



La Londe Les Maures Aménagements contre les inondations du Pansard et du Maravenne

Etude hydrodynamique

Communauté de Communes Méditerranée Porte des Maures

Rapport d'étude

Siège social

36, quai de la Douane – 29200 Brest – France
Tel : +33 298 44 24 51 – Fax : +33 298 46 91 04
Email : info@actimar.fr – Web : www.actimar.fr

ACTIMAR
Au service de la mer



Suivi des modifications

Version	Modifications	Rédacteurs	Validation	Date
V.1.0	Création	Françoise GIRARD, Benoit WAELES	Jean-Pierre MAZE	04/08/2017

Liste de diffusion

Destinataire	Organisme
Yves Hédon	Communauté de communes Méditerranée Porte des Maures

Sommaire

1. INTRODUCTION	10
2. LES DONNEES NATURELLES.....	12
2.1 PARAMETRES METEO-OCEANIQUES AU LARGE DE LA LONDE.....	12
2.1.1 Le vent	13
2.1.2 Les états de mer	15
2.2 LA BATHYMETRIE	18
2.3 CONTEXTE MORPHO-SEDIMENTAIRE	20
2.3.1 Secteur Tamaris/DCNS.....	21
2.3.2 Secteur Bastidon.....	23
2.4 EVOLUTIONS ET AMENAGEMENTS DU SITE	26
2.4.1 Evolutions et aménagements historiques	26
2.4.2 Période récente (depuis 2003)	41
2.4.3 Opérations de rechargement des plages.....	44
2.4.4 Conditions d'ensablement et dragages du chenal d'accès à Port Maravenne	44
2.4.5 Synthèse des aménagements et des évolutions du site	44
3. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES LE LONG DU LITTORAL	46
3.1 MODELISATION DES CONDITIONS DE VAGUES INCIDENTES.....	46
3.1.1 Choix du système de calcul.....	46
3.1.2 Description de la grille de calcul	46
3.1.3 Les scénarios modélisés	47
3.1.4 Modélisation des états de mer.....	50
3.2 CONDITIONS DE COURANT	57
3.2.1 Forçage par le vent	57
3.2.2 Forçage par les vagues.....	60

3.2.3	Forçage combiné.....	60
4.	ANALYSE DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	61
4.1	INDICES SUR LA DERIVE LITTORALE	61
4.1.1	Trait de côte	61
4.1.2	Lignes isobathes	63
4.2	TRANSPORTS DANS LE PROFIL	64
4.3	EVOLUTIONS DE LA PLAGE DEVANT LE SECTEUR DCNS	64
4.4	INDICES SUR LA VARIABILITE INTERANNUELLE DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	66
5.	EVALUATION DES INCIDENCES DES OUVRAGES EN MER ENVISAGES.....	68
5.1	SECTEUR TAMARIS/DCNS	68
5.1.1	Incidences sur les herbiers de posidonies à proximité	68
5.1.2	Incidences sur la stabilité des fonds devant le secteur DCNS	68
5.1.3	Incidences sur la stabilité de la plage Tamaris	69
5.1.4	Incidences sur l'ensablement des accès à Port Maravenne	69
5.2	SECTEUR BASTIDON	69
6.	BIBLIOGRAPHIE	71

Liste des illustrations

Figure 2-1 : Position du point d'extraction des paramètres d'états de mer au large du site d'étude. ...	12
Figure 2-2 : Statistiques annuelles du vent CFSR au large de La Londe.....	13
Figure 2-3 : Statistiques mensuelles du vent CFSR au large de La Londe.	14
Figure 2-4 : Statistiques annuelles sur les paramètres d'états de mer au point HOMERE 43°06'N-06°16'E	16
Figure 2-5 : Statistiques mensuelles sur les paramètres d'états de mer au point HOMERE 43°06'N-06°16'E	17
Figure 2-6 : Bathymétrie dans la rade d'Hyères. Carte Marine SHOM.....	18
Figure 2-7 : Données Litto3D-PACA 2015.....	19
Figure 2-8 : Données Litto3D-PACA 2015. Zoom sur La Londe.	19
Figure 2-9 : Carte de nature des fonds d'après les données SIG CARTHAM (typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée)	20
Figure 2-10 : Cartographie des habitats sur le secteur d'étude (en vert : Herbier à posidonies ; en marron : Matte morte affleurante ; en Rose : Roche infralittorale ; en jaune : Sable). Source : Inventaires et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Rade d'Hyères », Agence des aires marines protégées.	21
Figure 2-11 : Présence de matériaux gossiers (graviers, galets) et de feuilles mortes de posidonies sur la plage Tamaris (photos B. Waeles lors de la visite technique du 15/06/2017).....	22
Figure 2-12 : Accumulation de sable devant les enrochements du secteur DCNS, côté Ouest d'un des petits épis béton (photo B. Waeles lors de la visite technique du 15/06/2017).....	22
Figure 2-13 : Photo (B. Waeles, visite technique du 15/06/2017), devant le débouché prévu dans le cadre du projet d'aménagement hydraulique, montrant l'ouvrage en dur définissant le trait de côte et des fonds très inhomogènes (sables, graviers, galets, blocs).	23
Figure 2-14 : Prise de vue (B. Waeles, visite technique du 15/06/2017) vers l'Est.	24
Figure 2-15 : Situation actuelle du débouché du canal à l'Est de la plaine du Bastidon (gauche : vue vers la mer ; droite : vue vers l'amont) (visite technique B. Waeles du 15/06/2017).	24
Figure 2-16 : Visualisation de glissement de sables depuis le chemin (visite technique B. Waeles du 15/06/2017).....	25
Figure 2-17 : Visualisation de glissement de sables depuis le chemin (visite technique B. Waeles du 15/06/2017).....	25
Figure 2-18 : Carte de l'état-major (1820-1866) et SCAN50 historique de 1950 de l'IGN (rubrique « remonter le temps »).....	26

Figure 2-19 : Photographie aérienne de 1924 (base de données <i>Sextant</i> de l'Ifremer).	26
Figure 2-20 : Autre photographie aérienne de 1924 (base de données <i>Sextant</i> de l'Ifremer).....	27
Figure 2-21 : photographie aérienne de 1947 (IGN)	27
Figure 2-22 : Photographie aérienne de 1950 (IGN).	28
Figure 2-23 : Image aérienne (IGN) du 14/08/1952.	29
Figure 2-24 : Photographies aériennes de 1955 et actuelle (IGN, rubrique « remonter le temps ») à la même échelle, ce qui permet d'apprécier l'évolution du site (trait de côte, emprise des ouvrages portuaires.....).....	29
Figure 2-25 : Image aérienne (IGN) du 28/08/1958.	30
Figure 2-26 : Image aérienne (IGN) du 27/05/1960.	30
Figure 2-27 : Image aérienne (IGN) du 22/03 1967.....	31
Figure 2-28 : Image aérienne (IGN) du 01/01/1968.	31
Figure 2-29 : Image aérienne (IGN) du 15/05/1968.	32
Figure 2-30 : Image aérienne (IGN) du 01/01/1969.	32
Figure 2-31 : Image aérienne (IGN) en infrarouge du 25/05/1972.	33
Figure 2-32 Image aérienne (IGN) du 14/05/1974- on peut noter que la plage Tamaris est particulièrement réduite.	33
Figure 2-33 : Image aérienne (IGN) du 06/06/1975.	34
Figure 2-34 : Image aérienne (IGN) du 19/06/1976.	34
Figure 2-35 : Image aérienne (IGN) du 17/07/1977.	35
Figure 2-36 : Image aérienne (IGN) du 13/06/1978.	36
Figure 2-37 : Image aérienne (IGN) du 10/07/1979.	36
Figure 2-38 : Image aérienne (IGN) du 01/07/1982.	37
Figure 2-39 : Image aérienne (IGN) du 01/08/1982.	37
Figure 2-40 : Image aérienne (IGN) du 15/10/1983.	38
Figure 2-41 : Image aérienne (IGN) du 27/08/1988.	38
Figure 2-42 : Image aérienne (IGN) du 01/05/1989.	39
Figure 2-43 : Image aérienne (IGN) du 03/05/1989.	39
Figure 2-44 : Image aérienne (IGN) du 18/07/1991.	40
Figure 2-45 : Image aérienne (IGN) du 24/07/1993.	40
Figure 2-46 : Image aérienne du 22/05/1998.	41

Figure 2-47 : Evolution du site, de haut en bas : 2003 – 2006 – 2011 – 2017.	42
Figure 2-48 : Evolution du site, de haut en bas : 2003 – 2006 – 2011 – 2017.	43
Figure 2-49 : Emprises des plages rechargées (source : C. Belmont, Safege).....	44
Figure 2-50 : Evolutions du trait de côte depuis 1920 (BRGM, 2014 : Evaluation des Risques Naturels Littoraux - SCoT Provence-Méditerranée – Evolution historique du trait de côte).	45
Figure 3-1 : Maillage du modèle numérique.	47
Figure 3-2 : Maillage du modèle numérique. Zoom sur la zone de projet.....	47
Figure 3-3 : Répartition de l'énergie dans le spectre au large pour les différents scénarios. Haut gauche (scénario 1), haut droite (scénario 2), milieu gauche (scénario 3), milieu droit (scénario 4), bas gauche (scénario 5), bas droite (scénario 6).	49
Figure 3-4 : Carte de Hs pour une condition de Sud atteinte ou dépassée sur une durée cumulée 24h/an.	50
Figure 3-5 : Carte de Hs pour une condition d'Est atteinte ou dépassée sur une durée cumulée 24h/an.	51
Figure 3-6 : Carte des vitesses orbitales sur le fond pour une condition de Sud atteinte ou dépassée sur une durée cumulée 24h/an.	51
Figure 3-7 : Carte des vitesses orbitales sur le fond pour une condition d'Est atteinte ou dépassée sur une durée cumulée 24h/an.	52
Figure 3-8 : Carte des Hs pour une condition d'Est de période de retour 1 an.	52
Figure 3-9 : Carte des Hs pour une condition d'Ouest de période de retour 1 an.....	53
Figure 3-10 : Carte des vitesses orbitales sur le fond pour une condition d'Est de période de retour 1 an.	53
Figure 3-11 : Carte des vitesses orbitales sur le fond pour une condition d'Ouest de période e retour 1 an.	54
Figure 3-12 : Carte de Hs pour une condition de tempête exceptionnelle.....	54
Figure 3-13 : Carte des vitesses orbitales sur le fond pour une condition de tempête exceptionnelle.	55
Figure 3-14 : Carte de Hs pour une condition de tempête exceptionnelle avec surcote.....	55
Figure 3-15 : Carte des vitesses orbitales sur le fond en condition de tempête exceptionnelle avec surcote.....	56
Figure 3-16 : Résultat de simulation Oceanide (2014) pour un vent de secteur Est (70°N, 14.2 m/s) de période de retour 1 an.	57
Figure 3-17 : Résultat de simulation Oceanide (2014) pour un vent de secteur Est (70°N, 17.9 m/s) de période de retour 10 ans.....	58

Figure 3-18 Extrait d'une vidéo (fournie par H. Duchemin, responsable de la capitainerie du port) en condition d'Est montrant (sédiments fins en suspension) le prolongement d'une veine de courant depuis l'extrémité de la digue Est de Port Maravenne.	58
Figure 3-19 : Résultat de simulation Oceanide (2014) pour un vent de secteur Est (70°N, 17.9 m/s) de période de retour 10 ans, avec une digue à l'Est du secteur DCNS.	59
Figure 3-20 : Résultat de simulation Oceanide (2014) pour un vent de secteur Ouest (290°N, 17.3 m/s) de période de retour 10 ans, avec une digue à l'Est du secteur DCNS.	59
Figure 4-1 : Image aérienne de 1972 (IGN).	61
Figure 4-2 Image aérienne Infra Rouge du 19/06/1995 montrant une accumulation côté Ouest de l'ancienne digue DCNS.....	62
Figure 4-3 Photographie aérienne, non datée, issue du rapport Océanide (2014), montrant une accumulation de sable franche côté Ouest de l'enracinement de la digue, et une quasi continuité de la plage entre les secteurs Tamaris et DCNS. Cette prise de vue serait datée entre 1988 et 1991 si on se réfère aux aménagements de port Maravenne visibles sur les photographies aériennes historiques de l'IGN.	62
Figure 4-4 : Lignes isobathes 0 m CM (marron), -1 m CM (bleu ciel), -2 m CM (bleu) et -3 m CM (noir).....	64
Figure 4-5 : Niveau d'eau moyen journalier mesuré au marégraphe de Toulon	65
Figure 4-6 : Plage devant le secteur DCNS, fin 2012 (a priori décembre, d'après H. Duchemin, responsable de la capitainerie port, qui a transmis ces photos).....	65
Figure 4-7 : Plage devant le secteur DCNS, le 23/01/2013 (H. Duchemin).	66
Figure 4-8 : Variabilité interannuelle de l'énergie des vagues incidentes (en rouge pour un seuil de Hs à 0.5 m et en bleu pour un seuil de Hs à 1 m).....	66
Figure 4-9 : Variabilité interannuelle des conditions de dérive littorale (en rouge pour un seuil de Hs à 0.5 m et en bleu pour un seuil de Hs à 1 m).....	67
Figure 5-1 : Zone d'influence (contour orange) attendue des ouvrages sur les fonds sableux.....	68
Figure 5-2 : Simulation Oceanide (2014) des conditions de courant pour la solution d'aménagement «3 » qui consiste à positionner 2 épis de part et d'autre du secteur DCNS – cas d'un vent d'Est de période de retour 10 ans.....	69

Liste des tableaux

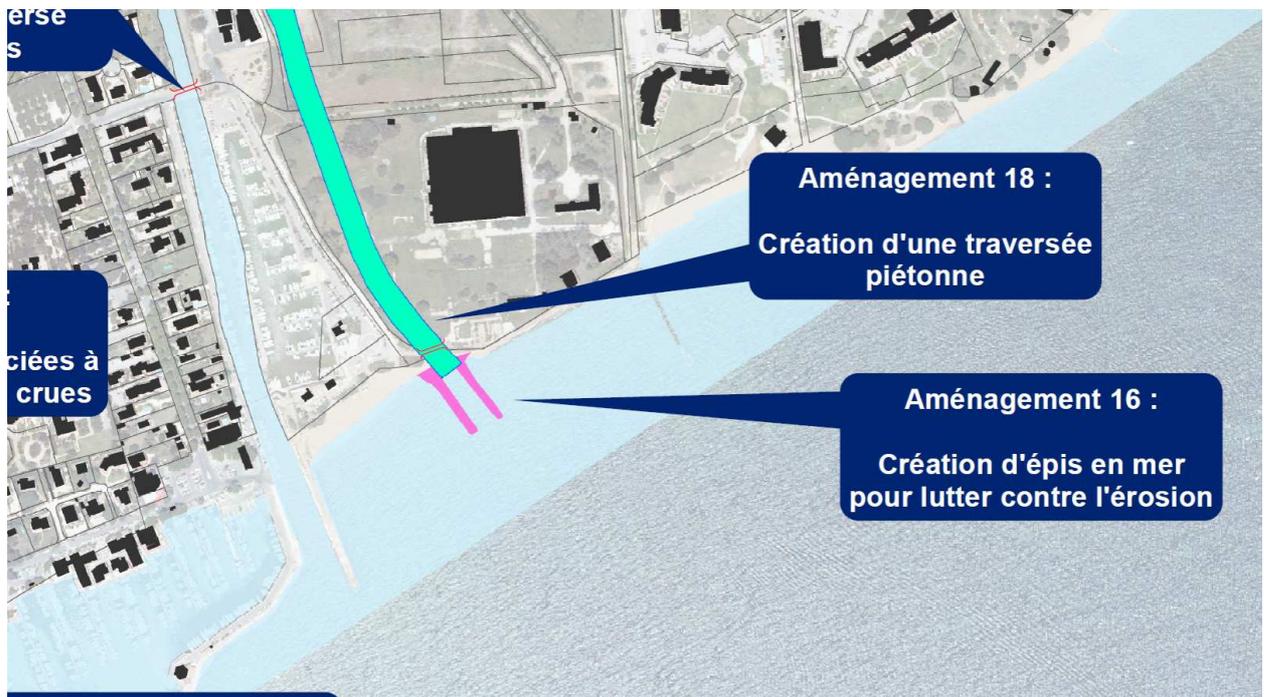
Tableau 1-1 : Abréviations.....	11
Tableau 1-2 : Définitions et convention des paramètres météo-océaniques.....	11
Tableau 3-1 : Synthèse des 6 scénarios modélisés.	48

1. INTRODUCTION

Actimar a été sollicitée par la Communauté de Communes Méditerranée Porte des Maures pour mener une étude visant à préciser le fonctionnement hydrodynamique et hydro-sédimentaire sur le littoral de La Londe Les Maures. Cette étude s'intègre dans le programme de réduction du risque inondation sur le territoire de la commune de La Londe Les Maures.

L'étude s'organise en deux phases. La première phase consiste à étudier l'hydrodynamisme sur la situation actuelle à partir d'un recueil de données et de modélisations numériques des conditions d'agitation.

La seconde phase vise à décrire les transports de sédiments à proximité du port à la lumière des conditions hydrodynamiques sur la situation actuelle et à évaluer les effets des ouvrages projetés sur la dynamique hydro-sédimentaire.



Conventions

Les listes ci-dessous décrivent les abréviations et la nomenclature utilisées dans ce rapport. Tous les temps sont donnés par rapport au méridien de Greenwich (heure GMT).

Tableau 1-1 : Abréviations

Terme	Définition
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Aeronautics and Space Administration
TOMAWAC	Modèle spectral d'états de mer de la chaîne TELEMAC développée par EDF LNHE
WW3	Modèle spectral d'états de mer WaveWatch III développé par la NOAA et ses partenaires

Tableau 1-2 : Définitions et convention des paramètres météo-océaniques.

Notation	Unité	Définition et convention
Vv	m/s	Vitesse du vent
Vd	degré	Direction de provenance du vent, avec une convention horaire
Hs	m	Hauteur spectrale significative
Hmax	m	Hauteur maximale des vagues individuelles
Tp	s	Période pic déterminée comme l'inverse de la fréquence f_p pour laquelle le spectre d'énergie est maximum
Tm02	s	Période moyenne des vagues. Tm02 est le paramètre issu de "l'analyse spectrale" équivalent à Tz issu de "l'analyse vagues par vagues"
Tz	s	Période moyenne des vagues issue de l'analyse vagues par vagues comme la durée entre 2 passages à la valeur moyenne par valeurs décroissantes
Dirp	degré	Direction de provenance du maximum d'énergie du spectre, référencé par rapport au nord, avec une convention horaire
Dir	degré	Direction moyenne de provenance de l'énergie du spectre, référencé par rapport au nord, avec une convention horaire
SPR	degré	Etalement directionnel du spectre d'énergie des vagues
d	m	Profondeur d'eau

2. LES DONNEES NATURELLES

2.1 PARAMETRES METEO-OCEANQUES AU LARGE DE LA LONDE

Pour caractériser les conditions du large, avant la propagation des états de mer à la côte, il est nécessaire de disposer de séries temporelles de longue durée des paramètres météo-océaniques vent, vagues. Ces séries temporelles sont recherchées dans des bases de données numériques reconstituées disponibles à Actimar.

Pour le vent, la base de données CFSR est exploitée. CFSR est une réanalyse mondiale du NCEP disponible sur la période 1979-2016 pour les études climatiques [1][5]. La réanalyse NCEP-CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) a une résolution spatiale d'environ 0.3° et un échantillonnage temporel de 1 heure.

Pour les vagues, la base de données Actimar WW3-GDL est exploitée. Actimar WW3-GDL est une réanalyse d'états de mer à l'échelle du Golfe du Lion construite à partir du code spectral d'états de mer Wavewatch 3 forcé par les vents de la réanalyse NCEP-CFSR. La réanalyse Actimar WW3-GDL est disponible sur une grille irrégulière (éléments finis) ayant une résolution de l'ordre de 500 m le long du littoral. La base de données fournit les principaux paramètres des états de mer sur 20 ans (1996-2015) avec un échantillonnage temporel de 1 heure. La Figure 2-1 présente la position du point d'analyse des conditions d'états de mer au large de La Londe.

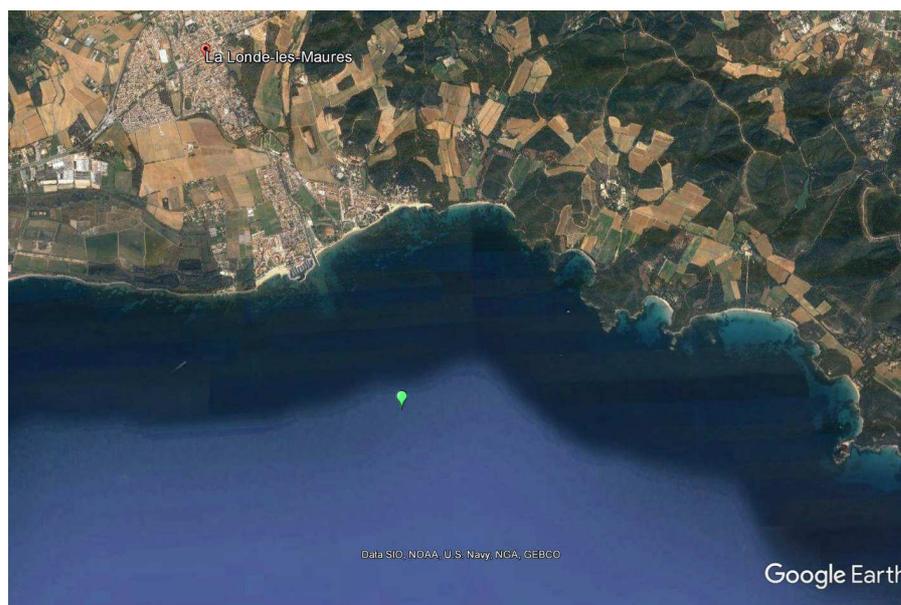


Figure 2-1 : Position du point d'extraction des paramètres d'états de mer au large du site d'étude.

2.1.1 LE VENT

La vitesse et la direction du vent ont été extraites de la base de données CFJR au point situé au large de la zone de d'étude.

Le vent provient essentiellement des secteurs OSO à Ouest et SE à ESE (cf. Figure 2-2). C'est dans le secteur ESE qu'il est dominant à la fois en fréquence et en intensité.

Le vent moyen mensuel évolue entre 4. m/s en été et 5.3 m/s en hiver. La moyenne annuelle est de 4.7 m/s (~17 km/h) et le maximum de 23.3 m/s (~84 km/h).

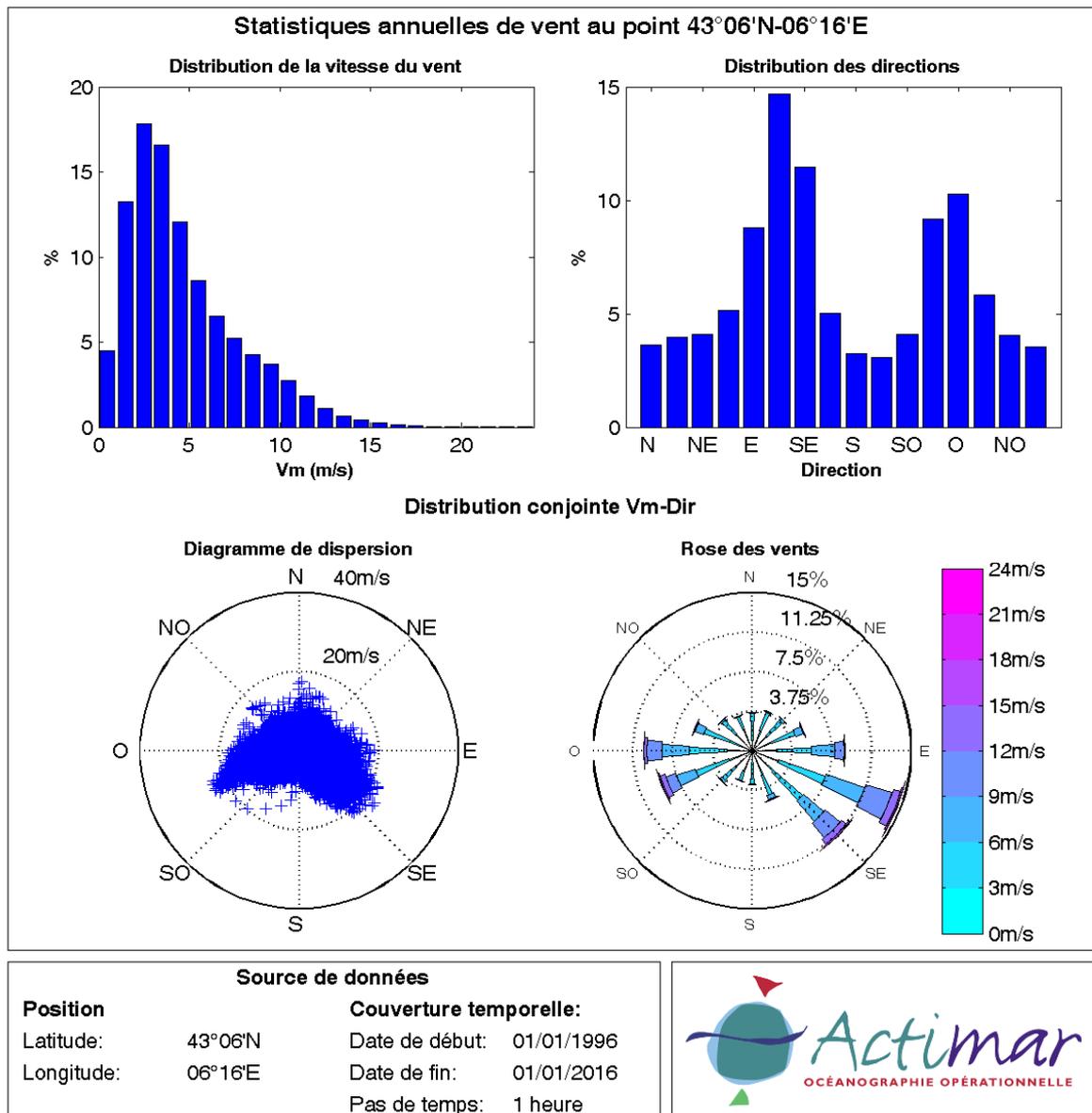


Figure 2-2 : Statistiques annuelles du vent CFJR au large de La Londe.

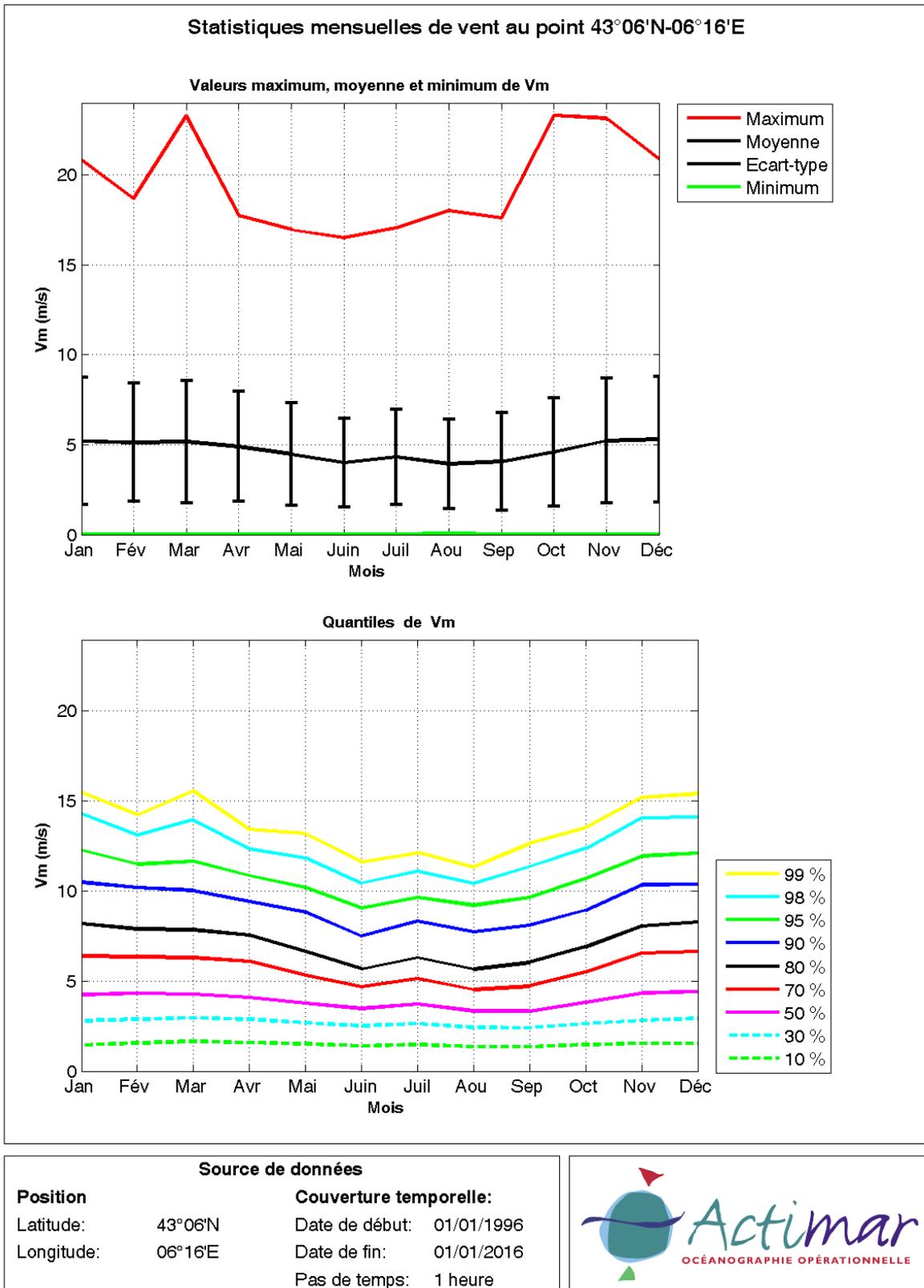


Figure 2-3 : Statistiques mensuelles du vent CFSR au large de La Londe.

2.1.2 LES ETATS DE MER

Les paramètres synthétiques d'états de mer ont été extraits de la base de données Actimar WW3-GDL au point 43°06'N-06°16'E.

Les vagues les plus fortes proviennent des secteurs ESE à Sud (cf. Figure 2-4). Cependant, bien que le vent soit dominant en fréquence et en intensité de l'ESE au SE, le secteur SE observe une occurrence inférieure à 10%, probablement liée à l'effet de masquage des îles d'Hyères (île de Port Cros et île Levant).

La moyenne mensuelle de la hauteur significative des vagues évolue entre ~0.25 m en été et 0.50 m en hiver (cf. Figure 2-5). La moyenne annuelle est de 0.4 m.

Les valeurs maximales de Hs peuvent atteindre 3.5 m en hiver. Mais, dans 99% du temps, le Hs est inférieur à 1.5 m.

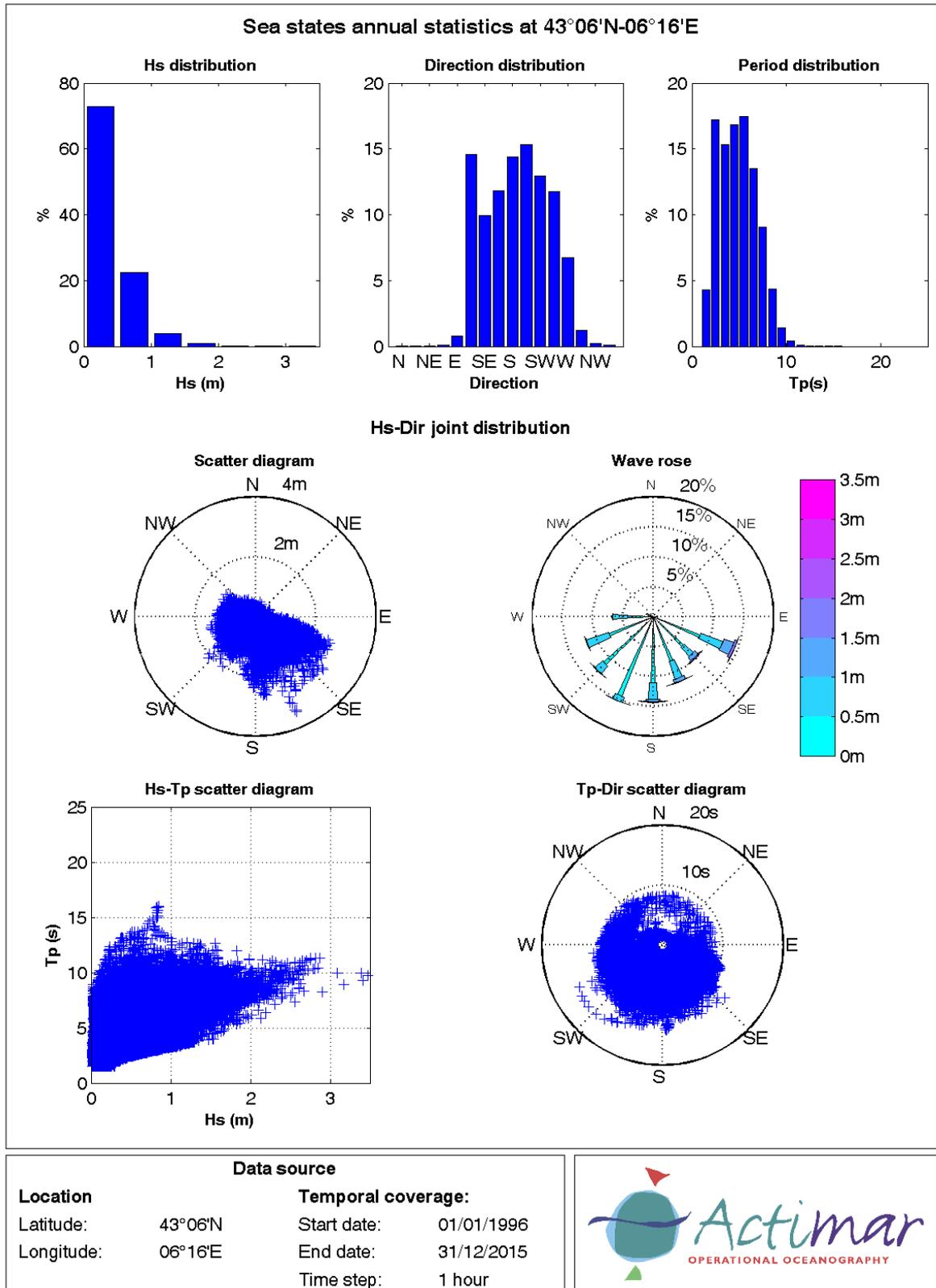


Figure 2-4 : Statistiques annuelles sur les paramètres d'états de mer au point HOMERE 43°06'N- 06°16'E

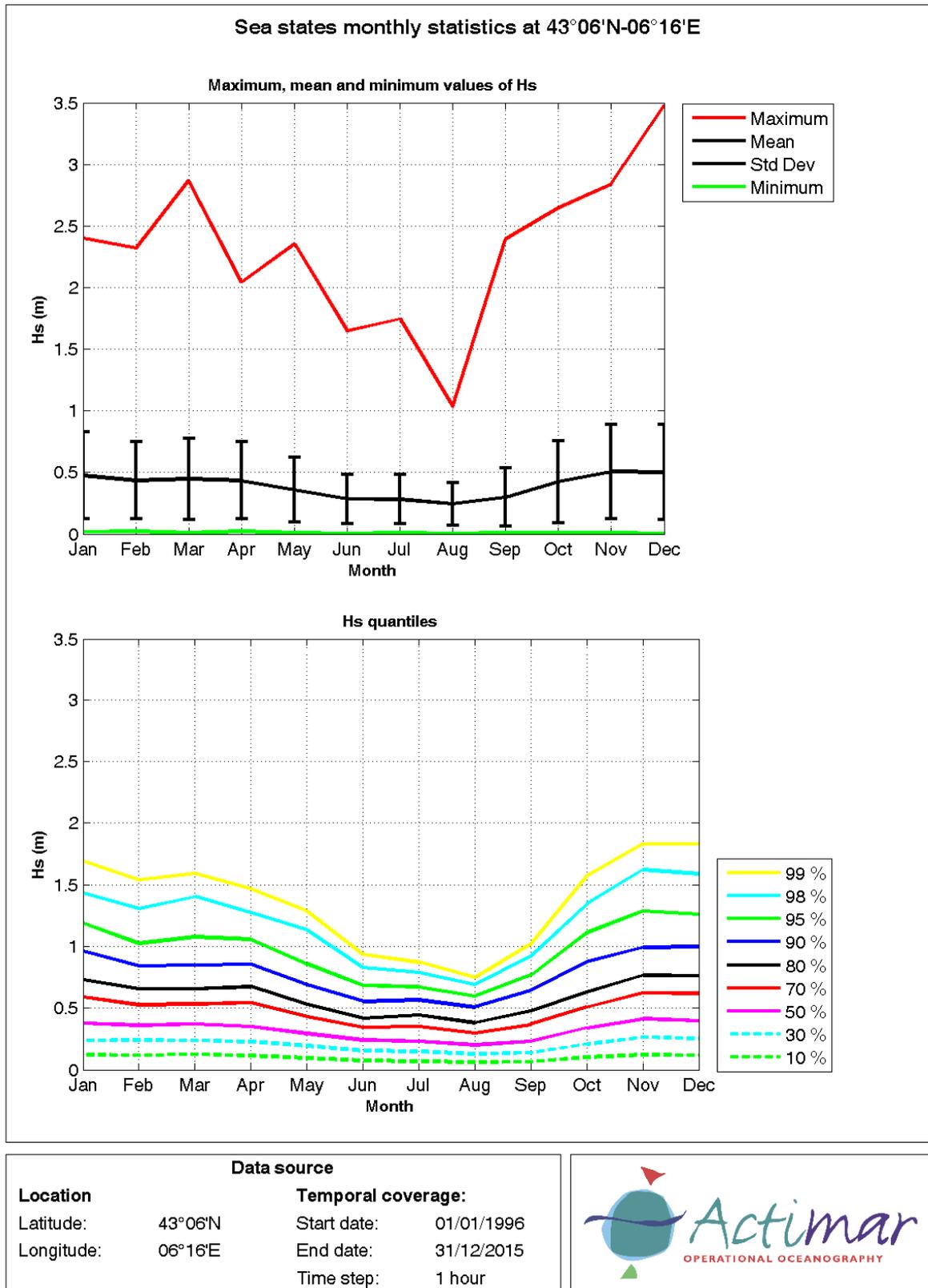


Figure 2-5 : Statistiques mensuelles sur les paramètres d'états de mer au point HOMERE 43°06'N- 06°16'E

2.2 LA BATHYMETRIE

Les données bathymétriques dans la rade d'Hyères ont été collectées auprès du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

La rade d'Hyères se caractérise par des profondeurs d'eau inférieures à 40 m (cf. Figure 2-6). La bathymétrie diminue assez régulièrement du large vers la côte et les isobathes restent approximativement parallèles à la côte.

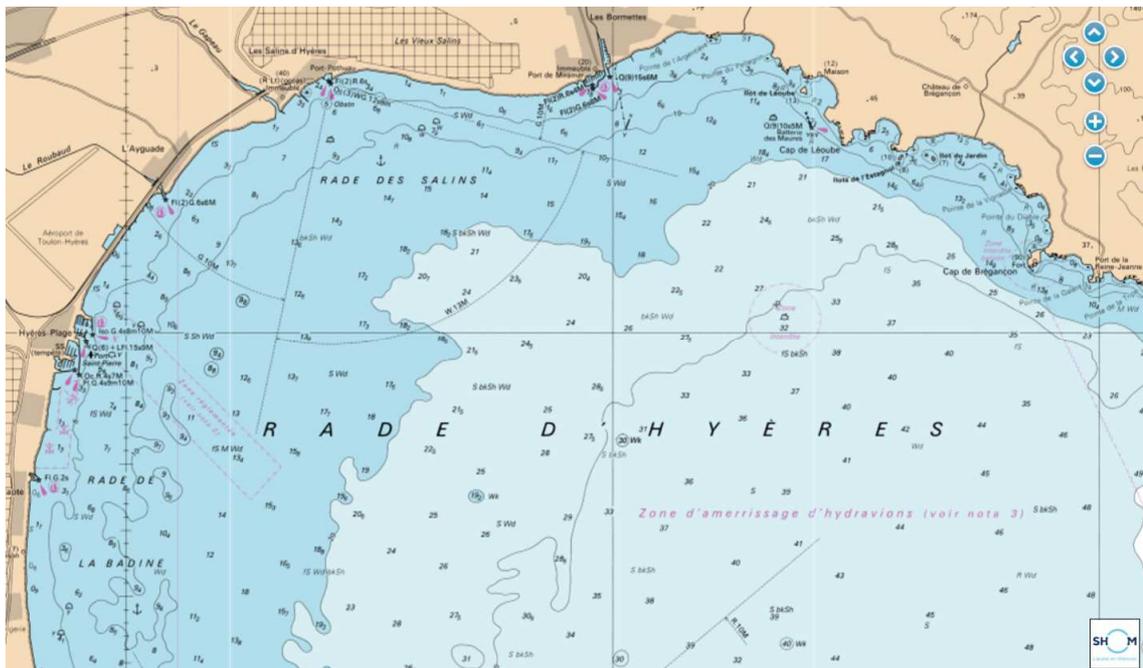


Figure 2-6 : Bathymétrie dans la rade d'Hyères. Carte Marine SHOM.

Litto3D® est un produit altimétrique terre-mer de précision donnant une représentation tridimensionnelle de la forme et de la position du sol sur la frange littorale du territoire français (métropole et DOM), coédité par le Shom et l'IGN. Les données Litto3D® disponibles dans la rade d'Hyères sont présentées sur la Figure 2-7. Un zoom sur le littoral de La Londe Les Maures est présenté sur la Figure 2-8.

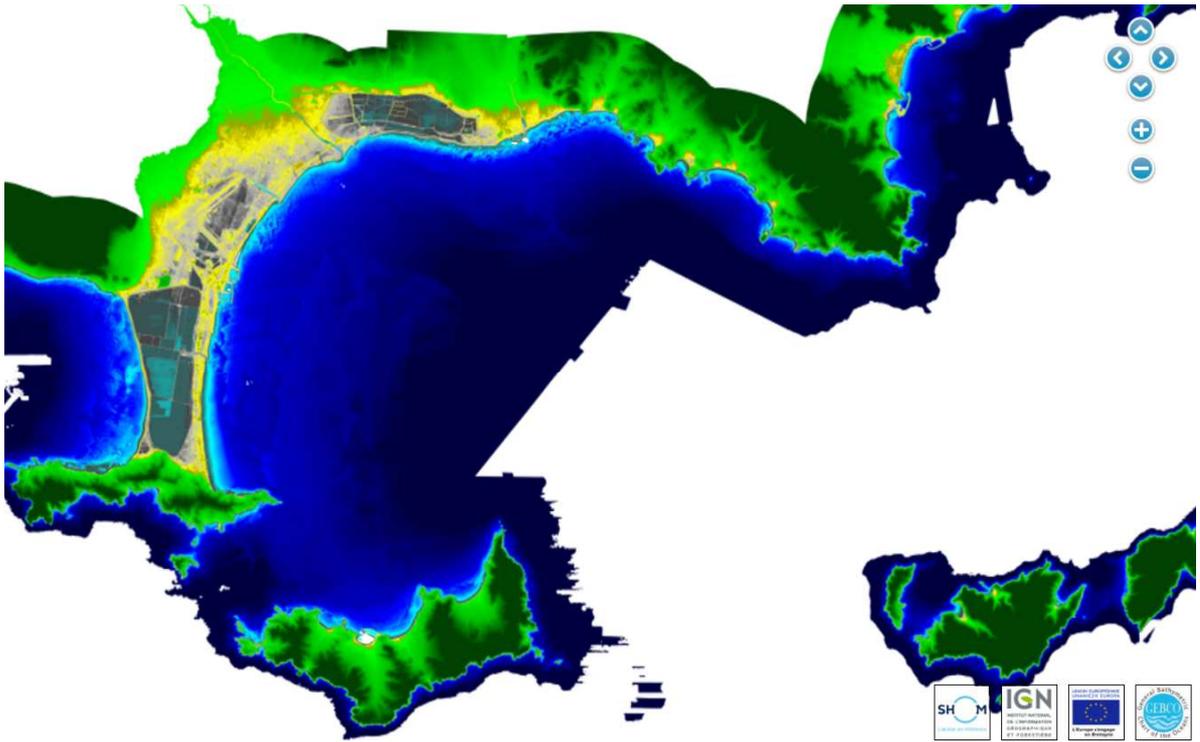


Figure 2-7 : Données Litto3D-PACA 2015.

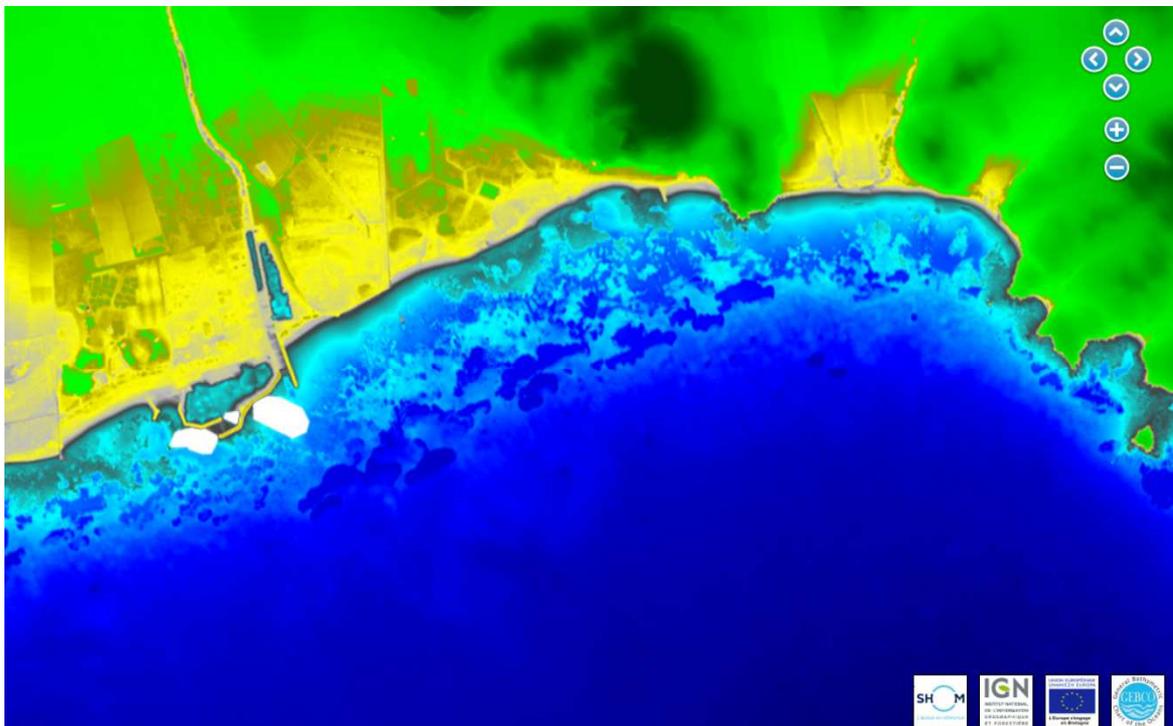


Figure 2-8 : Données Litto3D-PACA 2015. Zoom sur La Londe.

2.3 CONTEXTE MORPHO-SEDIMENTAIRE

Le site est très particulier du point de vue de la dynamique sédimentaire, compte tenu de la présence importante d'herbiers de posidonies. A noter que les herbiers peuvent se développer aussi bien sur des substrats meubles que rocheux (e.g. *Clabaut et al., 2010*¹). Lorsque les herbiers de posidonies recouvrent des fonds sableux, ceux-ci n'apparaissent pas sur la cartographie de nature des fonds, mais peuvent néanmoins être mobilisés lorsque les conditions hydrodynamiques sont suffisamment énergétiques.

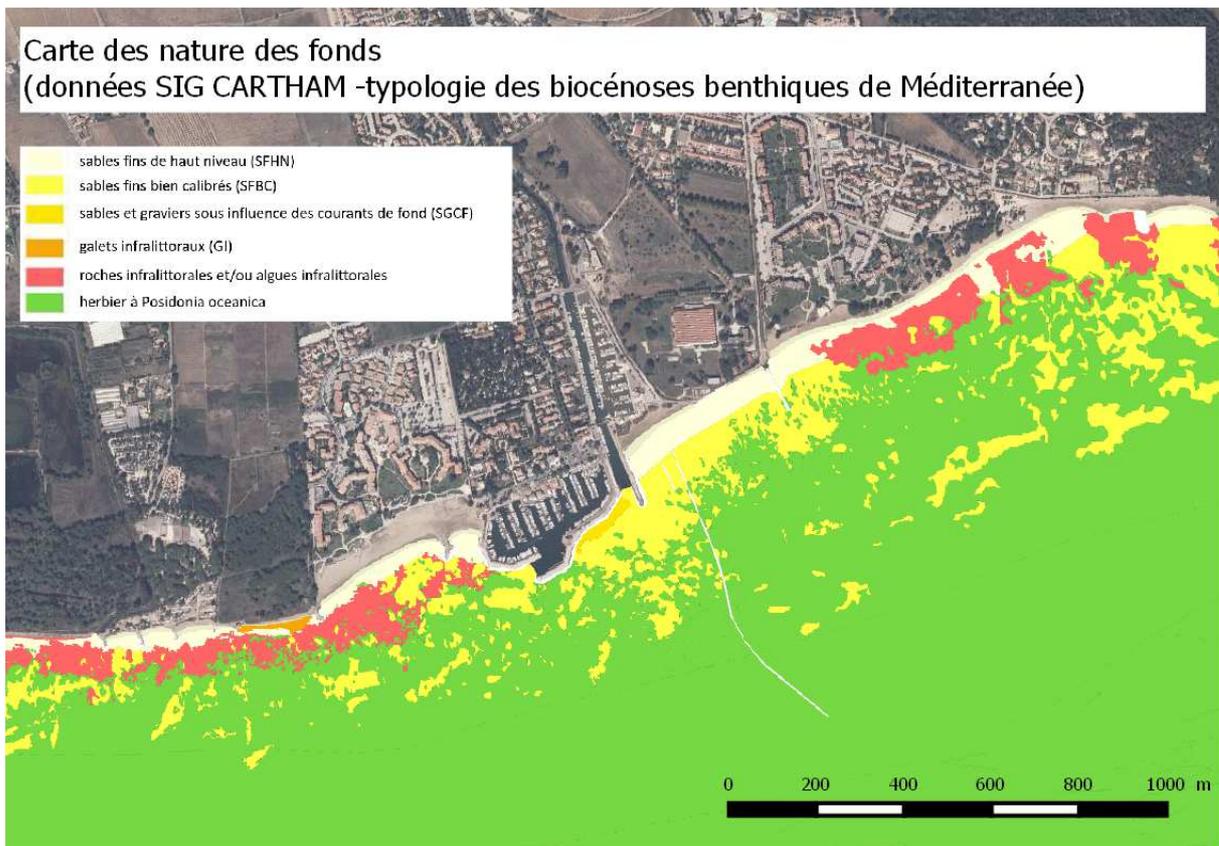


Figure 2-9 : Carte de nature des fonds d'après les données SIG CARTHAM (typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée)

¹ Les relations entre les herbiers de posidonies, leur substrat et l'hydrodynamisme. Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation



Figure 2-10 : Cartographie des habitats sur le secteur d'étude (en vert : Herbier à posidonies ; en marron : Matte morte affleurante ; en Rose : Roche infralittorale ; en jaune : Sable). Source : Inventaires et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux du site Natura 2000 « Rade d'Hyères », Agence des aires marines protégées.

2.3.1 SECTEUR TAMARIS/DCNS

Sur l'estran (Figure 2-11), on peut trouver des matériaux plus grossiers (graviers, galets) au niveau de la ligne d'eau ainsi que des accumulations de posidonies mortes.

Devant le secteur DCNS (ou « plage des chiens »), où des blocs et des enrochements soutiennent le chemin des douaniers, les fonds sont majoritairement sableux avec la présence de graviers en petite quantité.



Figure 2-11 : Présence de matériaux gossiers (graviers, galets) et de feuilles mortes de posidonies sur la plage Tamaris (photos B. Waeles lors de la visite technique du 15/06/2017).

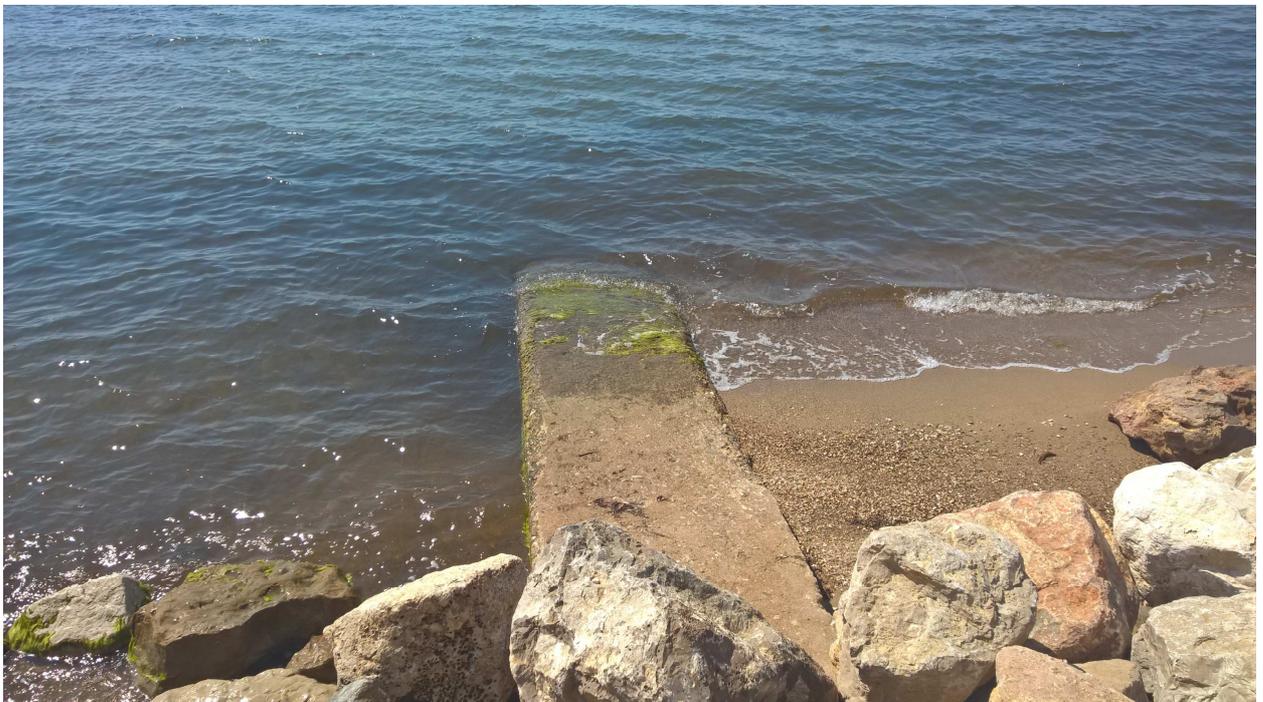


Figure 2-12 : Accumulation de sable devant les enrochements du secteur DCNS, côté Ouest d'un des petits épis béton (photo B. Waeles lors de la visite technique du 15/06/2017).