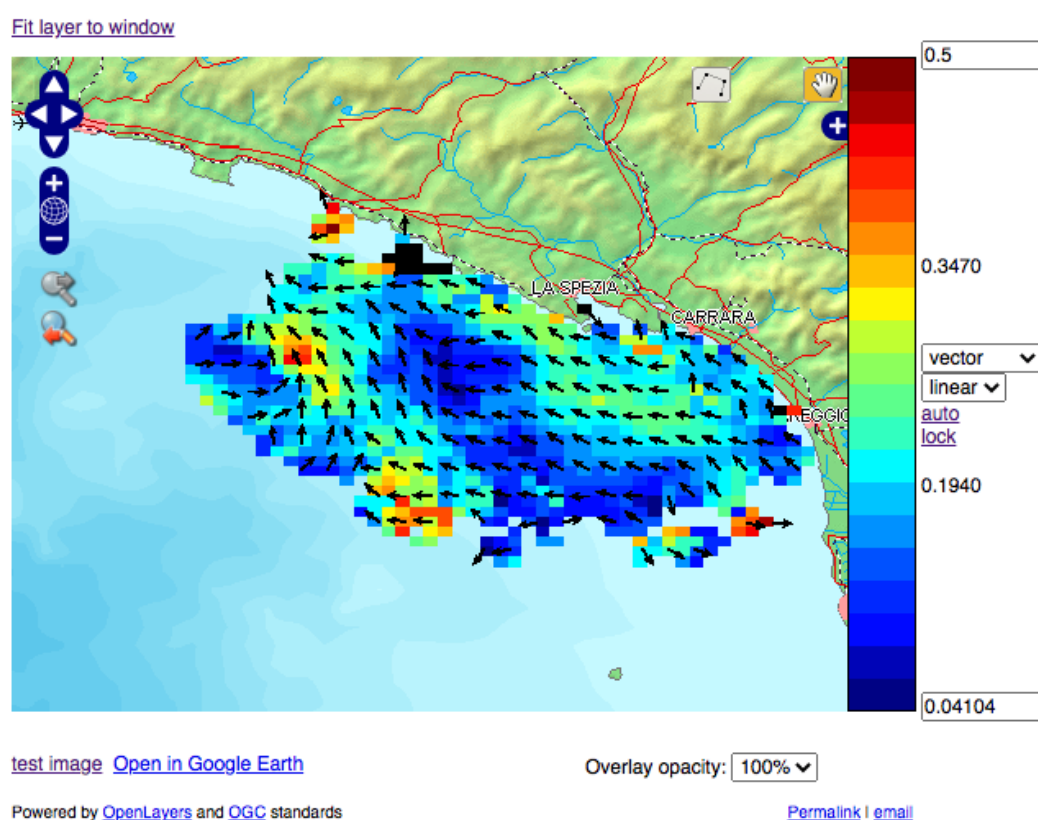


Fig. 3.1 Exemple de carte des courants de surface établie à partir d'un radar HF dans la zone marine située approximativement entre Viareggio (LU) et Monterosso al Mare (SP) en Italie.

Une station radar HF est généralement caractérisée par un système électronique de gestion et d'acquisition des signaux et une ou plusieurs antennes émettrices-réceptrices situées au même endroit ou à de courtes distances.

Les fréquences de fonctionnement se situent dans la gamme des ondes radio et sont situées dans des bandes attribuées au niveau international par l'International Telecommunication Union (ITU).

Pour qu'un système radar HF puisse atteindre son plein potentiel, il doit comprendre au moins deux stations convenablement espacées dont la région de mesure se chevauche en grande partie.

En effet, chaque radar HF, en analysant le signal radio réfléchi par la surface de la mer, est capable d'obtenir des informations uniquement sur la composante radiale de la vitesse du courant par rapport à son propre point de vue. Dans la zone de chevauchement, les vecteurs radiaux d'au moins deux stations tombant autour du même point sont combinés géométriquement, ce qui donne lieu à des cartes complètes de vitesse à deux dimensions (Fig 3.2). En outre, pour les types de radars HF qui permettent cette mesure, le spectre directionnel du champ de vagues ne peut être dérivé que dans la zone de chevauchement susmentionnée.

La distance optimale entre deux stations contribuant à détecter le champ de courant de surface sur une zone maritime commune est fonction de la fréquence de fonctionnement, et est généralement d'environ 50 km pour les radars fonctionnant dans la bande 13-16 MHz et d'environ 20 km pour les radars fonctionnant dans la bande 24-26 MHz. Cette distance doit être encore réduite si l'on veut favoriser l'estimation des paramètres du champ de vague, car elle découle d'un signal électromagnétique réfléchi plus faible.

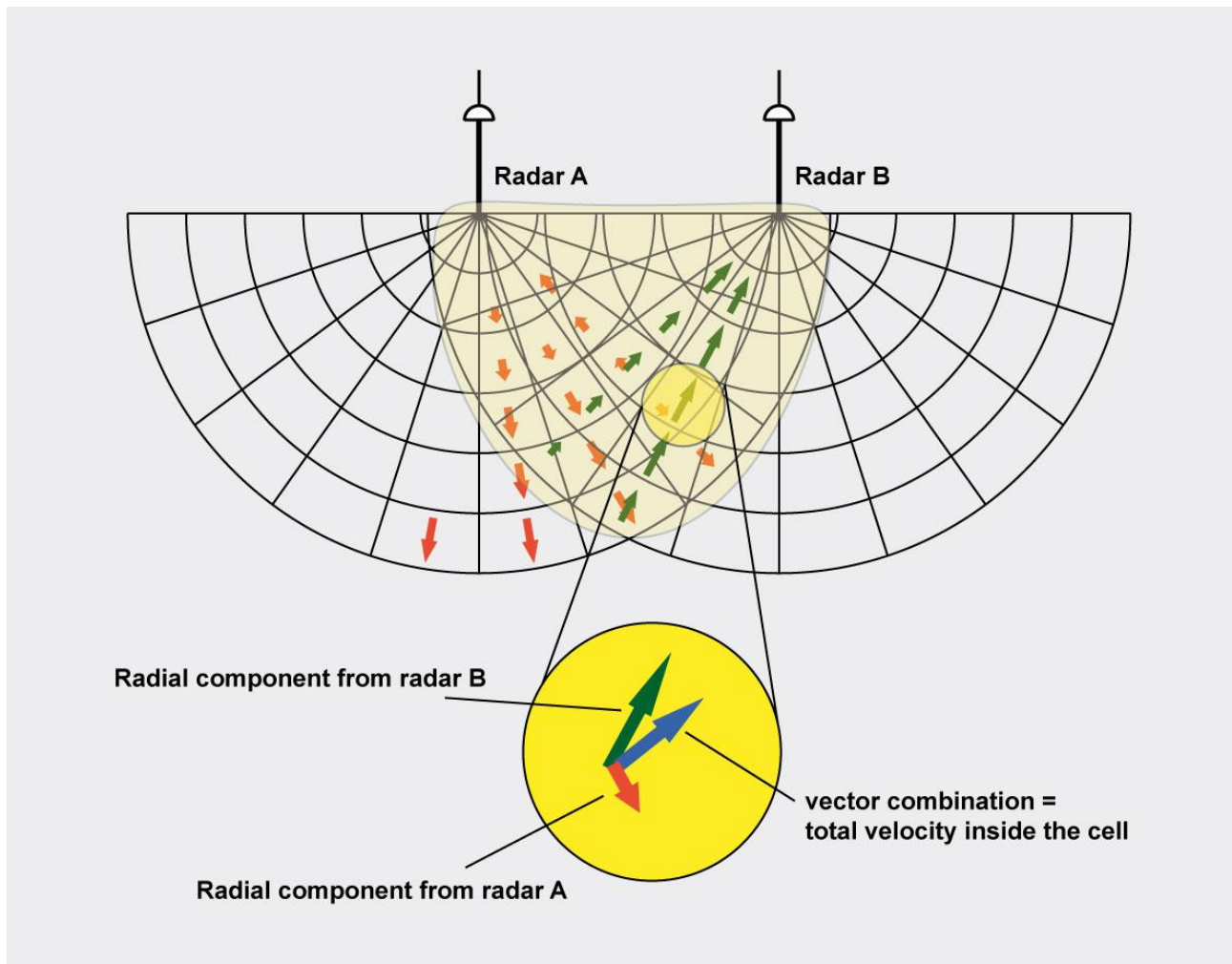


Fig. 3.2 Représentation de la cartographie des courants marins (composante radiale) par chaque station radar HF et la combinaison des composantes radiales pour la dérivation du vecteur complet.

Les radars HF ont de nombreuses applications scientifiques et pratiques (Rubio et al., 2017), notamment:

- une meilleure compréhension de l'écosystème et de la connectivité entre les aires marines protégées
- développement et amélioration des modèles de circulation

- planification et gestion des côtes
- développement d'outils de prévision et de suivi pour la gestion des accidents maritimes et des opérations de recherche et de sauvetage
- support de navigation
- intervention efficace en cas de déversement de polluants dans la mer

Le système radar HF financé par le projet SINAPSI complète le réseau de radars HF transfrontalier déjà existant et capitalise ainsi sur les investissements réalisés dans les récents projets internationaux et nationaux (RITMARE, MOMAR, SICOMAR, IMPACT, SICOMAR PLUS). La collaboration au sein de ces projets a permis la création d'un réseau entre les partenaires exploitant une ou plusieurs stations radar HF, favorisant et promouvant des modèles de gestion partagée qui améliorent la durabilité et l'utilisabilité de l'ensemble du système. Grâce à cette collaboration, il est désormais possible de partager les connaissances et les meilleures pratiques pour l'installation et la gestion des instruments, d'appliquer des standards dans la gestion des données et de créer et distribuer des ensembles de données interopérables pour les applications envisagées par le projet.

L'intégration du système radar HF de SINAPSI dans le réseau radar existant est facilitée par les compétences acquises par les chercheurs de l'ISMAR dans le traitement des données de courant en temps réel selon des modèles et des conventions reconnus par la communauté internationale (Corgnati et al. 2018), compétences qui s'incarnent dans l'utilisation opérationnelle et le développement d'outils logiciels créés ad hoc (Corgnati et al., 2020).

3.2 DESCRIPTION DU SYSTEME RADAR HF DU SINAPSI

Avec l'acquisition d'un système radar HF, en cohérence avec les objectifs du projet, il est prévu de produire une cartographie continue et en temps réel de l'état de la mer dans la zone devant le port de Gênes.

Tous les radars océanographiques HF partagent le même principe physique à l'origine de l'information, mais on peut les distinguer en deux grandes familles selon la technique qu'ils adoptent pour calculer les paramètres océanographiques, qui se traduit à son tour par le nombre et la configuration spatiale des antennes (Fig. 3.3).

Les deux techniques sont caractérisées par la manière dont la cartographie du signal est résolue en fonction de l'angle, et sont communément appelées Direction Finding (DF) (Barrick et al., 1997) et Beam Forming (BF) (Gurgel et al., 1999).



Fig. 3.3a Exemple de radar HF avec antenne compacte (Codar SeaSonde) utilisant la technique de Direction Finding.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1



Fig. 3.3b Exemple de radar HF équipé d'un réseau d'antennes de réception (WERA - photo de <http://wera.cen.uni-hamburg.de/>) utilisant la technique de Beam Forming.

Parmi les avantages des systèmes BF, on reconnaît universellement la meilleure capacité à caractériser le champ des vagues et la plus grande tolérance aux conditions environnementales défavorables sur le processus de mesure, face à une limitation de l'ouverture angulaire et une plus grande difficulté d'installation par rapport aux systèmes DF (Wyatt, 2019 et 2005).

Afin d'assurer une validation et une calibration précises du modèle de prédiction des vagues à haute résolution, il est nécessaire que le système radar HF envisagé dans SINAPSI soit capable de produire, avec les mêmes performances concernant l'extraction des courants de surface, des mesures à haute résolution des paramètres

du champ d'onde. Il semble donc logique de choisir un système radar HF capable d'adopter la technique du Beam Forming, bien que ce choix implique un plus grand effort dans la phase d'installation puisque des espaces plus grands sont nécessaires, par rapport aux systèmes DF, pour la pose des antennes.

Les principaux éléments du système seront :

- deux stations radar HF fonctionnant dans la bande des 25MHz, chacune équipée d'un logiciel d'acquisition, de traitement et de mémorisation des données en temps réel ;
- un serveur physique ou virtuel équipé d'applications logicielles pour le traitement des données radiales acquises par les deux stations ci-dessus, pour la production en temps réel de cartes en 2 dimensions des courants marins de surface et des paramètres du champ de vagues.

Le système sera choisi de manière à ce que les exigences minimales suivantes soient respectées

- chacune des deux stations radar HF fournit la mesure de la composante radiale de la vitesse des courants de surface et l'estimation de la hauteur significative des vagues avec une résolution radiale d'au moins 1 km, une résolution temporelle minimale d'une mesure par heure, une plage angulaire de mesure d'au moins 120° et une résolution angulaire d'au moins 5°. Dans des conditions optimales, la mesure des courants s'étend jusqu'à une distance de 45 km, et la mesure de la hauteur significative des vagues jusqu'à au moins 15 km ;
- Dans la zone de chevauchement des champs de mesure des deux stations, la cartographie de la vitesse des courants de surface et le spectre directionnel du champ de vagues doivent être fournis pour chaque point de grille défini par

l'utilisateur dans les limites de la distance et de la résolution des stations individuelles, comme requis au point précédent.

Le logiciel d'acquisition, de gestion et de stockage des données de chaque station radar HF doit avoir les capacités minimales suivantes:

- traitement automatique en temps réel des données acquises, calcul des paramètres océanographiques, leur sauvegarde dans un fichier et leur archivage automatique sur un disque de sauvegarde.
- la sauvegarde et l'archivage de toutes les données nécessaires à un retraitement ultérieur sans perte d'information par rapport à un traitement en temps réel ;
- le suivi de l'état de fonctionnement du système radar HF, également grâce aux outils de diagnostic mis à disposition par le système au niveau du matériel, et la notification des messages d'alerte via le site web ou le courrier électronique ;
- des outils pour visualiser les données océanographiques et les exporter dans des formats ouverts.

Le logiciel de l'unité centrale de traitement doit avoir les capacités minimales suivantes

- traitement et combinaison automatiques en temps réel des données envoyées par les différentes stations radar HF, calcul des paramètres océanographiques et production de cartes au moins une fois par heure, application de contrôles de qualité sur les valeurs calculées, leur sauvegarde dans un fichier et leur archivage automatique sur un disque de sauvegarde ;
- la sauvegarde et l'archivage de toutes les données nécessaires à un retraitement ultérieur sans perte d'information par rapport à un traitement en temps réel ;

- le suivi de l'état de fonctionnement du traitement des données et la notification de messages d'alerte via le site web ou le courrier électronique ;
- des outils pour visualiser les données océanographiques et les exporter dans des formats ouverts.

Les deux stations radar HF seront installées le long de la côte, à chaque extrémité de la zone municipale de Gênes. Le choix des sites est déterminé par un certain nombre de facteurs, dont les suivants :

- l'optimisation de la surface couverte par la mesure radar HF, avec une attention particulière aux lignes de navigation entrant dans le port de Gênes ;
- la géométrie de la côte ainsi que la possibilité de placer le réseau d'antennes près de la mer, avec une orientation adéquate et une vue libre d'obstacles ;
- la disponibilité de structures hôtes pour l'électronique de commande et d'acquisition.

La première phase de l'étude, qui consiste en un examen précis des cartes et des photos satellitaires et en une inspection sur place, a permis d'identifier quelques sites potentiels situés dans le district de Voltri à l'ouest et dans le district de Quarto dei Mille à l'est. Au cours des prochains mois, des contacts seront pris avec les gestionnaires des sites pour évaluer les exigences et les procédures d'octroi des espaces. Dans le même temps, la rédaction des documents d'appel d'offres pour l'attribution de la fourniture du système de radar HF est en cours ; le contractant devrait être identifié d'ici juin 2021 et les radars seront installés au cours du premier semestre 2022.

La figure 3.4 montre une estimation de la couverture attendue des radars HF de SINAPSI dans les hypothèses formulées jusqu'à présent, tant pour la mesure des courants marins de surface (Fig. 3.4a) que pour la mesure des vagues (Fig. 3.4b).

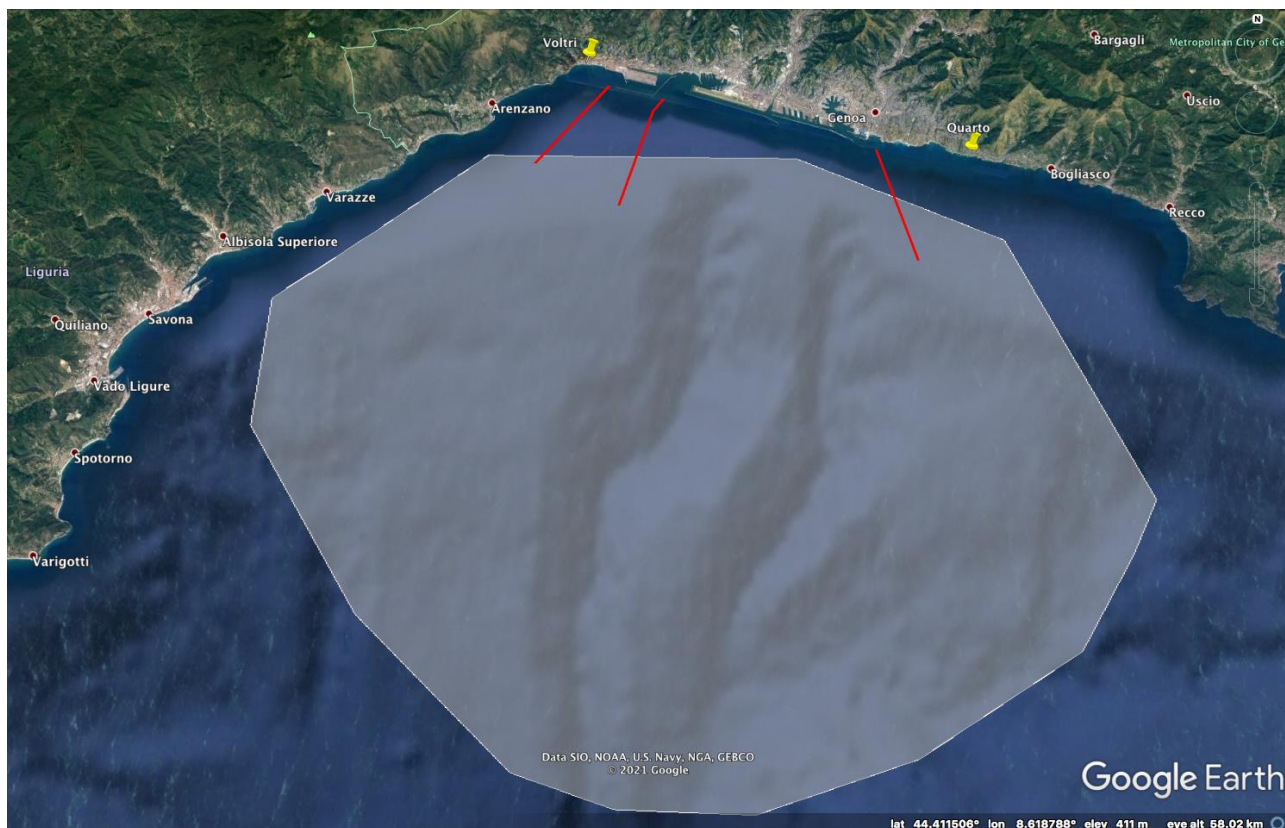


Fig. 3.4a En blanc semi-transparent la zone concernée par la mesure du courant de surface, en rouge les lignes de navigation pour l'entrée du port de Gênes.

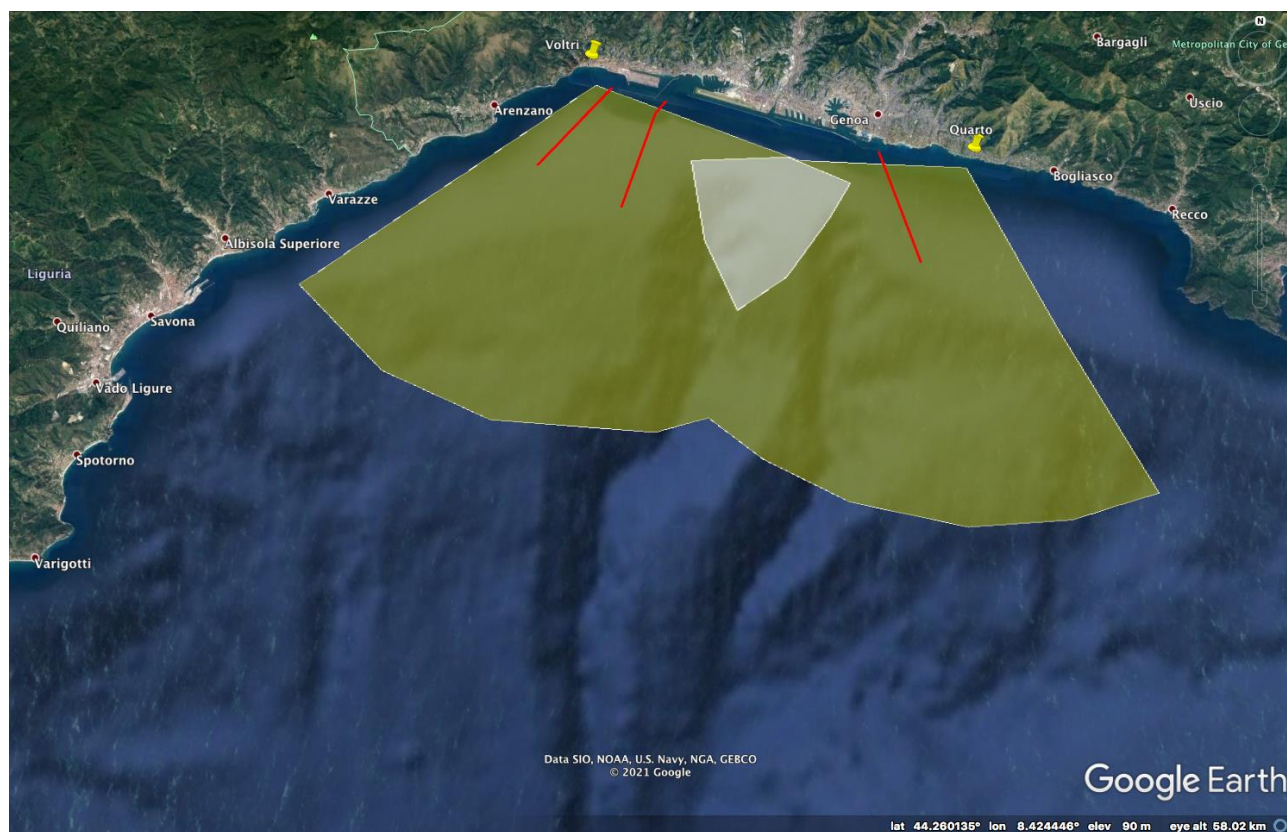


Fig. 3.4b En jaune semi-transparent la zone intéressée par la mesure de la hauteur significative des vagues. Au centre, en blanc semi-transparent, est dessinée la zone où il est possible d'obtenir le spectre directionnel complet du champ d'ondes. En rouge à nouveau les lignes de navigation pour l'entrée du port de Gênes.

4. PORTS DE LIVOURNE ET DE PIOMBINO

4.1 PORTO DI LIVOURNE

Le Port de Livourne, qui surplombe la Mer Tyrrhénienne supérieure, est situé dans la partie nord-ouest de la Toscane. Elle se trouve principalement à l'intérieur des terres, près du littoral, bien protégée des vents du quadrant sud et ouest. Il est classé Core au sein des réseaux transeuropéens de transport (RTE-T), et est un port d'escale polyvalent, c'est-à-dire qu'il est équipé d'infrastructures et de moyens permettant

d'accueillir tout type de navire et de traiter toute catégorie de marchandises et tout type de trafic (LO-LO, RO-RO matériel roulant, vrac, véhicules, croisières, ferries, produits forestiers, etc.). L'équipement infrastructurel du port permet la connexion aux principales routes nationales et aux chemins de fer, ainsi qu'aux aéroports de Pise et de Florence. Grâce à son vaste arrière-pays, le Port de Livourne transporte une grande quantité de marchandises.



Fig. 4.1 Port de Livourne



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1



Fig. 4.2 Port de Livourne

4.2 PORT DE PIOMBINO

Le Port de Piombino (42° 55' Lat. Nord ; 10° 33' Long. Sud) est un port polyvalent, dédié au trafic de marchandises en vrac, destinées aux marchés intérieurs et internationaux et au trafic passagers/commercial avec l'île d'Elbe et la Sardaigne et de façon saisonnière avec la Corse.

Le Port de Piombino possède un bassin délimité au sud-est par le brise-lames, appelé Batteria, et au nord-est par l'ancien quai de l'ILVA. La zone nord du port est principalement utilisée pour le trafic à destination et en provenance de l'aciérie, qui a lieu au niveau du quai dit Lucchini (470 m au sud et 270 m au nord). La profondeur maximale est d'environ 12 mètres.

Les autres commerces portuaires, principalement l'acier et d'autres marchandises en vrac, sont effectués sur d'autres infrastructures : le quai G.Pecoraro, long de 275 m., le quai Magona, avec deux postes d'amarrage de 155 m. au nord et 105 m. au sud, le quai Marinai d' Italia, avec un poste d'amarrage de 125 m., et occasionnellement le quai de Trieste avec un rayon d'action de 135 m. Les profondeurs vont de 7 à 13 m.

Dans le secteur des marchandises, le port opère principalement dans le domaine du vrac solide et des marchandises ro-ro, tandis que pour les passagers, l'activité est étroitement liée aux liaisons avec les îles d'Elbe, la Sardaigne et la Corse.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1



Fig. 4.3 Port de Piombino



Fig. 4.4 Port de Piombino

a. ÉQUIPEMENT ACHETÉ PAR ADSP-MTS

Les activités qui seront menées dans le cadre du projet SINAPSI prévoient l'installation de deux ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) pour surveiller les courants marins et le mouvement des vagues dans les ports de Livourne et de Piombino. L'instrumentation sera identique pour les deux ports et sera achetée par appel d'offres public.

Les compteurs de courant d'onde seront installés :

- Livourne : environ 100 m à l'extérieur du brise-lames, à une profondeur comprise entre 15 et 30 m ;

- Piombino : base de l'ancienne plate-forme Enel, à une profondeur comprise entre 20 et 30 mètres.

Les points exacts où installer les instruments seront décidés à la suite d'enquêtes appropriées menées sur le terrain en collaboration avec AdSP-MTS, Consortium LaMMA, fournisseur d'instrumentation et installateurs. En particulier, pour le choix des sites les plus appropriés pour l'installation, on tiendra également compte de la morphologie du fond marin, dont dépendent la qualité des données acquises et les opérations d'installation.

Les composants qui seront achetés auront les caractéristiques techniques suivantes :

- Profilage par effet Doppler et courantomètre ondulatoire (ADCP). Il détecte le profil du courant le long de la verticale et les données relatives au mouvement des vagues (hauteur H_s , période T_p , direction, intensité et paramètres spectraux) grâce à quatre transducteurs fonctionnant avec une fréquence acoustique comprise entre 600 kHz et 1200 kHz en fonction de la profondeur des sites où ils seront installés ;
- Stockage, transmission et accès aux données. Il doit garantir la connexion avec les bases de données MONICA (plateforme AdSP-MTS) tant pour l'historisation que pour la visualisation et le partage des données avec les services fournis par l'AdSP-MTS ;
- Structure permettant de loger et d'ancrer l'instrumentation au fond de la mer ;
- Système de gestion et de contrôle à distance. Il est composé d'un enregistreur de données pour le stockage des données locales, d'un système de transmission de données, d'un logiciel de contrôle, de gestion, de téléchargement de données à distance, de visualisation et de stockage, d'un module de traitement en temps réel des données d'ondes ;

- Système d'alimentation électrique. Cela se fait au moyen de panneaux solaires et de batteries de stockage placés à proximité de l'instrumentation.

b. INSTRUMENTATION ACHETÉE PAR LAMMA

Le Consortium LaMMA contribue à la surveillance par des campagnes de mesures répétées d'une durée de 3 à 6 mois chacune, réalisées au moyen des deux capteurs ondamétriques ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) de marque Nortek, achetés dans le cadre du projet SINAPSI. Les ADCP sont équipés de détecteurs ondamétriques pour la mesure ponctuelle de la direction et de l'intensité des courants marins (sur le profil vertical) et de la direction, de l'intensité et du spectre du mouvement des vagues. Ils sont configurés en mode auto-enregistrement et sont équipés d'une mémoire interne qui acquiert des données en continu, à la fréquence fixée, pendant toute la durée de la campagne prévue. Les données acquises seront récupérées ultérieurement à la fin de la campagne de mesure et seront utilisées pour la calibration/validation des modèles numériques.



Fig. 4.5 Photos des ADCPs achetés par le Consortium LaMMA

L'emplacement exact de la campagne de mesure sera défini ultérieurement avec l'AdSP-MTS. Les caractéristiques techniques des ADCPs achetés sont les suivantes :

- Les deux capteurs fonctionnent à deux fréquences distinctes : le premier fonctionne à une fréquence de 600 kHz, pour un placement à des profondeurs allant jusqu'à 30-40 m, le second fonctionne à une fréquence de 1000 kHz, pour l'acquisition de données sur des fonds marins jusqu'à 10-20 m de profondeur ;
- Mode de fonctionnement : autonome avec mémoire interne, aucune donnée n'est transmise à la terre ;
- Fréquence de mesure : échantillons de courant stockés à intervalles de 10 minutes (y compris la vitesse et la direction pour chaque cellule, le tangage, le roulis et le cap de l'instrument), acquisitions d'ondes (Hs, T, dir) et spectres d'ondes stockés à intervalles de 30 minutes ;
- Système d'alimentation par batteries ;
- Système de support et de montage sur le fond, apte à être installé aussi bien sur le fond sableux que, en alternative, sur une base en béton ; des points d'accrochage sont prévus pour faciliter, pendant la mise à l'eau et la récupération, un accrochage rapide et un levage sûr aussi bien pour un plongeur que pour une grue ou des systèmes de levage mécaniques similaires qui seront nécessaires ;
- Logiciel et firmware pour l'extraction et l'exportation dans d'autres formats (par exemple, ascii, Matlab ou similaire) des données brutes enregistrées dans la mémoire tant ondamétrique que courante.

c. INSTRUMENTS SUPPLÉMENTAIRES MIS À DISPOSITION PAR ADSP-MTS ET LAMMA

Dans le Port de Livourne, il y a deux stations météorologiques pour la détection des données atmosphériques qui sont intégrées sur la plateforme MONICA, d'où il est

possible de tirer des données pour la validation et la calibration des modèles de calcul des prévisions.

Les stations météorologiques utilisent une communication de données conforme à la norme oneM2M en utilisant des proxies d'interopérabilité spéciaux réalisés ad hoc.

Les spécifications techniques des deux stations météorologiques sont indiquées ci-dessous :

- Station météo Davis Vantage Pro2. Installée sur le toit du bâtiment de l'Autorité portuaire situé sur la Piazzale del Portuale 4, la station intègre quatre types de capteurs environnementaux :
 - o anémomètre à coupelle avec girouette ;
 - o pluviomètre
 - o capteur de température ;
 - o capteur d'humidité.

La station météorologique communique les données détectées au logiciel propriétaire qui les historise. L'intégration de la station météorologique en question utilise la fonctionnalité du logiciel propriétaire qui intègre la fonctionnalité de créer des fichiers htm à télécharger sur des serveurs FTP pour les afficher sous forme de pages web.

Le proxy d'interopérabilité de cette station météorologique est installé sur la même machine que celle où est installé le logiciel propriétaire, il interprète ces fichiers htm, qui sont sauvegardés localement, et les transforme dans le format conforme à la norme oneM2M pour les envoyer à la plate-forme standard.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIVRABLE N.T1.1.1



Fig. 4.6 Station météo Davis Vantage Pro2

- Station Vaisala Windcap. Il s'agit d'un anémomètre à ultrasons installé au siège du corps des pilotes du port de Livourne. Il exploite le principe physique selon lequel, en présence de vent, le temps mis par une impulsion ultrasonore pour se déplacer d'un transducteur à l'autre varie en fonction de l'intensité du vent. L'appareil comporte trois transducteurs et grâce à eux, il est possible d'obtenir la vitesse et la direction du vent.



Fig. 4.7 Station Vaisala Windcap

Dans le cadre du suivi bathymétrique, AdSP-MTS a récemment acheté et installé une instrumentation bathymétrique performante capable de permettre la planification des campagnes de collecte de données et par conséquent des interventions sur les fonds marins de manière optimale, en utilisant des sondes de niveau professionnel qui collectent des données qui sont ensuite gérées par une plateforme logicielle pour permettre leur analyse et la planification d'éventuelles interventions, ainsi que la création de modèles de fonds marins utiles pour le suivi et la navigation assistée.

Le système bathymétrique est composé d'un sonar multifaisceaux (Multibeam Echo Sounder) assisté d'un ensemble de capteurs pour la localisation (GPS) et pour la détection des mouvements inertiels du navire, nécessaires à la correction des données acquises, et d'un PC équipé d'un logiciel d'acquisition et de traitement des données pour produire un résultat utilisable dans les niveaux supérieurs de la pile.

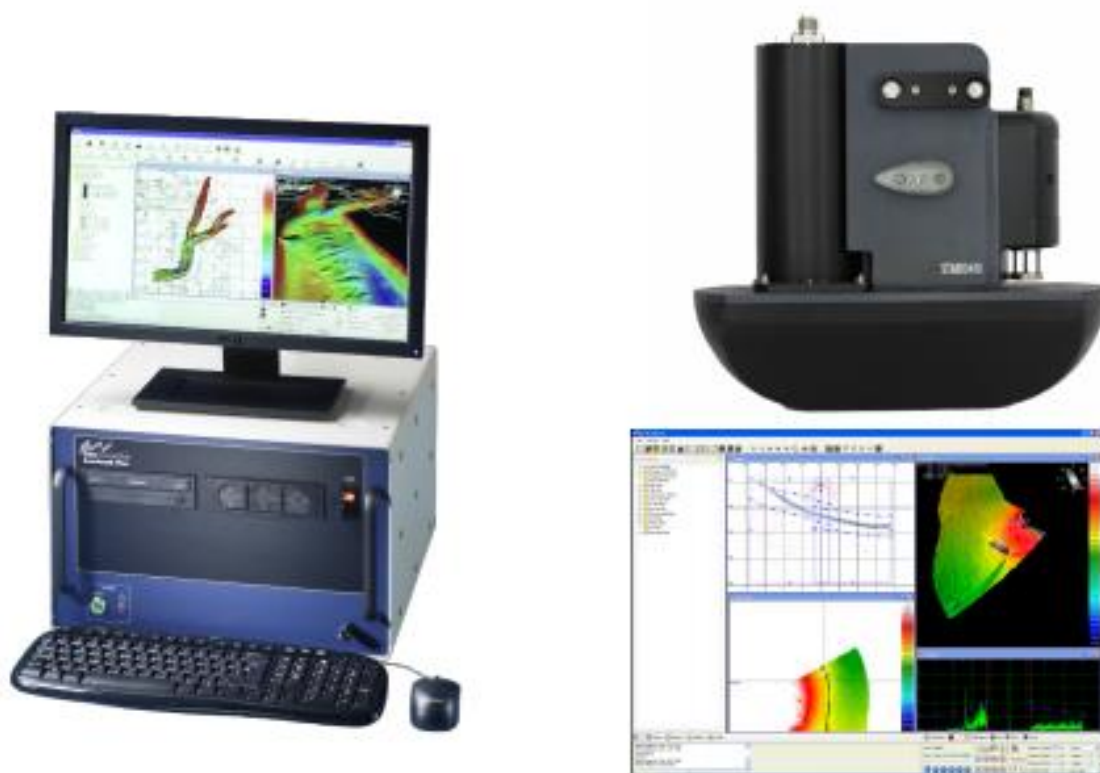
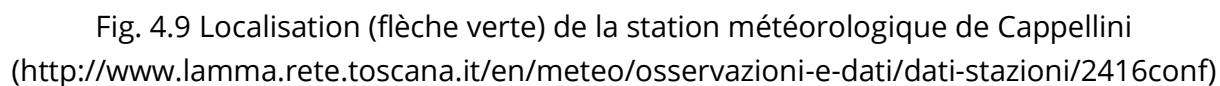


Fig. 4.8 Instrumentation bathymétrique

Le Consortium LaMMA met également à disposition la station météorologique installée depuis le 01/10/2003 à Livourne à l'Istituto Tecnico Nautico "Alfredo Cappellini", Piazza Giovine Italia, 1 - 57126 Livourne (Fig. 4.9) à une altitude de 30 m a.s.l. Dans les prochains mois, ces observations anémométriques seront complétées par celles dérivant d'une station météorologique qui sera installée dans le cadre du projet GIAS.



- o thermomètre ;
- o pluviomètre avec double plateau oscillant ;
- o anémomètre sonique pour la direction et l'intensité du vent ;
- o hygromètre ;
- o baromètre ;
- o radiomètre ;

o Radiomètre UV-B.



Fig. 4.10 Photos de la station météorologique de Cappellini (source: <http://www.lamma.rete.toscana.it/en/meteo/osservazioni-e-dati/dati-stazioni/2416conf>)

d. AUTRES INSTRUMENTS : MESURES DU NIVEAU DE LA MER

Pour la calibration/validation des modèles numériques, le Consortium LaMMA utilisera également les données de la station de Livourne, mises à disposition par le Réseau

National des Marées (RMN), téléchargeables sur le site <https://www.mareografico.it>, à partir du 01/01/2010. La station est située au Porto Mediceo (Lat 43°32'46.63", Lon 10°17'57.62).



Fig. 4.11 Localisation (cercle rouge dans l'image de gauche) et photo du marégraphe de Livourne (source: <https://www.mareografico.it>)

Les paramètres mesurés par la station RMN de Livorno sont les suivants :

- Niveau hydrométrique toutes les 10 secondes (transducteur de niveau radar) ;
- Température de l'eau toutes les 1 h (transducteur de température de l'eau) ;
- Température de l'air toutes les 1 h (transducteur de température de l'air et rh%);
- Humidité relative toutes les 1 h (transducteur de température de l'air et rh%) ;

- Pression atmosphérique toutes les 1 h (capteur barométrique) ;
- Direction du vent toutes les 10 min (capteur ultrasonique de la vitesse et de la direction du vent) ;
- Vitesse du vent toutes les 10 min (vitesse du capteur à ultrasons et direction du vent).

D'autres mesures du niveau de la mer sont disponibles auprès du Service hydrologique régional de la Région de Toscane, qui dispose également d'un marégraphe dans le port de Livourne.

Enfin, l'utilisation d'une jauge de niveau portable est prévue pour les activités de validation des modèles de calcul et en particulier des procédures adoptées par exemple pour le calcul de l'agitation portuaire.

5. PORT DE TOULON

En ce qui concerne le port de Toulon, une étude a été réalisée par la société OCEANIDE pour le compte de la CCI-VAR, en collaboration avec l'UTLN, pour l'installation d'un réseau de capteurs de courants marins dans la rade de Toulon pour la surveillance et la simulation en temps réel des conditions météorologiques susceptibles d'affecter la navigation et la manœuvrabilité des navires à proximité et dans le port. L'étude est jointe ci-dessous.

6. BIBLIOGRAPHIE

Barrick, D.E., Lipa, B.J. (1997). Evolution of Bearing Determination in HF Current Mapping Radars. *Oceanography* 10(2), 72–75. doi: 10.5670/oceanog.1997

Corgnati, L., Mantovani, C., Novellino, A., Rubio, A., Mader, J. (2018) Recommendation Report 2 on improved common procedures for HFR QC analysis. JERICO-NEXT WP5-Data Management, Deliverable 5.14, Version 1.0. Brest, France, IFREMER, 82pp, (JERICO-NEXT-WP5-D5.14-V1.). <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-944>

Corgnati, L., Mantovani, C., Rubio, A., Mader, J., Reyes, E., Asensio Igoa, J. L., Novellino, A., Gorringer, P., Griffa, A. (2020). The European HF Radar Node: focal point to promote land-based remote sensing of coastal surface currents and its applications, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-1537, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1537>

Cutroneo, L., Castellano, M., Pieracci, A., Povero, P., Tucci, S., Capello, M. (2012). The use of a combined monitoring system for following a turbid plume generated by dredging activities in a port. *Journal of Soils and Sediments* 12, 797–809. doi: 10.1007/s11368-012-0486-0

Cutroneo, L., Massa, F., Castellano, M., Canepa, G., Costa, S., Povero, P., Tucci, S., Capello, M. (2014). Technical and public approaches to involve dredging stakeholders and citizens in the development of a port area. *Environmental Earth Sciences* 72, 3159–3171. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3222-9>.

Gurgel, K.-W., Antonischki, G., Essen, H.-H., Schlick, T. (1999). Wellen Radar WERA: A New Ground-Wave HF Radar for Ocean Remote Sensing. *Coastal Engineering* 37, 219–234. doi: 10.1016/S0378-3839(99)00027-7

RD Instruments (2008). Workhorse H-ADCP 300 kHz, Long-range horizontal ADCP, real-time current profiling and waves measurement in a single package. San Diego, USA.

Rubio, A., Mader, J., Corgnati, L., Mantovani, C., Griffo, A., Novellino, A., et al. 2260 (2017). HF radar activity in European coastal seas: next steps toward a pan- 2261 European HF radar network. *Frontiers in Marine Science* 4, 8. doi: 10.3389/fmars.2017. 2262 00008

Wyatt, L.R. (2019). Measuring the ocean wave directional spectrum 'First Five' with HF radar. *Ocean Dynamics* 69, 123–144. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1235-8>

Wyatt, L.R. (2005). HF radar for coastal monitoring - a comparison of methods and measurements. *Europe Oceans 2005*, Brest, France, 2005, pp. 314-318 Vol. 1. doi: 10.1109/OCEANSE.2005.1511732

Mission d'étude pour la mise en place d'un réseau de capteurs de courant marine dans la rade de Toulon pour surveillance et simulation en temps réel des conditions météorologiques pouvant influencer sur la navigation et la manœuvrabilité des navires dans et à l'approche du port dans le cadre du projet Interreg Marittimo

SINAPSI

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



LIVRABLE T1 T1.1.1: RAPPORT FINAL

Partner responsable : Chambre de Commerce et d'Industrie du Var

Partenaires contributeurs : OCEANIDE

Nom du livrable	Écrit par:	Validé par:
RAPPORT FINAL REV 2	Julien Marion (OCEANIDE)	Bailly Benjamin (OCEANIDE)
Date :	20/01/2021	20/01/2021

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
2	ETAPE 1 : RECENSEMENT	1
2.1	Type de données collectées	1
2.2	Contacts pris	2
2.3	Données collectées.....	3
2.3.1	Liste des sources et contenus.....	3
2.3.2	Cartographie exhaustive des données listées	4
2.3.3	Capteurs retenus pour le recensement des mesures et la cartographie détaillée	5
3	ETAPE 2 : RECUEIL ET SYNTHESE DES DONNEES MESUREES AUX CAPTEURS EXISTANTS.....	7
3.1	Vent.....	7
3.1.1	Source	7
3.1.2	Analyse statistique annuelle.....	8
3.1.3	Analyse des vents extrêmes	8
3.2	Mer de vent/clapot dans la petite rade	10
3.3	HOULE	11
3.3.1	Source	11
3.3.2	Analyse statistique des houles du large	11
3.3.3	Analyse des tempêtes - Houles extrêmes	13
3.3.4	Propagation des houles du large	15
3.4	COURANTOLOGIE	17
4	ETAPE 3 : SYNTHESE DES DONNEES EN TEMPS REEL MISES EN LIGNE SUR INTERNET.....	18
4.1	Généralité :	18
4.2	Météo-France.....	18
4.3	SHOM	20
4.4	Ifremer - MARC (IOWAGA – HOMERE).....	22
4.5	WindGuru	23
4.6	Infoclimat	23
4.7	Météociel.....	24
4.8	Windfinder.....	24
4.9	Windy	25
4.10	Météo consult	25
4.11	Conclusion	26

5	ETAPE 4 : IDENTIFICATION D'EMPLACEMENTS IDEAUX POUR LA MISE EN PLACE DE CAPTEURS.....	26
5.1	Besoin et emplacement pour des capteurs.....	26
5.2	Type d'instrumentation envisageable	32
5.2.1	Instrumentation Nortekmed	32
5.2.2	Instrumentation IxBlue.....	38
6	ETAPE 5 : CARTOGRAPHIE 3D REPERTORIANTE LE POSITIONNEMENT DES CAPTEURS EXISTANTS ET FUTURS.....	41
7	ETAPE 6 : RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE DU PROJET SINAPSI.....	43
7.1	Complément aux capteurs	43
7.2	Transmission des informations	44
7.3	Recommandations	44

Description du livrable

Ce livrable présente la prestation réalisée par la société OCEANIDE au niveau de la rade de Toulon dans le cadre du projet SINAPSI pour lequel elle a été sollicitée par la CCIV.

Les étapes concernant :

- Recensement des différents capteurs météo existants (courant, vent, houle)
- Récupération des données d'intérêts collectées sur les dernières 10 années
- Identification d'emplacements idéaux pour mise en place de capteurs de courant
- Réalisation d'une carte bathymétrique et 3D répertoriant le positionnement des capteurs actuels et futurs

1 INTRODUCTION

La CCI du Var a été retenue pour 4 projets « Sécurité-Sûreté maritime » du 3ème appel à projets Interreg Marittimo 2014-2020 dont le projet SINAPSI.

Le projet SINAPSI prévoit la définition des conditions météorologiques-marines (champs de courants et de vagues) à proximité et à l'intérieur des zones portuaires par le biais d'observations directes et indirectes et par la modélisation numérique des zones portuaires impliquées dans le projet (Toulon, Gênes, Livourne et Piombino).

L'objectif est de doter les Autorités Maritimes, les Autorités Portuaires, les Opérateurs des ports, les Pilotes et les Commandants des navires d'un outil TIC transfrontalier capable de fournir des données en temps réel sur les conditions météorologiques à l'approche et dans le port pour être capable de planifier une opération et de manœuvrer en toute sécurité.

2 ETAPE 1 : RECENSEMENT

2.1 Type de données collectées

La recherche des données se porte sur des données de moins de 10 ans et qui au terme de l'étude peuvent être une source pour être fournies en temps réel.

- Données océano-météorologiques :
 - o Le vent ;
 - o La houle ;
 - o Les courants ;
 - o Le brouillard.
- Données topographiques et bathymétriques.

Les données collectées sont ajoutées au fur et à mesure dans un modèle de SIG mis en place avec le logiciel QGIS. L'ensemble de ces données est également répertorié dans un tableur EXCEL.

Les fichiers créés sont fournis à la CCIV sur un support numérique en fin d'étude.

Les données qui n'influent pas directement sur la sécurité à la navigation ne sont pas recensées.

2.2 Contacts pris

Le tableau ci-après indique les contacts pris :

Nom	Organisme	Contact	N° de données
-	SHOM	https://diffusion.shom.fr/	1, 2
Thierry Aubry	MTPM	taubry@metropoletpm.fr	3
Anne Molcard	Université de Toulon	anne.molcard@univ-tln.fr	4, 5
Christophe Lambert	MTPM	clambert@metropoletpm.fr	6
Emilie Nicolas	MTPM	enicolas@metropoletpm.fr	8
Francis Gaborit	CCIV	francis.gaborit@var.cci.fr	
-	CANDHIS	http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte/	7

Les contacts directs avec la Marine Nationale et la DDTM n'ont pas pu être pris dans le contexte sanitaire lié au COVID-19.

2.3 Données collectées

2.3.1 Liste des sources et contenus

N°	Contact	source	Type	Date	Contenu
1	SHOM	https://diffusion.shom.fr/pro/risques/litto3d-paca-2015.html	Données topo bathymétriques	2015	Dalles Litto 3D - PACA 2015
2	SHOM	https://diffusion.shom.fr/pro/mnt-facade-gdl-ca-homonim.html	Données bathymétriques		MNT Bathymétrique de façade du Golfe du Lion - Côte d'Azur
3	AUBRY Thierry (MTPM)	https://www.ports-tpm.fr/meteo/	4 capteurs météo : Hangar Vicat Môle Armement Espace OROSCO Darse TCA	depuis 2018	capteurs permanent CAMPBELL "AirTC_Avg" : température de l'air (°C) "RH_Avg" : direction (°N) ? Oui "WS_ms_Avg" : vitesse de vent moyenne (m/s) "WS_ms_Max" : vitesse de vent (max m/s) "BP_mbar_Avg" : Pression (mbar)
4	MOLCARD Anne (Univ Toulon)	http://hfradar.univ-tln.fr/HFRADAR/squel.php?content=accueil	HF Radar MOI	depuis 2012	mesure du courant de surface en temps réel
5	MOLCARD Anne (Univ Toulon)		5 ADCP (Nortekmed) Cap Carqueranne/Cap Sicié	2018	2 périodes de 2 mois (été et hiver) Mesures prolongées en 2021
6	LAMBERT Christophe (MTPM)	Etude de courantologie de la baie du lazaret (OCEANIDE) https://data.metropletpm.fr/	Mesures IxBlue	Avril/Octobre 2018	Campagne de mesure IxBlue dans la baie du Lazaret
7	Réseau Candhis (CETMEF)	http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte/	Bouée 08301 Porquerolles Directionnelle et temps réel	1992-2012	
8	NICOLAS Emilie (MTPM)	doc pdf htmnet "Apport d'un réseau de mesures des niveaux d'eau à la compréhension de la dynamique côtière : Exemple du littoral de l'agglomération toulonnaise"	10 stations de mesure (pression, temperature)	1er capteur installé en 2013	Objectif : etude des niveaux d'eau (MIO Université Toulon)
9	OCEANIDE CCIV	Données publiques Météo France - station la Mitre	1 station météo	janv2006 janv 2016	Données horaires (vitesse direction du vent) sur 10 ans Vitesses et direction moyennées sur les 10 minutes précédent l'heure et mesurée à une hauteur de 10m
10	OCEANIDE	Mesures du sémaphore de l'île du Levant	1 station météo		Vitesse et direction de provenance du vent mesuré toute les 3h

2.3.2 Cartographie exhaustive des données listées

La figure suivante présente un extrait du modèle SIG (Système d'Information Géographique) mis en place via le logiciel Qgis afin de rassembler et localiser les données listées ci-avant. A noter que plusieurs cartes extraites du modèle SIG sont données en **Annexe 1**.

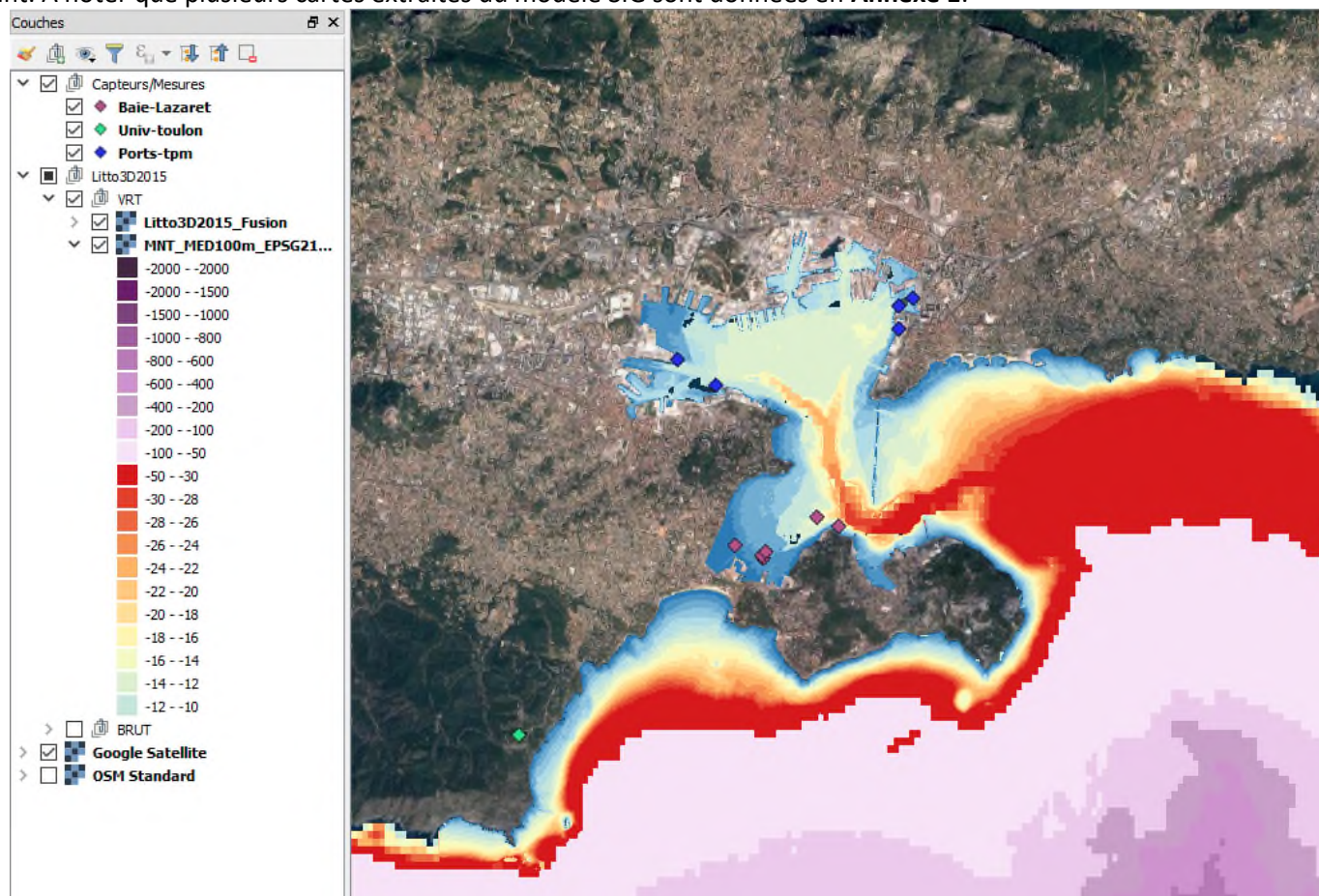


Figure 2-1 : extrait du modèle SIG mis en place

2.3.3 Capteurs retenus pour le recensement des mesures et la cartographie détaillée

Parmi les données collectées et présentées au paragraphe 2.3.1, certaines ont été jugées pertinentes pour l'étude et d'autres non, à savoir :

- Les données du SHOM N°1 et N°2, concernant des données topo-bathymétriques ont été jugées utiles pour déterminer la position des capteurs et ont été intégrées au modèle SIG ;
- Les données de TPM N°3 téléchargées sur le site <https://www.ports-tpm.fr/meteo/> et concernant des capteurs permanents dans la petite rade ont été téléchargées. Après une première analyse il n'a pas été jugé pertinent de les retenir (absence de données d'incidences supérieures à 100°N dans les fichiers téléchargés) ;
- Les données à la station la Mitre N°9 concernant des données de vent sur 10 ans ont été jugées utiles. L'analyse statistiques effectuée par OCEANIDE lors d'études précédentes pour la CCIV ont été reprises et sont présentées plus loin ;
- Les données N°4 de courants mesurées au niveau du radar HF mis en place par l'université de Toulon (<http://hfradar.univ-tln.fr/HFRADAR/squel.php?content=accueil>), apportent des informations en continue et en temps réel au large de la rade -voir la figure ci-dessous). Ces données pourront être utilisé pour le calage de modélisations numériques et la sécurité de la navigation au large de la Grande rade de Toulon. Les capteurs pourront également servir à la mesure des hauteurs de houle. Dans le cadre spécifique de la navigation dans la grande et petite rades de Toulon les informations apportées à ce jour n'ont pas une emprise et résolution suffisante cependant cette technique pourrait être avantageusement appliquée à la grande rade.

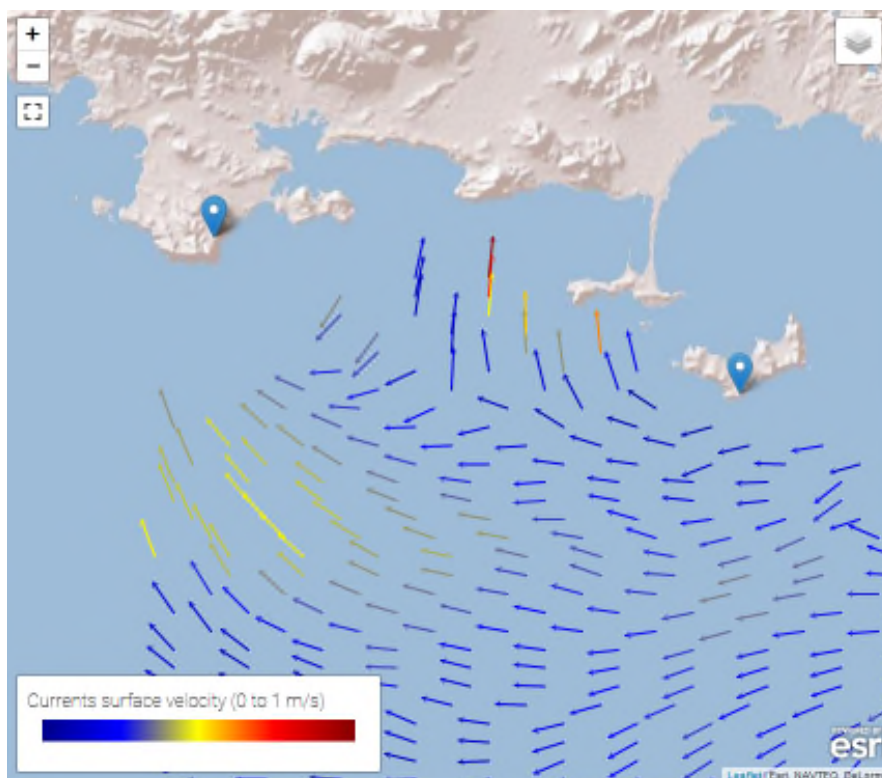


Figure 2-2 : Carte des courants issues des mesures de HF Radar mis en place par le MIO

- Les données N°8 apportent des informations concernant les niveaux d'eau, la pression et la température. Ces données sont mesurées au niveau de 10 stations. Ces données, disponibles en temps réel pourront venir compléter les informations disponibles en temps réel et transmises aux usagers. A noter que dans le cadre de la navigation dans la rade de Toulon ces paramètres ont une importance moindre.
- Les autres données N°5, N°6, N°7, N°9 et N°10 n'ont pas été retenues car elles concernaient des mesures trop éloignées et/ou de faible résolution/précision et/ou des paramètres mesurés non utiles pour l'étude (température, pression).

3 ETAPE 2 : RECUEIL ET SYNTHÈSE DES DONNÉES MESURÉES AUX CAPTEURS EXISTANTS

Les mesures fournies dans le cadre de la présente étude ne permettent pas de réaliser d'analyse statistique dont l'objet est de déterminer les conditions naturelles auxquelles sont soumis les navires.

Par conséquent, il est reporté ici l'analyse de mesures déjà traitées par OCEANIDE dans le cadre de projet précédent pour la CCIV et parfaitement représentatives des conditions de site.

3.1 Vent

3.1.1 Source

Le vent varie localement de manière importante avec le relief et il est plus fort au large.

La station de La Mitre est bien représentative des conditions de vent dans le chenal d'accès et dans la petite rade i.e. dans les zones où la manœuvre des navires est la plus délicates.



Figure 3-1 : Localisation de la station de La Mitre

Les mesures de vents traitées sont issues des données publiques de Météo France au niveau de la station de La Mitre (5°55'48"E;43°06'12"N). Il s'agit de données horaires (Vitesse et Direction du vent) sur une période de 10 ans (01/01/2006 à 01/01/2016). La vitesse et la direction sont moyennées sur les 10 minutes précédant l'heure ronde et mesurée à une hauteur de 10 mètres.

3.1.2 Analyse statistique annuelle

Le résultat de cette analyse statistique annuelle est présentée avec les graphiques ci-dessous.

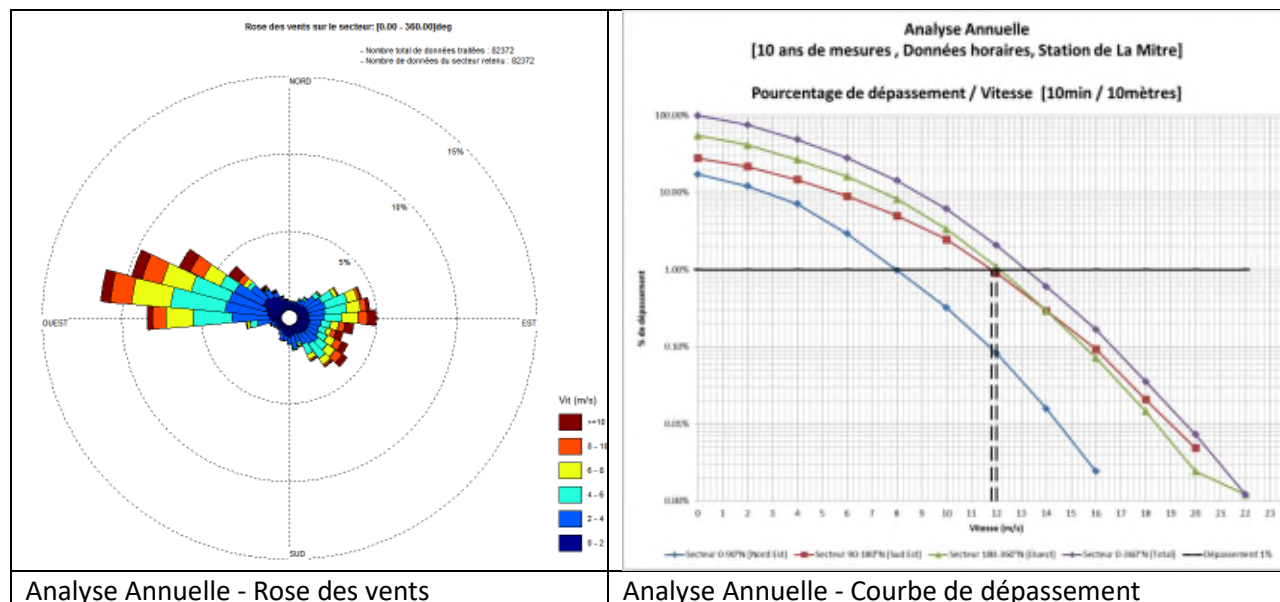


Figure 3-2 : Rose des vents - Analyse Annuelle

On constate qu'une limite usuelle de navigation de 25 nœuds (~12.5m/s) pour les manœuvres d'approche des grands navires est dépassée environ 1% du temps toutes directions confondues.

Analyse Annuelle - Dépassement 1%			
	Direction (°N)	Mistral (180-360)	Est (90-180)
Intensité (m/s)	Annuelle	12	11.8

Tableau 3-1 : Analyse annuelle - Intensité - Dépassement 1%

Sur cette période de 10 ans, la vitesse maximale mesurée est de 22m/s.

3.1.3 Analyse des vents extrêmes

A titre d'information, une analyse statistique des vents extrêmes avait été réalisée pour le secteur Ouest (de N180° à N360°) et le secteur Est (de N0° à N180°) selon la méthode POT en considérant une loi d'extrapolation de type Weibull.

Les résultats des vents extrêmes sont présentés aux figures et tableaux suivants.

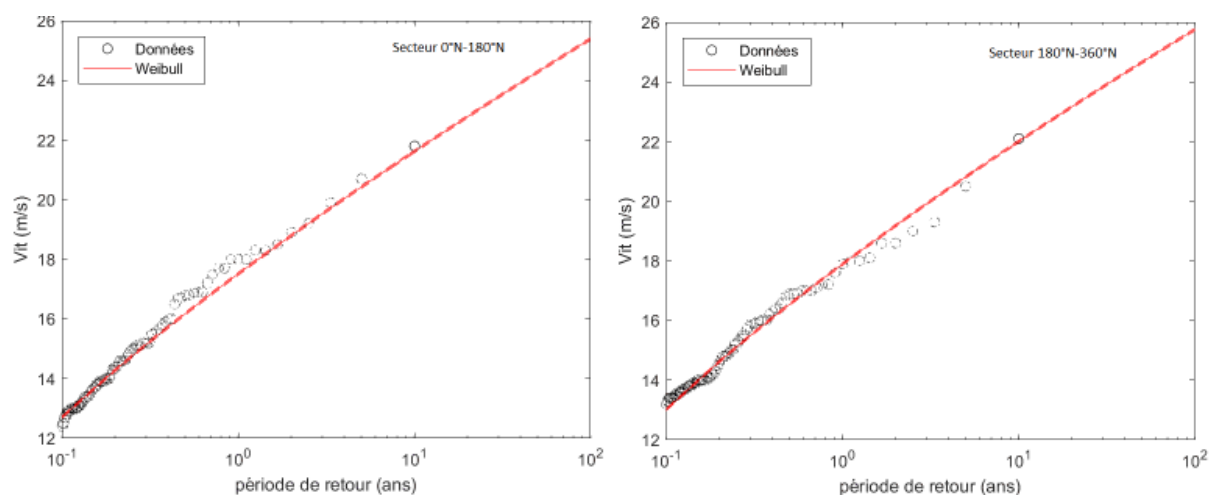


Figure 3-3 : Extrapolation statistique des vents extrêmes pour les secteurs Ouest et Est

Si l'on considère la valeur moyenne de l'intervalle de confiance, les vitesses suivantes peuvent être retenues :

Période de retour	Secteur 0-180°N (m/s)	Secteur 180-360°N (m/s)
1 an	18	17.5
10 ans	22	21.5
50 ans	25	24.5
100 ans	26	25.5

Tableau 3-2 : Vitesse (m/s) de vents extrêmes au site de projet (vent 10min à 10m)

3.2 Mer de vent/clapot dans la petite rade

Les fetchs représentatifs de la petite rade sont les suivants :

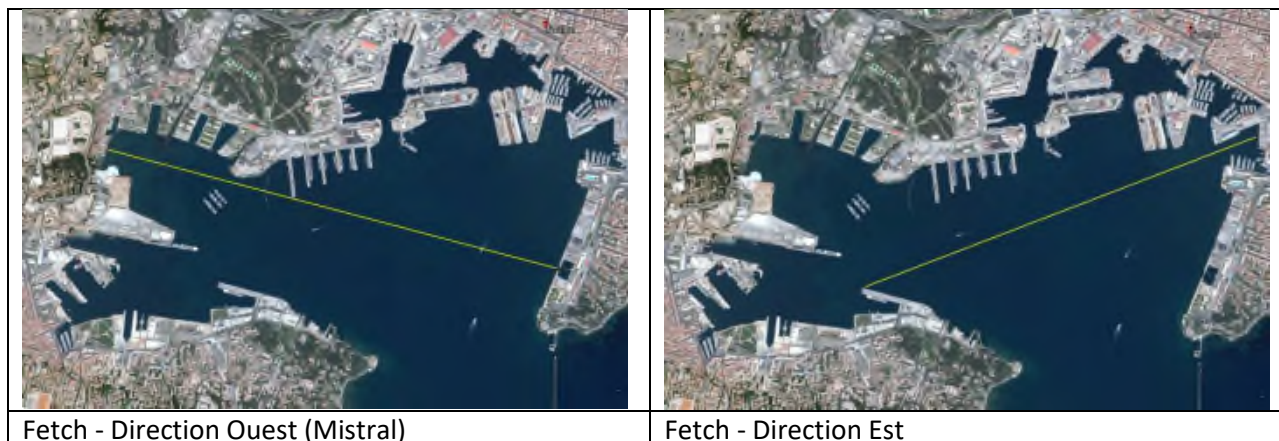


Figure 3-4 : Fetchs dans la petite Rade

En conditions de vent dépassées 1% du temps, le clapot est de l'ordre de 0,5m et $T_p=2,3\text{sec}$.

Le tableau suivant donne les résultats pour les clapots extrêmes obtenus en utilisant la formule de SMB 73 (Sverdrup-Munk-Bretschneider) et créés par les vents de secteur Ouest :

Direction Vent	Condition	Vitesse du vent (10min à 10m)	Hs (m)	Tp (s)	Lo (m)
Ouest (Mistral)	1 an	17,5	0,8	3,2	15,6
	10 ans	21,5	1,0	3,5	19,1
	50 ans	24,5	1,1	3,7	21,6
	100ans	25,5	1,2	3,8	22,5

Tableau 3-3 : Clapots extrêmes devant la zone du Mourillon (vent d'Ouest)

Les clapots dans la petite rade ne sont par conséquent pas de nature à gêner la navigation des navires de manière significative.

Il n'apparaît pas utile de positionner un capteur de houle dans la petite rade.

3.3 HOULE

3.3.1 Source

La source pour établir les caractéristiques des houles au large est la base de données issue du modèle climatique CFSR (IOWAGA) de résolution 0.5°, au point de coordonnées 6°E/43°N, situé au large de la Grande Rade de Toulon dans des fonds de l'ordre de 1000 m. Elle fournit des données tri-horaires de houle sur la période 1990-2016.



Figure 3-5 : Position du point de maillage du modèle IOWAGA

3.3.2 Analyse statistique des houles du large

La rose des houles met en évidence 2 secteurs d'incidence prépondérants, Ouest-Nord-Ouest et Est, et un secteur Sud/Sud-Ouest avec des houles globalement plus faibles.

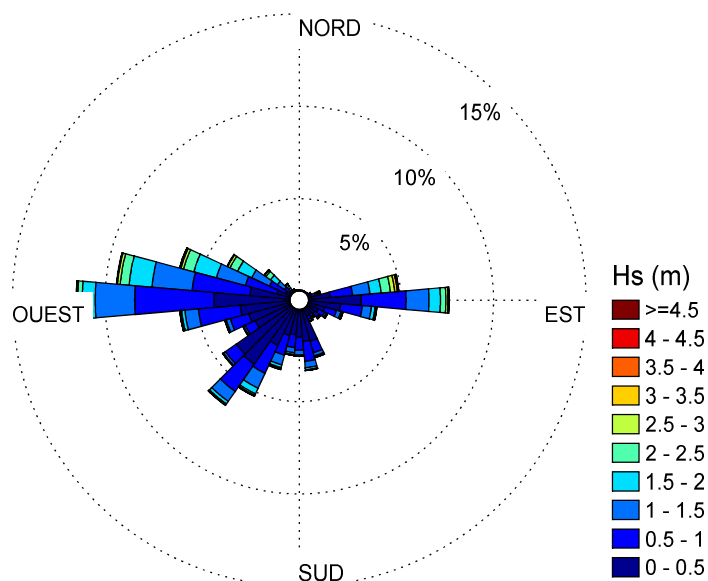


Figure 3-6 : Rose des houles du large au point CFSR 6°E/43°N

Hs (m) \ Dir (°N)	235 - 245	245 - 255	255 - 265	265 - 275	275 - 285	285 - 295	295 - 305	305 - 315	315 - 325	Total (%)
0 - 0.5	21.08	23.13	26.20	40.48	24.22	8.50	3.70	1.20	0.57	149.07
0.5 - 1	5.79	9.85	20.81	41.47	33.44	18.32	10.54	4.21	1.41	145.84
1 - 1.5	1.00	1.97	6.62	20.14	22.05	16.92	11.08	5.13	1.63	86.55
1.5 - 2	0.25	0.54	1.49	6.36	11.98	12.95	8.64	5.04	1.49	48.73
2 - 2.5	0.13	0.16	0.47	2.05	4.83	5.66	4.75	3.21	1.24	22.51
2.5 - 3	0.00	0.05	0.20	0.55	1.46	1.42	1.41	0.99	0.49	6.57
3 - 3.5	0.01	0.01	0.04	0.12	0.38	0.58	0.33	0.33	0.05	1.86
3.5 - 4	0.00	0.00	0.00	0.03	0.13	0.13	0.08	0.01	0.01	0.39
4 - 4.5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
4.5 - 5	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
5 - 5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>=5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	28.26	35.73	55.84	111.20	98.49	64.50	40.53	20.13	6.88	461.57

Tableau 3-4 : Corrélogramme Hs/Dir (%) des houles - Secteur ONO

Hs (m) \ Dir (°N)	135 - 145	145 - 155	155 - 165	165 - 175	175 - 185	185 - 195	195 - 205	205 - 215	215 - 225	225 - 235	Total (%)
0 - 0.5	4.37	4.48	15.68	19.25	14.44	14.47	13.97	21.38	34.84	39.45	182.32
0.5 - 1	1.71	1.84	5.46	11.41	7.08	7.19	10.48	15.78	18.77	7.98	87.71
1 - 1.5	0.72	0.91	1.67	3.46	2.50	2.78	5.12	8.81	7.04	1.58	34.59
1.5 - 2	0.22	0.21	0.63	1.16	0.51	0.91	1.41	3.28	2.07	0.32	10.72
2 - 2.5	0.09	0.09	0.24	0.29	0.22	0.36	0.62	0.80	0.74	0.11	3.55
2.5 - 3	0.03	0.07	0.01	0.07	0.07	0.12	0.20	0.41	0.12	0.05	1.13
3 - 3.5	0.00	0.01	0.04	0.00	0.03	0.03	0.13	0.17	0.09	0.01	0.51
3.5 - 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.04	0.00	0.01	0.14
4 - 4.5	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
4.5 - 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 - 5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>=5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	7.15	7.61	23.73	35.65	24.87	25.84	32.00	50.67	63.67	49.51	320.70

Tableau 3-5 : Corrélogramme Hs/Dir (%) des houles - Secteur S/SO

Hs (m) \ Dir (°N)	65 - 75	75 - 85	85 - 95	95 - 105	105 - 115	115 - 125	125 - 135	Total (%)
0 - 0.5	1.74	10.15	28.16	18.61	9.91	6.53	5.54	80.64
0.5 - 1	1.63	10.22	24.77	12.87	6.81	4.02	2.54	62.86
1 - 1.5	0.76	8.08	13.03	5.41	2.57	1.12	0.70	31.67
1.5 - 2	0.37	5.27	6.86	2.11	0.84	0.53	0.37	16.34
2 - 2.5	0.33	4.61	3.44	0.76	0.36	0.22	0.11	9.82
2.5 - 3	0.30	2.36	1.32	0.30	0.08	0.04	0.05	4.45
3 - 3.5	0.14	1.40	0.46	0.09	0.01	0.01	0.01	2.13
3.5 - 4	0.08	0.63	0.18	0.01	0.00	0.01	0.00	0.92
4 - 4.5	0.05	0.13	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
4.5 - 5	0.01	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
5 - 5.5	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
>=5.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.42	43.02	78.29	40.18	20.58	12.48	9.32	209.28

Tableau 3-6 : Corrélogramme Hs/Dir (%) des houles - Secteur Est

3.3.3 Analyse des tempêtes - Houles extrêmes

La base de données précédente a été traitée de manière à en extraire les tempêtes pour les différents secteurs d'incidence. Une tempête correspond à un événement ayant dépassé un seuil de hauteur important fixé sur une durée minimale de 3 heures.

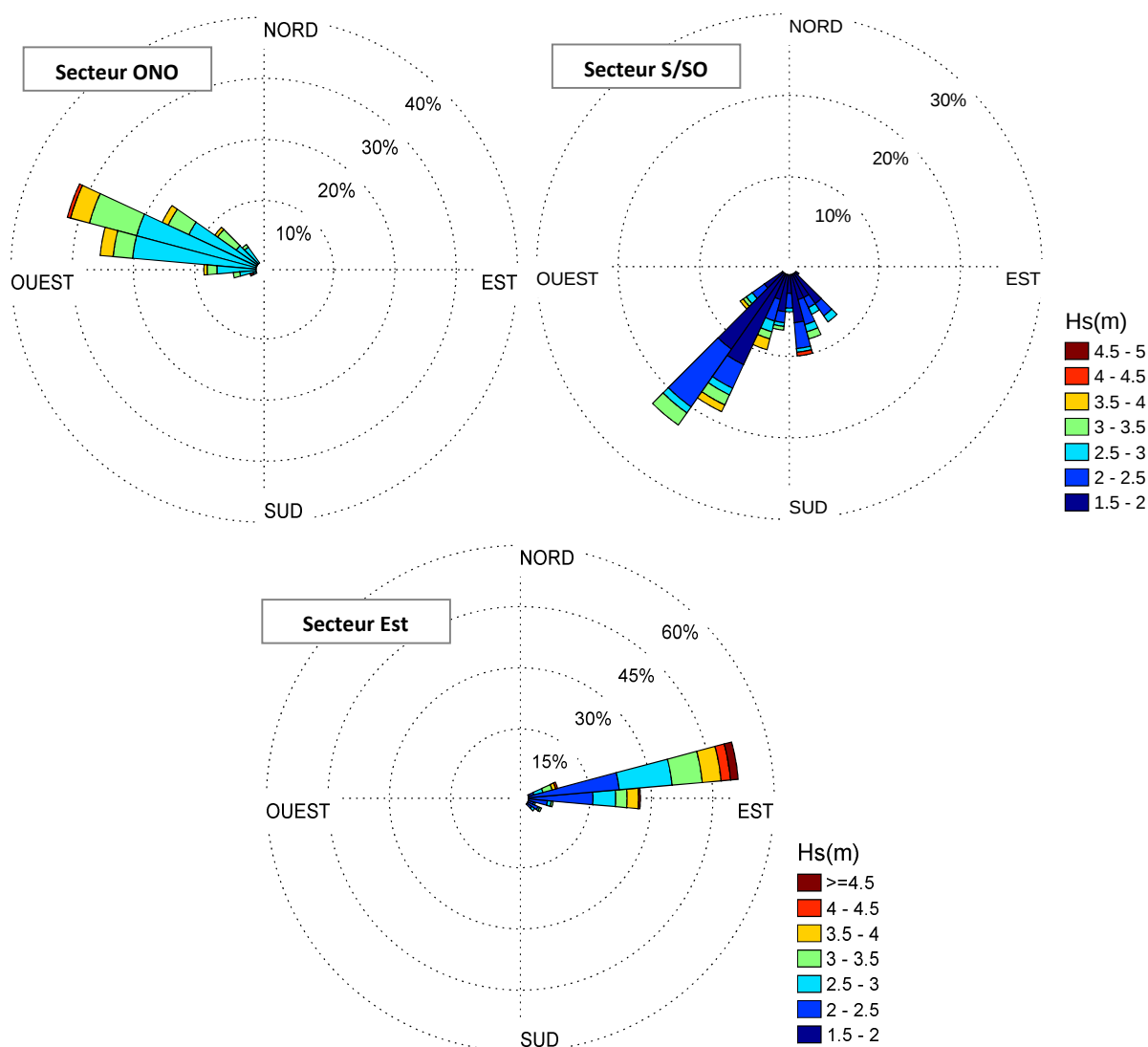


Figure 3-7 : Roses des tempêtes de houle – secteur ONO, S/SO et Est

Une analyse statistique de ces tempêtes a été réalisée afin d'évaluer les houles extrêmes au large. Les résultats sont présentés dans les tableaux et sur les figures ci-après. Les périodes associées à chaque occurrence ont été estimées à partir de la distribution H_s/T_p (cf. figures ci-avant).

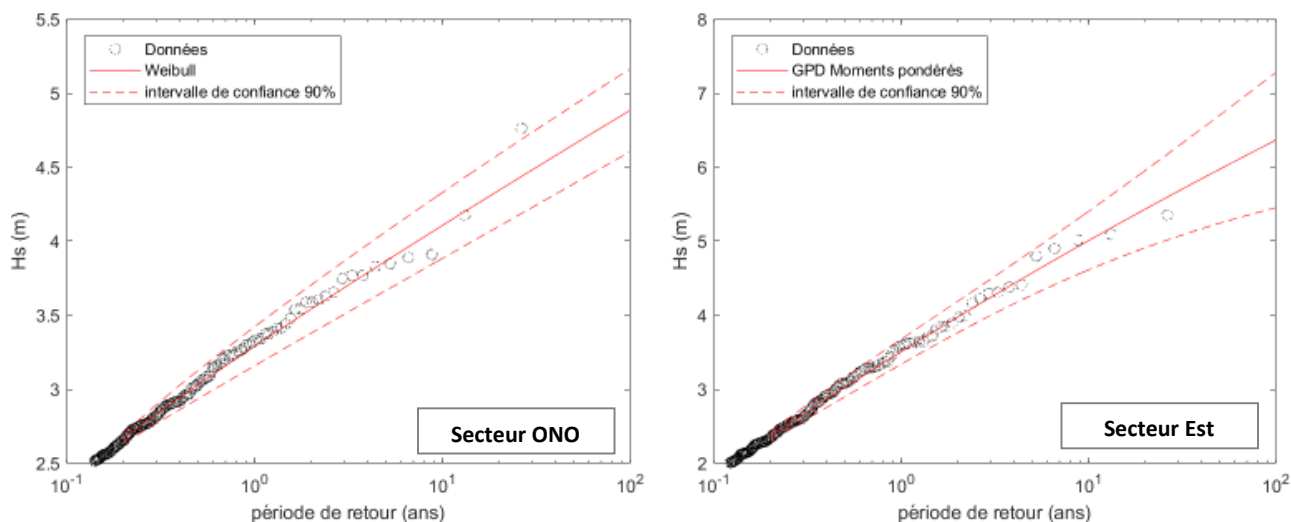


Figure 3-8 : Analyse statistique des hauteurs de houles extrêmes – Exemple de loi d'ajustement

	Période de retour (T_r)	1 an	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Secteur ONO	Hauteur H_s (*)	3.3 m	3.9 m	4.1 m	4.7 m	4.9 m
	Période T_p	8.0 s	9.0 s	9.0 s	9.5 s	10.0 s
	Direction	290°N				
Secteur S/SO	Hauteur H_s (*)	2.8 m	3.6 m	3.9 m	4.6 m	4.8 m
	Direction	200°N				
	Période T_p	9.5 s	11.0 s	11.5 s	12.0 s	12.5 s
Secteur Est	Hauteur H_s (*)	3.5 m	4.6 m	5.0 m	6.0 m	6.4 m
	Période T_p	8.5 s	9.5 s	10.0 s	11.0 s	11.0 s
	Direction	80°N				

(*) Valeur moyenne de l'intervalle de confiance

Tableau 3-7 : Caractéristiques des houles extrêmes au large

3.3.4 Propagation des houles du large

Suivant leur incidence, les houles du large ne pénètrent pas du tout dans la Petite Rade. La propagation des houles de conditions annuelles ($Tr=1$ an), issue du modèle de propagation de la houle Tomawac (suite de logiciel Telemac), est montrée ci-après.

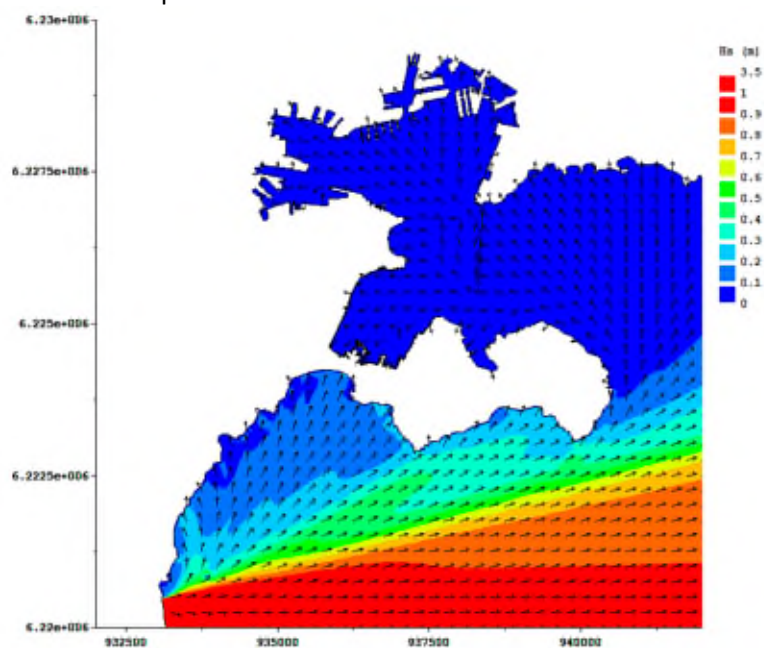


Figure 3-9 : Propagation de la houle du large – Houle d’Ouest-Nord-Ouest – $Tr=1$ an

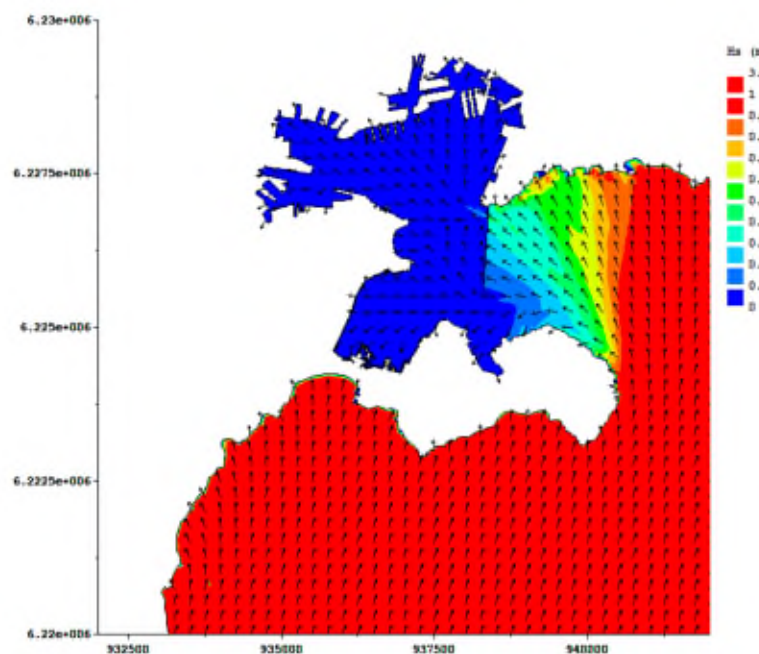


Figure 3-10 : Propagation de la houle du large – Houle de Sud/Sud-Ouest– $Tr=1$ an

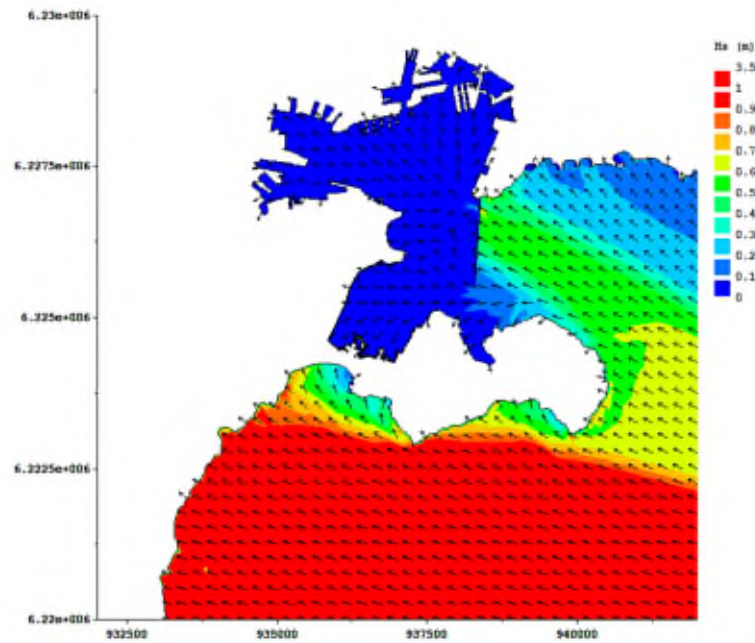


Figure 3-11 : Propagation de la houle du large – Houle d’Est – Tr=1 an

On constate un cisaillement fort de la houle (la hauteur de houle varie très rapidement) dans le chenal d’accès à la petite rade et une agitation faible dans la petite rade.

Il paraît particulièrement intéressant pour la sécurité à la navigation de caractériser ce cisaillement de la houle par la mise en place de capteurs de houle permettant d’évaluer précisément ce phénomène.

3.4 COURANTOLOGIE

Au niveau de la rade de Toulon, le courant est essentiellement généré par le vent (le Mistral) et par les fortes houles.

Les courants de marée sont négligeables, et au large le courant ligure (courant Nord Méditerranéen) peut atteindre 0,5m/s de moyenne hivernale.

La carte du contexte de courantologie locale est la suivante :

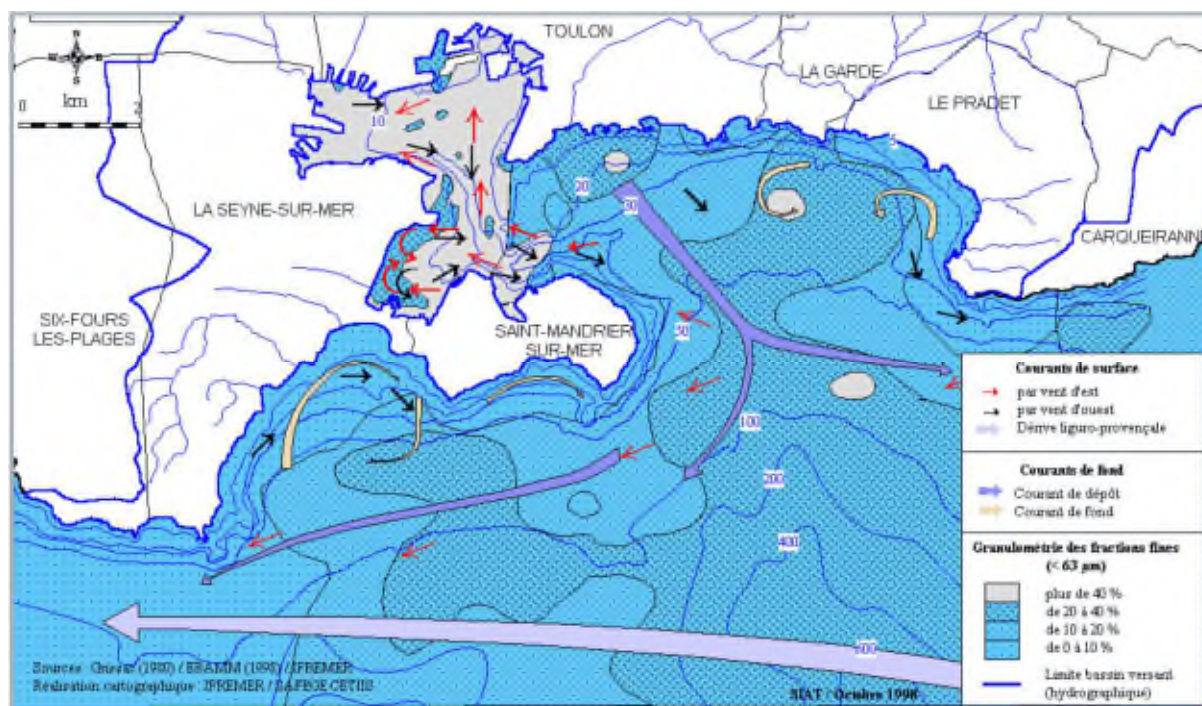


Figure 3-12 : Contexte courantologique (Grissac 1980)

Le courant est de l'ordre de quelques cm/s en conditions courantes et peut atteindre localement plus de 1m/s en surface dans la grande rade. Il est plus faible dans la petite rade.

Le courant n'est pas l'élément prépondérant influençant la navigation à l'approche et dans les grande et petite rades de Toulon, il est cependant variable en direction et intensité selon la houle et les vents, il doit par conséquent être mesuré en simultané de la houle.

4 ETAPE 3 : SYNTHÈSE DES DONNÉES EN TEMPS REEL MISES EN LIGNE SUR INTERNET

4.1 Généralité :

Différents sites internet mettant à disposition des données et informations concernant les paramètres océano-météorologiques ont été consultés.

Les sites ainsi que les paramètres présentés, les modèles utilisés et les figures les plus pertinentes sont synthétisés aux paragraphes suivants.

4.2 Météo-France

Source : <http://www.meteofrance.com/>

MétéoFrance, établissement public administratif, est le service officiel de la météorologie et de la climatologie en France.

Parmi les données mises à disposition ou vendues, les données suivantes pourraient être intéressantes :

- Données climatiques locales en temps réel ;
- Données du modèle de prévision AROME dont la résolution est la plus petite (1.3km) ;
- Données du modèle de prévision de vagues (MFWAM) d'emprise mondiale.

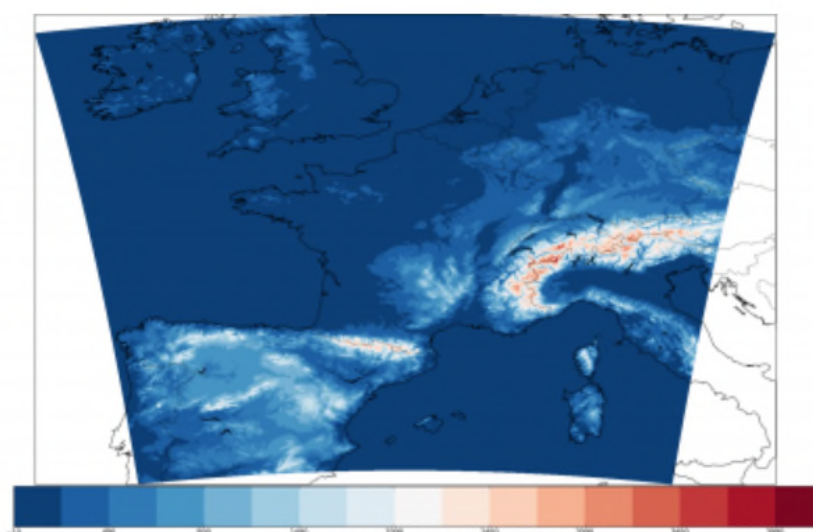


Figure 4-1 : Domaine de calcul du modèle AROME 1.3 km

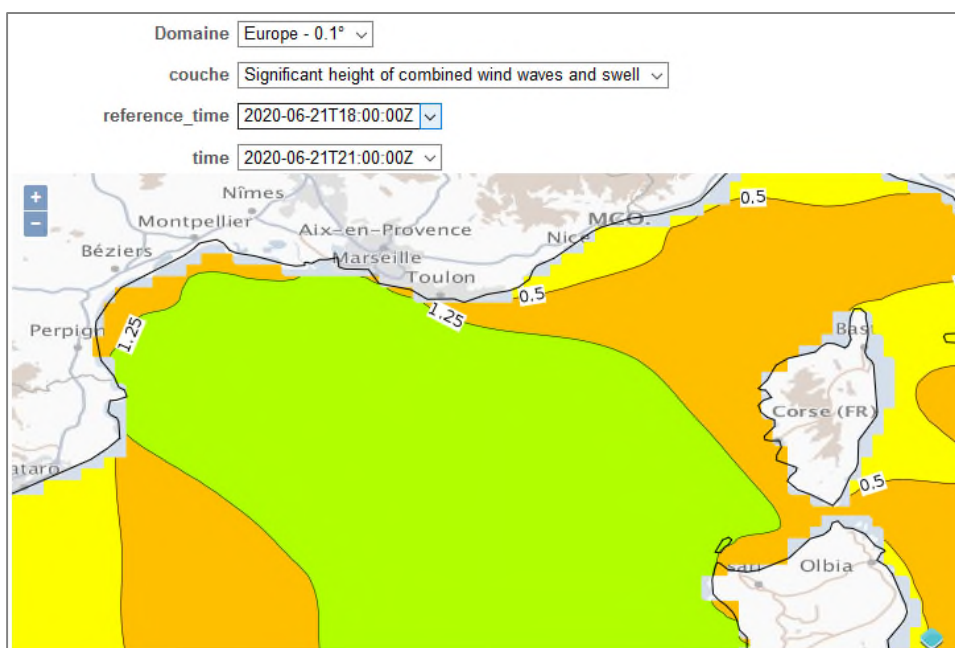


Figure 4-2 : Extrait du modèle MFWAM pour l'Europe (résolution 0.1°)

Les résultats du modèle AROME (résolution 1.3km) sont particulièrement bons et peuvent être directement utilisés comme aide à la navigation.

Les résultats du modèle de prévision de vague MFWAM ne sont pas précis dans la zone de cisaillement à l'entrée de la petite rade, ils sont donc d'une utilité limitée dans le cadre d'une assistance à la manœuvre et sur la sécurité à la navigation.

4.3 SHOM

Source : <https://data.shom.fr/oceanogramme/>

Le SHOM est le référent national pour le "niveau de la mer" in situ sur l'ensemble des zones sous juridiction française. A ce titre il assure, au travers du REFMAR, différentes fonctions de coordination en matière de collecte et de diffusion des données publiques relatives à l'observation de hauteurs d'eau, de manière à promouvoir leur utilisation dans de multiples applications.

Ces observations marégraphiques sont rassemblées sur le site web et complétées de données provenant d'autres modèles numériques en ce qui concerne d'autres paramètres.

Pour un point au niveau de la grande rade (cf. figure suivante) les modèles utilisés sont :

- "Meteo" (43.0491 5.9675) : "Modèle ARPEGE" (MAJ : 23/06/2020 00:00:00) - source : Météo-France ;
- "Vagues" (43.0824 5.967) : "Modèle WW3" (MAJ : 23/06/2020 00:00:00) - source : Shom et Météo France ;
- "Hydrodyn-surf" (43.0824 5.967) : "Modèle HYCOM3D-SURF" (MAJ : 23/06/2020 00:00:00) - source : Shom ;
- "Niveaux" (43.0824 5.967) : "Modèle HYCOM2D" (MAJ : 23/06/2020 00:00:00) - source : Shom et Météo France.

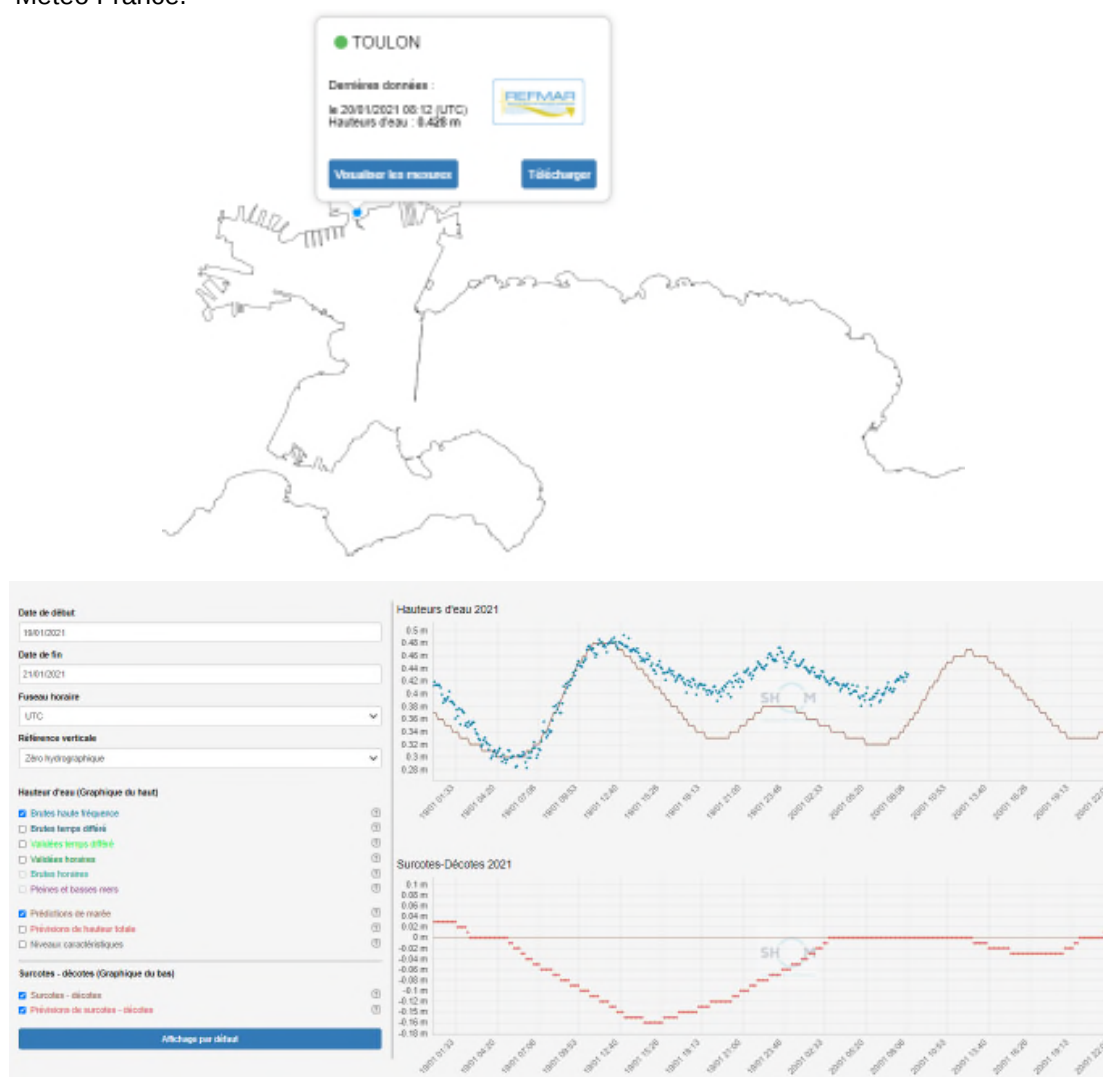


Figure 4-3 : Point du marégraphe du réseau RONIM et mesures associées

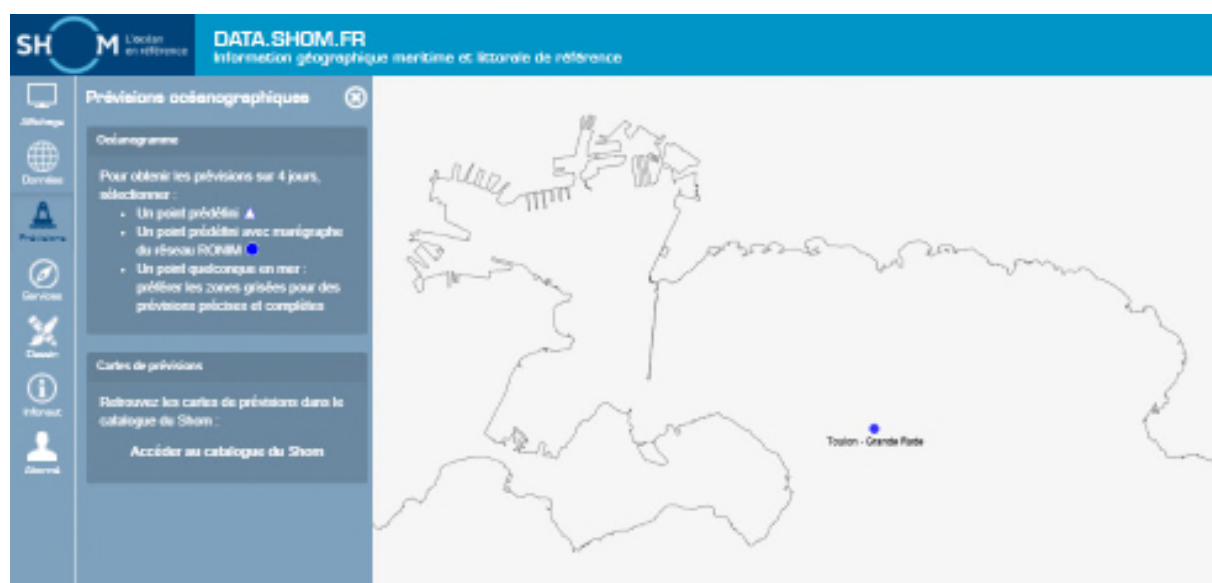


Figure 4-4 : Point prédéfini du réseau RONIM pour les prévisions

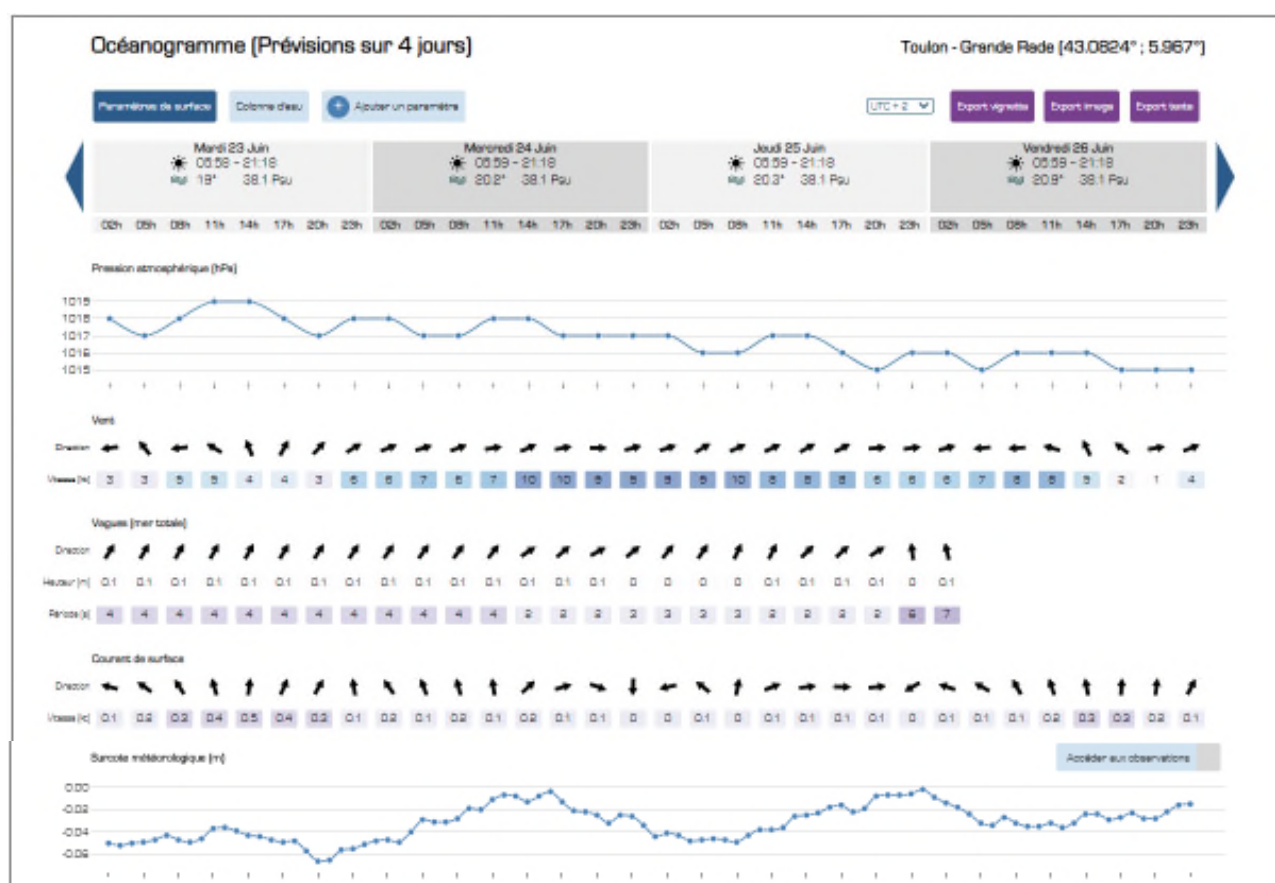


Figure 4-5 : Extrait des résultats des modèles numériques au point Ronim disponibles au niveau de la grande rade – data.shom.fr

Les données de vent et de niveau d'eau sont fiables et directement utilisables pour la navigation.

La houle et le courant sont données en un point ce qui ne permet pas de visualiser leur évolution dans le chenal d'accès et la passe d'entrée de la petite rade.

4.4 Ifremer - MARC (IOWAGA – HOMERE)

Source : <https://marc.ifremer.fr/>

L'objectif principal de MARC est de fournir des jeux réalistes de l'océan côtier et de démontrer les capacités des modèles numériques développés.

Les modèles mis en œuvre aujourd'hui sont le modèle MARS3D de l'Ifremer (circulation), et le modèle de vagues WAVEWATCH III développé par un consortium international coordonné par la NOAA.

Remarque : Le site MARC est mis à disposition de l'utilisateur à titre gratuit. MARC ne remplace en aucun cas les services de prévision, de vigilance et d'alerte de Météo France ni les prédictions de marée du SHOM qui restent les références nationales en la matière.

Les principaux résultats des modèles disponibles sont :

- Les courants ;
- Les vagues ;
- Les niveaux ;
- La température et la salinité.

A noter que les résultats de vagues (cf. figure suivante) sont ceux qui pourraient le plus nous intéresser dans le cadre du présent projet (les résultats du modèle de courant concernent le large). Le site fournit des résultats de modèle avec un pas de 3h, les prévisions sont disponibles jusqu'à environ 5 jours, et il est également possible d'avoir les résultats sur plusieurs années.

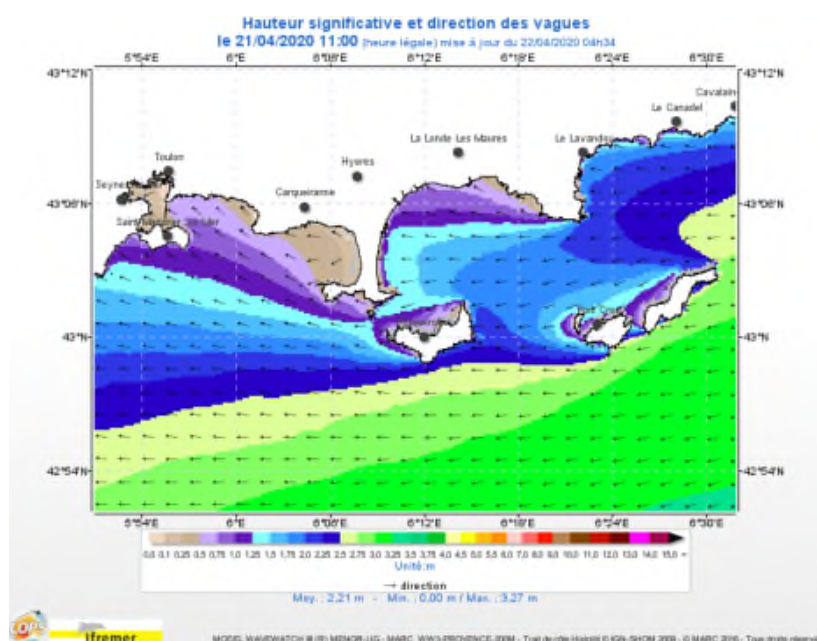


Figure 4-6 : Extrait du modèle MARC

Les résultats du modèle de prévision de vague ne sont pas précis dans la zone de cisaillement à l'entrée de la petite rade, ils sont d'une utilité limitée dans le cadre d'une assistance à la manœuvre et donc sur la sécurité à la navigation.

4.5 WindGuru

Source : <https://www.windguru.cz/>

WindGuru est un site initialement dédié à la pratique des activités nautique à la côte principalement dépendant des conditions de vent.

Le modèle de vent le plus précis est AROME 1.3km.

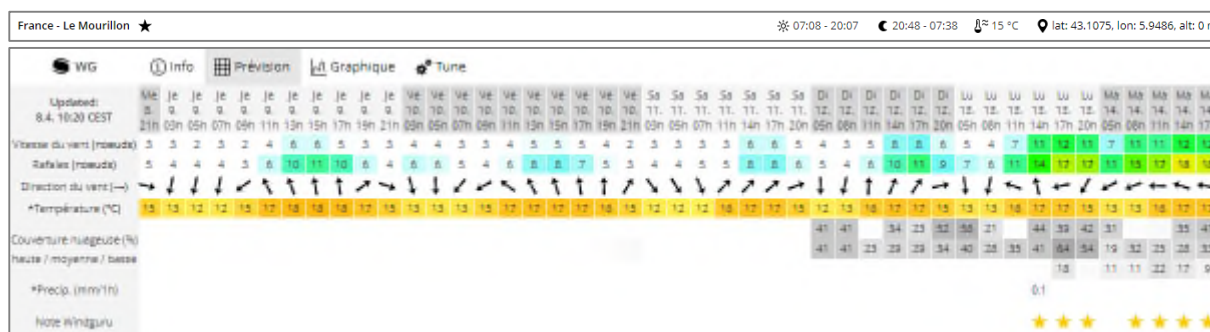


Figure 4-7 : Extrait de présentation des données au Mourillon

4.6 Infoclimat

Source : <https://www.infoclimat.fr/>

Le site est spécialisé dans le thème de la météo en temps réel. Les données, images satellites, de foudre, modèles météo etc. provenant de sources diverses d'Internet.

Infoclimat propose également des cartes interactives pour le modèle AROME (1.3km). La figure ci-dessous présente la carte du modèle Arome HD 1.3km (vent moyen). Les rafales à 10m sont également disponibles.

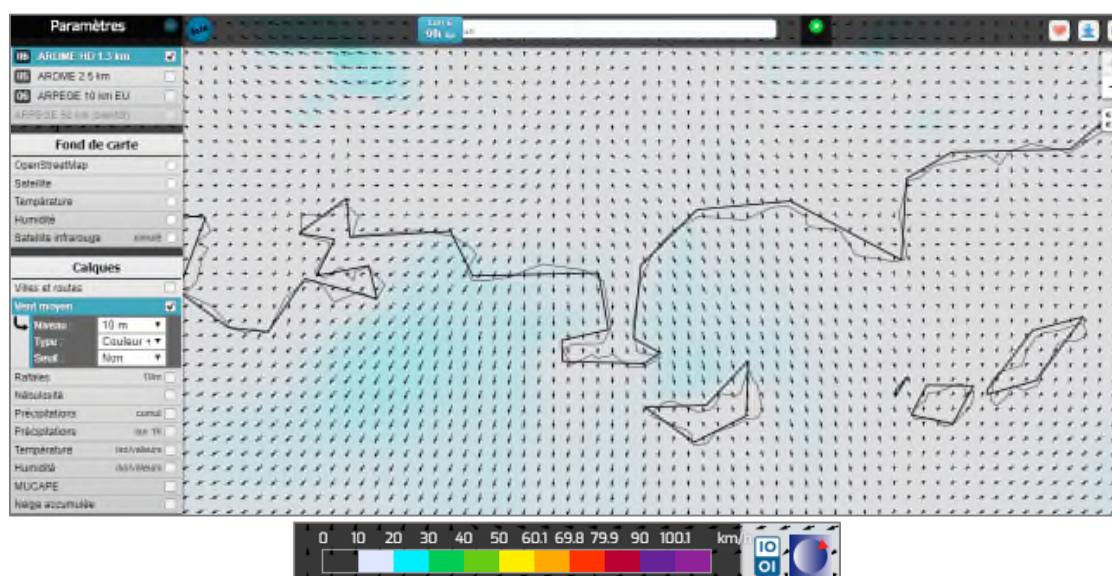


Figure 4-8 : Extrait du modèle AROME HD

4.7 Météociel

Source : <http://www.meteociel.fr/>

Le site Météociel présente les prévisions météorologiques à 3 jours en France.

4.8 Windfinder

Source : <https://fr.windfinder.com/>

Le site WindFinder est spécialisé dans les rapports et prévisions de vent, vagues, marées ... pour les sports de vent.

Il fournit des données de vents en temps réel ainsi que des prévisions sous forme de tableaux, graphiques et cartes pour les prévisions et temps réel et carte du vent.

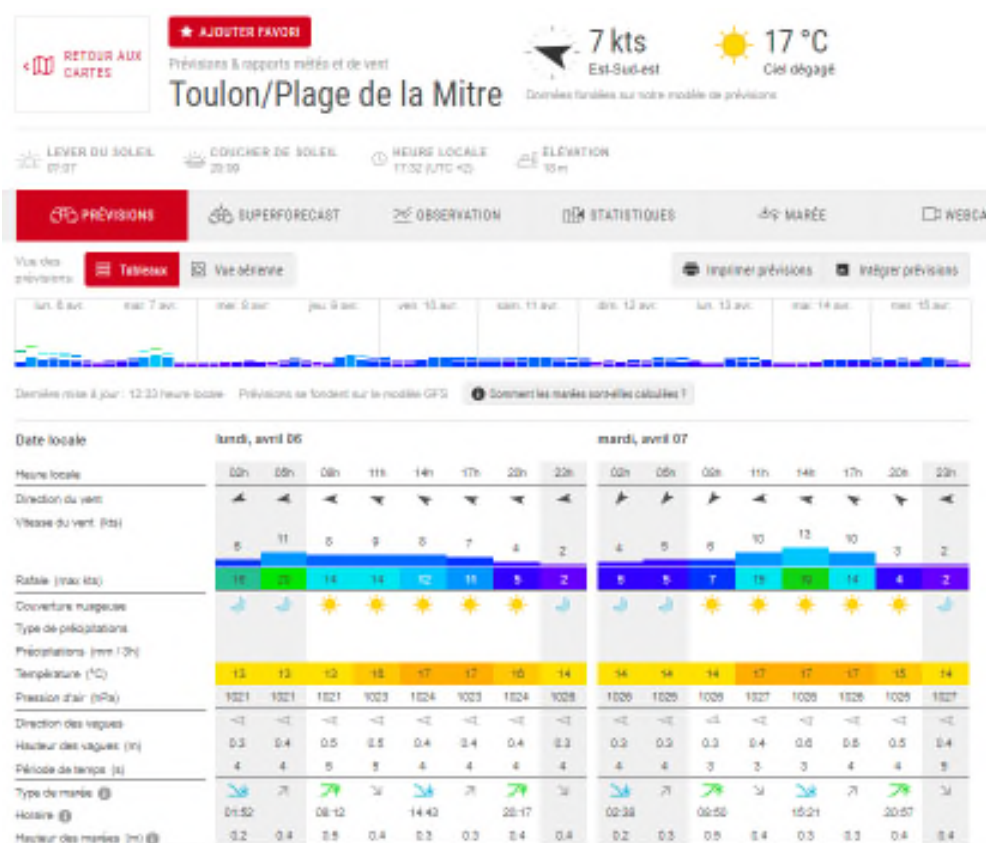


Figure 4-9 : Extrait des prévisions

4.9 Windy

Source : <https://www.windy.com/>

Windy présente une carte animée pour les prévisions de vent, nuages, vagues et autres paramètres sur une semaine environ. Des tableaux de synthèse issus de divers modèles sont également fournis :

- Vent (moyen et rafales) et couverture nuageuse avec le modèle AROME 1.3km notamment ;
- Vagues avec le modèle ECMWF en Méditerranée.

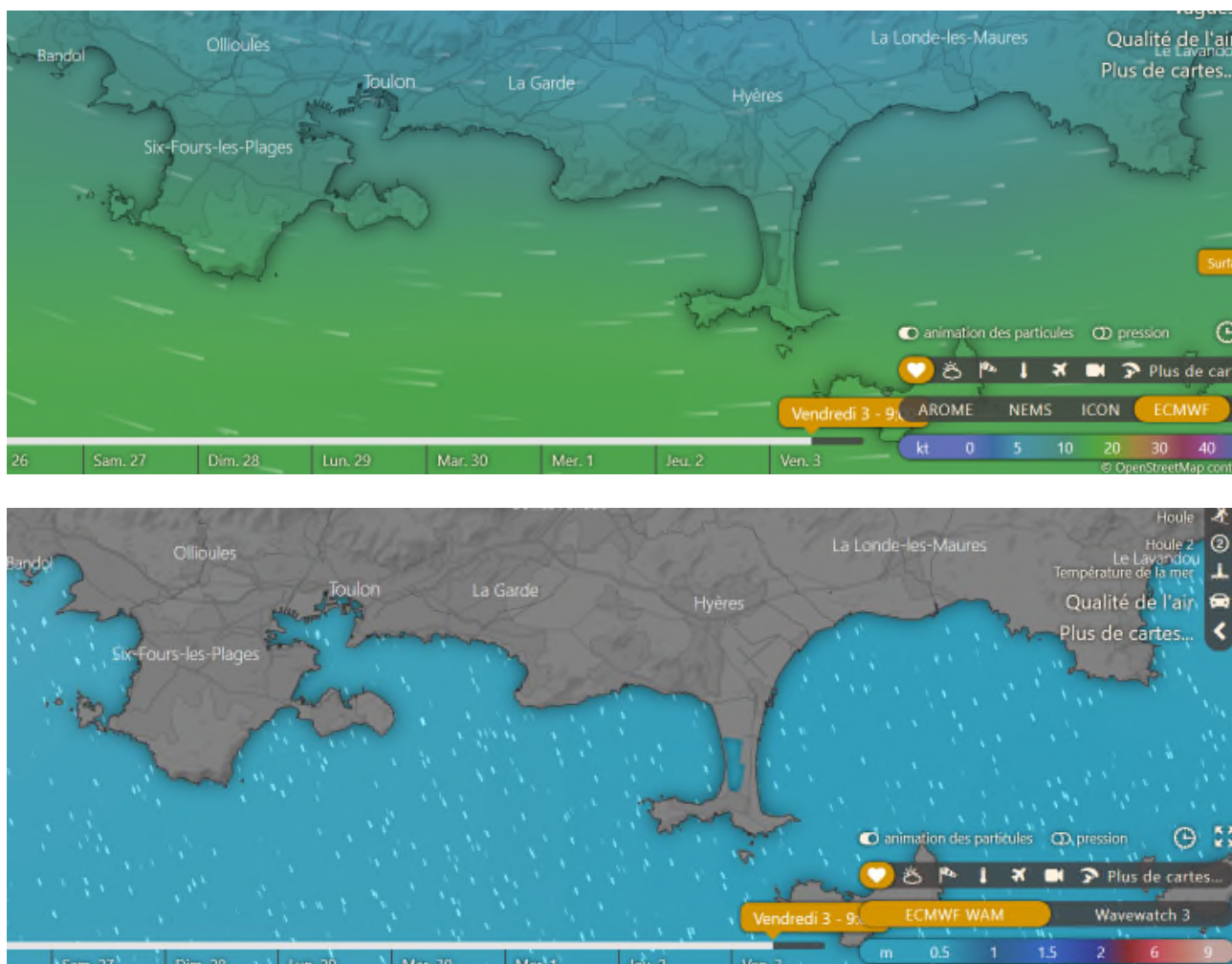


Figure 4-10 : Extrait des prévisions du modèle ECMWF

4.10 Météo consult

Source : <https://www.meteoconsult.fr/>

Météo Consult dispose de ses propres moyens informatiques pour l'élaboration des prévisions. Ces systèmes puissants sont reliés à des supercalculateurs, traitant les données collectées par les réseaux d'observation de l'Organisation Météorologique Mondiale.

La société propose des prestations de prévisions, d'études et de suivis météorologiques.

4.11 Conclusion

On notera qu'il existe plusieurs types de site :

- Les sites de Météo France et du SHOM permettent un accès (souvent payant) aux modèles qu'ils ont développés et qui sont calés sur des mesures, et qui font référence comme :
 - o Vent : AROME 1,3km
 - o Niveau d'eau
- Plusieurs sites tels que windy, windfinder, infoclimat, météociel récupèrent les données de modèles globaux existants ainsi que les mesures des stations et les présentent sur des cartes et des tableaux de synthèse parfois animés et interactifs.
- Certains sites comme WindGuru et météoconsult utilisent les données disponibles complétés parfois de stations de mesures propres pour faire tourner leurs propres modèles et donner leurs prévisions. Certaines prestations, concernant notamment des prévisions locales et plus précises sont payantes

Des applications mobiles sont disponibles pour la plupart des sites internet étudiés.

On peut conclure ce qui suit :

- **Vent : Le modèle AROME 1.3km développé par Météo France apparaît comme pertinent pour la zone d'étude car sa résolution est la plus petite (1.3km) et il est précis. Il pourrait être utilisé pour améliorer la sécurité de la navigation directement. Des cartes interactives sont disponibles sur de nombreux sites qui retranscrivent la même information.**
- **Niveau d'eau : Le site du SHOM indique parfaitement ce paramètre.**
- **Courants : Ils sont issus de modélisations équivalentes selon les sites qui ne sont pas très précises dans la grande rade de Toulon. L'information est rapportée en un point unique pour ce qui concerne le modèle du SHOM alors que le courant est variable en direction et intensité.**
- **Vagues : Les plus souvent l'information donnée par les sites est en un point et lorsque des cartes interactives sont disponibles, il faut garder à l'esprit que les modèles globaux sont peu précis à la côte. Le plus précis est le Modèle Marc de l'Ifremer, il n'est toutefois pas suffisamment fin pour représenter fidèlement les variations de la houle dans le chenal à l'approche de la petite rade.**

5 ETAPE 4 : IDENTIFICATION D'EMPLACEMENTS IDEAUX POUR LA MISE EN PLACE DE CAPTEURS

5.1 Besoin et emplacement pour des capteurs

Les étapes précédentes permettent de conclure que le paramètre qu'il est nécessaire de préciser en temps réel pour aider à la navigation est l'évolution des vagues en priorité et du courant notamment à l'approche de la petite rade, zone où :

- La houle varie fortement et le courant varie en direction et intensité
- La manœuvre des navires est contrainte par le chenal et les autres navires
- La sécurité est plus faible dans la mesure où l'on navigue à proximité immédiate de la côte

Idéalement, la houle et le courant doit être connue par les marins et les acteurs portuaires :

- Dans le chenal d'approche de la petite rade où elle est fortement influencée par le relief de la côte et des fonds marins
- Au large immédiat de la grande rade (zone Est de Saint Mandrier) pour connaître les conditions de navigation en zone exposée.

Etant donné que la mise en place d'instrumentation de mesure de paramètres en temps réel nécessite des installations et un coût non négligeable il est judicieux de combiner leur utilité (cf. ETAPE 6). En effet, les mesures effectuées par l'instrumentation mise en place seront utilisées dans le cadre de l'aide à la navigation mais elles pourront être utile dans le cadre d'autres études. De plus, selon l'instrumentation mise en place il peut facilement être effectué les mesures d'autres paramètres, ainsi, nous recommandons a minima de choisir une instrumentation qui mesure la houle et les courants pour les besoins de la navigation et l'étude des phénomènes hydrodynamiques dans la grande rade de Toulon.

L'emplacement des futurs capteurs est contraint par :

- La navigation : les navires, le balisage et le chenal d'accès
- Les conditions océano-météorologiques
- Les caractéristiques des fonds : bathymétrie, biocénoses marines...
- Le type d'instrumentation retenue

Concernant la navigation :

Le balisage actuel de la rade de Toulon est présenté sur la figure suivante. Le balisage représenté est celui de décembre 2018, il ne contient que les objets communs entre le SHOM et les Phares et balises (DAM) (cf. <https://data.shom.fr/>).

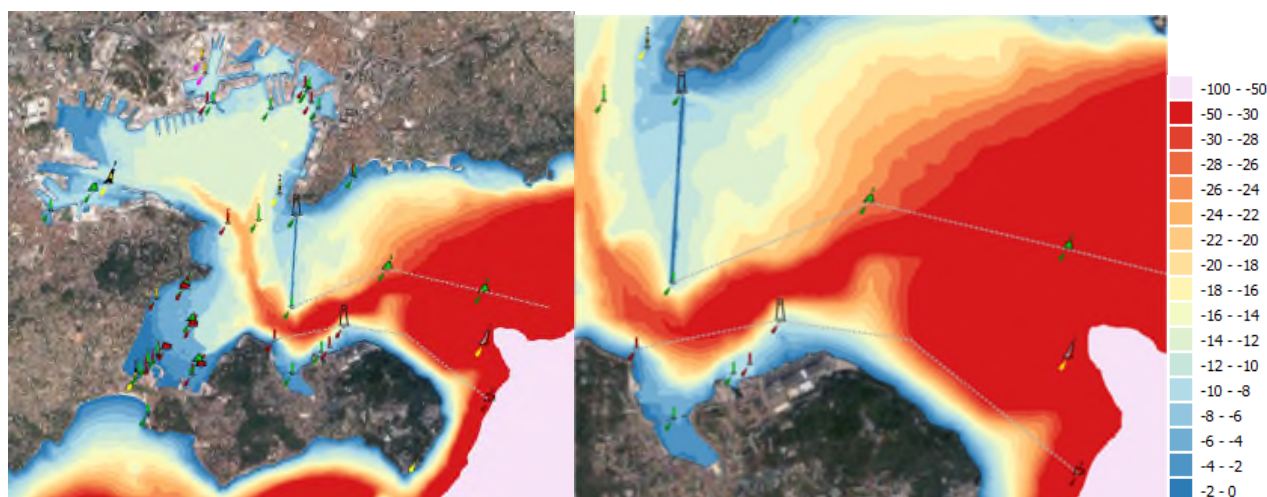


Figure 5-1 : représentation des fonds bathymétriques et du balisage

On peut observer que :

La largeur du chenal est minimale au niveau de la grande jetée où elle est d'environ 390m.
Les fonds dans le chenal de navigation sont de plus de -20mNGF.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques principales des plus grands navires connus à ce jour :

Navire	Compagnie	Longueur hors tout (m)	Largeur (m)	Tirant d'eau (m)
Classe OASIS OF THE SEA (HARMONY, SYMPHONY, OASIS, ALLURE)	ROYAL CARIBBEAN	360-362m	47m (flottaison) 66m (pont)	~9m
QUEEN MARY II	CUNARD	345m	41m	10.3m
USS GERALD FORD	MARINE AMERICAINE	333m	41m	12m

Tableau 5-1 : Caractéristiques des plus grands navires susceptibles d'être accueillis à Toulon

La profondeur d'eau requise pour ces navires dans un chenal exposé correspond à 1.5* le tirant d'eau. Une profondeur d'eau de l'ordre de 14 à 18 m est donc nécessaire et est disponible pour accéder à la petite rade.

La largeur du chenal requise pour ces navires correspond à 5* leur largeur. Une largeur de chenal de l'ordre de 330 m pour le plus large navire est nécessaire, elle est disponible pour entrer dans la petite rade de Toulon.

Le chenal actuel dispose donc des caractéristiques requises pour permettre l'accès des plus grands navires. Etant donné que la profondeur dans le chenal est localement bien supérieure à 18m elle permet d'envisager l'implantation d'une instrumentation immergée en sécurité.

Pour la navigation générale, une instrumentation immergée sera moins gênante qu'une instrumentation émergée sur bouée.

Ainsi les contraintes de navigation n'apparaissent donc pas comme des contraintes majeures pour le positionnement des capteurs.

Une implantation sur le côté du chenal paraît même intéressante dans la mesure où les navires ont interdiction de mouiller.

Concernant les conditions océano météorologiques :

Les caractéristiques de la houle du large sont déterminantes pour la navigation. L'instrumentation mise en œuvre devra donc mesurer les caractéristiques de la houle les plus pertinentes pour les directions les plus défavorables.

D'après les conditions de houle annuelle présentées précédemment ainsi que la configuration du site il apparaît intéressant de positionner les capteurs là où la houle est la plus importante mais également aux endroits où elle subit le plus de modifications (changement de direction, diminution de la hauteur).

Il n'apparaît pas utile de placer une instrumentation dans la petite rade car celle-ci est suffisamment bien protégée par la houle du large.

Concernant les caractéristiques des fonds :

Les fonds sont suffisamment importants pour accueillir une instrumentation immergée. Néanmoins si ces derniers sont très profonds ils peuvent entraîner un surcoût. Dans ce cas une instrumentation émergée serait préférable.

Les fonds de la rade de Toulon sont parcourus par des câbles et des conduites. La carte ci-après (cf. <https://data.shom.fr/>) présente leur position.

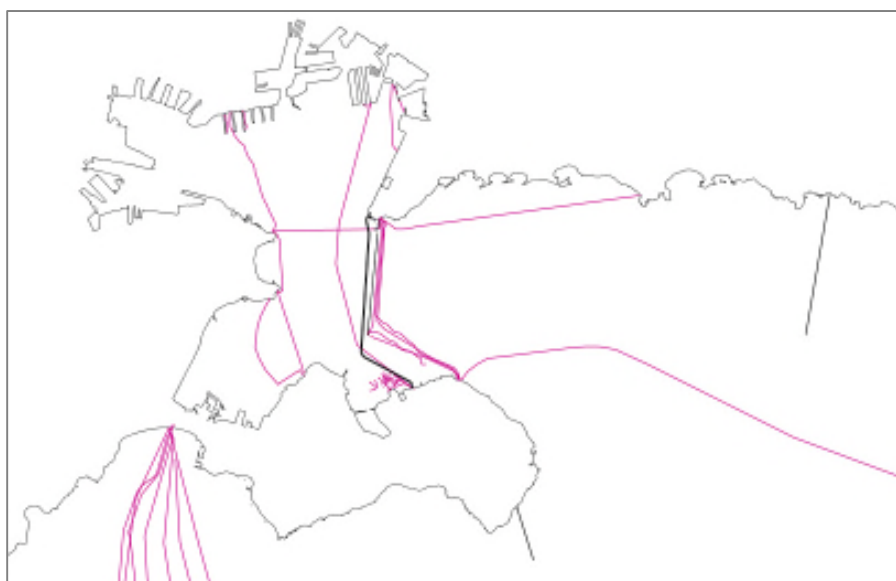


Figure 5-2 : Position des câbles et conduites

Ainsi dans le cas d'une instrumentation immergée devant être alimenté par un câble, le tracé de ce dernier devra tenir compte des câbles et conduites existantes. Le tracé pourra certainement suivre un tracé existant. De plus la position du câble devra également tenir compte des biocénoses afin de ne pas les détériorer lors de la pose et après la mise en place. L'impact sur la faune et la flore sera donc à étudier au préalable. La carte ci-après présente les caractéristiques des fonds en rade de Toulon.

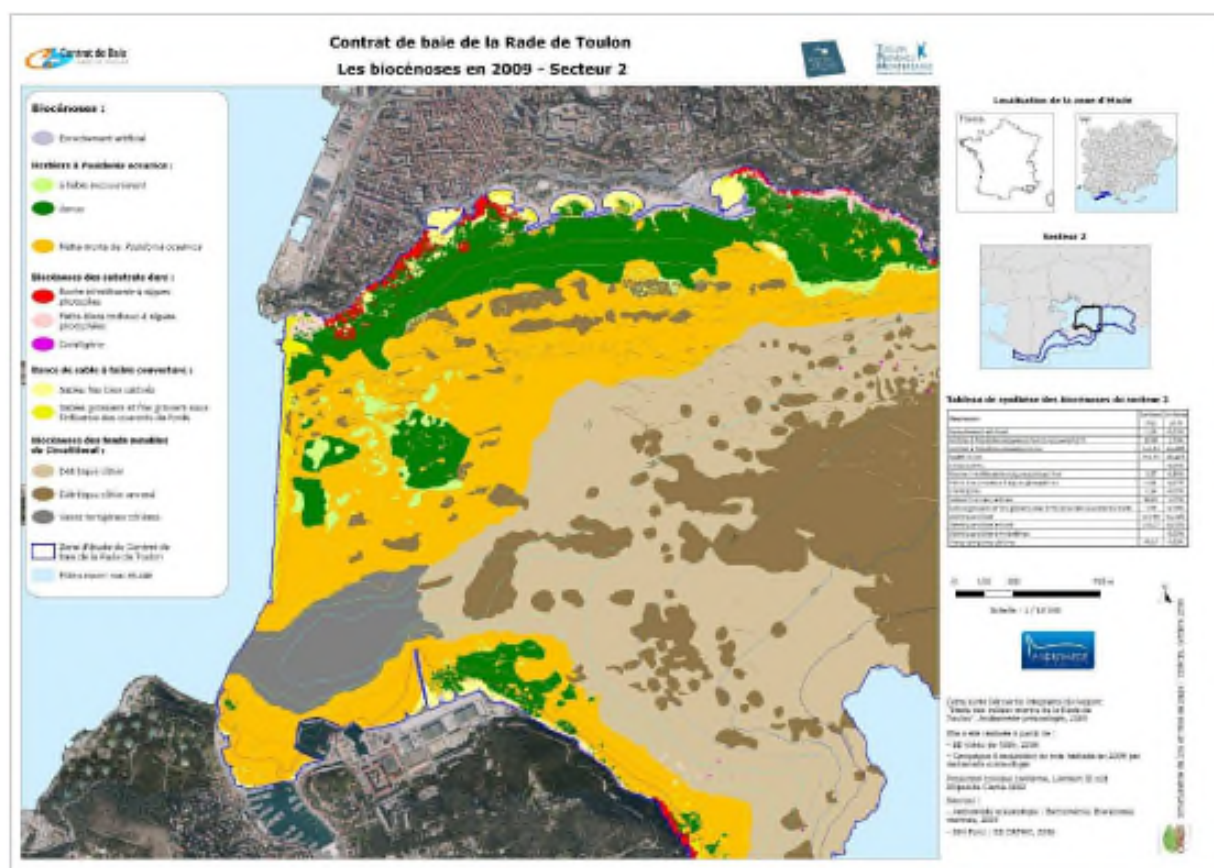


Figure 5-3 : Carte des biocénoses 2009 – Source Andromède

Positionnement de l'instrumentation :

Le type d'instrumentation possible peut se distinguer en deux grandes catégories : l'instrumentation immergée et l'instrumentation émergée. Les principaux avantages et inconvénients identifiés sont :

Pour l'instrumentation de type immergée :

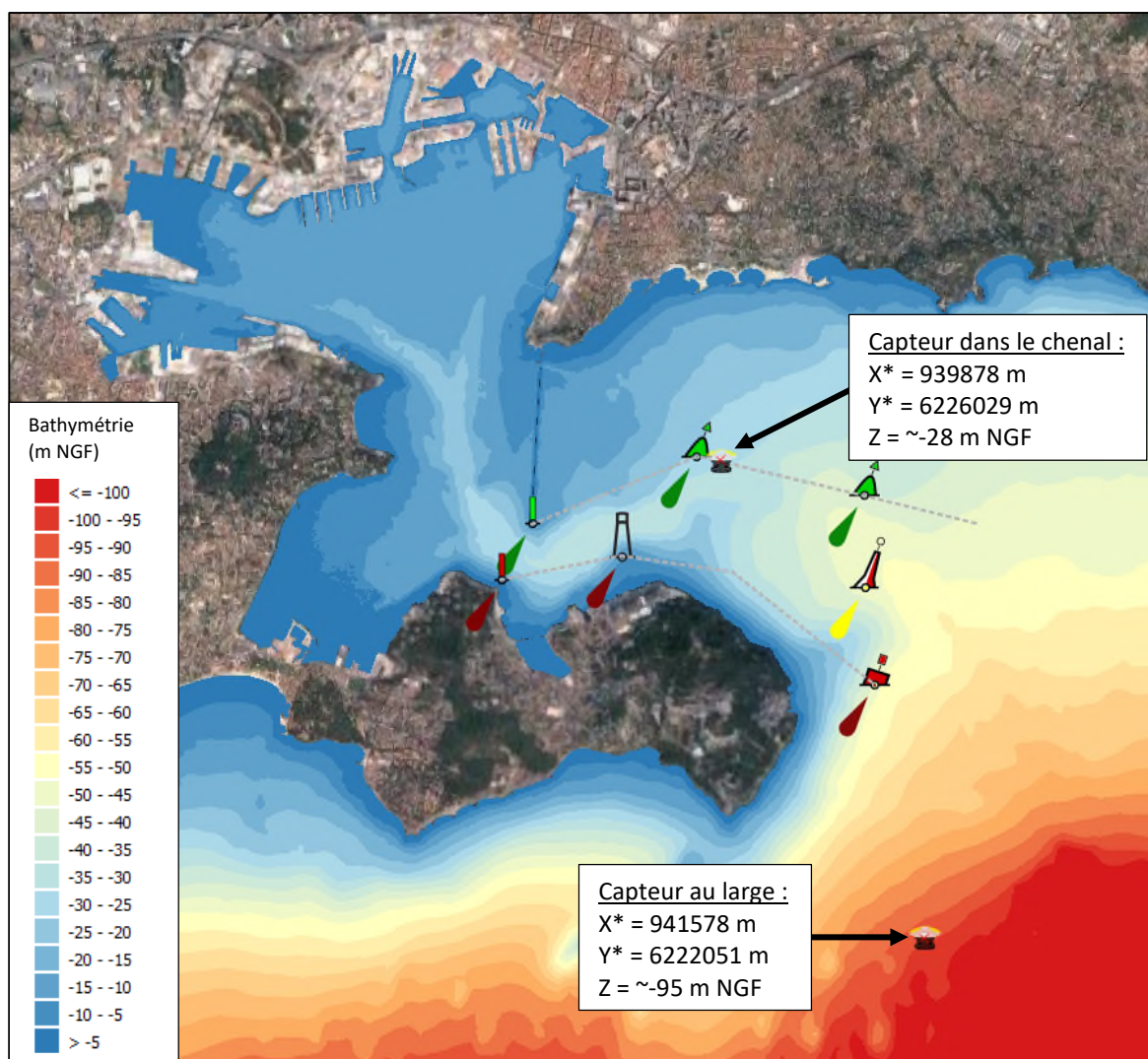
- Avantage principal : solution discrète sans contrainte pour la navigation
- Inconvénient principal : nécessite une alimentation par câble sous-marin dont l'emplacement nécessite des études.

Pour l'instrumentation de type émergée :

- Avantage principal : solution autonome par panneaux solaire
- Inconvénient principal : contraignant pour la navigation.

Les contraintes identifiées précédemment permettent de connaître les possibilités d'implanter des capteurs immergés ou émergés.

La figure suivante présente la proposition de position de 2 capteurs bien placés pour l'objectif d'amélioration de la sécurité à la navigation à l'approche du Toulon.



*Coordonnées des capteurs en (Lambert 93)

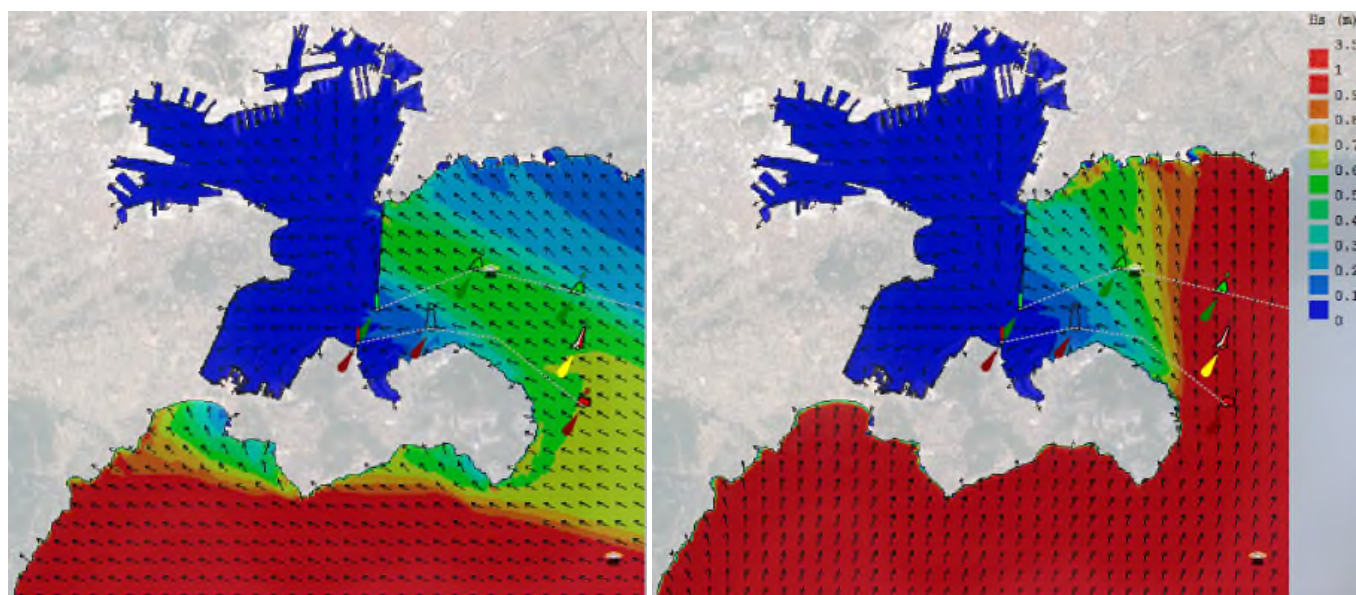


Figure 5-4 : Position du dispositif de mesure selon les conditions de houles annuelles (Condition d'Est en bas à gauche et d'Ouest en bas à droite) et le chenal de navigation.

Ces positions peuvent être légèrement adaptées tout en respectant les principes suivants pour les zones d'implantation : une zone proche du chenal de navigation et soumise à de fortes variations de la houle, une à l'extérieure de la rade.

5.2 Type d'instrumentation envisageable

La mise en place de capteurs permettant **la mesure de la houle et du courant** (l'instrumentation proposée intègre de nos jours les 2 paramètres de manière standard) en « temps réel » doit être envisagée.

A ce jour, deux sociétés ont été contactées : Nortekmed et IxBlue. Le type d'instrumentation que ces sociétés pourraient mettre en place et les prestations associées sont présentées ci-après. Les deux sociétés proposent dans les grandes lignes des prestations et instrumentations similaires à savoir :

- Une instrumentation "émergée" : mise en place d'une bouée instrumentée et alimentée avec des panneaux solaires.
- Une instrumentation "immergée" : mise en place des capteurs sur le fond alimentés par un câble.

Les instruments proposés permettent de mesurer les caractéristiques de la houle (hauteur, période, direction) et les caractéristiques du courant (vitesse et direction) sur la colonne d'eau.

Des outils de mesures complémentaires comme une station météo peuvent compléter l'instrumentation de la bouée ou être installés à terre. Ces mesures pourront enrichir les données en temps réel de houle et courant avec la même résolution.

Différents moyens de transmission des données en « temps réel » sont envisageables : site internet, système AIS (Système d'identification automatique)...

5.2.1 Instrumentation Nortekmed

La société Nortekmed propose les instruments de mesure suivants :

- Un houlographe doppler de type AWAC (Acoustic Wave And Current Profiler).
Cet appareil permet de mesurer la hauteur, la période et la direction des vagues ainsi que les courants sur la colonne d'eau.
Dans le cadre d'un déploiement permanent l'appareil est relié par un câble électrique à un coffret électronique placé à terre.

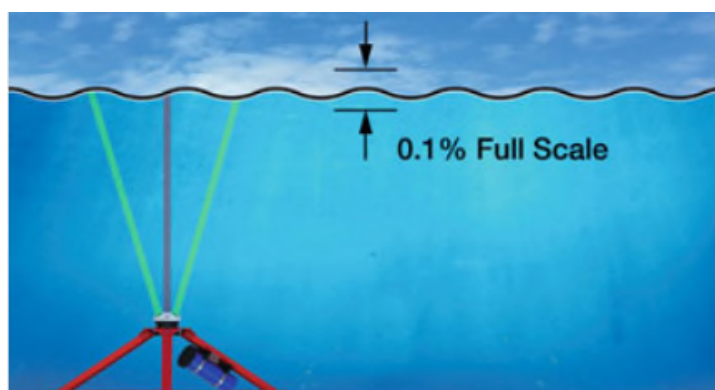


Figure 5-5 : Schéma du capteur de type AWAC

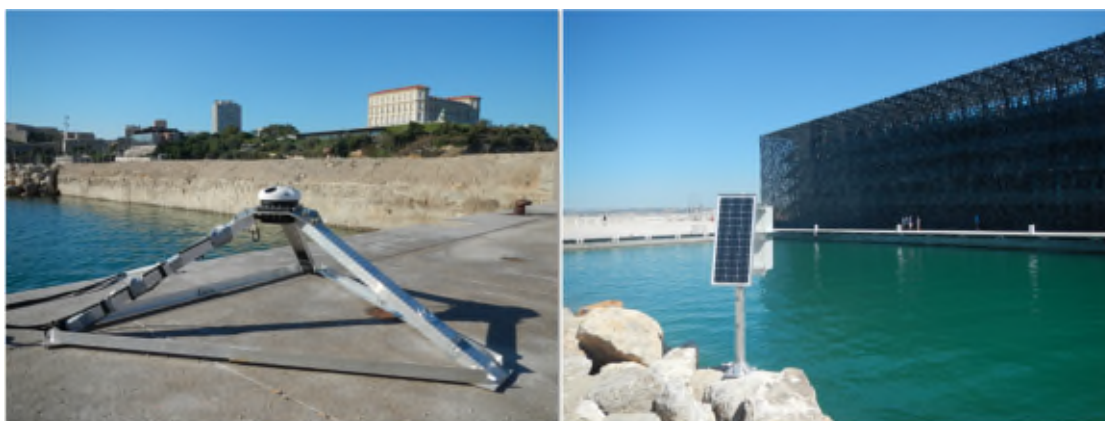


Figure 5-6 : Photographies d'un AWAC sur un tripode avec son câble et boîtier électronique équipé d'un panneau solaire.

- Une bouée Alizé. Cet appareil permet de mesurer la hauteur, la période et la direction des vagues ainsi que les courants sur la colonne d'eau. La bouée peut également être équipée d'une station météo, de capteurs de température/salinité. La transmission des données se fait en temps réel par Radio, GPRS, Iridium, AIS. La bouée est autonome car équipée de panneaux solaires.

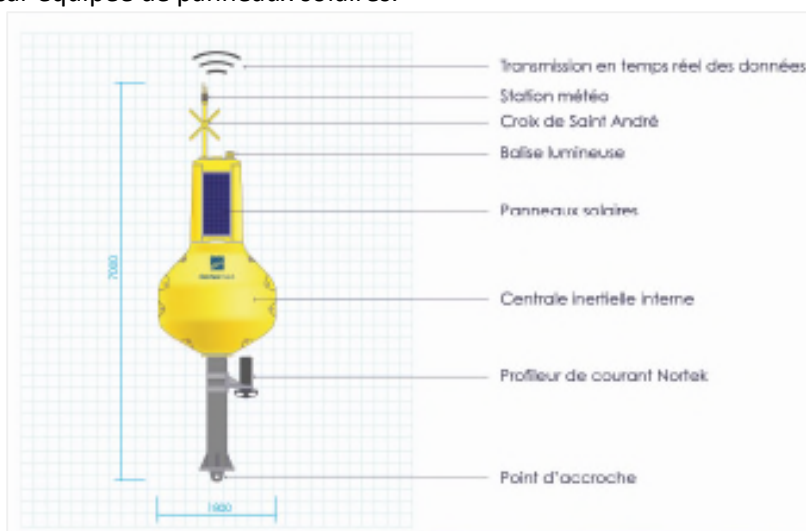


Figure 5-7 : Schéma d'une bouée Alizé

Les mesures effectuées par les instruments présentés ci-avant sont envoyées par un modem GPRS sur un serveur Web.

La communication en temps réel se fait via GPRS et/ou AIS.

Les données arrivent sur un serveur (Nortekmed ou celui du client) avec 2 fonctions principales :

- Réception des données et stockage dans une base de données SQL. Les données sont stockées dans un seul fichier et peuvent être facilement récupérées.
- Exploitation de la base de données avec une application Web où les données seront disponibles en temps réel. Les données seront accessibles et téléchargeables depuis le site web (connexion et protection par un mot de passe possible).

Le site web a 2 fonctions :

- o Affichage en temps réel à travers des tableaux et des graphiques ;
- o Stockage des données (les données archivées peuvent être téléchargées au format CSV).

Remarque : Les données sont également stockées à l'intérieur de la bouée sur un enregistreur de données (10 ans minimum)

Sur le site Web, les dernières données en temps réel sont disponibles dans un tableau. Les dernières données 24h de chaque paramètre sont également affichées sous forme de série chronologique. Une boîte de dialogue incluse dans le site Web permet d'afficher des séries chronologiques de données archivées. Une boîte de dialogue peut également être fournie pour télécharger les données archivées.

Un système d'alarme peut être mis en place en cas de problème (exemple : déradage de la bouée, dysfonctionnements, vol) avec envoi de SMS ou mails.

La solution web conçu par NortekMed pourra être adaptée aux spécifications du client.

Un forfait mensuel peut inclure l'hébergement des données sur un serveur de Nortekmed et le contrôle quotidien des données (afin d'alerter le client rapidement en cas de problèmes).

Les figures suivantes présentent des extraits d'un site Web NortekMed.

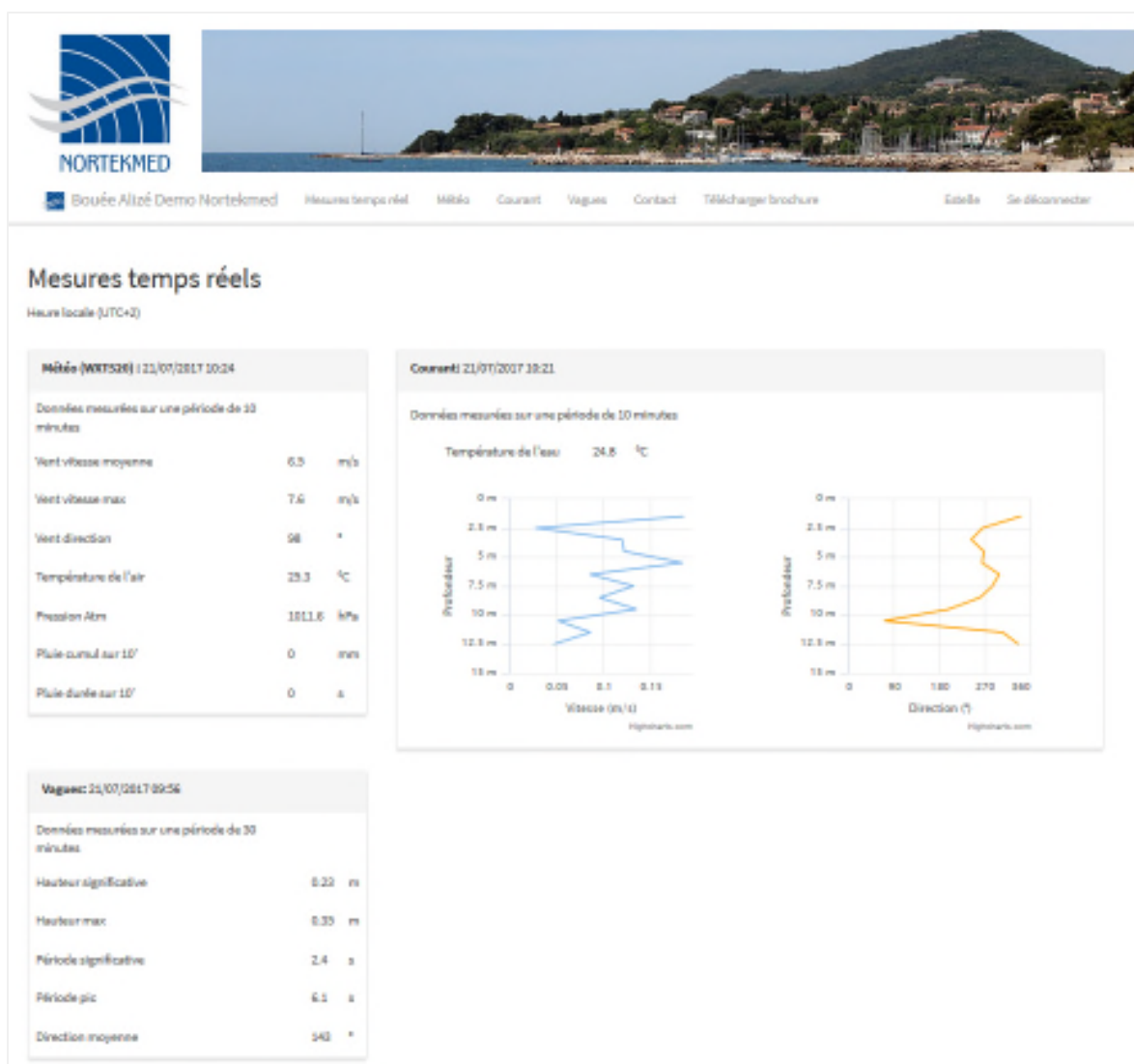


Figure 5-8 : Extrait du site web : Dernières mesures de tous les paramètres en temps réel

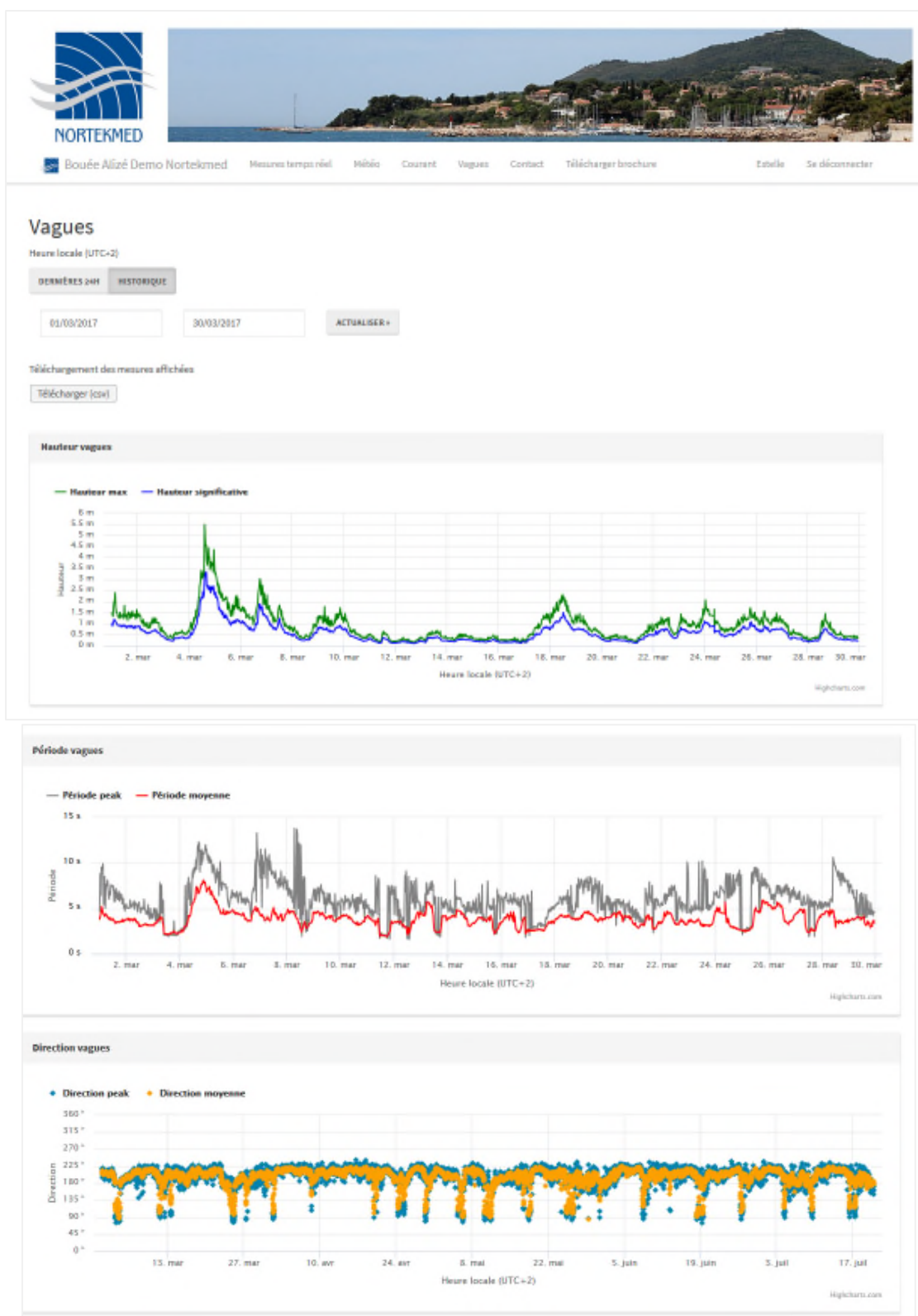


Figure 5-9 : Extrait du site web : Mesures de la houle directionnelle (dernière 24h et historique disponible)



Figure 5-10 : Extrait du site web : Mesures du profil de courant (graphes 2D et 3D)

5.2.2 Instrumentation IxBlue

La société IxBlue propose les instruments de mesure suivants :

- **Système 1** : Déploiement d'un système courantomètre-houlographe depuis le fond. Ce système implique l'intervention de plongeurs, il doit donc être installé dans des profondeurs inférieures à 30m pour permettre une intervention aisée. Le système est relié par un câble de transmission de données remontant jusqu'à une station-relais installée à terre pour transmettre les données sur un site internet.

Pour la mesure du profil de courant et des paramètres d'état de mer, un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) tels que le V20 peut être proposé. L'inclinaison, le cap, la température d'eau au niveau du courantomètre et la pression absolue sont également mesurés.

Ce courantomètre-houlographe est également capable de mesurer les paramètres d'états de mer non directionnels et directionnels par suivi de la surface libre (« surface tracking ») par l'intermédiaire du faisceau vertical.

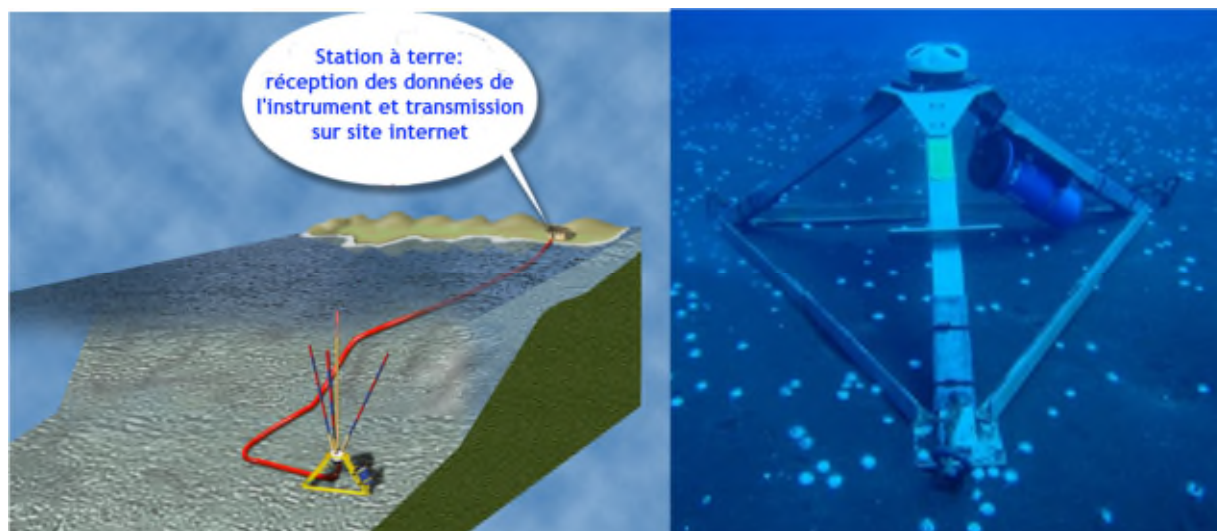


Figure 5-11 : Exemple d'installation

- **Système 2** : Déploiement d'une bouée au large (fonds supérieurs à 30m) ou en dehors du chenal de navigation. Le système de type bouée de houle permet la mesure du courant à proximité de la surface, avec transmission des données par GPRS.

Le système de mesure de la houle est basé sur des accéléromètres internes dont un vertical et deux horizontaux.

La bouée est équipée des moyens de signalisation nocturne et diurne en adéquation avec la signalisation maritime pour les systèmes d'acquisition de données océanographiques.

Le mouillage de ce type de bouée sera constitué d'un corps mort, d'une ligne tendue, avec un flotteur en sub-surface puis une laisse permettant de laisser libre la bouée de houle pour assurer des mesures de houle de qualité. Ce type de mouillage permet d'éviter tout ragage de la bouée au fond.

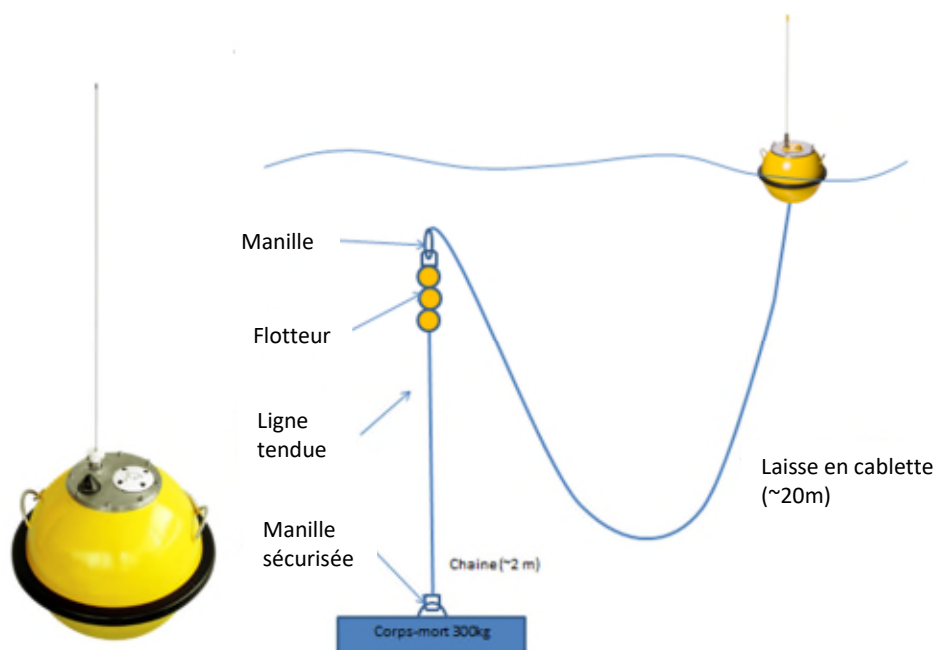


Figure 5-12 : Bouée de houle DATAWALL

Quel que soit le système déployé, les données pourront être disponibles via un site internet sécurisé par mot de passe sous forme de graphiques réactualisés régulièrement et en téléchargement sous forme de fichiers texte.

Les mesures seront disponibles en temps réel sur un site internet qui permettra :

- Le stockage des données ;
- La visualisation des données (cf. figures ci-après) ;
- La gestion des alarmes (transmises par mail ou SMS à une liste de destinataires préalablement définie) concernant les alertes de dérangement, l'absence de transmission de données ou bien un problème d'alimentation électrique.

Le site internet peut comporter une fenêtre « temps réel » avec la valeur de chacun des paramètres demandés :

- Date et heure ;
- Position GPS ;
- Houle (Hauteur, période, direction) ;
- Courant à 1m sous la surface (vitesse et direction).

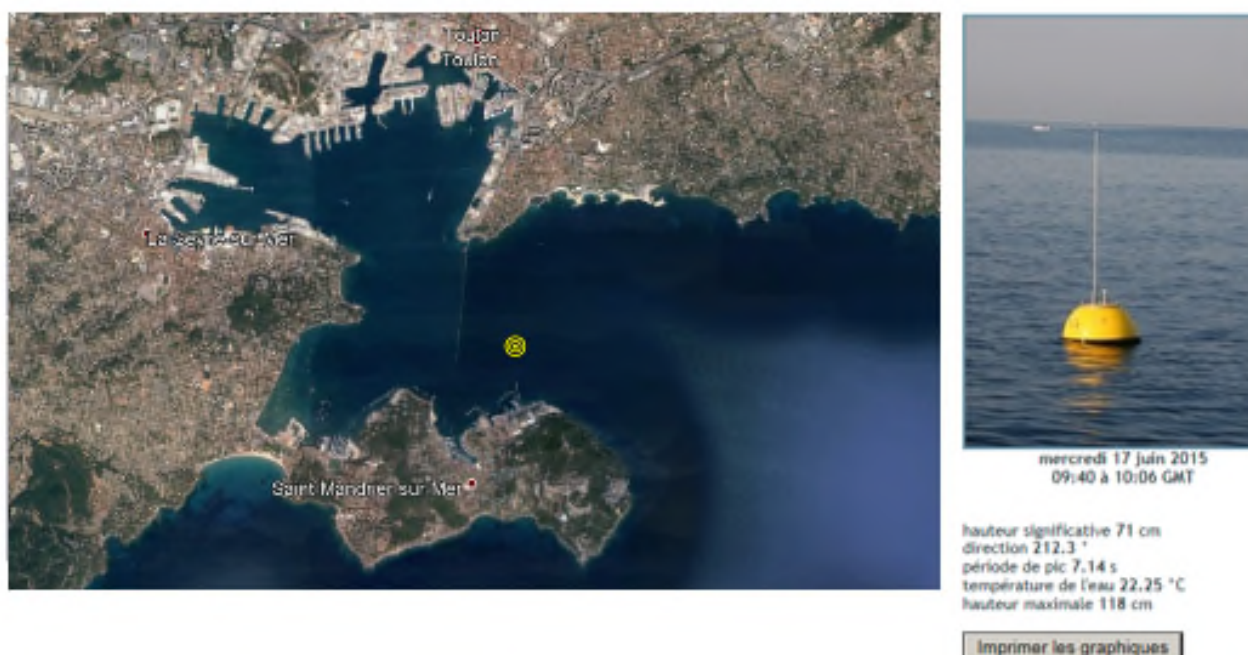


Figure 5-13 : Onget de visualisation des données instantanées

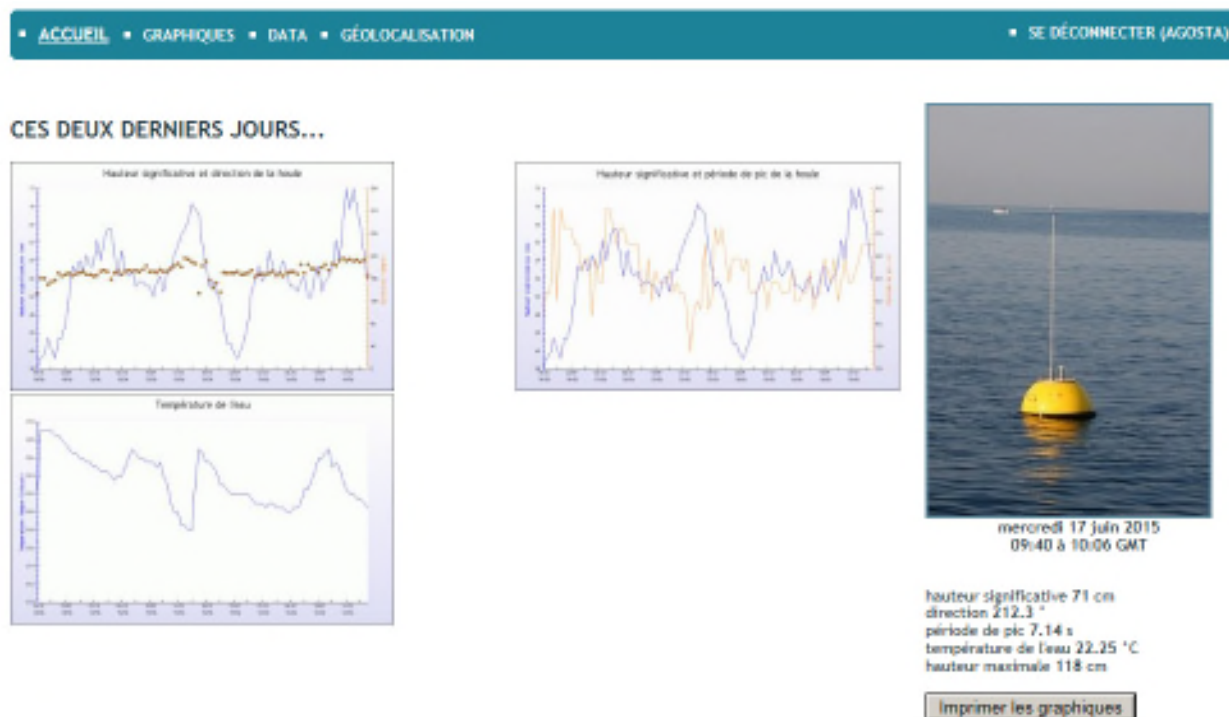


Figure 5-14 : Onget visualisation de l'évolution temporelle des mesures sur 2 jours

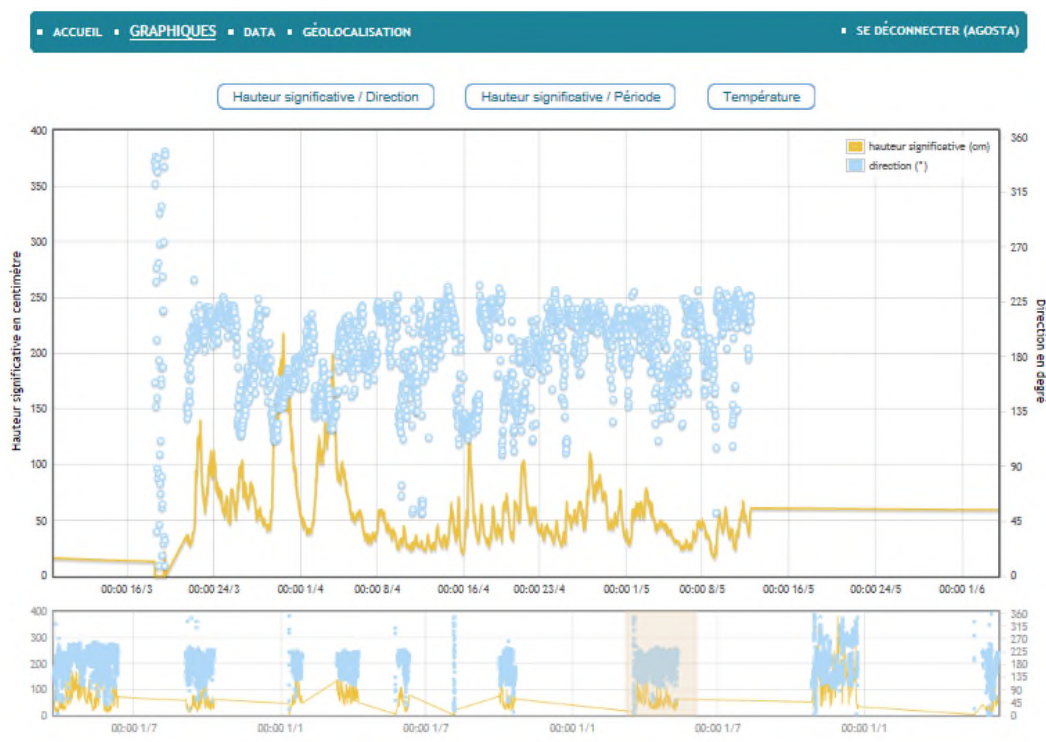


Figure 5-15 : Onglet de visualisation de la fenêtre “évolution temporelle” présentant l’évolution de tous les paramètres demandés sur une période de temps

La société Ix Blue propose également une prestation de service qui permet au client de s’affranchir des problèmes d’assurance et de réparation de matériel en cas de casse. L’ensemble du matériel déployé pour la campagne sera sous la responsabilité du prestataire qui doit posséder une assurance pour couvrir tous les risques durant la campagne de mesures : intempérie, vandalisme, vol, collision...

Le prestataire assure aussi le remplacement rapide des matériels défectueux pour assurer la continuité du service.

A noter qu’il est préconisé des interventions de maintenance semestrielles afin de nettoyer et vérifier le matériel et qu’une calibration des bouées tous les 6 ans est recommandée par le constructeur.

6 ETAPE 5 : CARTOGRAPHIE 3D REPERTORIANTE LE POSITIONNEMENT DES CAPTEURS EXISTANTS ET FUTURS

Les figures suivantes présentent des extraits de la vue 3D du modèle SIG mis en place.

Les vues 3D étant interactives, elle est transmise sur une clé USB. Un ensemble de vues 3D est également fourni en **Annexe 2**.

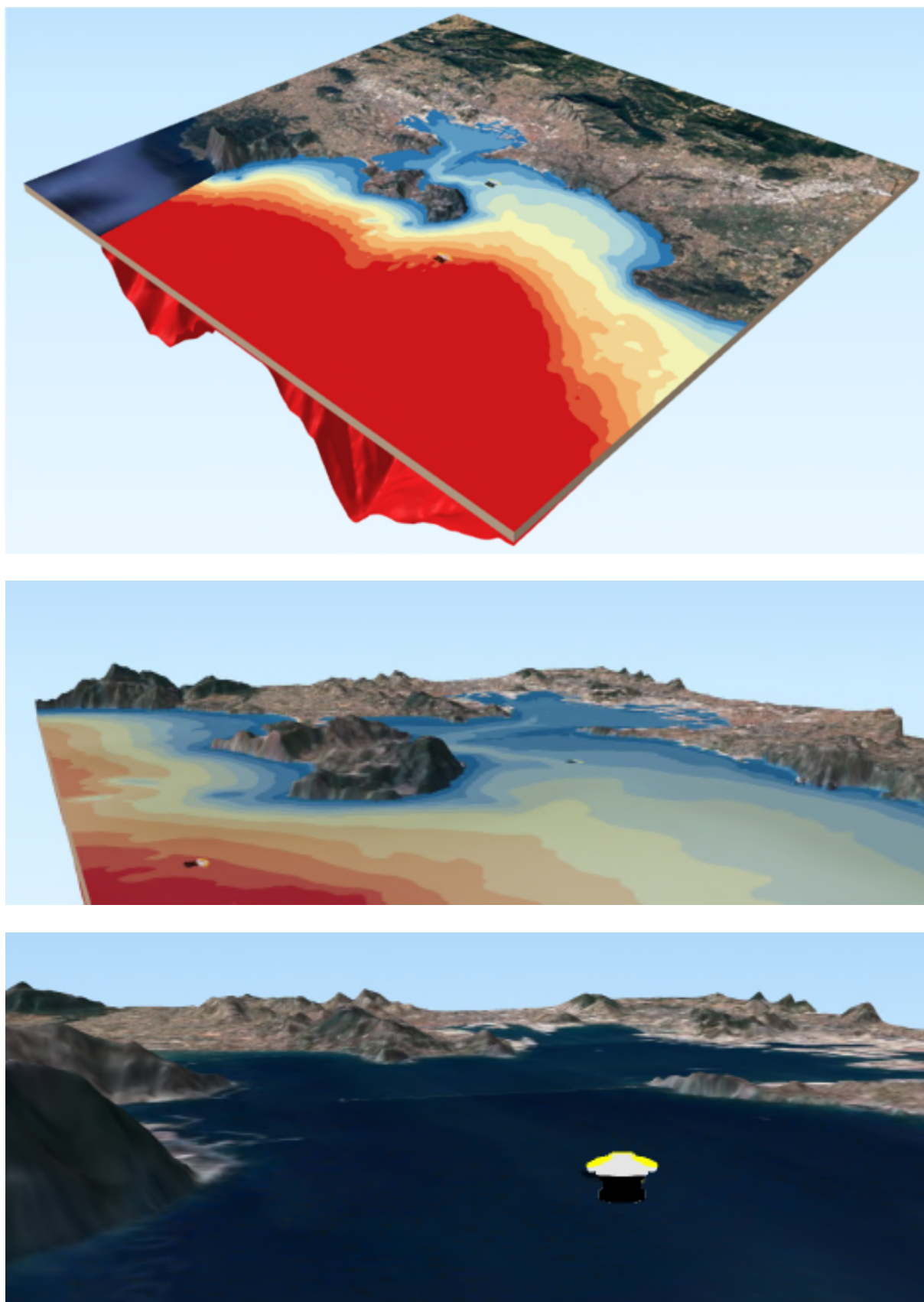


Figure 6-1 : Extrait de vues

7 ETAPE 6 : RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE DU PROJET SINAPSI

7.1 Complément aux capteurs

A ce stade de l'étude il n'apparaît pas nécessaire d'effectuer plus d'investigation pour faire le choix de mettre en place des capteurs au niveau de la grande rade. Deux capteurs pour mesure la houle et le courant suffiront pour apporter une aide à la navigation significative afin d'anticiper les manœuvres.

Une fois le système de visualisation des mesures en temps réel mis en place, nous recommandons qu'un modèle numérique de propagation local et donc très précis vienne en complément des données mesurées et transmises pour informer les usagers sur les conditions de houles ailleurs qu'à l'endroit du(des) capteur(s). **Il s'agirait pour chaque condition type du large de produire des figures de propagation (comme montrée ci-après) afin que chaque personne dispose de l'information mesurée locale et de la vue du champ de vague correspondant depuis la petite rade jusqu'au large immédiat de la grande rade.**

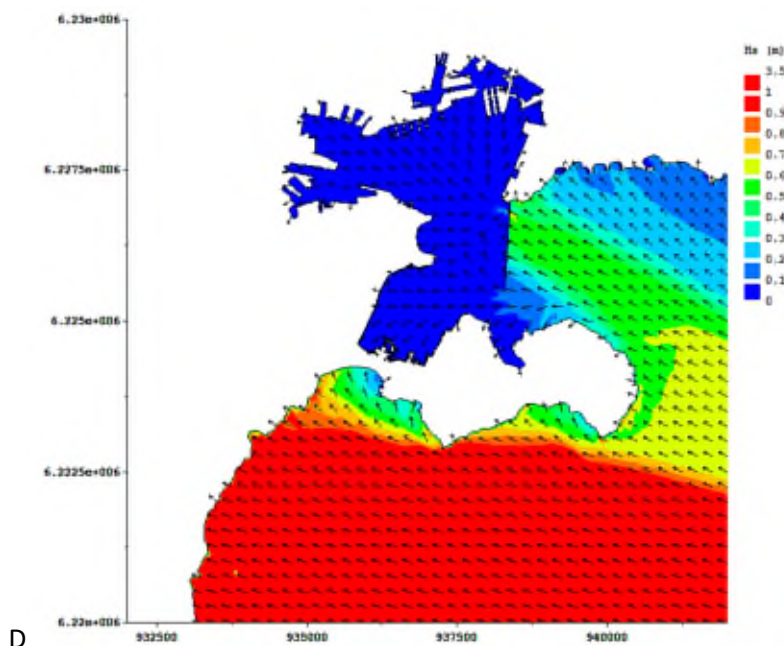


Figure 7-1 : Extrait d'un résultat de modélisation numérique de la propagation de la houle

Par ailleurs, la mise en place d'une instrumentation permanente et l'archivage participera à la connaissance des conditions hydrodynamiques dans la rade et au calage des outils de mesure type HF radar et des modélisations numériques futures.

7.2 Transmission des informations

La transmission des informations mesurées en temps réelle est primordiale pour faciliter la navigation. Plusieurs possibilités sont envisageables afin de rendre les informations diffusables :

- Via TPM :

A ce jour la commune de TPM via son site <https://www.ports-tpm.fr/meteo/> met à disposition les mesures de vent, température... au niveau de plusieurs capteurs présentés précédemment. Ainsi les capteurs de houle et de courant permettant l'aide à la navigation pourront alors être ajoutés.

- Via le fournisseur de l'instrumentation :

Comme présentés précédemment les sociétés Nortekmed et Ix Blue dispose de divers moyens de transmission des mesures dont certains sont adaptés et développés pour leur instrumentation. Par exemple :

- o Site web
- o AIS

- Via un fournisseur de données météo

Lors de l'étape 3 différents sites web proposant des données météo ont été identifiés. Certains proposent des prestations personnalisées. Un partenariat pourrait alors être envisagé afin de disposer des données déjà diffusées par le site web complétées par celles des capteurs installés et des champs de houle associés.

- Via une application spécifique :

Il s'agirait dans ce cas de développer un outil spécifiquement pour la transmission de ces mesures. Cet outil pourrait alors être complété de données actuellement disponibles et mesurées au niveau des stations océano météorologiques.

Il est important de noter que la majorité des moyens de transmission présentés ci-avant sous-entendent que les usagers ont pris connaissance de ce dispositif et que dans le cas où il s'agit d'une application ils y ont accès.

Un autre moyen de transmission en complément d'un site web paraît nécessaire. Par exemple la transmission via AIS semble plus pertinente pour les navires passagers. Ce moyen viendrait en complément d'un site internet ou d'une application qui sera quant à elle le moyen le plus utilisé par des navires fréquentant régulièrement la zone.

7.3 Recommandations

OCEANIDE propose l'installation de deux capteurs au niveau de la grande rade pour mesurer les conditions de houle et de courant (cf Figure 5-4).

Pour rappel, la mesure des courants sera également intégrée à l'instrumentation : bien que ceux-ci soient faibles, il peut être utile de les connaître pour certaines conditions. Par ailleurs, la mesure simultanée houle+courant n'entraîne pas de surcoût car les appareils de mesure sont déjà équipés pour cela.

OCEANIDE suggère pour chaque conditions type du large de produire des figures de propagation (comme montrée ci-après) afin que chaque personne dispose de l'information de la bouée et de la vue du champ de vague correspondant depuis la petite rade jusqu'au large immédiat de la grande rade. Ces figures pourront être obtenues à partir de modèles déjà existants à l'Université de Toulon et/ou OCEANIDE par exemple.

OCEANIDE recommande également de proposer dans l'application web un service qui intègre également les données de vent, niveau d'eau, courant... Disponibles publiquement et de bonne qualité.

Concernant la transmission des données, OCEANIDE propose la mise en place de deux moyens :

- Le premier sera considéré comme une transmission "instantanée" (information ponctuelle), il s'agira d'une transmission par AIS. L'objectif étant d'informer l'ensemble des navires arrivant sur zone des principaux paramètres mesurés ;
- Le second sera considéré comme une transmission "permanente" (information à la demande), il s'agira d'une transmission via un site web et/ou une application smartphone consultable par les usagers à tout moment et apportant de nombreuses informations ainsi que des données antérieures...

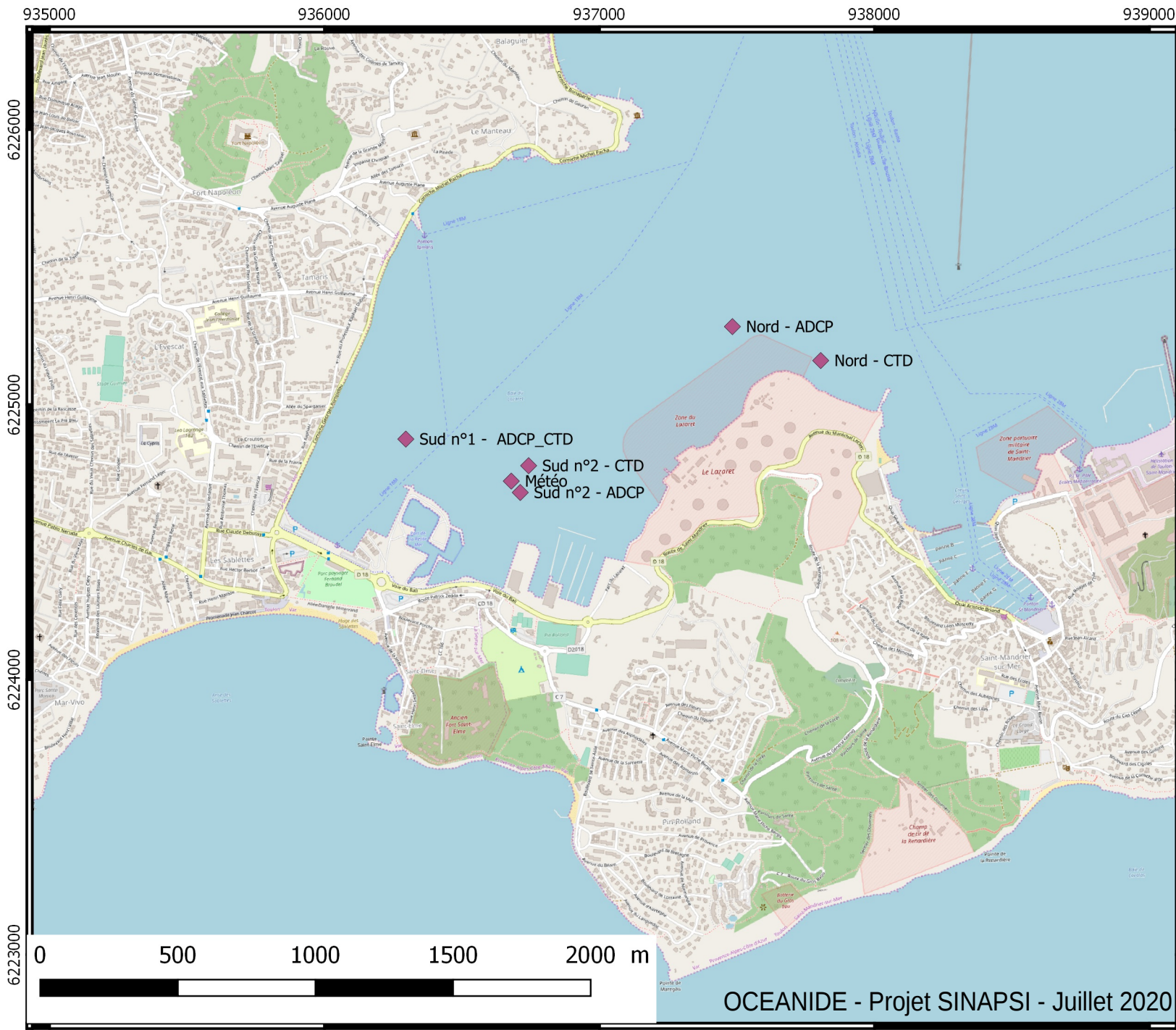
Pour la transmission dite "instantanée" le principe de transmission sera à préciser avec les autorités compétentes.

Pour la transmission dite "permanente", OCEANIDE recommande l'utilisation des outils web développés par le fournisseur de l'instrumentation. Cela permet de s'assurer de la qualité de la mesure et de sa diffusion ainsi que du bon fonctionnement de l'instrumentation (veille assurée). Cela n'empêchera pas non plus de communiquer sur l'existence de ce dispositif auprès d'un maximum d'utilisateurs via des liens sur les sites de TPM, de la ville de Toulon...

Annexe 1 :

Cartes extraites du modèle SIG

Rade de Toulon - Capteurs de la baie du Lazaret (campagne 2018)



Légende

Litto3D2015

◆ Baie-Lazaret

OSM Standard

Rade de Toulon - Capteurs permanents de la rade de Toulon



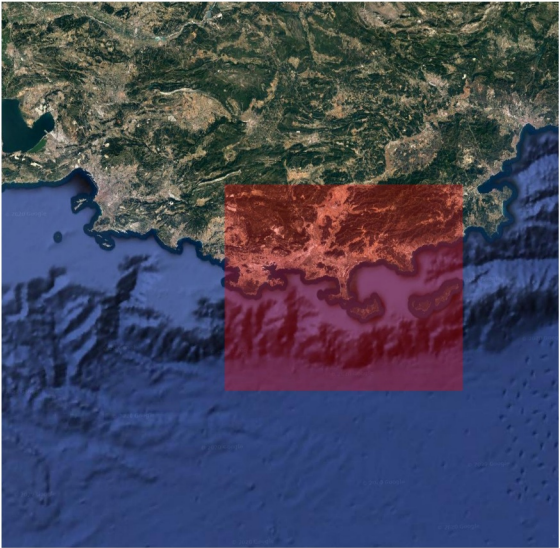
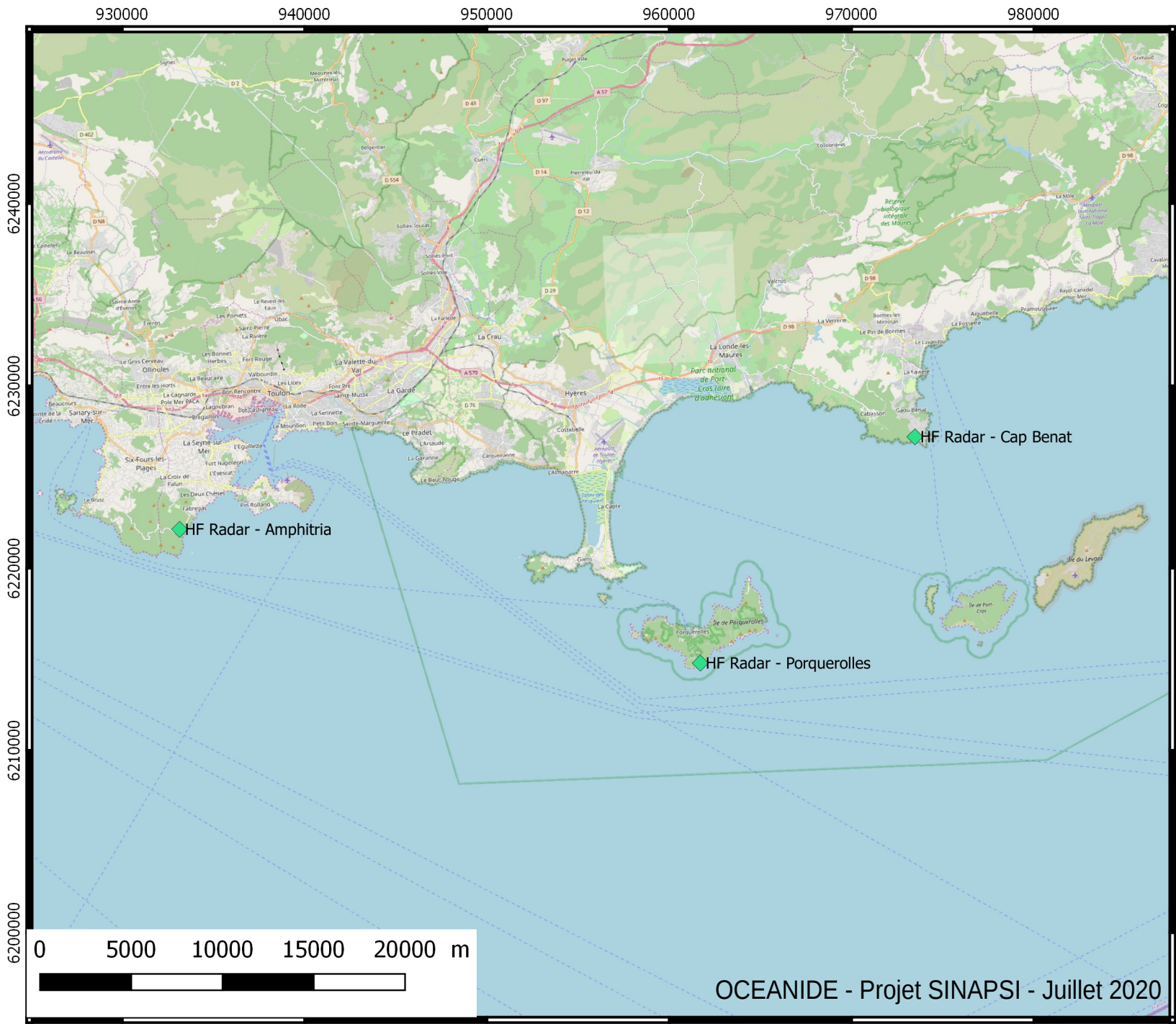
Légende

Litto3D2015

◆ Ports-tpm

OSM Standard

Rade de Toulon - Radar HF au large de la rade de Toulon



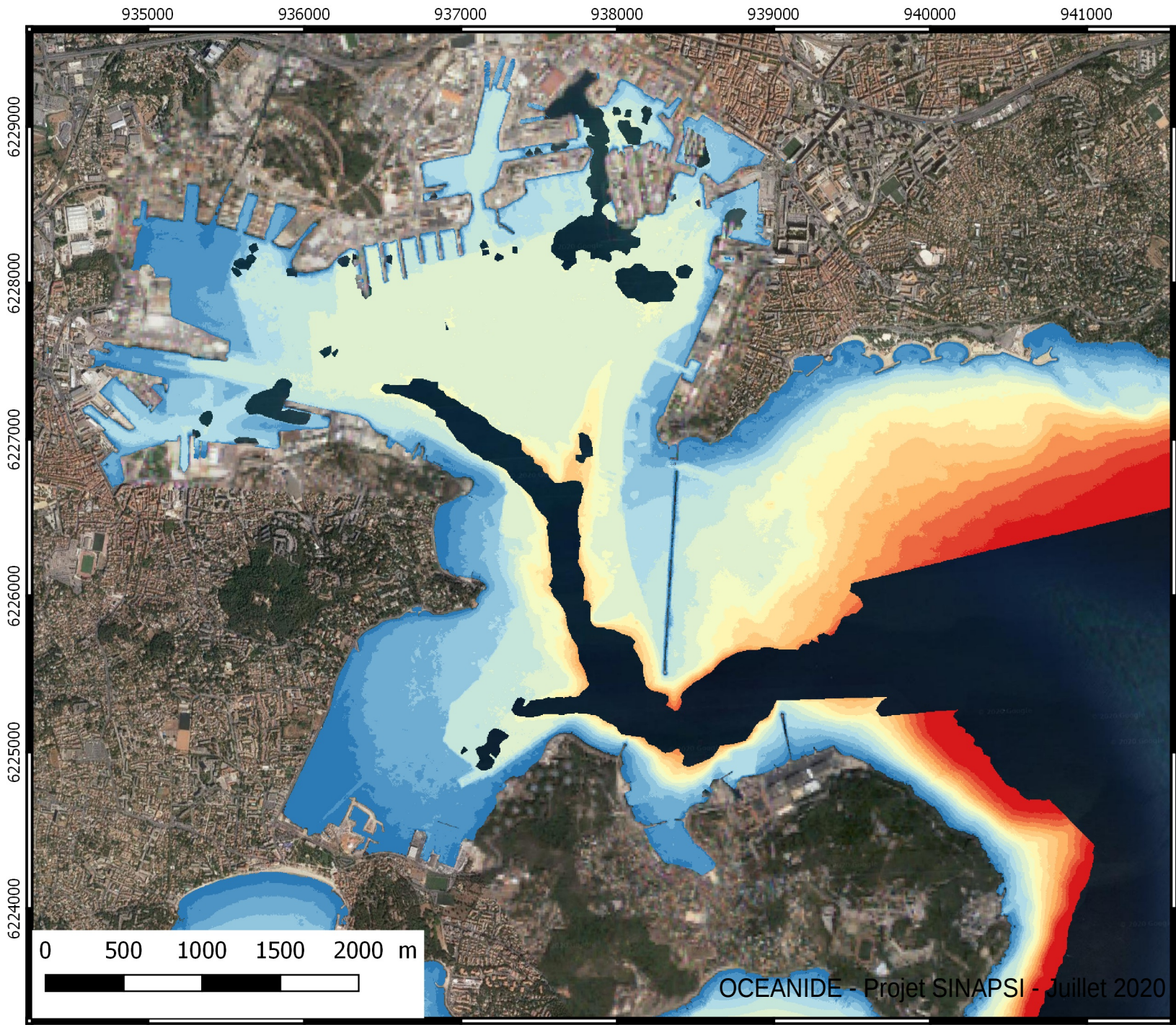
Légende

Litto3D2015

◆ Univ-toulon

OSM Standard

Rade de Toulon - Bathymétrie Litto 3D PACA



LEGENDE

Litto3D2015_Fusion

- <= -30
- 30 - -28
- 28 - -26
- 26 - -24
- 24 - -22
- 22 - -20
- 20 - -18
- 18 - -16
- 16 - -14
- 14 - -12
- 12 - -10
- 10 - -8
- 8 - -6
- 6 - -4
- 4 - -2
- 2 - 0

Bathymétrie MNT Golfe du Lion

930000 940000 950000 960000 970000 980000

6240000

6230000

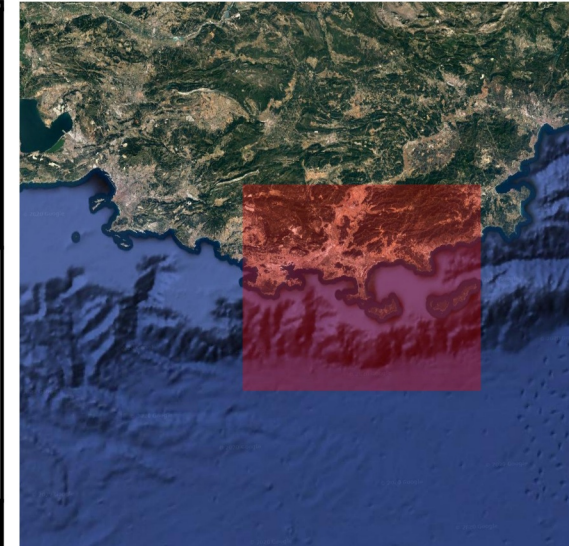
6220000

6210000

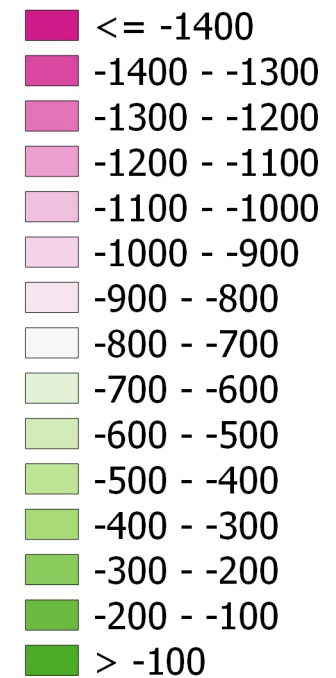
6200000

0 5000 10000 15000 20000 m

OCEANIDE - Projet SINAPSI - Juillet 2020

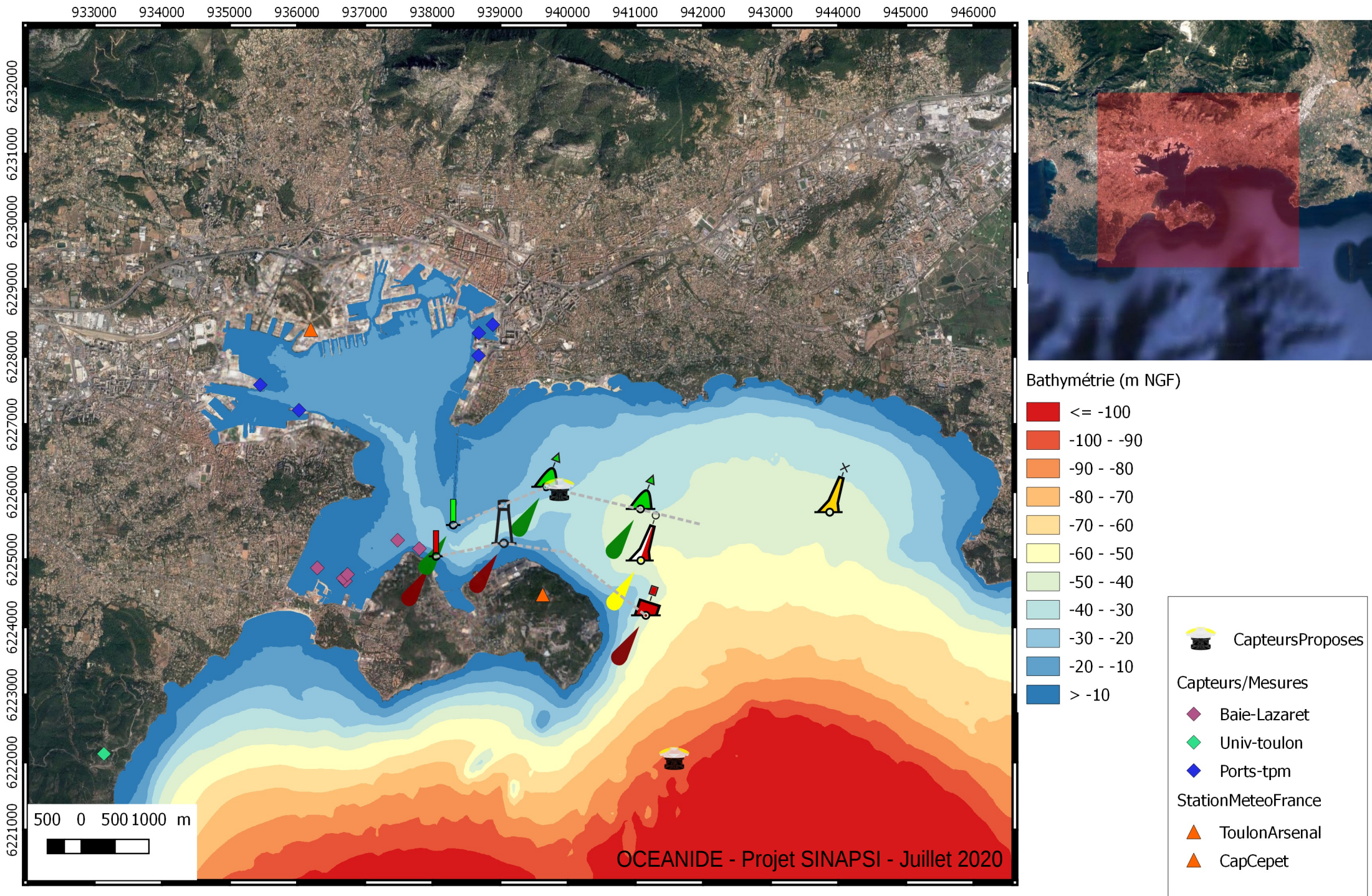


MNT_MED100m_EPSG2154_NM



Google Satellite

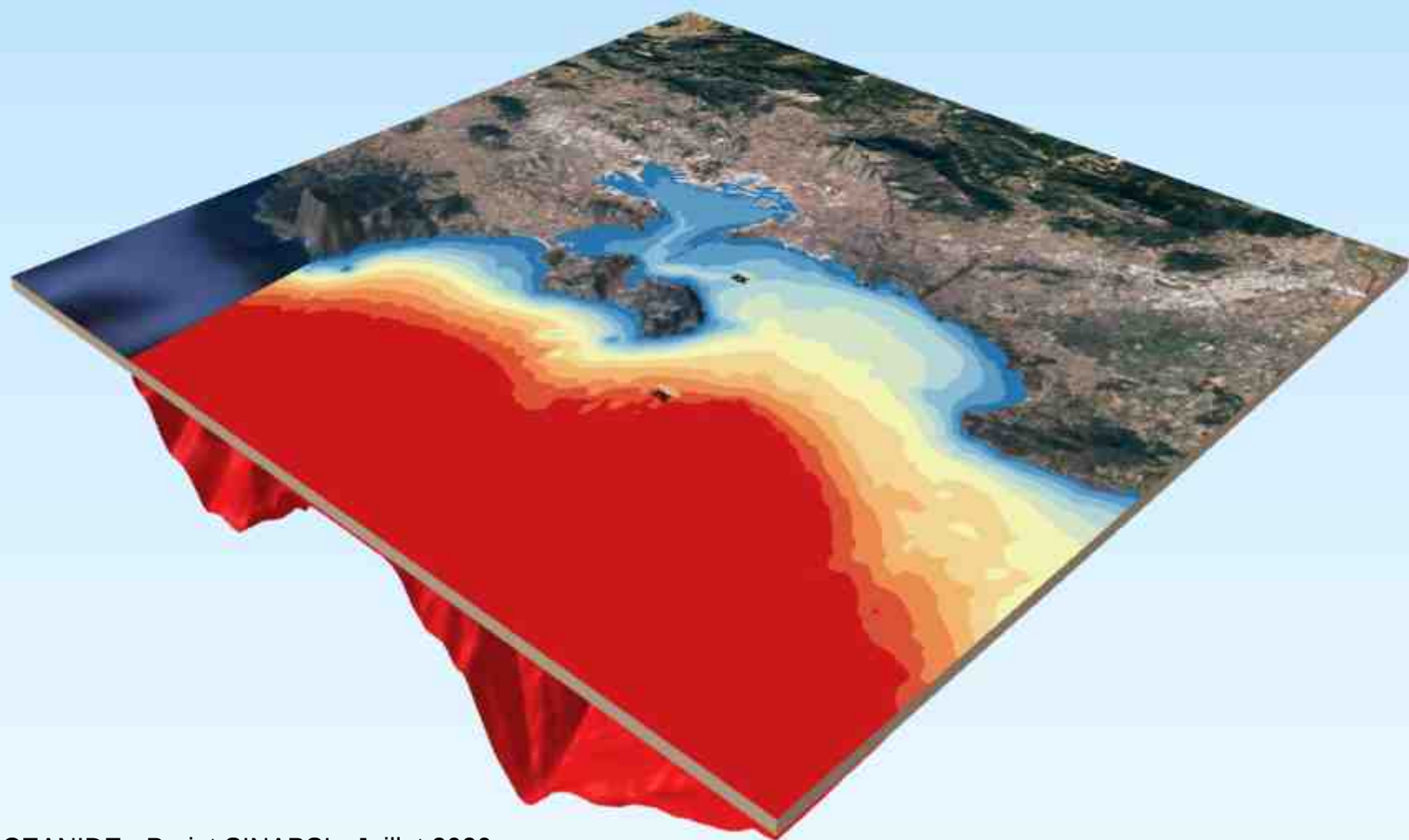
Rade de Toulon - position des capteurs : existants, passés, proposés

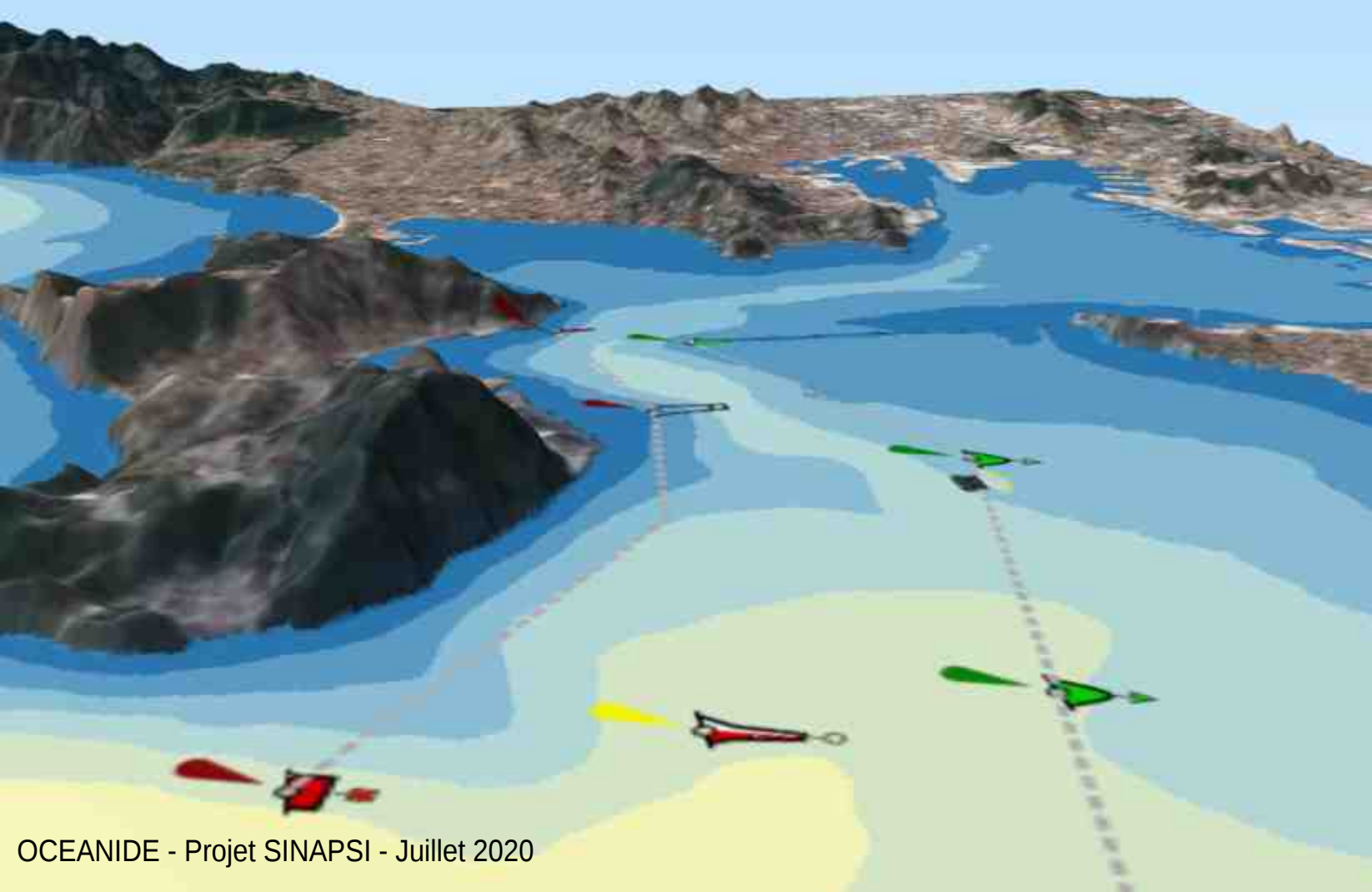


Annexe 2 :

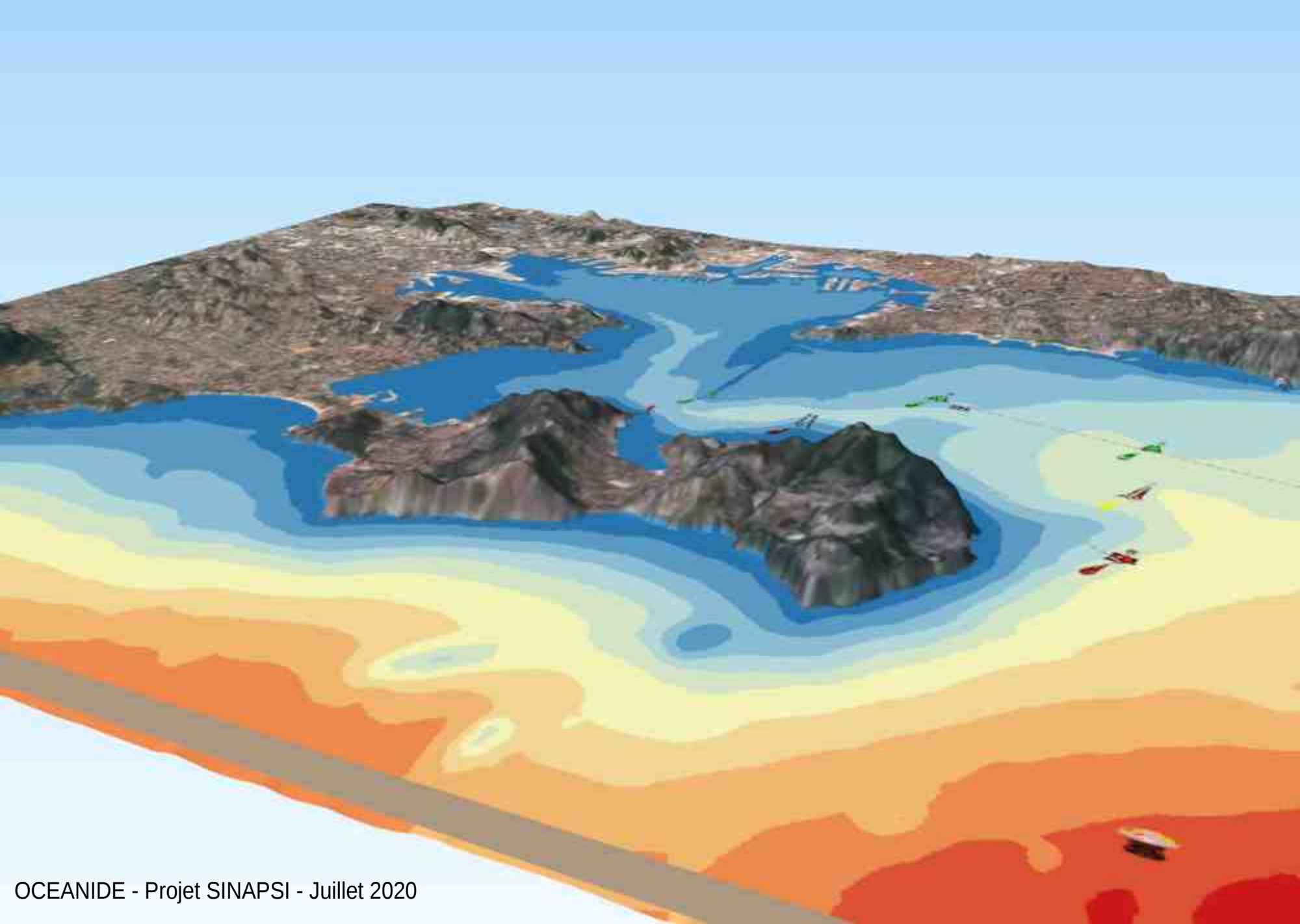
Vues 3D

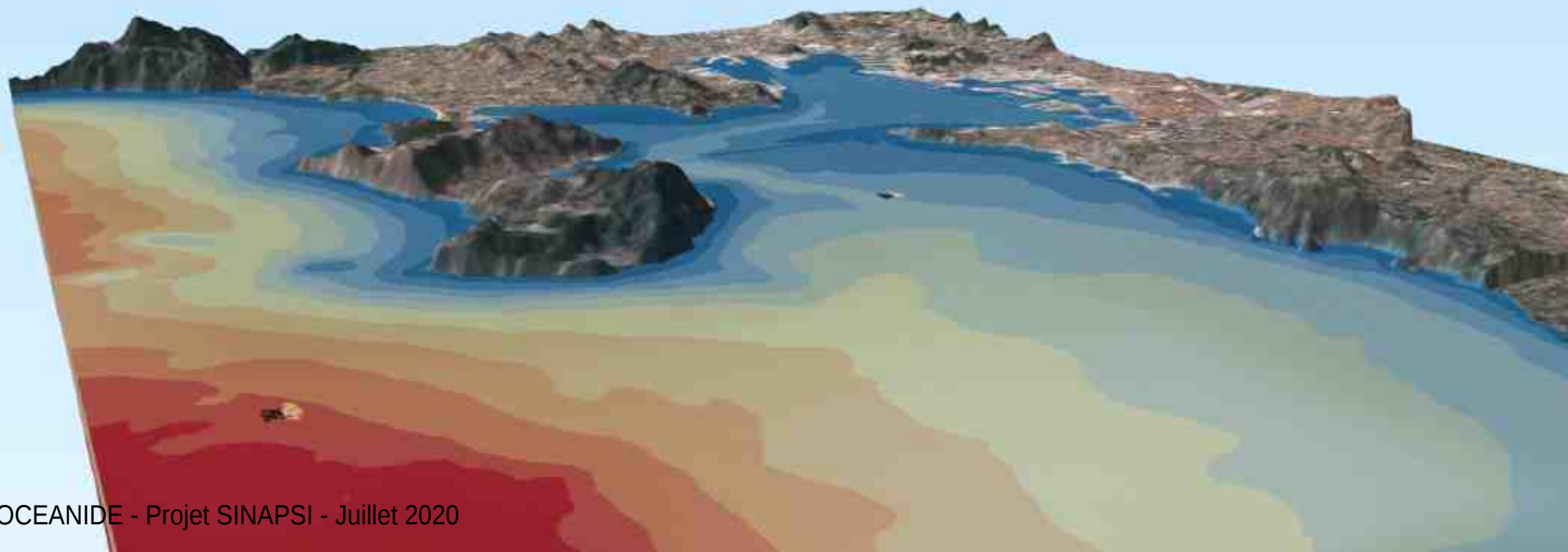


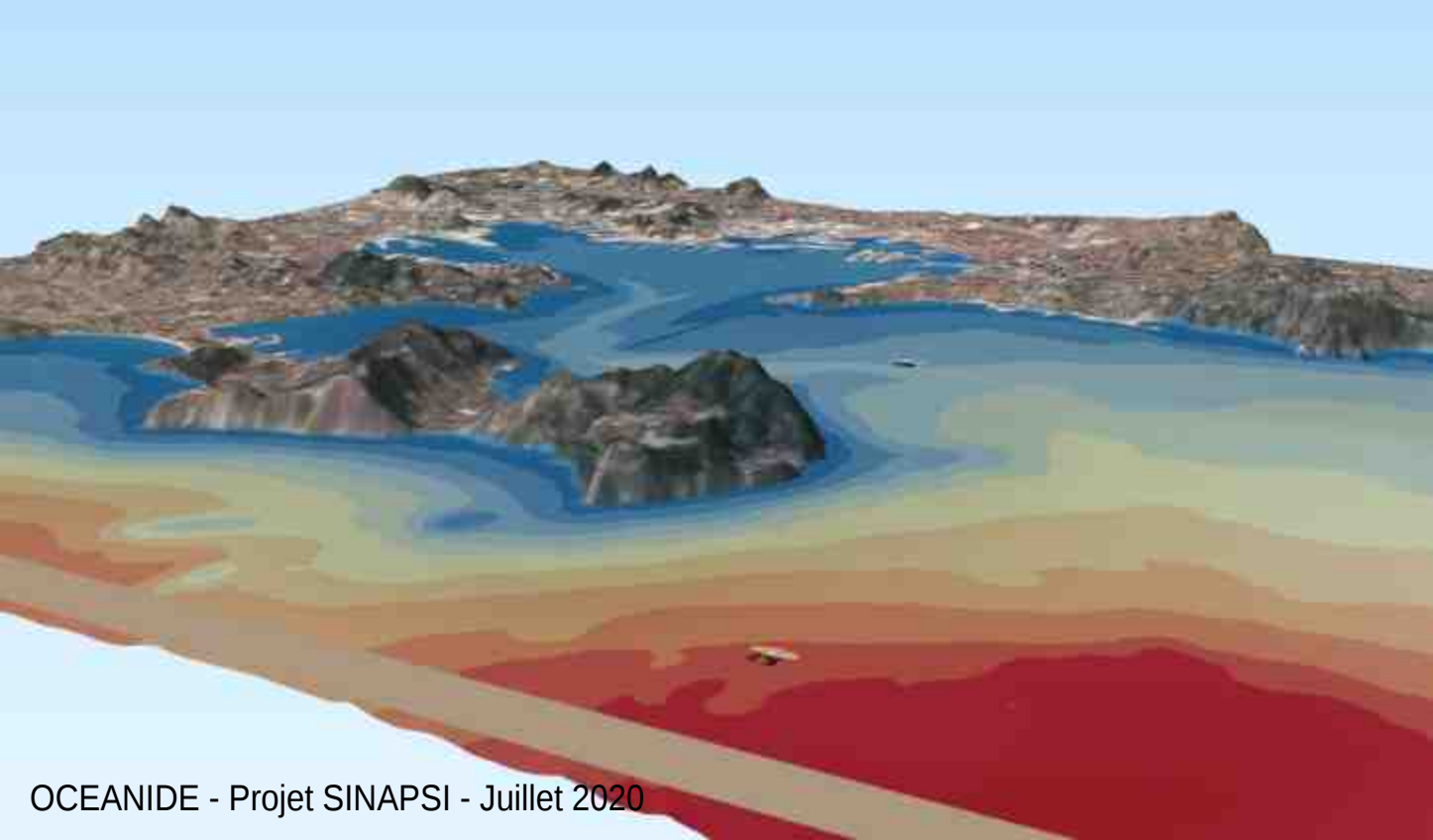




OCEANIDE - Projet SINAPSI - Juillet 2020







OCEANIDE - Projet SINAPSI - Juillet 2020

