



**ANNEXE 4 : ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN
D'ACCUEIL AVANT PORT**

Sommaire

1. Contexte de l'étude	1
2. Définition des conditions à modéliser	2
2.1. Houles.....	2
2.1.1. Conditions fréquentes.....	3
2.1.2. Conditions extrêmes.....	1
2.2. Vents.....	2
2.2.1. Climat de vent usuel	3
2.2.2. Climat de vent extrême.....	3
2.3. Détermination des conditions de projet	4
3. Propagation des houles et mers de vents.....	6
3.1. Mise en place du modèle	6
3.1.1. Logiciel utilisé : MIKE SW (Spectral Wave).....	6
3.1.2. Domaine, maillage et bathymétrie.....	6
3.1.3. Conditions aux limites.....	8
3.2. Résultats	8
4. Modélisation de l'agitation portuaire	11
4.1. Objectifs et méthodologie.....	11
4.2. Mise en place du modèle	11
4.2.1. Domaine, maillage et bathymétrie.....	11
4.2.2. Conditions aux limites.....	12
4.3. Présentation des résultats.....	12
4.3.1. Résultats pour les conditions fréquentes	13
4.3.2. Résultats pour les conditions extrêmes.....	16
4.3.3. Résultats pour les clapots levés localement par le vent	17
5. Conclusion	18
6. Références	19
Annexes.....	21
7. Annexe 1 : Résultats complets conditions fréquentes	22
8. Annexe 2 : Resultats complets conditions extrêmes.....	33

Liste des Figures

Figure 1.1 : Visualisation du port de Cap d'Agde et de la zone d'étude	1
Figure 2.1 : Visualisation de la localisation du point ANEMOC.....	2
Figure 2.2 : Rose des houles - Base de données ANEMOC-2 au point : 43.26°N 3.52°E	3
Figure 2.3 : Corrélation entre Hauteur de houle et période de pic pour les secteurs directionnels les plus fréquents - Point ANEMOC-2 aux coordonnées : 43.25°N/3.52°E	1
Figure 2.4 : Visualisation de la méthode POT appliquée à la série temporelle.....	1
Figure 2.5 : Période de retour des houles sur le point ANEMOC-2 aux coordonnées : 43.25°N/3.52°E.....	2
Figure 2.6 : Rose des vents à environ 5km au large de Cap d'Agde (modèle CFSR de la NOAA) 3	3
Figure 2.7 : Période de retour des vitesses de vent dans la zone de Cap d'Agde, vitesses moyennées sur 10minutes et à une altitude de 10 mètres.....	4
Figure 3.1 : Visualisation du maillage utilisé pour le modèle spectral de propagation - Zoom sur le port.....	7
Figure 3.2 : Visualisation de la bathymétrie du modèle spectral de propagation.....	7
Figure 3.3 : Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation : Hs=2.0m – Tp=10s – Dir=160°N.....	8
Figure 3.4: Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation : Hs=4.7m – Tp=11s – Dir=150°N.....	9
Figure 3.5: Génération et propagation des clapots levés localement par le vent : vitesse 10m/s, dir 200°N	9
Figure 3.6 : Génération et propagation des clapots levés localement par le vent : vitesse 23.2m/s, dir 200°N (condition 50 ans)	10
Figure 4.1 : Visualisation du maillage utilisé pour le modèle d'agitation portuaire	11
Figure 4.2 : Zone d'étude pour laquelle les valeurs de hauteurs de houles sont extraites du modèle d'agitation	12
Figure 4.3: Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 2 – Hs=1.5m, Tp=6s, Dir=160°N.....	14
Figure 4.4 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 4 – Hs=3.5m, Tp=10s, Dir=160°N.....	14
Figure 4.5 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 6 – Hs=1.0m, Tp=8s, Dir=180°N.....	15

Figure 4.6 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 9 – Hs=1.0m, Tp=8s, Dir=210°N	15
Figure 4.7 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 11 – Hs=1.0m, Tp=6s, Dir=240°N	16
Figure 7.1 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 1 – Hs=1.0m, Tp=6s, Dir=160°N	22
Figure 7.2 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 2 – Hs=1.5m, Tp=8s, Dir=160°N	23
Figure 7.3 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 3 – Hs=2.0m, Tp=10s, Dir=160°N	24
Figure 7.4 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 4 – Hs=3.5m, Tp=10s, Dir=160°N	25
Figure 7.5 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 5 – Hs=0.5m, Tp=6s, Dir=180°N	26
Figure 7.6 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 6 – Hs=1.0m, Tp=8s, Dir=180°N	27
Figure 7.7 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 7 – Hs=1.5m, Tp=10s, Dir=180°N	28
Figure 7.8 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 8 – Hs=0.5m, Tp=6s, Dir=210°N	29
Figure 7.9 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 9 – Hs=1.0m, Tp=8s, Dir=210°N	30
Figure 7.10 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 10 – Hs=1.0m, Tp=4s, Dir=240°N	31
Figure 7.11 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 11 – Hs=1.0m, Tp=6s, Dir=240°N	32
Figure 8.1 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 1 – Période de retour 5ans – Hs=6.5m, Tp=12s, Dir=130°N	33
Figure 8.2 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 2 – Période de retour 50ans – Hs=10.4m, Tp=13s, Dir=130°N	34
Figure 8.3 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 3 – Période de retour 1an – Hs=4.7m, Tp=11s, Dir=150°N	35
Figure 8.4 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 4 – Période de retour 5ans – Hs=6.5m, Tp=12s, Dir=150°N	36
Figure 8.5 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 5 – Période de retour 10ans – Hs=7.5m, Tp=13s, Dir=150°N	37

Figure 8.6 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 6 – Période de retour 50ans – Hs=10.4m, Tp=13s, Dir=150°N..... 38

Liste des tableaux

<i>Tableau 2.1 : Tableau de synthèse des simulations pour les conditions fréquentes de houles ..</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 2.2 : Tableau de synthèse des simulations pour les conditions extrêmes de houles.....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 2.3 : Tableau de synthèse des simulations de génération et propagation des clapots levés localement par le vent.....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 4.1 : Tableau de synthèse des hauteurs de houles dans la zone d'étude pour des conditions fréquentes.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 4.2 : Tableau de synthèse des hauteurs de houles dans la zone d'étude pour des conditions extrêmes.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 4.3: Tableau de synthèse des caractéristiques de clapots levés localement par le vent</i>	<i>17</i>

1. Contexte de l'étude

Dans le cadre de futurs travaux d'aménagements du bassin d'accueil du port du Cap d'Agde, la SODEAL souhaite connaître les caractéristiques des houles les plus fréquentes et dimensionnantes au niveau du ponton d'accueil devant la capitainerie.

Il s'agit donc de déterminer dans un premier temps les conditions de houles à l'extérieur du port, et de propager ces conditions jusque dans le port afin de connaître les caractéristiques des houles dans la zone de projet au niveau du ponton d'accueil de la capitainerie, pour certaines conditions hydrodynamiques retenues.



Figure 1.1 : Visualisation du port de Cap d'Agde et de la zone d'étude

L'étude s'est attachée d'une part à rechercher les conditions d'agitation les plus fréquentes, et d'autre part les conditions d'agitation les plus extrêmes. La méthode suivante a été mise en place :

- ▶ Caractérisation des houles au large ayant un impact probable sur l'agitation du plan d'eau. Celle-ci a été réalisée à partir d'analyses statistiques des données du point ANEMOC le plus proche ;
- ▶ Dans un deuxième temps, la mise en place d'un modèle spectral de propagation/génération de l'agitation (MIKE SW) a permis de propager les houles du large jusqu'à l'entrée du port ;
- ▶ Par la suite, il a été mis en place un modèle d'agitation portuaire (ARTEMIS) pour permettre de quantifier l'agitation résiduelle au niveau de la zone d'étude (ponton d'accueil de la capitainerie).

2. Définition des conditions à modéliser

2.1. Houles

La détermination du climat de houles devant le port, a été réalisée à partir de la base de données ANEMOC-2 Méditerranée qui offre des données de houles fiables et précises en de très nombreux points le long des côtes françaises. Les données du point ANEMOC-2 le plus proche de l'entrée du port, situé aux coordonnées 43.25°N et 3.52°E ont été extraites pour un traitement fin des conditions de houles.

La base de données ANEMOC-2 Méditerranée, a été construite par le CEREMA en collaboration avec EDF R&D-LNHE. C'est une base de données continue d'états de mer réalisée par simulations rétrospectives couvrant la période 1979 à 2010. Les simulations sont réalisées avec le code spectral de troisième génération TOMAWAC. Cette nouvelle base de données améliore nettement la connaissance du climat actuel de vagues aux abords des côtes françaises par rapport à l'ancienne base de données ANEMOC. Ce modèle est construit au niveau moyen de la mer. Le spectre est discrétisé en 32 fréquences et 36 directions. Le pas de temps de calcul est de 100s. La validation du modèle est assurée à l'aide d'observations in situ des bouées des bases de données Météo France, CANDHIS et RON. En chaque point du domaine de calcul, le spectre de variance est résolu et les paramètres suivants sont conservés au pas de temps horaire : hauteur significative spectrale ; périodes énergétiques, moyenne et de pic ; direction moyenne et étalement directionnel ; flux d'énergie linéique des vagues.

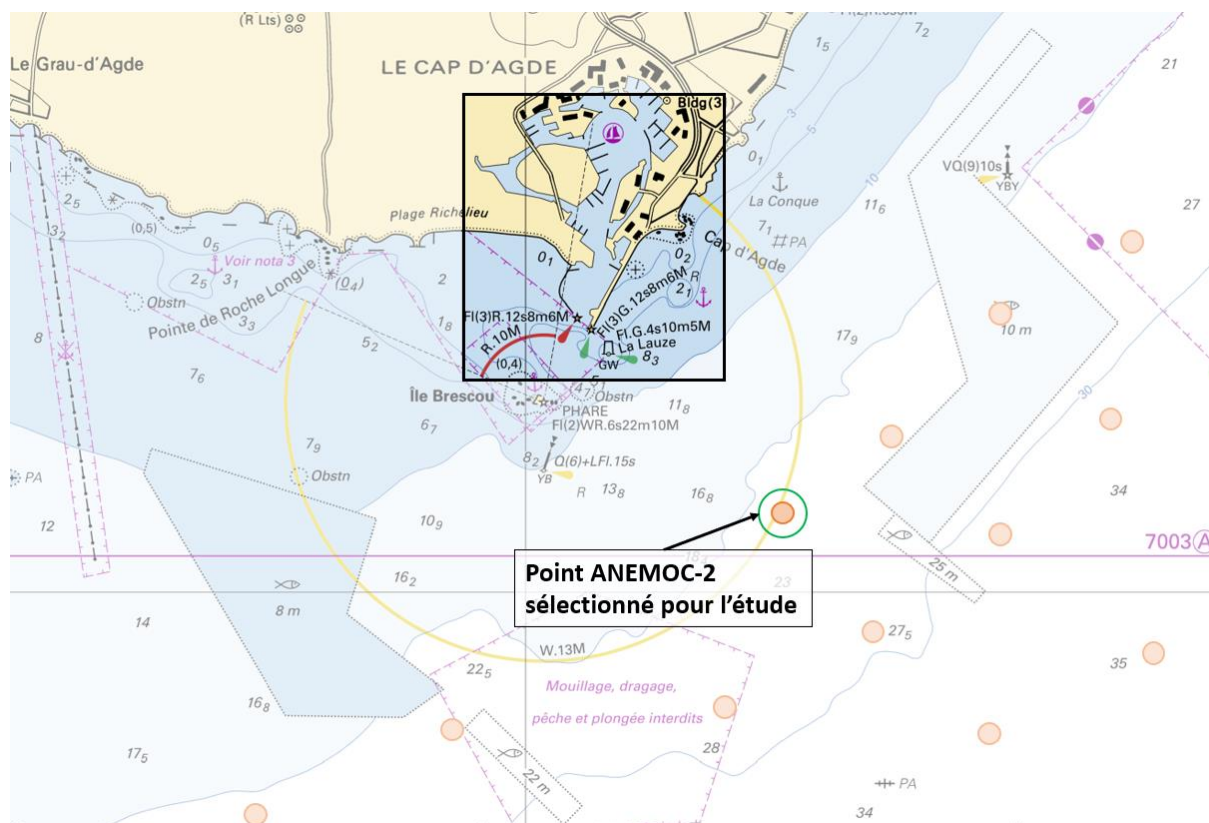


Figure 2.1 : Visualisation de la localisation du point ANEMOC

2.1.1. Conditions fréquentes

La rose des houles et les corrélogrammes issus du traitement des données ANEMOC au point sélectionné (Figure 2.1), présentent l'occurrence hauteurs de houles et leurs directions de provenance et sont présentés sur la Figure 2.2 et sur la Figure 2.3, respectivement.

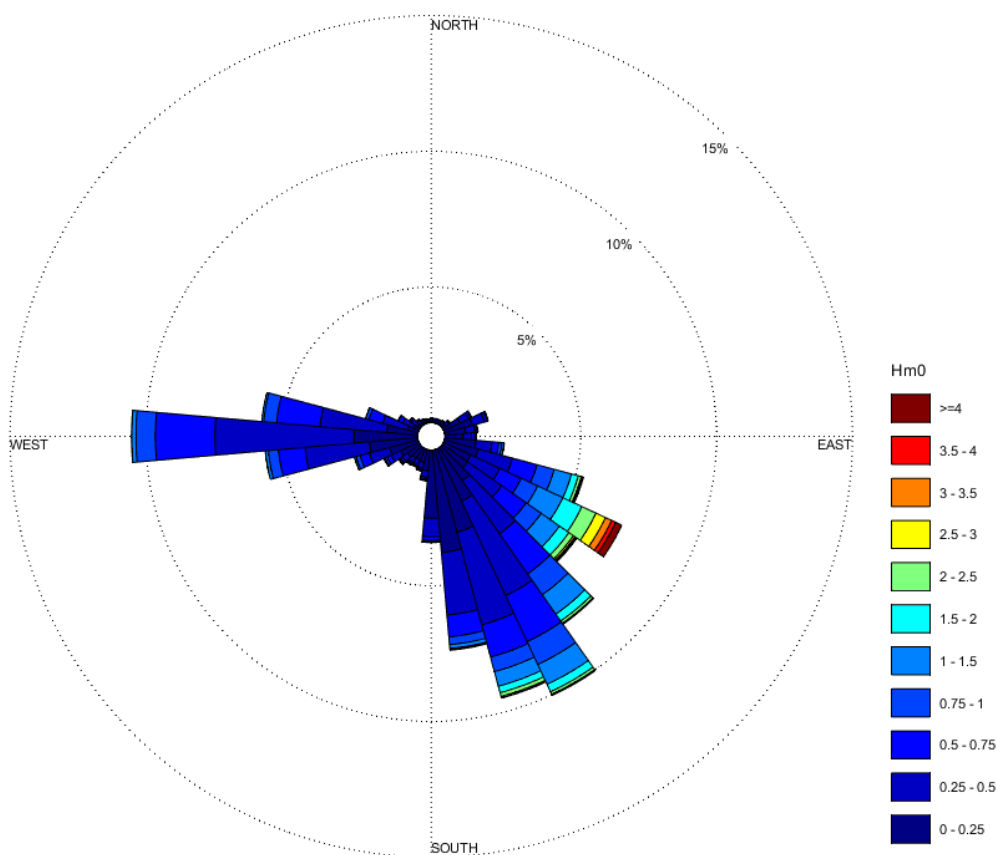


Figure 2.2 : Rose des houles - Base de données ANEMOC-2 au point : 43.26°N 3.52°E

Nous observons ainsi deux types de houles dominantes :

- ▶ Des houles de secteur Sud-Sud-Est à Est-Sud-Est : il s'agit du secteur le plus fréquent, observé plus de 75% du temps. Il s'agit également du secteur pour lequel les houles sont les plus fortes : les houles supérieures à 2m représentent 3% du temps (soit environ 10 jours par an) et sont principalement issue du secteur Est-Sud-Est.
- ▶ Des houles de secteur Ouest, plus faibles et moins fréquentes que le secteur Sud à Est : elles sont observées environ 25% du temps et dépassent très rarement les 0.5m.

D'une manière globale, les houles sont :

- ▶ Inférieures à 0.5m environ 65% du temps (soit 240 jours par an) ;
- ▶ Comprises entre 0.5m et 1.0m environ 25% du temps (soit 90 jours par an) ;
- ▶ Comprises entre 1.0 et 1.5m environ 5% du temps (soit 18 jours par an) ;
- ▶ Supérieures à 1.5m environ 5% du temps (soit 18 jours par an).

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE

	Hm0 [m]	Tp [s]								
		[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	[10-12]	[12-14]	>14	
ENE à ESE	[0-0,5]	0,2%	3,3%	2,3%	0,9%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	6,9%
	[0,5-1,0]	0,0%	0,1%	0,4%	0,8%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	1,9%
	[1,0-1,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,5%
	[1,5-2,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
	[2,0-2,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
	[2,5-3,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,0-3,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,5-4,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,0-4,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,5-5,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,0-5,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,5-6,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[6,0-6,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	>6,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		0,2%	3,4%	2,8%	2,0%	0,9%	0,2%	0,0%	0,0%	9,5%
SSE à SSO	[0-0,5]	0,2%	7,3%	6,7%	1,2%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	15,9%
	[0,5-1,0]	0,0%	0,1%	1,1%	1,4%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	2,8%
	[1,0-1,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%
	[1,5-2,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
	[2,0-2,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
	[2,5-3,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,0-3,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,5-4,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,0-4,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,5-5,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,0-5,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,5-6,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[6,0-6,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	>6,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		0,2%	7,4%	7,8%	3,3%	0,7%	0,2%	0,0%	0,0%	19,7%
ESE à SSE	[0-0,5]	0,2%	7,4%	7,8%	1,5%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	17,0%
	[0,5-1,0]	0,0%	0,5%	6,0%	2,8%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	9,8%
	[1,0-1,5]	0,0%	0,0%	1,2%	2,2%	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	4,0%
	[1,5-2,0]	0,0%	0,0%	0,1%	1,3%	0,6%	0,1%	0,0%	0,0%	2,0%
	[2,0-2,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	1,1%
	[2,5-3,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,5%
	[3,0-3,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%
	[3,5-4,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,2%
	[4,0-4,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
	[4,5-5,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%
	[5,0-5,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,5-6,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[6,0-6,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	>6,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		0,2%	7,9%	15,1%	8,4%	2,8%	0,8%	0,1%	0,0%	35,3%
OSO à ONO	[0-0,5]	1,5%	16,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,8%
	[0,5-1,0]	0,0%	7,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,3%
	[1,0-1,5]	0,0%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
	[1,5-2,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[2,0-2,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[2,5-3,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,0-3,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[3,5-4,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,0-4,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[4,5-5,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,0-5,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[5,5-6,0]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	[6,0-6,5]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	>6,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
		1,5%	23,6%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,5%

Figure 2.3 : Corrélation entre Hauteur de houle et période de pic pour les secteurs directionnels les plus fréquents - Point ANEMOC-2 aux coordonnées : 43.25°N/3.52°E

2.1.2. Conditions extrêmes

La base de données a été utilisée pour estimer les conditions extrêmes de houles au large du port.

L'approche d'analyse de valeurs extrêmes utilisée ici s'appuie sur la méthode POT (Peaks-Over-Threshold). Elle consiste à adapter une loi de distribution de type Weibull, Pareto, GEV (Generalized Extrem Value) ou exponentielle aux valeurs maximums de pics au-dessus d'un seuil pour chaque événement de tempête et à calculer les valeurs de retour en tenant compte du taux d'occurrence des dépassements du seuil (Figure 2.4). Dans des conditions très générales, cette procédure permet de garantir que les données appartenant à des pics différents soient indépendantes.

Pour étudier les conditions nominales extrêmes, la méthode POT a été appliquée sur les séries temporelles de données horaires du point ANEMOC-2 étudié.

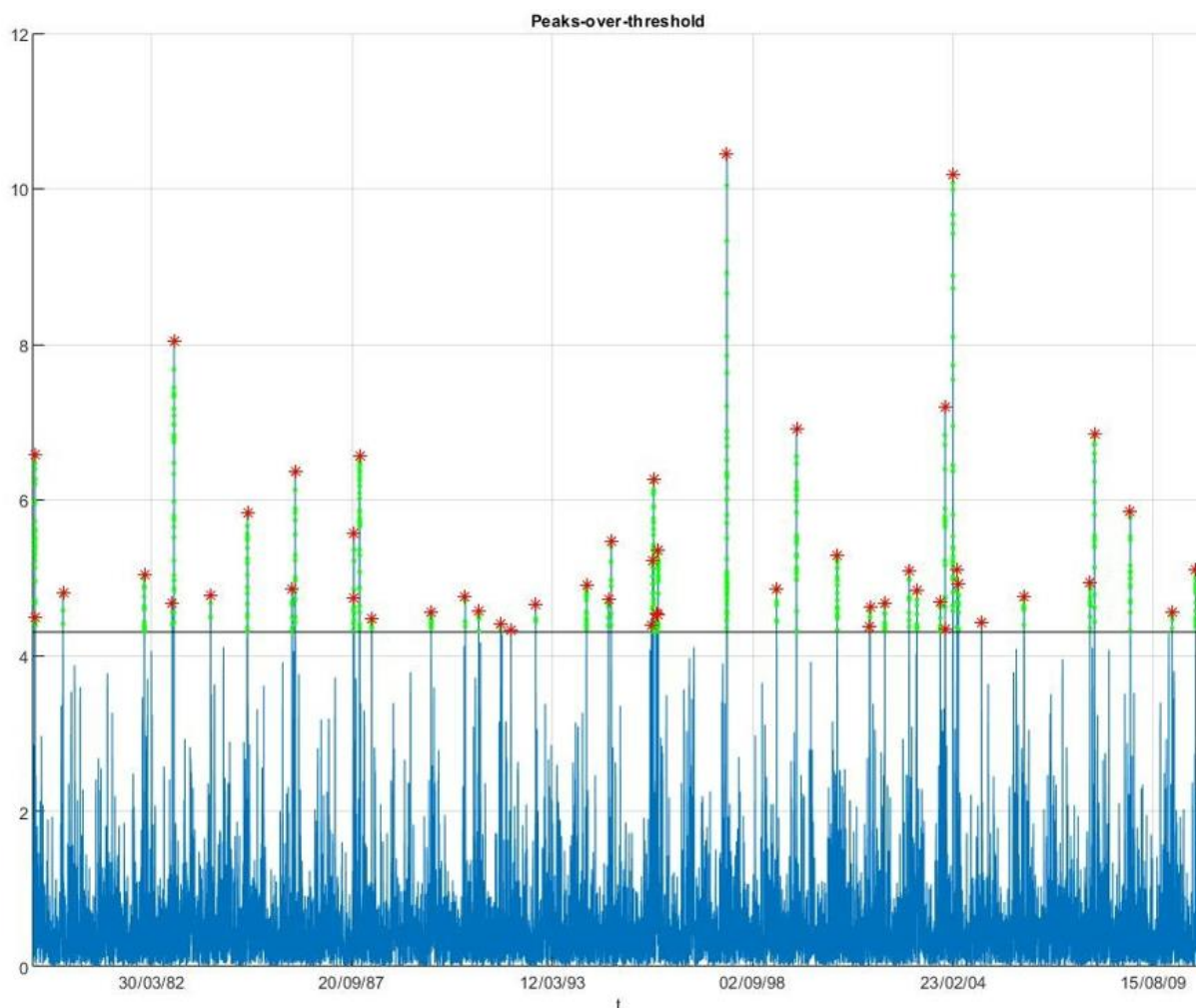


Figure 2.4 : Visualisation de la méthode POT appliquée à la série temporelle

Les résultats de ces statistiques en termes de houles de projet au large sont présentés sur la Figure 2.5.

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE

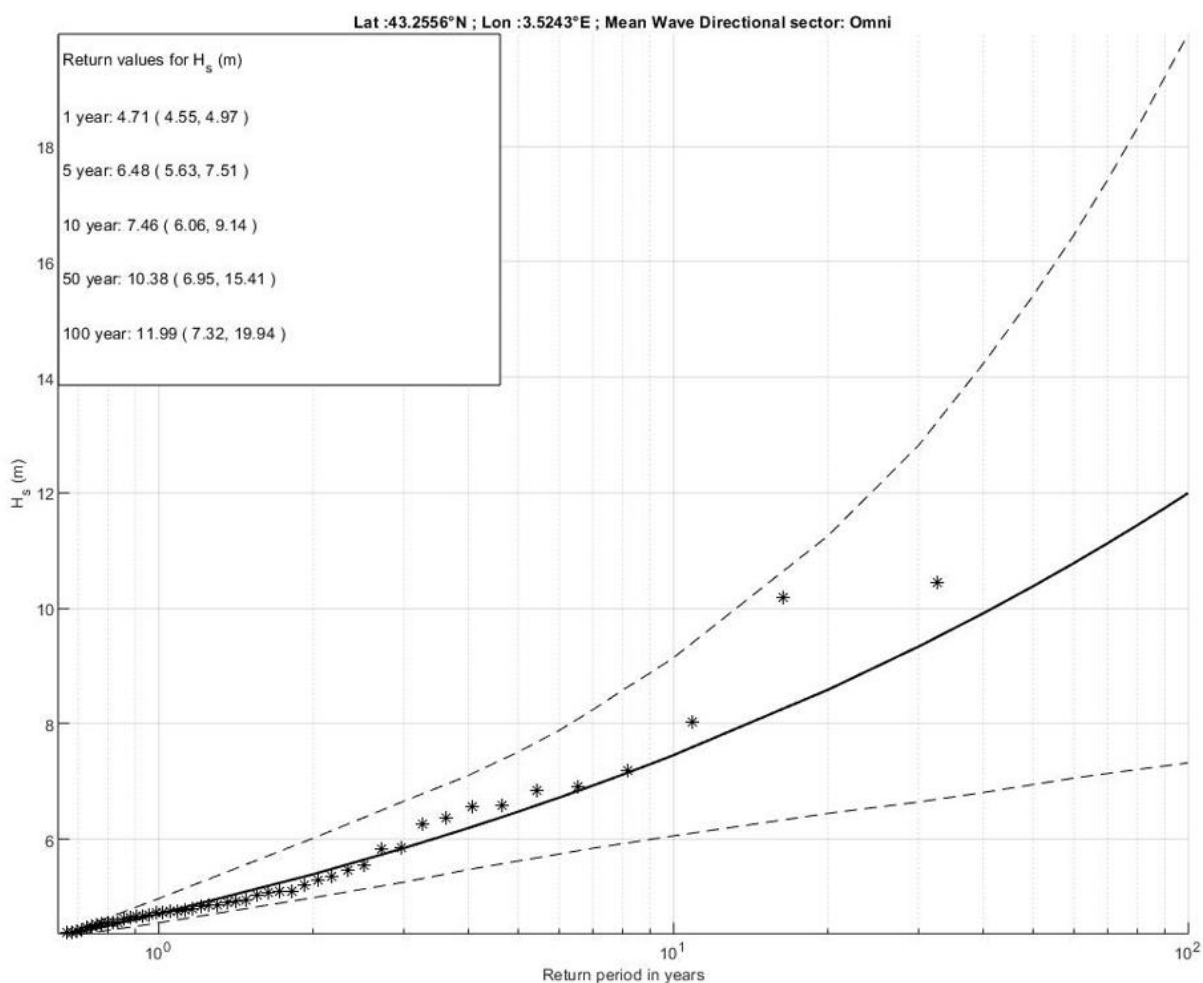


Figure 2.5 : Période de retour des houles sur le point ANEMOC-2 aux coordonnées : 43.25°N/3.52°E

Ainsi, les valeurs de hauteurs de houles extrêmes à environ 2km au large du port de Cap d'Agde (point 43.25°N / 3.52°E) à retenir sont les suivantes :

- ▶ 1an : $H_s=4.7m$;
- ▶ 5ans : $H_s=6.5m$;
- ▶ 10ans : $H_s=7.5m$;
- ▶ 50ans : $H_s=10.4m$.

2.2. Vents

Les données de vents présentées ci-après sont issues du modèle CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) faisant référence dans le domaine météorologique, sur une période allant de 1979 à 2021. Il s'agit d'un modèle représentant l'interaction globale entre les océans, les terres et l'atmosphère, offrant des données horaires avec une résolution horizontale allant jusqu'à un demi-degré (environ 56km). Ce modèle utilise les dernières approches scientifiques pour recueillir ou assimiler les observations provenant de sources de données comme les observations de surface, les observations en altitude par ballon, les observations par avion et les observations par satellite.

2.2.1. Climat de vent usuel

Nous avons extrait et traité les données de vent sur un point situé en mer à environ 5km au Sud de Cap d'Agde, permettant d'obtenir la rose des vents sur la zone. **Les vitesses présentées en Figure 2.6 sont moyennées sur une période de 10 minutes et obtenues à une altitude de 10 mètres.**

On observe que les vents sont très majoritairement issus du secteur Nord-Ouest (plus de 50% du temps), et plus rarement de Sud-Est. **Les vents de secteur Sud-Ouest pouvant générer un clapot local dans le port sont très peu fréquents et atteignent rarement des vitesses de 10 à 15m/s.**

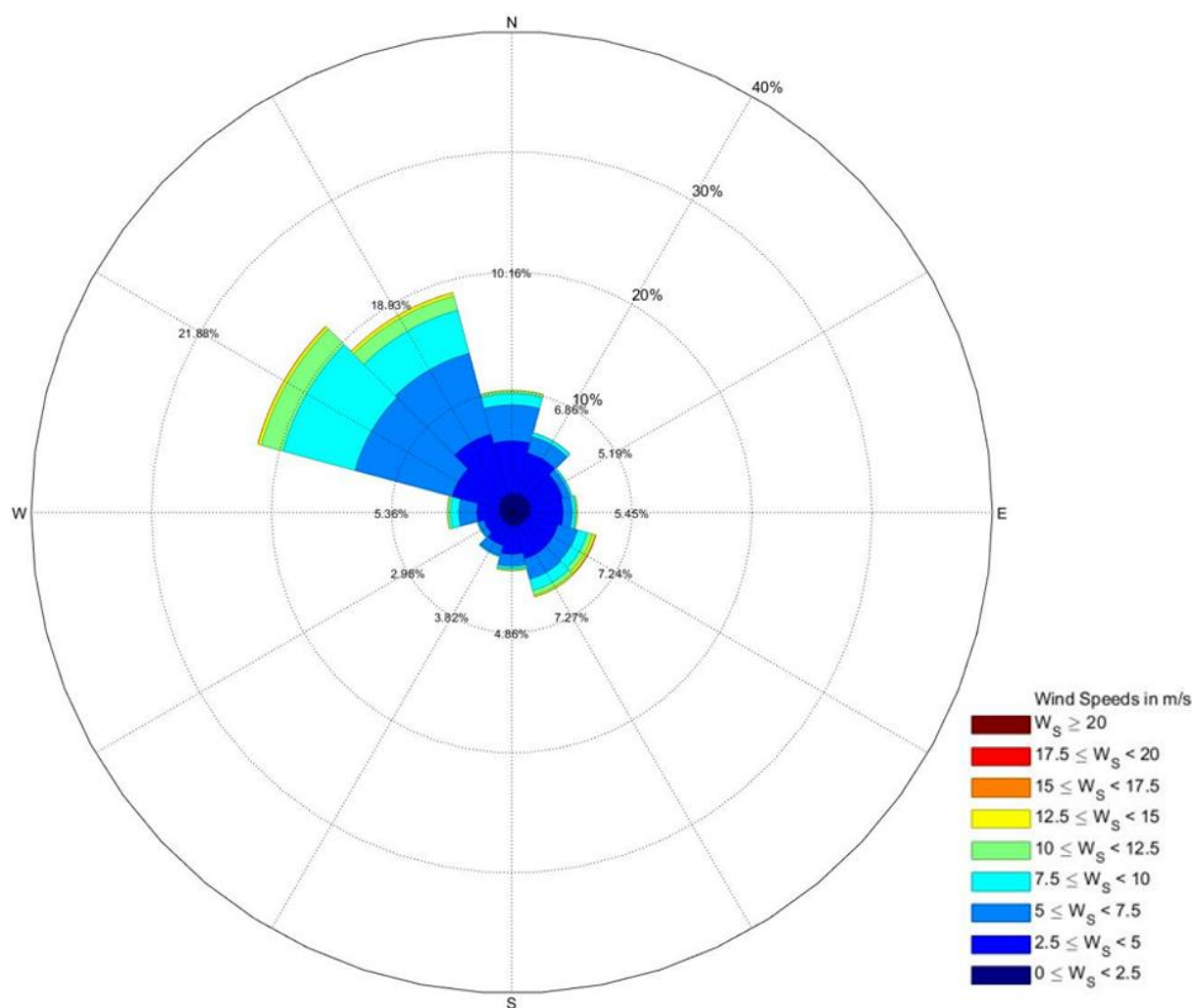


Figure 2.6 : Rose des vents à environ 5km au large de Cap d'Agde (modèle CFSR de la NOAA)

2.2.2. Climat de vent extrême

Une analyse statistique des vents extrêmes a été réalisée sur la base de la méthode POT décrite précédemment dans le cadre de l'analyse des houles extrêmes. Il en ressort que les vitesses de vents extrêmes (moyennées sur une période de 10 minutes et à une altitude de 10 mètres) sur la zone sont les suivantes :

- ▶ 1an : vent 17.0m/s ;
- ▶ 5ans : vent 19.7m/s ;
- ▶ 10ans : vent 20.8m/s ;
- ▶ 50ans : vent 23.2m/s.

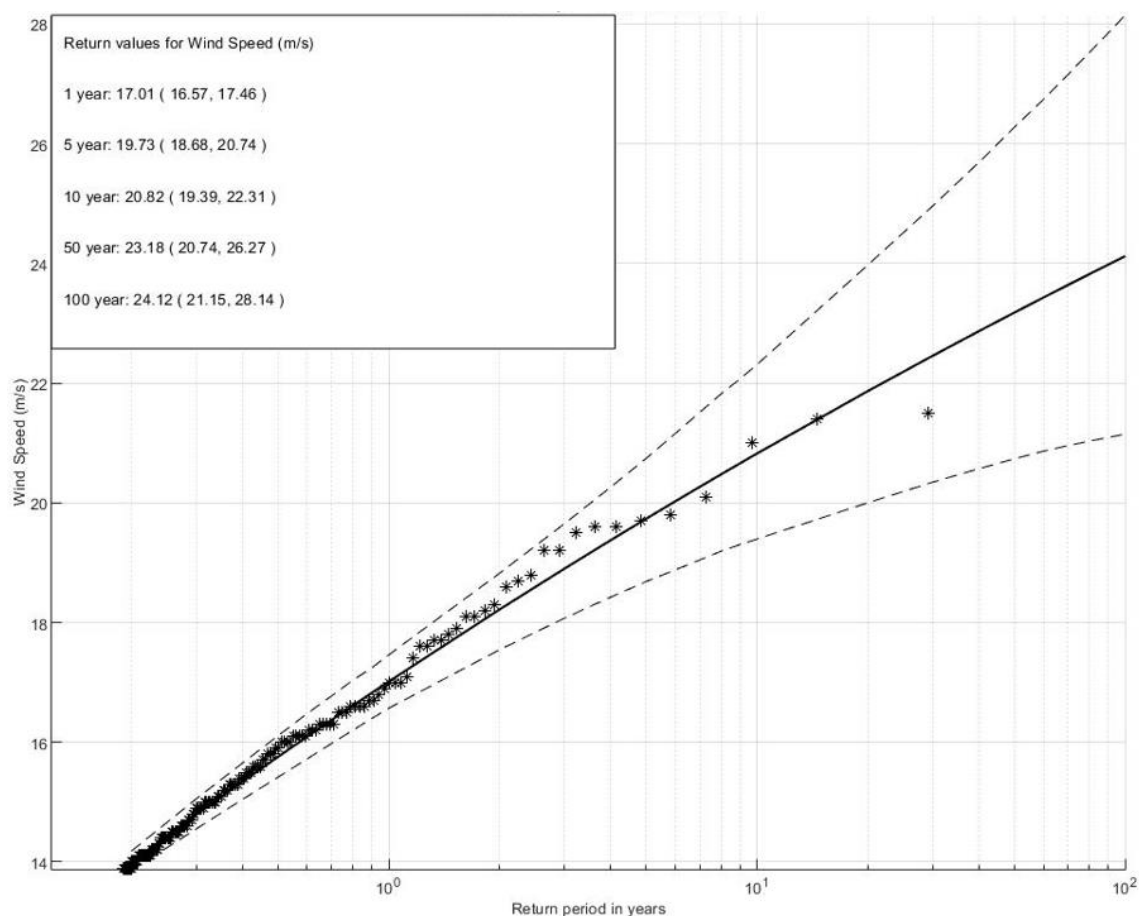


Figure 2.7 : Période de retour des vitesses de vent dans la zone de Cap d'Agde, vitesses moyennées sur 10 minutes et à une altitude de 10 mètres

2.3. Détermination des conditions de projet

Suite à l'étude des conditions de houles et vents au large du site d'étude, les scénarios retenus pour l'analyse de l'agitation dans le port du Cap d'Agde sont composés de :

- ▶ Onze conditions usuelles, pour lesquelles le niveau d'eau associé correspond au niveau moyen RAM, 2020) ;
- ▶ Six conditions extrêmes, pour lesquelles les niveaux d'eau associés correspondent aux niveaux extrêmes correspondants (CEREMA, 2018) ;
- ▶ Trois conditions de mer de vent, pour lesquelles le niveau d'eau associé correspond au niveau moyen RAM, 2020).

Pour les conditions de houles à modéliser, des tests de sensibilité ont été mis en place afin de déterminer les directions les plus pénalisantes tout en étant réalistes. Le port, du fait de son orientation, étant relativement bien protégé des houles venant des secteurs majoritaires ESE-SE et O-SO. En conséquence, la définition des conditions de projet prend en compte tous les paramètres évoqués, pour chaque secteur directionnel, les directions de houles sont choisies de façon à avoir un axe de houle pénétrant le plus à l'intérieur du bassin portuaire.

Des calculs de génération des clapots levés localement par le vent ont également été menés afin de connaître leur impact sur l'aménagement prévu. L'analyse du vent a plus particulièrement porté sur les vents les plus pénalisant pour la zone d'étude, à savoir des vents de secteur 200°N avec des vitesses de 5m/s, 10m/s, 15m/s et 23.2m/s (condition 50 ans) conformément aux données de site.

Les tableaux de synthèse ci-après récapitulent toutes les simulations retenues.

Tableau 2.1 : Tableau de synthèse des simulations pour les conditions fréquentes de houles

Scénario	Hauteur de houle	Période pic	Direction	Niveau d'eau
1	1.0 m	6 s	160°N	0.5 m CM
2	1.5 m	8 s	160°N	0.5 m CM
3	2.0 m	10 s	160°N	0.5 m CM
4	3.5 m	10 s	160°N	0.5 m CM
5	0.5 m	6 s	180°N	0.5 m CM
6	1.0 m	8 s	180°N	0.5 m CM
7	1.5 m	10 s	180°N	0.5 m CM
8	0.5 m	6 s	210°N	0.5 m CM
9	1.0 m	8 s	210°N	0.5 m CM
10	1.0 m	4 s	240°N	0.5 m CM
11	1.0 m	6 s	240°N	0.5 m CM

Tableau 2.2 : Tableau de synthèse des simulations pour les conditions extrêmes de houles

Scénario	Période de retour	Hauteur de houle	Période pic	Direction	Niveau d'eau
1	5 ans	6.5 m	12 s	130°N	0.89 m CM
2	50 ans	10.4 m	13 s	130°N	1.01 m CM
3	1 an	4.7 m	11 s	150°N	0.72 m CM
4	5 ans	6.5 m	12 s	150°N	0.89 CM
5	10 ans	7.5 m	13s	150°N	0.95 m CM
6	50 ans	10.4 m	13 s	150°N	1.01m CM

Tableau 2.3 : Tableau de synthèse des simulations de génération et propagation des clapots levés localement par le vent

Scénario	Vitesse du vent (moyennée sur 10min, altitude de 10m)	Direction du vent
Vent-1	5 m/s	200°N
Vent-2	10 m/s	200°N
Vent-3	15 m/s	200°N
Vent-50ans	23.2 m/s	200°N

3. Propagation des houles et mers de vents

3.1. Mise en place du modèle

3.1.1. Logiciel utilisé : MIKE SW (Spectral Wave)

Les calculs de propagation de la houle ont été réalisés à l'aide du modèle MIKE SW, développé par le Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SW est un modèle numérique de troisième génération qui permet le calcul des paramètres caractéristiques de la houle sur les domaines côtiers, les lacs et les estuaires à partir de conditions de houle fournies aux limites du domaine modélisé (conditions aux limites) et/ou de conditions de vent. Il s'agit d'un modèle spectral : la houle est décrite à travers la répartition de l'énergie en fréquences et en directions.

Le modèle est basé sur la résolution des équations de conservation de la densité d'action de houle en conditions stationnaires ou instationnaires. La densité d'action est déterminée à partir de la densité d'énergie exprimée en fonction de deux variables du domaine spectral : la fréquence et la direction.

MIKE SW permet la prise en compte de la majeure partie des phénomènes influant sur la génération et la propagation d'une houle sur un domaine côtier :

- ▶ Phénomènes de réfraction liés à l'évolution des fonds et/ou à l'interaction avec le courant ;
- ▶ Génération par le vent ;
- ▶ Dissipation de l'énergie par frottement sur le fond ;
- ▶ Dissipation de l'énergie par déferlement et/ou par moutonnement ;
- ▶ Interaction de houles ;
- ▶ Shoaling (levage) ;
- ▶ Réflexion (sur des ouvrages ou sur la côte) ;
- ▶ Diffraction.

3.1.2. Domaine, maillage et bathymétrie

Le maillage en éléments finis autorise une grande souplesse dans la représentation de zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner localement les mailles aussi précisément que voulu. Dans le modèle utilisé la taille des mailles est de l'ordre de 20 mètres aux limites du modèle tandis que dans les zones les plus sensibles proches du port, elle est d'environ 5 mètres. Cette gradation de la définition du maillage permet d'optimiser le rapport entre une bonne représentation des phénomènes physiques dans les petits fonds et des temps de calculs raisonnables.

Les données bathymétriques utilisées sont issues de :

- ▶ Lidar Litto3D de la façade Languedoc Roussillon issue d'une campagne SHOM de 2015 ;
- ▶ Modèle Numérique de Terrain HOMONIM du SHOM de la façade méditerranéenne ;
- ▶ Levé bathymétrique du bassin d'entrée du port de Cap d'Agde, fourni par le client.

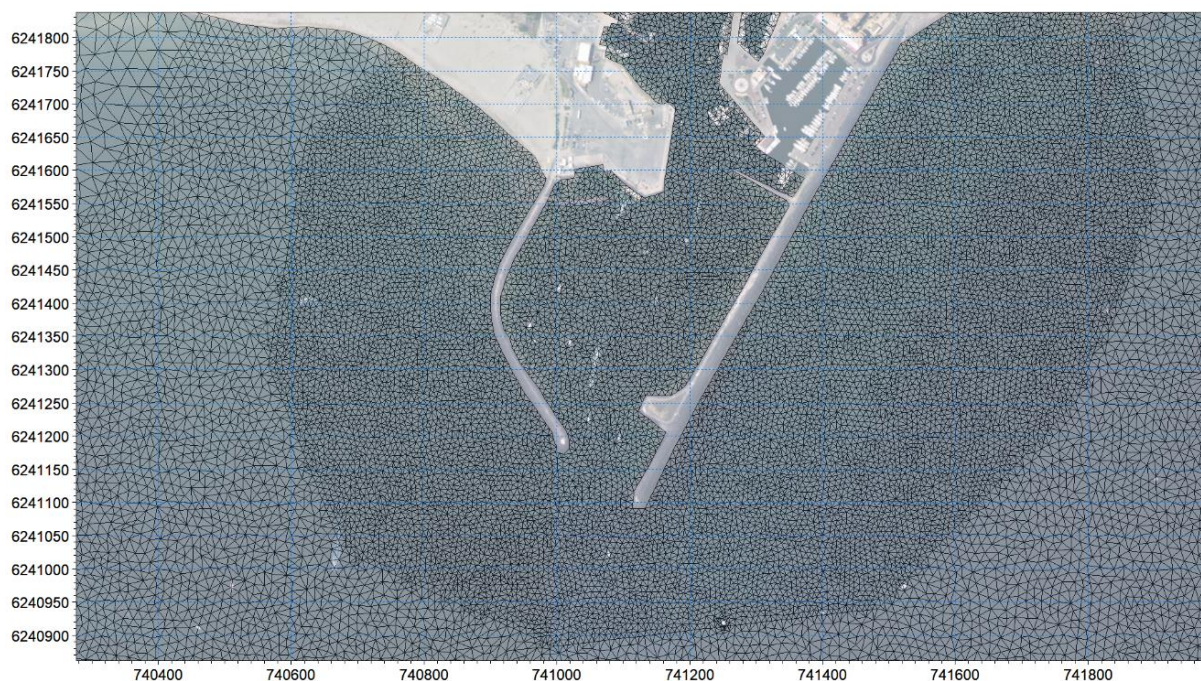


Figure 3.1 : Visualisation du maillage utilisé pour le modèle spectral de propagation - Zoom sur le port

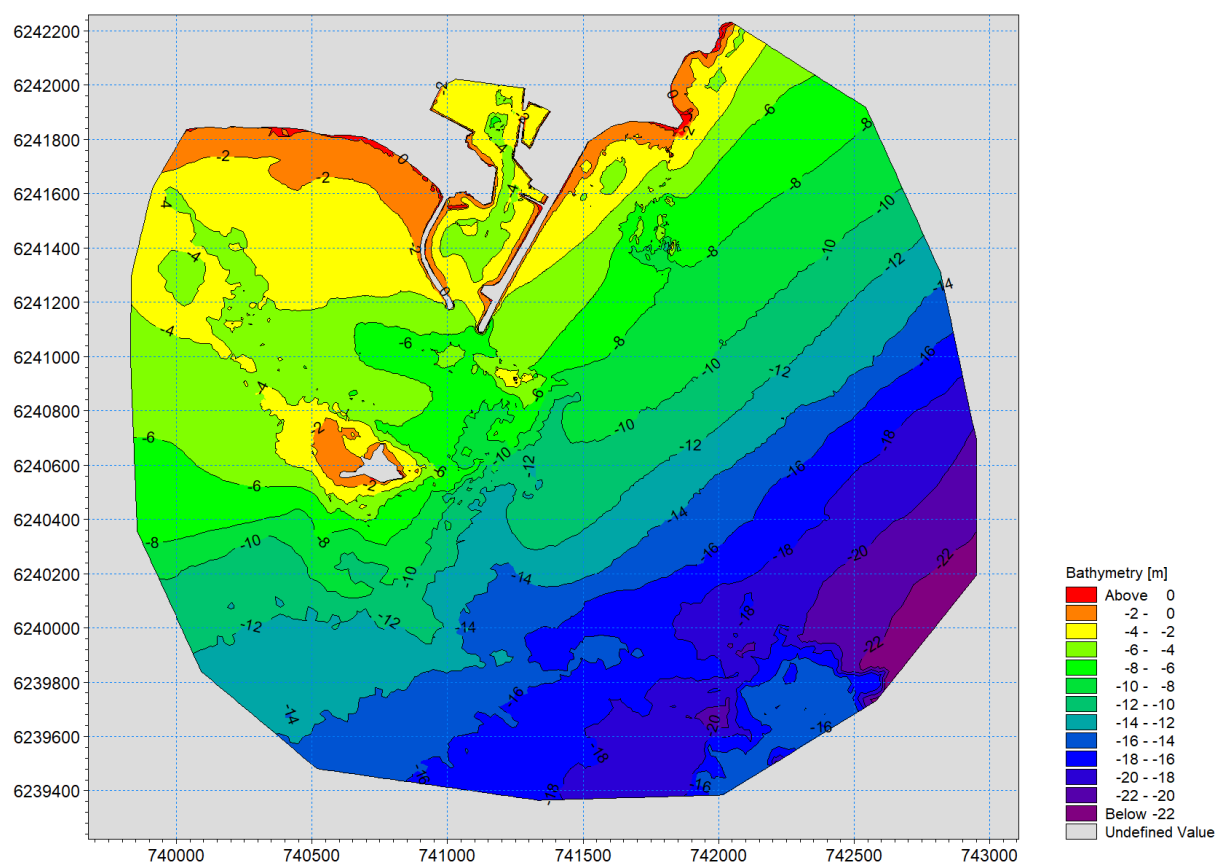


Figure 3.2 : Visualisation de la bathymétrie du modèle spectral de propagation

3.1.3. Conditions aux limites

Les conditions simulées ont été déterminées à partir des résultats de l'analyse statistique de la houle et du vent conduite en Section 2. Elles correspondent aux conditions de projet retenues.

Les conditions aux limites sont spécifiées en termes de paramètres spectraux de la houle aux limites marines du modèle. Pour les mers de vent locales, un champ de vent uniforme a été appliqué sur l'ensemble du modèle.

Les niveaux d'eau sont appliqués de manière constante, uniformément sur le modèle.

3.2. Résultats

Toutes les figures de résultats ont été ajoutées en annexes à la fin du document. Seuls trois résultats cartographiques sont présentés ci-dessous à titre d'exemple, deux cas de propagation de la houle du large (un cas de condition fréquente et un cas de condition extrême) et un cas de mer de vent locale.

L'objectif de ces modélisations de propagation est de fournir les conditions aux limites du modèle d'agitation portuaire mis en place en Section 4 .

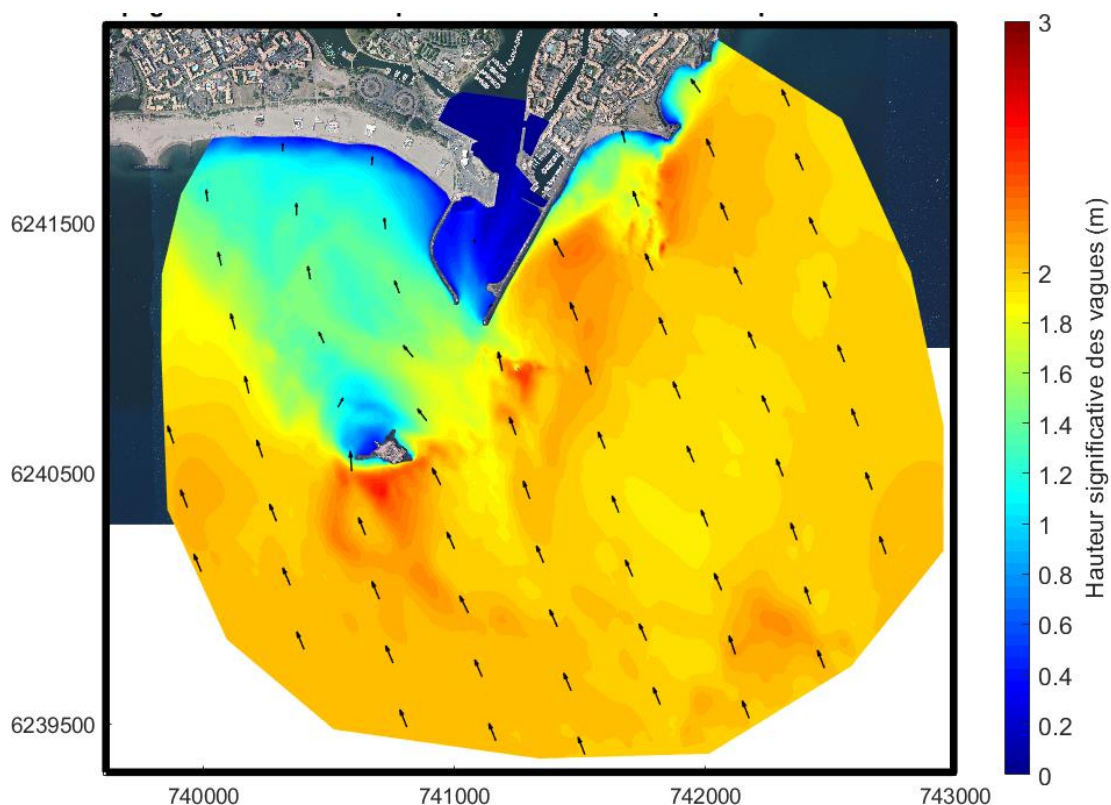


Figure 3.3 : Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation : $H_s=2.0m$ – $T_p=10s$ – $Dir=160^\circ N$

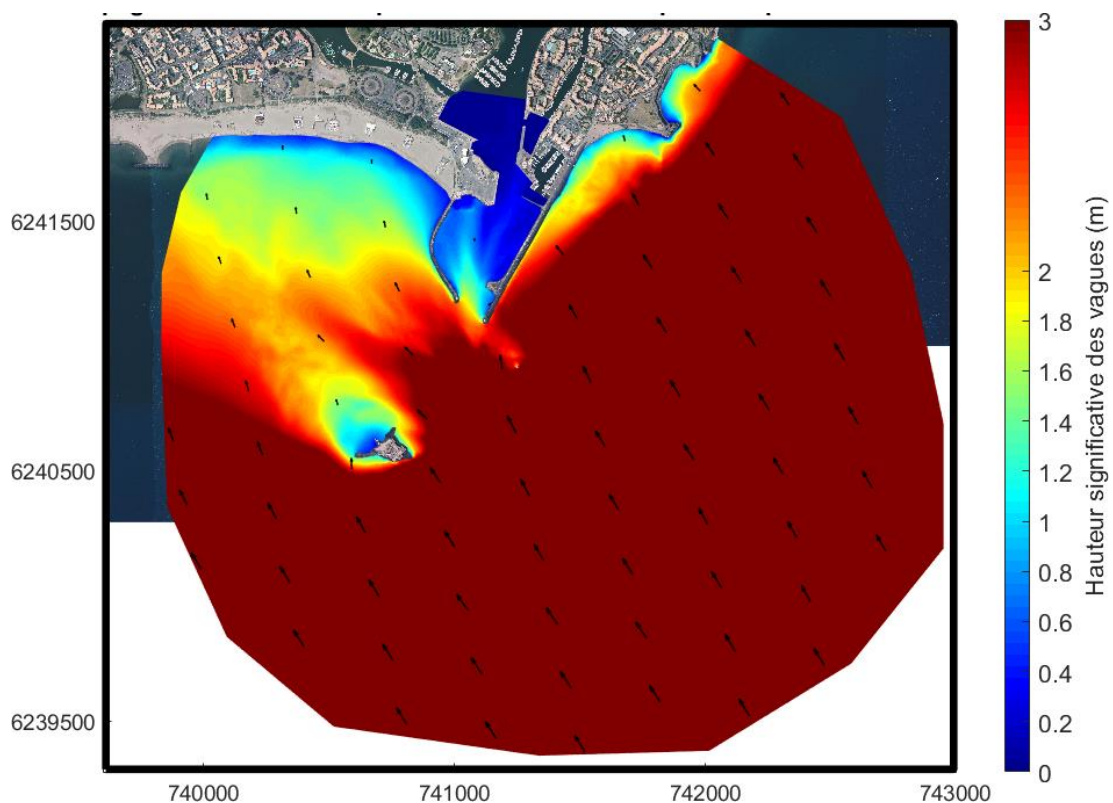


Figure 3.4: Propagation de la houle sur modèle spectral de propagation : $H_s=4.7\text{m}$ – $T_p=11\text{s}$ – $\text{Dir}=150^\circ\text{N}$

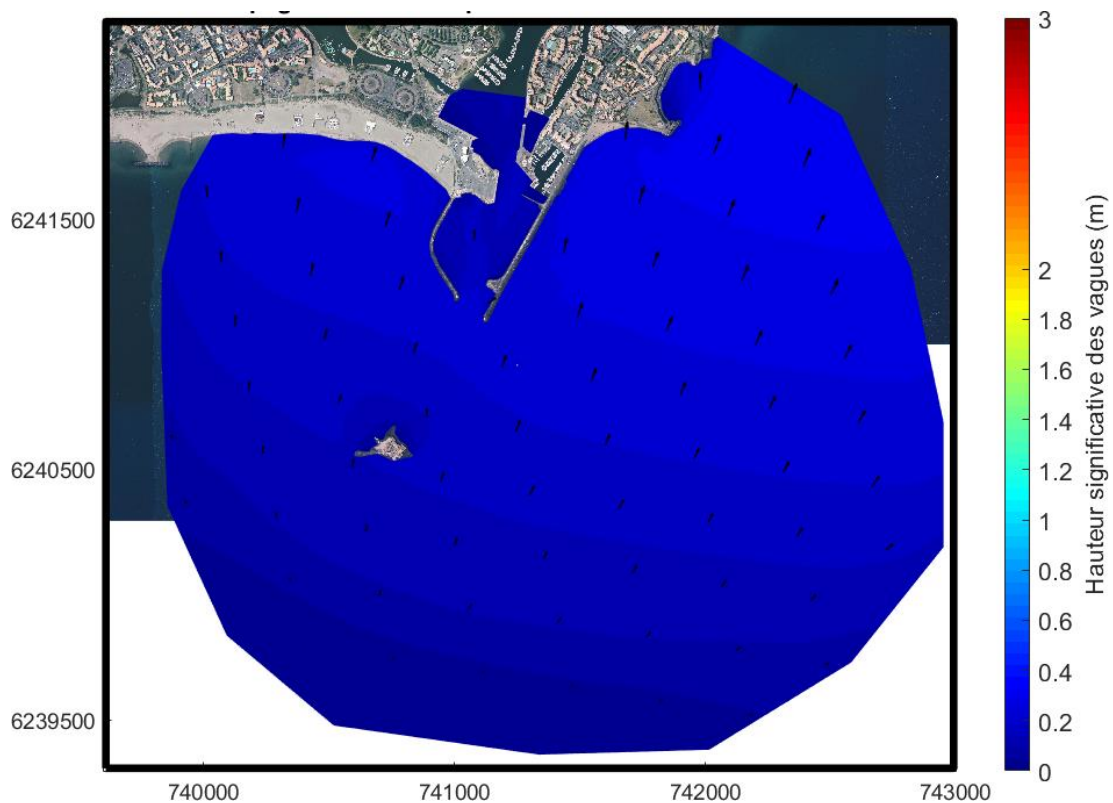


Figure 3.5: Génération et propagation des clapots levés localement par le vent : vitesse 10m/s, dir 200°N

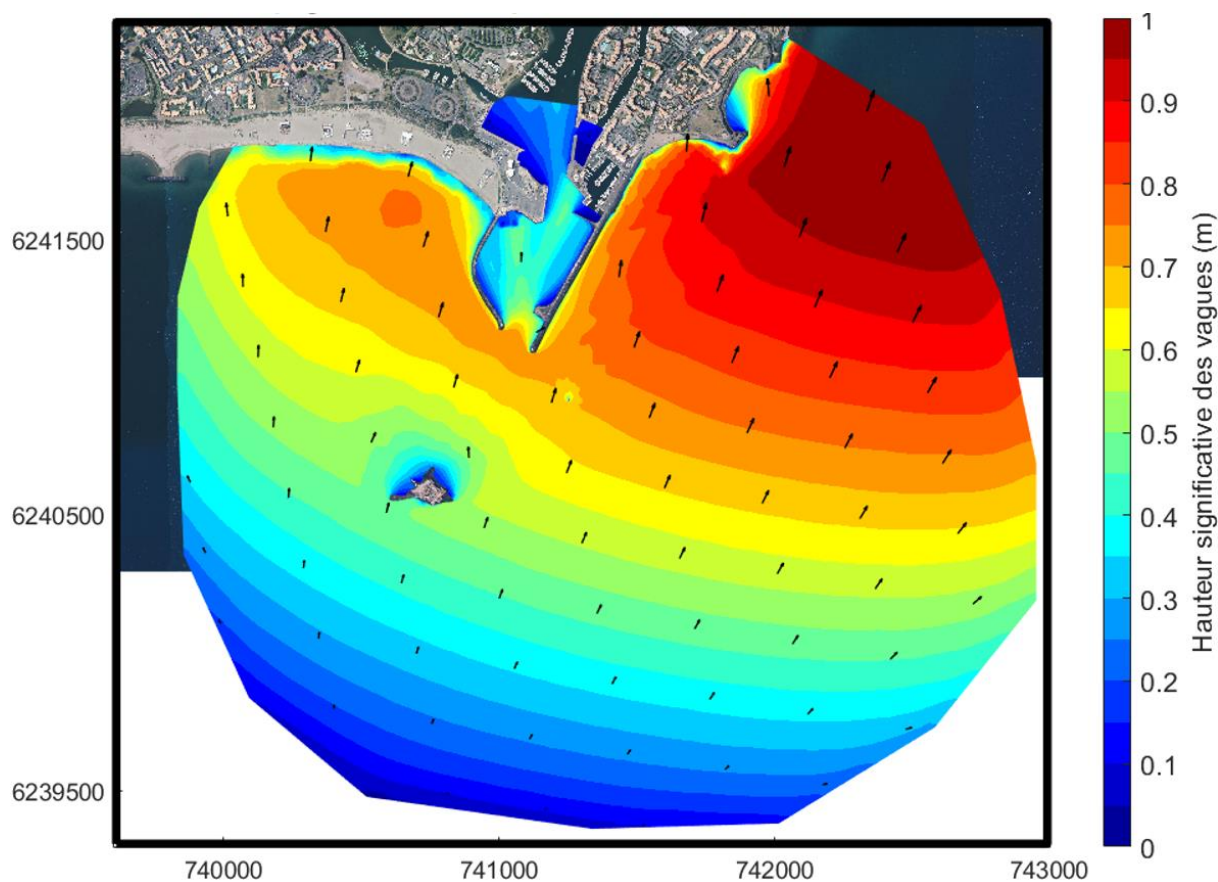


Figure 3.6 : Génération et propagation des clapots levés localement par le vent : vitesse 23.2m/s, dir 200°N (condition 50 ans)

Les résultats présentés ici n'ont pour objectif que de fournir les conditions aux limites du modèle d'agitation. Néanmoins, la lecture de ces résultats permet de dresser les constats suivants :

- ▶ La houle au large subit une atténuation par dissipation sur les fonds et par réfraction/diffraction autour de l'île du fort de Brescou, ce constat est bien visible sur les conditions extrêmes ;
- ▶ Les conditions de projet avec une grande longueur d'onde subissent une plus grande atténuation en se rapprochant du port que les conditions rentrant dans la gamme des basses longueurs d'onde ;
- ▶ L'île du fort de Brescou constitue une protection pour le port des houles de secteur Sud-Ouest à Ouest.

4. Modélisation de l'agitation portuaire

4.1. Objectifs et méthodologie

L'objectif du modèle d'agitation portuaire est d'étudier les effets de la houle sur le plan d'eau, en tenant compte des interactions houle/structures de type réflexion et diffraction. Les simulations permettent de caractériser l'agitation dans le port.

4.2. Mise en place du modèle

Le code ARTEMIS (Agitation and Refraction with TElemac on a MIld Slope), développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) de la Recherche et Développement d'EDF, résout l'équation de Berkhoff par une méthode d'éléments finis. Cette équation est déduite des équations de Navier-Stokes en prenant en compte un certain nombre d'hypothèses simplificatrices (faible cambrure de la houle, faible pente des fonds ...). ARTEMIS est capable de prendre en compte les phénomènes suivants :

- ▶ Réflexion de la houle par un obstacle ;
- ▶ Diffraction de la houle derrière un obstacle ;
- ▶ Réfraction de la houle par variation de la bathymétrie ;
- ▶ Houle monochromatique ;
- ▶ Houle aléatoire monodirectionnelle ou multidirectionnelle ;
- ▶ Frottement sur le fond ;
- ▶ Déferlement bathymétrique ;
- ▶ Phénomènes de dissipation par déferlement et/ou par frottement sur le fond.

4.2.1. Domaine, maillage et bathymétrie

Le maillage est constitué d'éléments finis triangulaires obtenus grâce au logiciel de pré et de post traitement Bluekenue. La taille des mailles est de 1 m et uniforme sur l'ensemble du modèle. Au total le modèle compte plus de 100 000 mailles.



Figure 4.1 : Visualisation du maillage utilisé pour le modèle d'agitation portuaire

4.2.2. Conditions aux limites

4.2.2.1. Frontière liquide

Les houles incidentes sont appliquées aux frontières liquides localisées au sud du port. Les hauteurs significatives H_s , Période de pic T_p et Direction de Pic D_p , sont extraites des simulations de propagation depuis le large (MIKE SW, voir chapitre précédent) puis imposées le long des frontières liquides du modèle ARTEMIS pour chacune des 17 simulations.

4.2.2.2. Frontières solides

Chaque limite solide est représentée par un coefficient de réflexion lui correspondant. Les coefficients sont en accord avec les valeurs préconisées par le CEREMA (CIRIA, CUR, CEREMA, 2014).

Le coefficient de réflexion est attribué à chaque ouvrage ou segment homogène du trait de côte en fonction de :

- ▶ La nature et la rugosité de l'ouvrage (béton, enrochement, blocométrie...) ;
- ▶ De la pente et l'inclinaison (quai vertical, enrochement à plat...) ;
- ▶ La cambrure et le degré d'exposition à la houle.

4.3. Présentation des résultats

Les résultats sont au niveau de la zone d'extraction illustrée sur la Figure 4.2 et sont présentés sous forme de :

- ▶ Cartographie des hauteurs de vagues ;
- ▶ Tableaux de synthèse des moyennes des hauteurs de vagues et des hauteurs de vagues les plus fortes dans la zone d'étude.



Figure 4.2 : Zone d'étude pour laquelle les valeurs de hauteurs de houles sont extraites du modèle d'agitation

4.3.1. Résultats pour les conditions fréquentes

Pour les différentes agitations en condition Sud-Sud-Est et Sud, les phénomènes de propagation réflexion diffraction sont relativement similaires. L'augmentation de la hauteur de houle au large agit de manière proportionnelle sur l'intensité de l'agitation dans le bassin. Les figures ci-après montrent une pénétration de la houle à l'intérieur du bassin portuaire, une grande partie de la houle est atténuée par le brise-lame situé à l'intérieur du port, en conséquence de la réflexion, une agitation résiduelle se crée sur une grande partie du bassin.

En ce qui concerne les conditions de direction Sud-Sud-Ouest, les figures montrent une direction différente de propagation de houle à l'intérieur du bassin, la houle pénétrante accède plus facilement au bassin. Contrairement aux conditions d'agitation SSE ou la majorité de l'énergie de houle est atténuée par le brise-lame, les scénarios SSO sont les plus pénalisants en termes de direction. La houle se propage à l'intérieur du bassin une partie de la houle se dirige vers l'Ouest et se réfléchit contre le brise-lame, une deuxième partie de la houle continue à se propager plus à l'intérieur ou elle s'atténue par l'épis situé au Nord-Est du bassin, une dernière partie de la houle réussit à atteindre le ponton d'accueil situé au niveau de la capitainerie. Le scénario 9 des conditions SSO est le plus pénalisant, l'agitation enregistrée au niveau du ponton est comprise entre 20 et 30cm.

Concernant la direction Ouest-Sud-Ouest, les houles pénètrent légèrement l'entrée du port ou une grande partie de l'énergie de houle s'atténue au contact de la digue d'enclosure principale. Une agitation résiduelle se crée à l'intérieur du bassin mais reste relativement faible.

Une partie des scénarios sont illustrés dans les graphiques ci-après, les autres résultats sont présentés en annexe.

Le Tableau 4.1 fournit les hauteurs de houles dans la zone d'étude pour des conditions fréquentes

Tableau 4.1 : Tableau de synthèse des hauteurs de houles dans la zone d'étude pour des conditions fréquentes

Scénario	Hs moyen dans la zone	Moyennes des plus grands Hs dans la zone
Sc 1 : Hs1.0m-Tp6s-Dir160°N	0.05 m	0.06 m
Sc 2 : Hs1.5m-Tp8s-Dir160°N	0.07 m	0.10 m
Sc 3 : Hs2.0m-Tp10s-Dir160°N	0.10 m	0.14 m
Sc 4 : Hs3.5m-Tp10s-Dir160°N	0.15 m	0.20 m
Sc 5 : Hs0.5m-Tp6s-Dir180°N	0.03 m	0.04 m
Sc 6 : Hs1.0m-Tp8s-Dir180°N	0.06 m	0.08 m
Sc 7 : Hs1.5m-Tp10s-Dir180°N	0.07 m	0.09 m
Sc 8 : Hs0.5m-Tp6s-Dir210°N	0.07 m	0.09 m
Sc 9 : Hs1.0m-Tp8s-Dir210°N	0.16 m	0.23 m
Sc 10 : Hs1.0m-Tp4s-Dir240°N	0.04 m	0.06 m
Sc 11 : Hs1.0m-Tp6s-Dir240°N	0.06 m	0.08 m

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP
D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP
D'AGDE

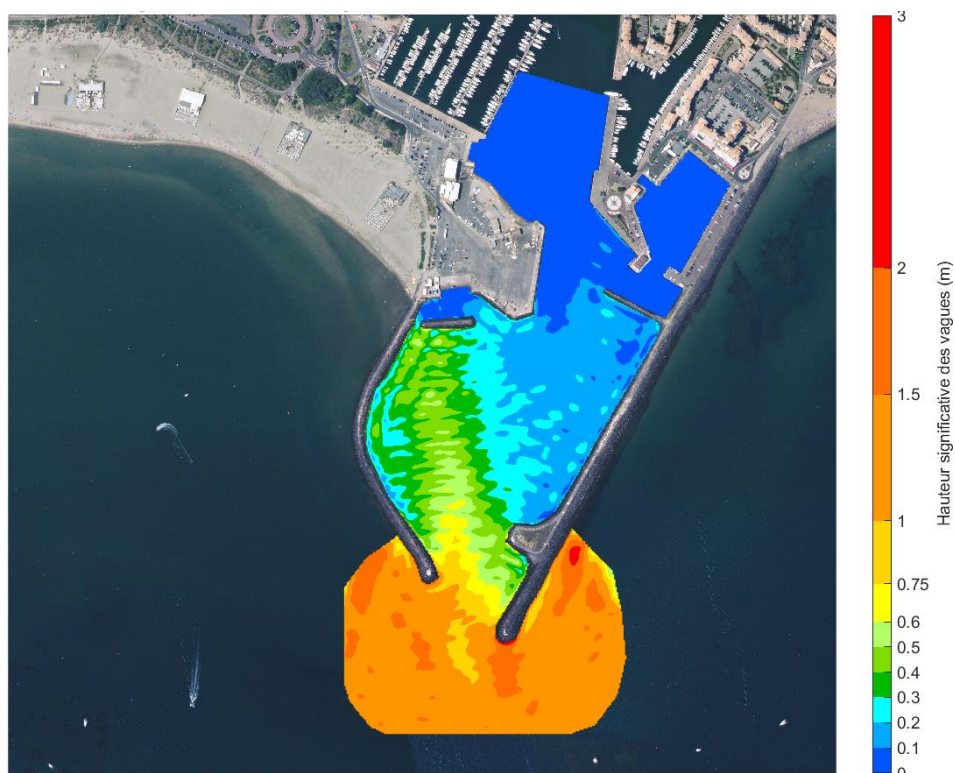


Figure 4.3 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 2 – $H_s=1.5m$, $T_p=6s$, $Dir=160^\circ N$

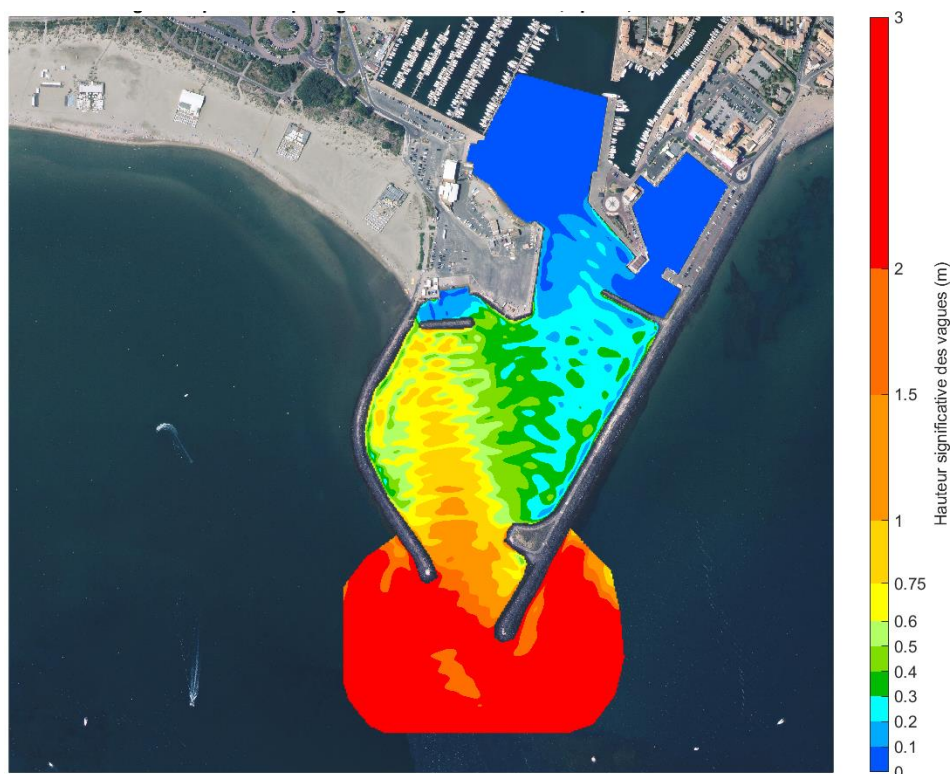


Figure 4.4 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 4 – $H_s=3.5m$, $T_p=10s$, $Dir=160^\circ N$

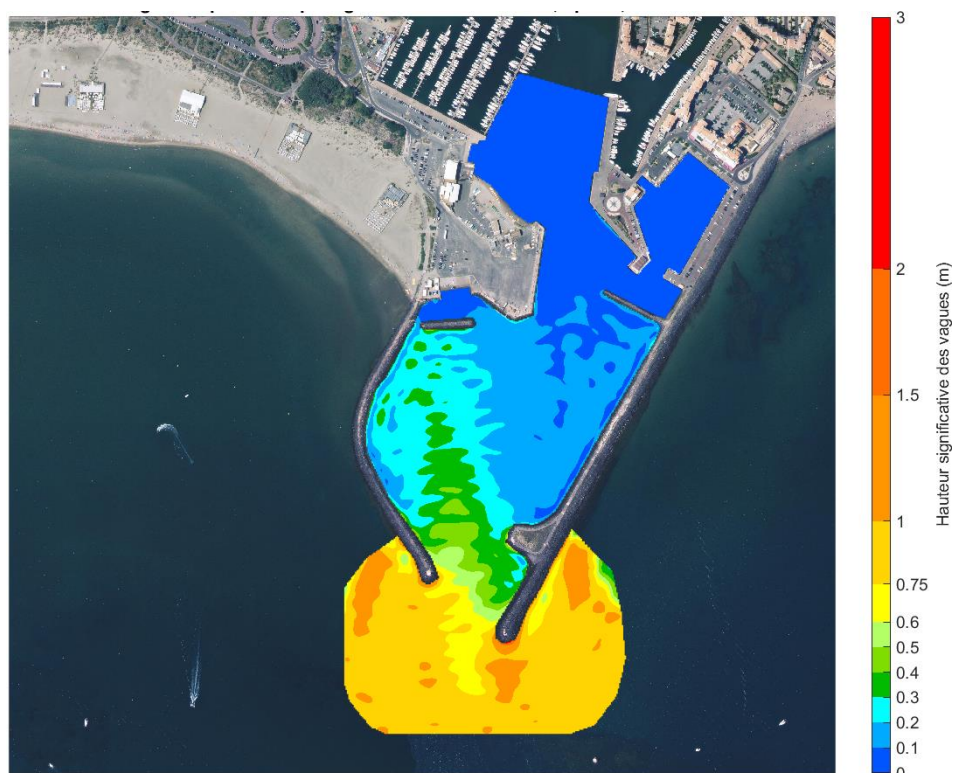


Figure 4.5 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 6 – $H_s=1.0m$, $T_p=8s$, $Dir=180^\circ N$

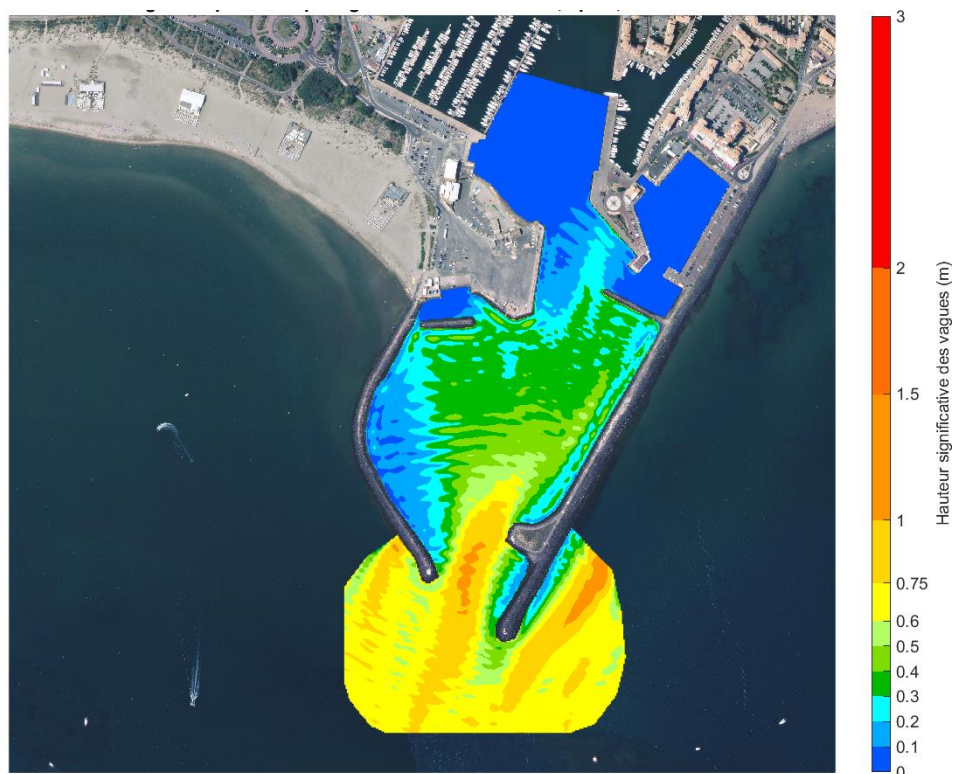


Figure 4.6 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 9 – $H_s=1.0m$, $T_p=8s$, $Dir=210^\circ N$

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP
D'AGDE

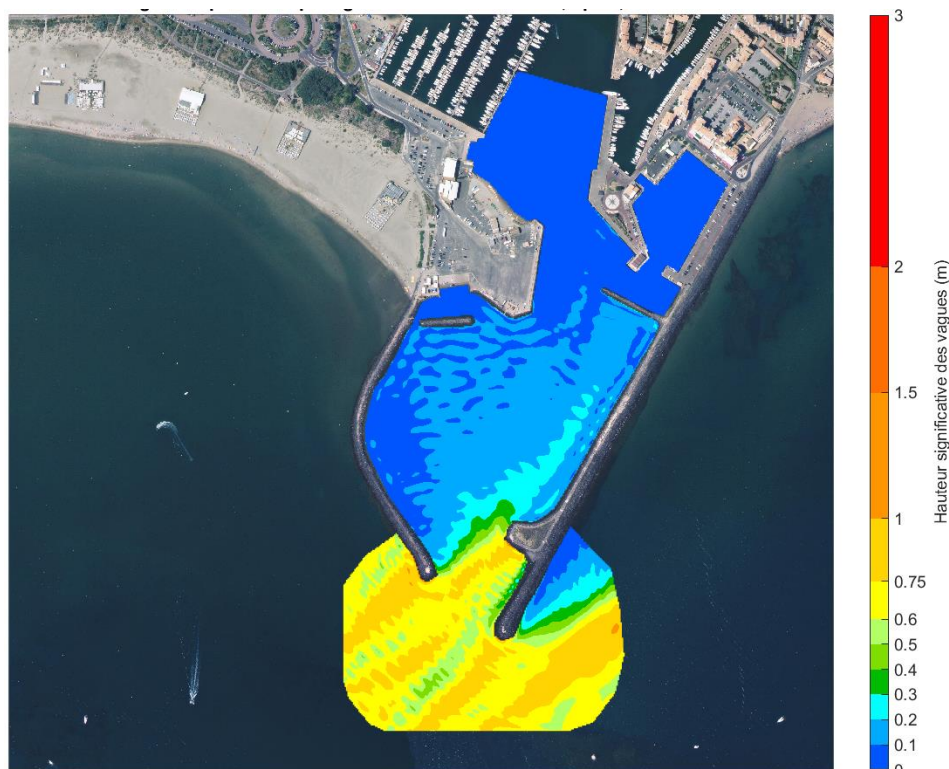


Figure 4.7 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 11 – $H_s=1.0m$, $T_p=6s$, $Dir=240^\circ N$

4.3.2. Résultats pour les conditions extrêmes

Comme présenté dans le chapitre précédent, les analyses des extrêmes concernent les cas les plus pénalisants, mais toujours réalistes. Globalement des houles importantes se propagent à l'intérieur du bassin portuaire. A l'entrée du port une grande partie de la houle est atténuée par la digue d'enclosure néanmoins une grande agitation dans l'avant-port est enregistrée, le brise-lame et l'épi atténuent la propagation de l'agitation à l'intérieur du port, et la zone d'étude est globalement bien abritée.

Quelques planches de résultats sont présentées ci-dessous, le reste des planches sont annexées.

Tableau 4.2 : Tableau de synthèse des hauteurs de houles dans la zone d'étude pour des conditions extrêmes

Scénario	Hs moyen dans la zone	Moyennes des plus grands Hs dans la zone*
Sc 1 : 5ans-130°N	0.15 m	0.21 m
Sc 2 : 50ans-130°N	0.20 m	0.28 m
Sc 3 : 1an-150°N	0.16 m	0.22 m
Sc 4 : 5ans-150°N	0.15 m	0.21 m
Sc 5 : 10ans-150°N	0.17 m	0.24 m
Sc 6 : 50ans-150°N	0.18 m	0.24 m

* Moyenne des 30% des plus grandes Hs estimées dans la zone

4.3.3. Résultats pour les clapots levés localement par le vent

Le Tableau 4.3 fournit les hauteurs de houles dans la zone d'étude pour les clapots levés localement par le vent.

Tableau 4.3: Tableau de synthèse des caractéristiques de clapots levés localement par le vent

Scénario	Hs moyen dans la zone	Moyennes des plus grands Hs dans la zone*	Période pic Tp
5 m/s – 200°N	0.05 m	0.06 m	1.5 s
10 m/s – 200°N	0.12 m	0.15 m	2.0 s
15 m/s – 200°N	0.22 m	0.27 m	3.0 s
23.2 m/s – 200°N	0.36 m	0.44 m	3.5 s

* Moyenne des 30% des plus grandes Hs estimées dans la zone

5. Conclusion

Une étude d'agitation a été réalisée pour le port du Cap d'Agde. Les données d'entrée sont issues de la base de données ANEMOC-2 Méditerranée, sur un point situé à environ 2km au large du port. Un traitement statistique des conditions fréquentes et extrêmes a été réalisé sur ce point, et les états de mer définis ont été propagés jusqu'à l'entrée du port à l'aide d'un modèle de propagation de la houle spectral (Mike SW). Enfin, les conditions de houles à l'entrée du port ont été injectées dans un modèle d'agitation portuaire (ARTEMIS) qui permet de prendre en compte les phénomènes principaux en domaine portuaire (diffraction, réflexion, réfraction). Les résultats montrent que la zone d'accueil au droit de la capitainerie est relativement bien protégée des houles du large qui viennent principalement du secteur Sud-Est : en conditions extrêmes, les hauteurs de houles dans la zone ont des valeurs autour de $H_s = 0.2$ à 0.3 m.

La zone est également relativement bien protégée des clapots générés localement par le vent, principalement du fait que les vents sont très majoritairement issus du secteur Nord-Ouest et du secteur Sud-Est : deux secteurs pour lesquels le port est bien protégé. Les vents de secteur Sud à Ouest, impactant potentiellement le port sont peu observés, seulement 17% du temps. Un clapot extrême de période de retour 50 ans venant du Sud-Ouest présentera un H_s autour de 0.4 m pour une période pic T_p de 3.5 s dans la zone d'étude.

6. Références

- ▶ CEREMA, 2018, Les niveaux marins extrêmes Ports de métropole.
- ▶ CIRIA, CUR, CEREMA, 2014, Guide Enrochement - L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques.
- ▶ SHOM, 2020, Références Altimétriques Maritimes Ports de France métropolitaine et d'outre-mer.

ANNEXES

ANNEXE 1 : RESULTATS COMPLETS CONDITIONS FREQUENTES
ANNEXE 2 : RESULTATS COMPLETS CONDITIONS EXTREMES

7. Annexe 1 : Résultats complets conditions fréquentes

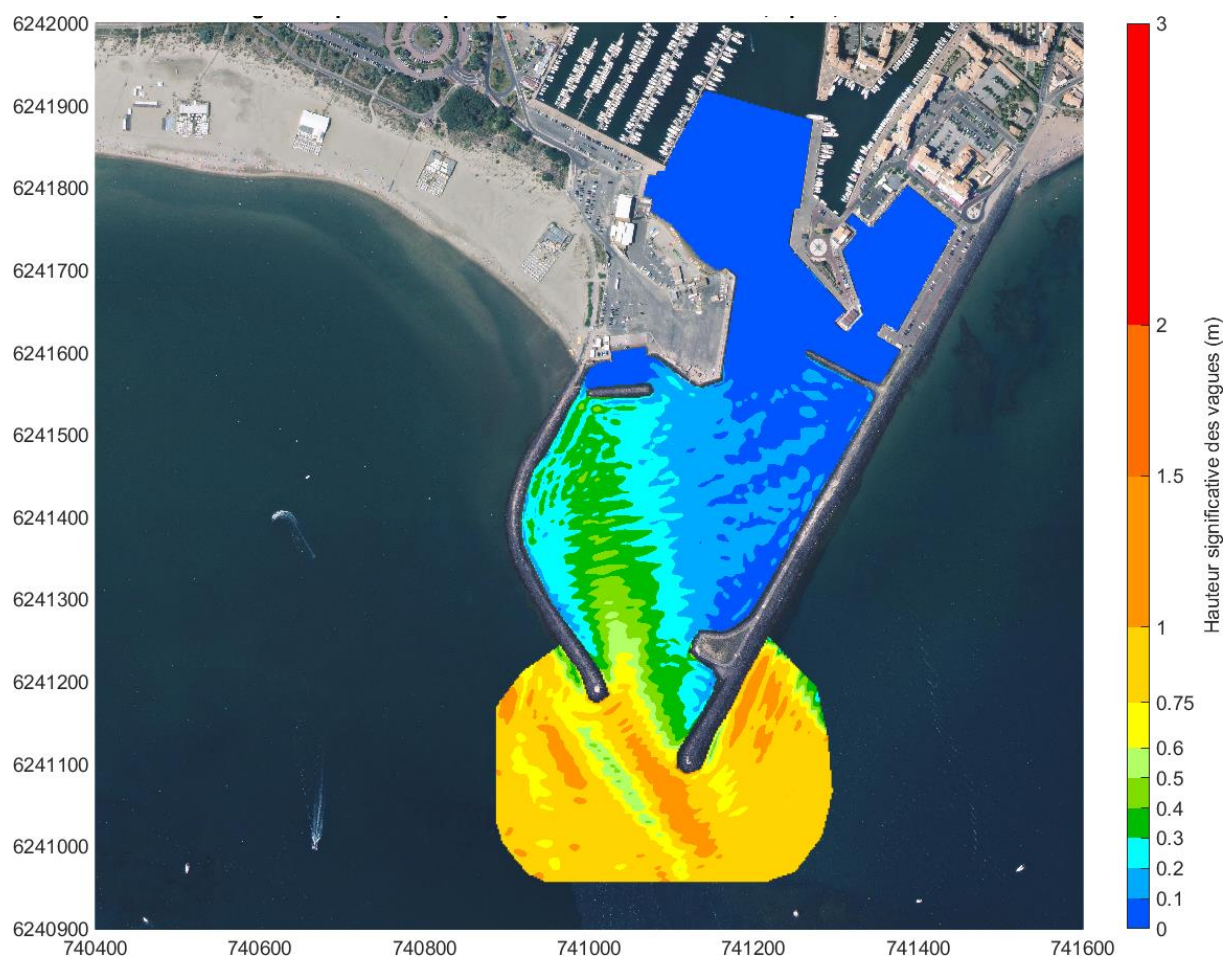


Figure 7.1 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 1 – $H_s=1.0m$, $T_p=6s$, $Dir=160^\circ N$

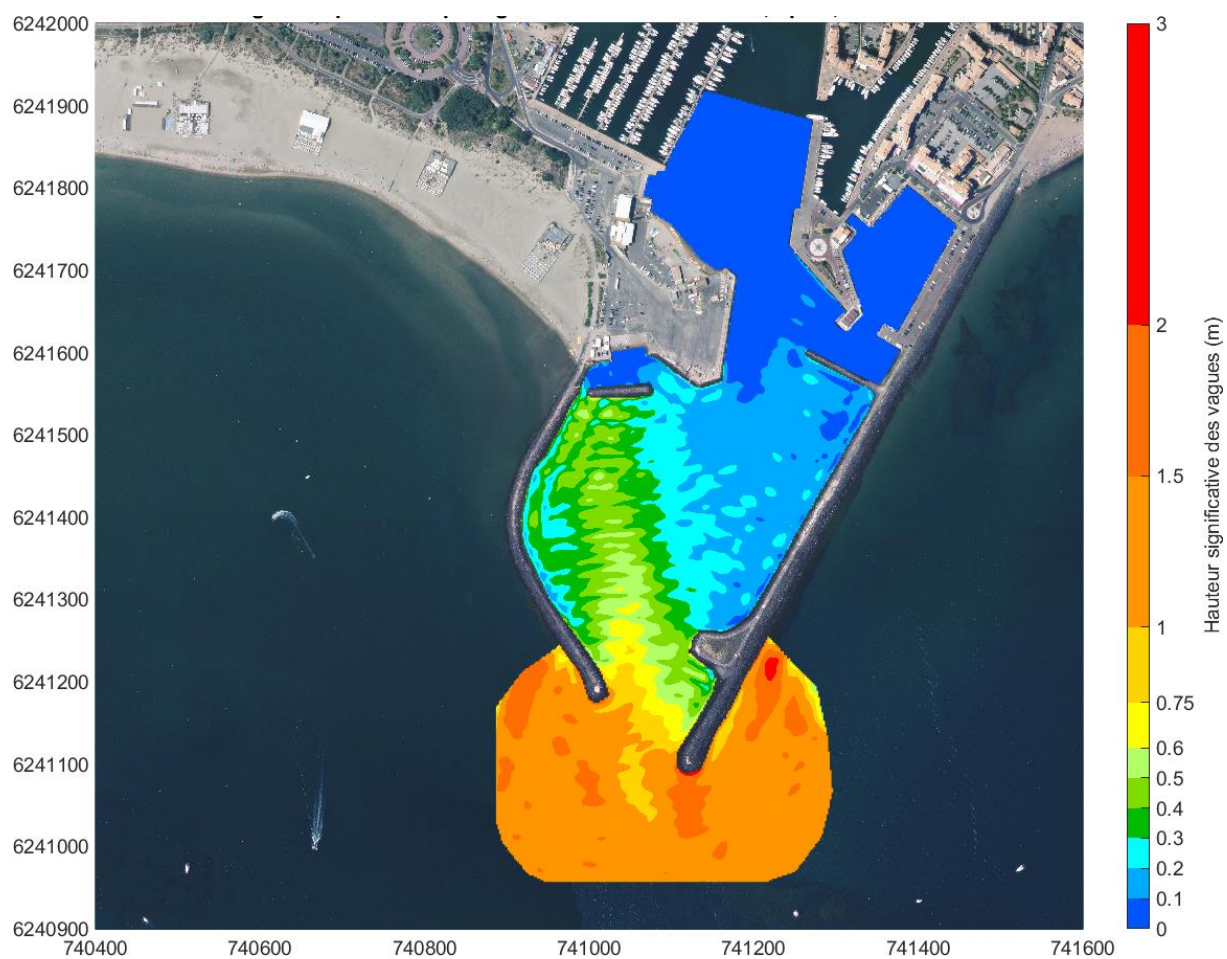


Figure 7.2 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 2 – $H_s=1.5m$, $T_p=8s$, $Dir=160^\circ N$

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE

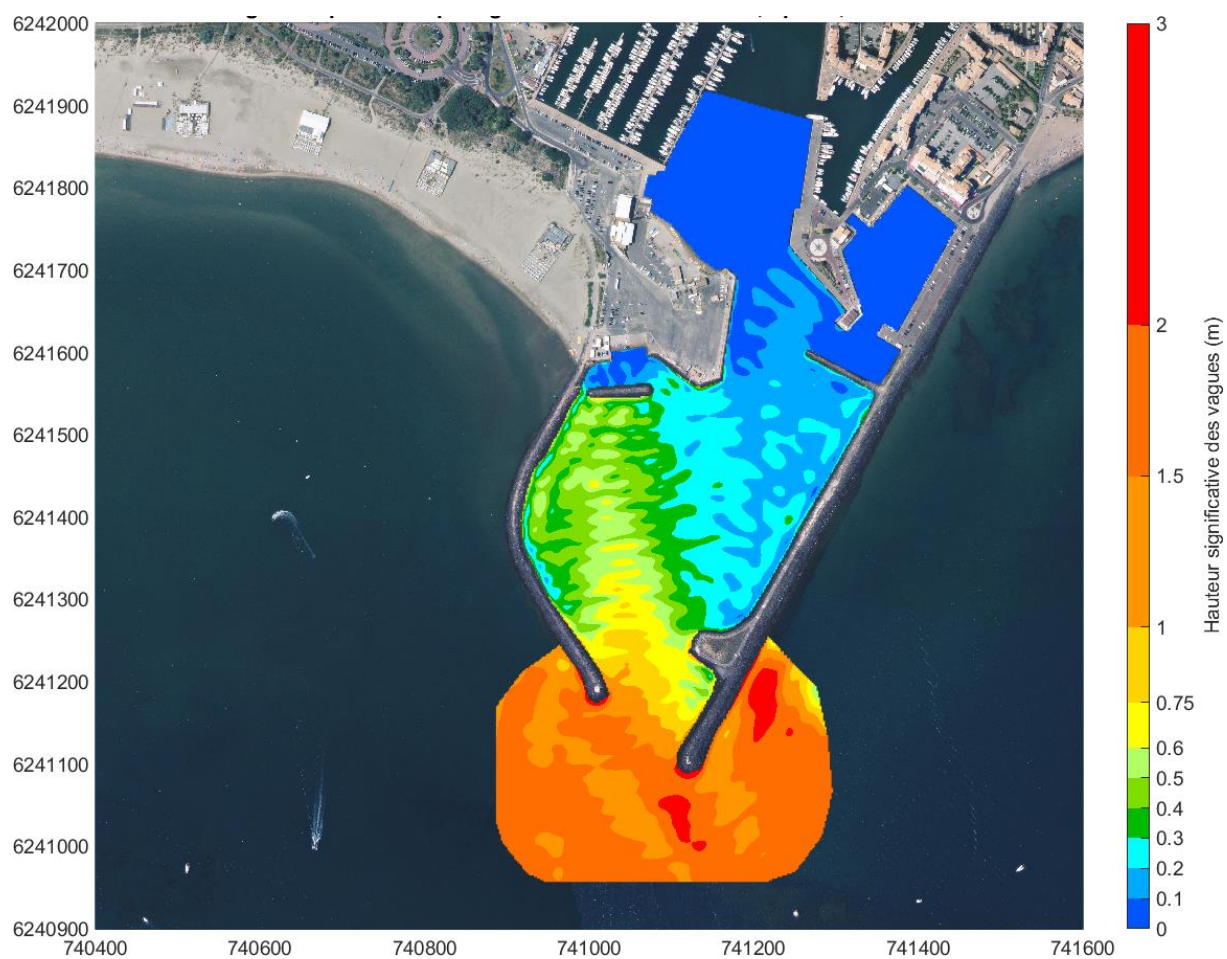
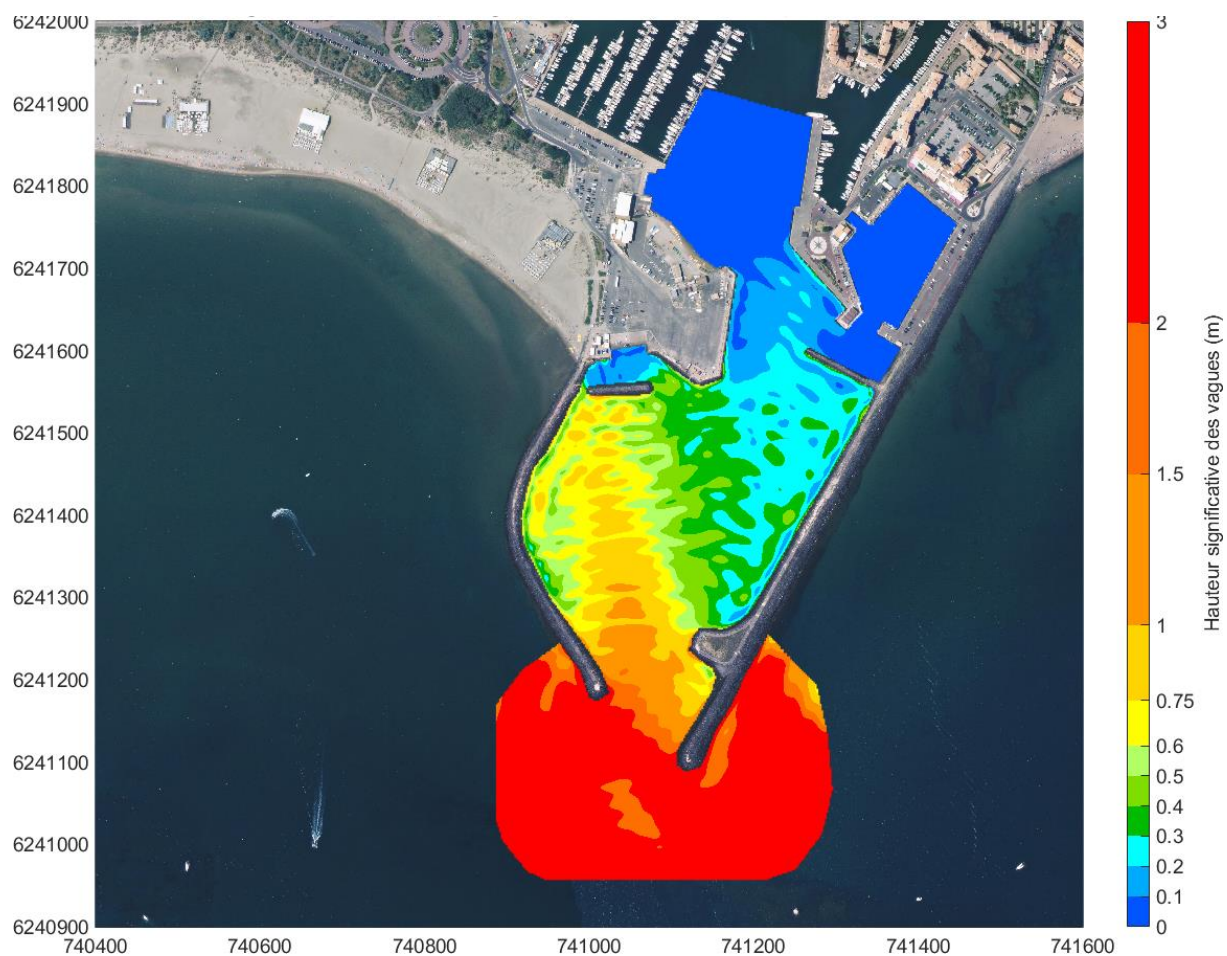


Figure 7.3 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 3 – $H_s=2.0m$, $T_p=10s$, $Dir=160^\circ N$

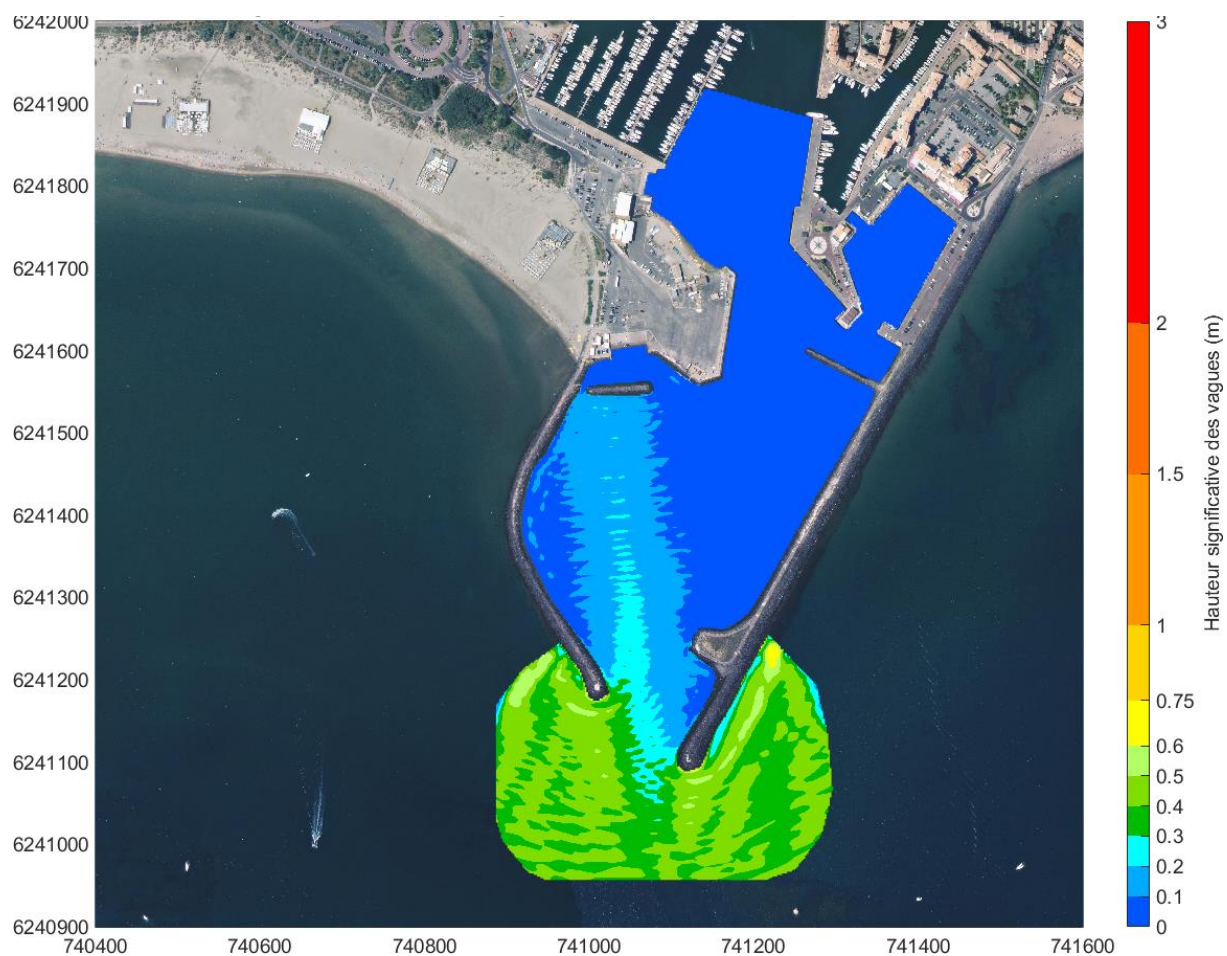
SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



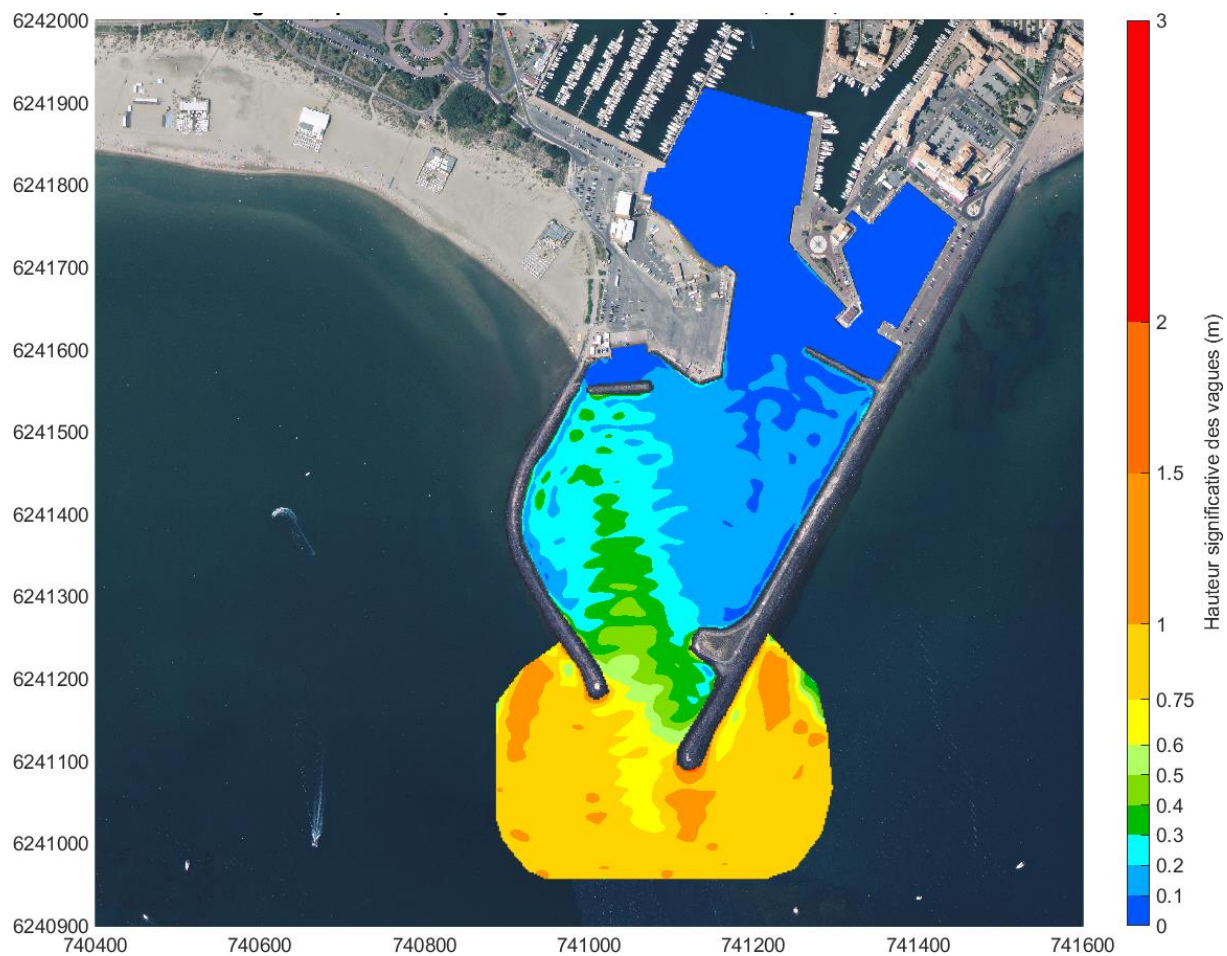
SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE
ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE

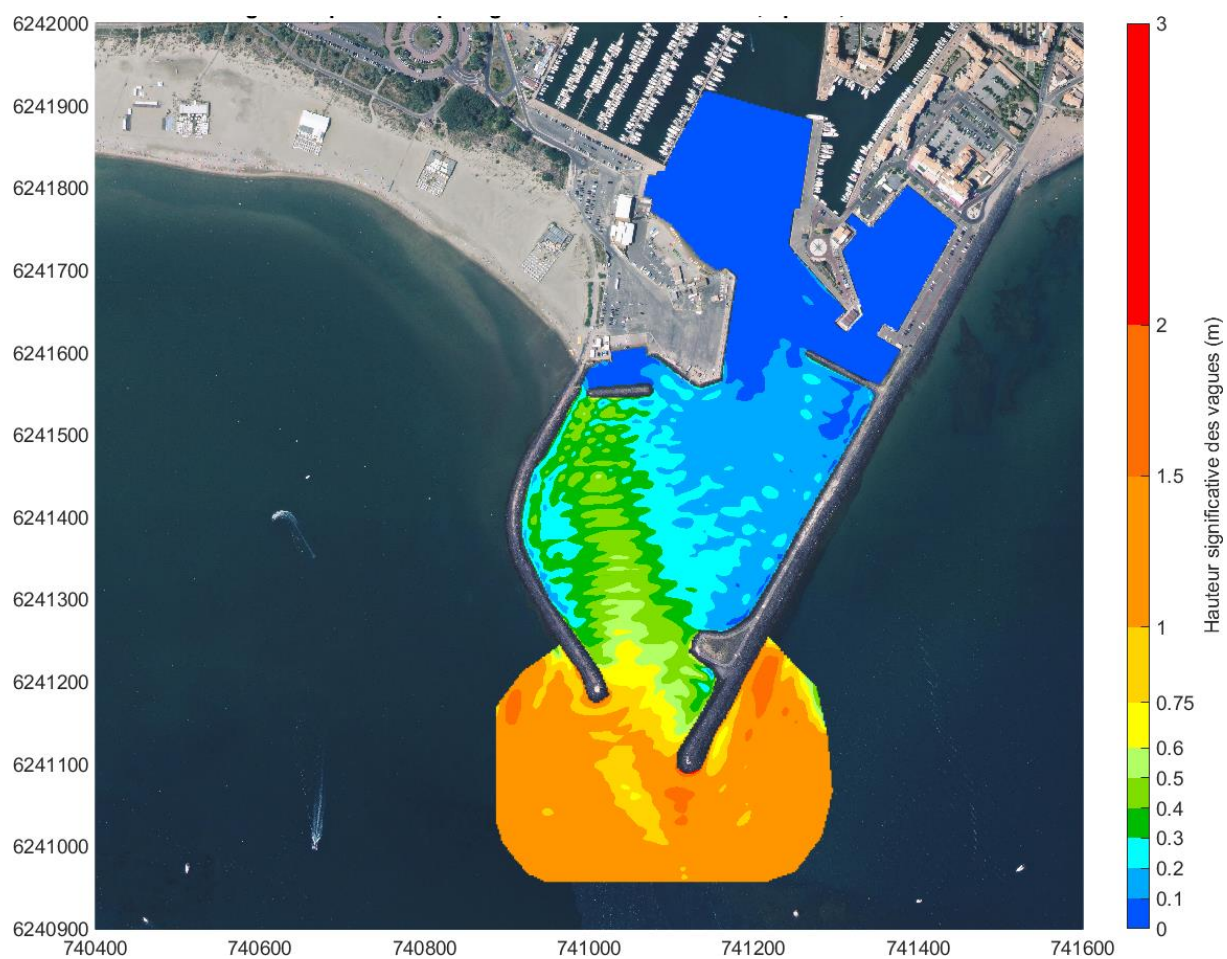
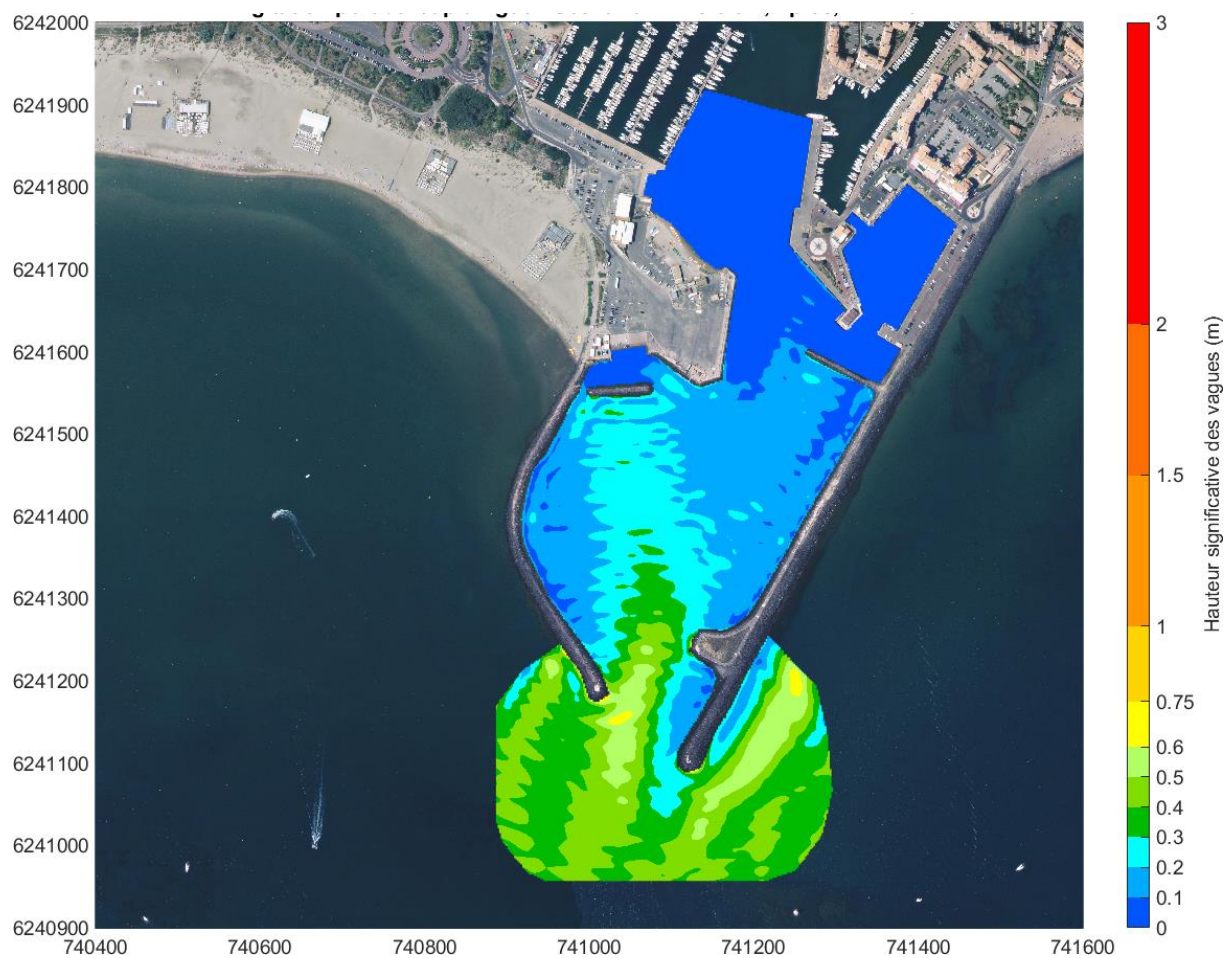


Figure 7.7 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 7 – $H_s=1.5m$, $T_p=10s$, $Dir=180^\circ N$

SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



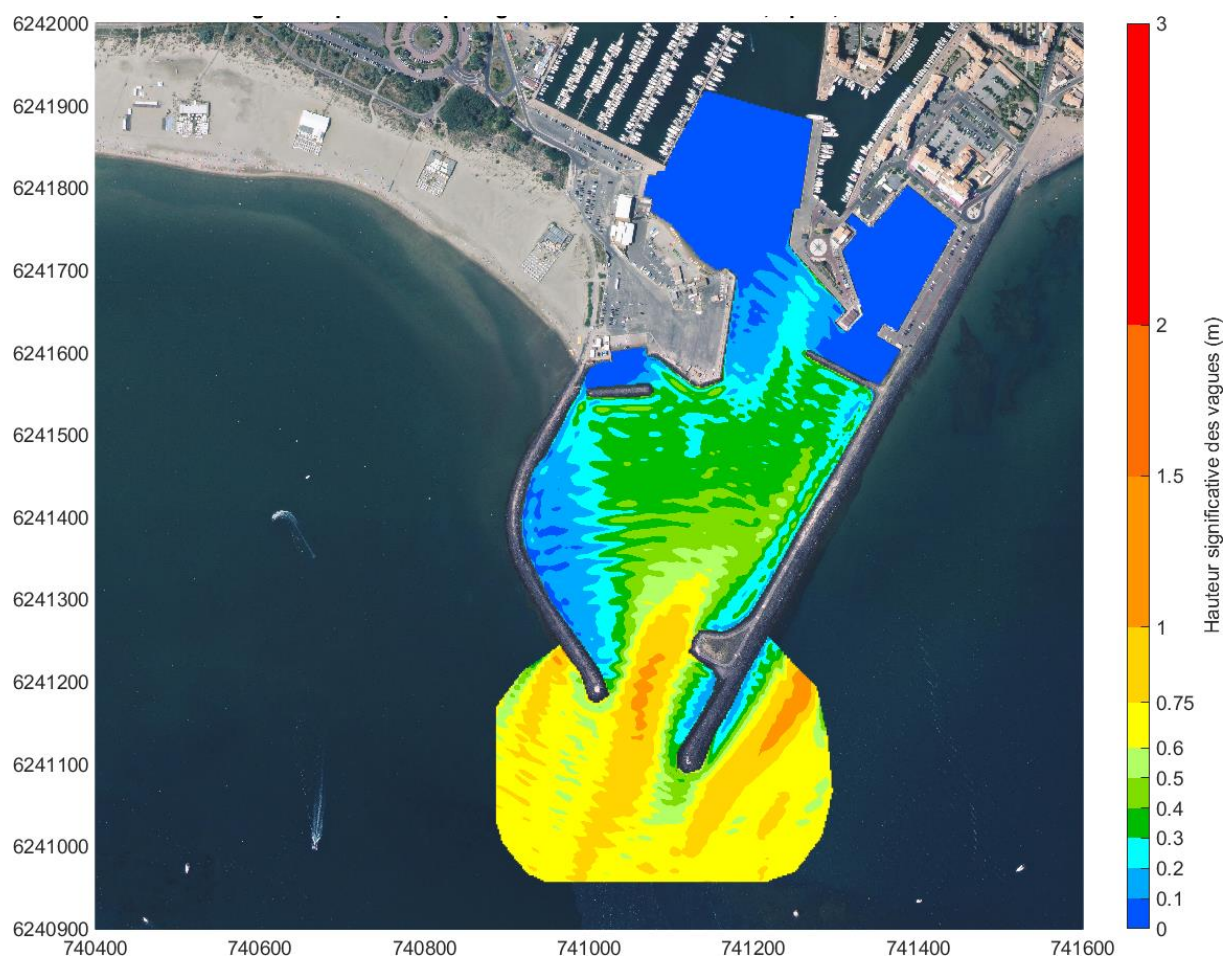
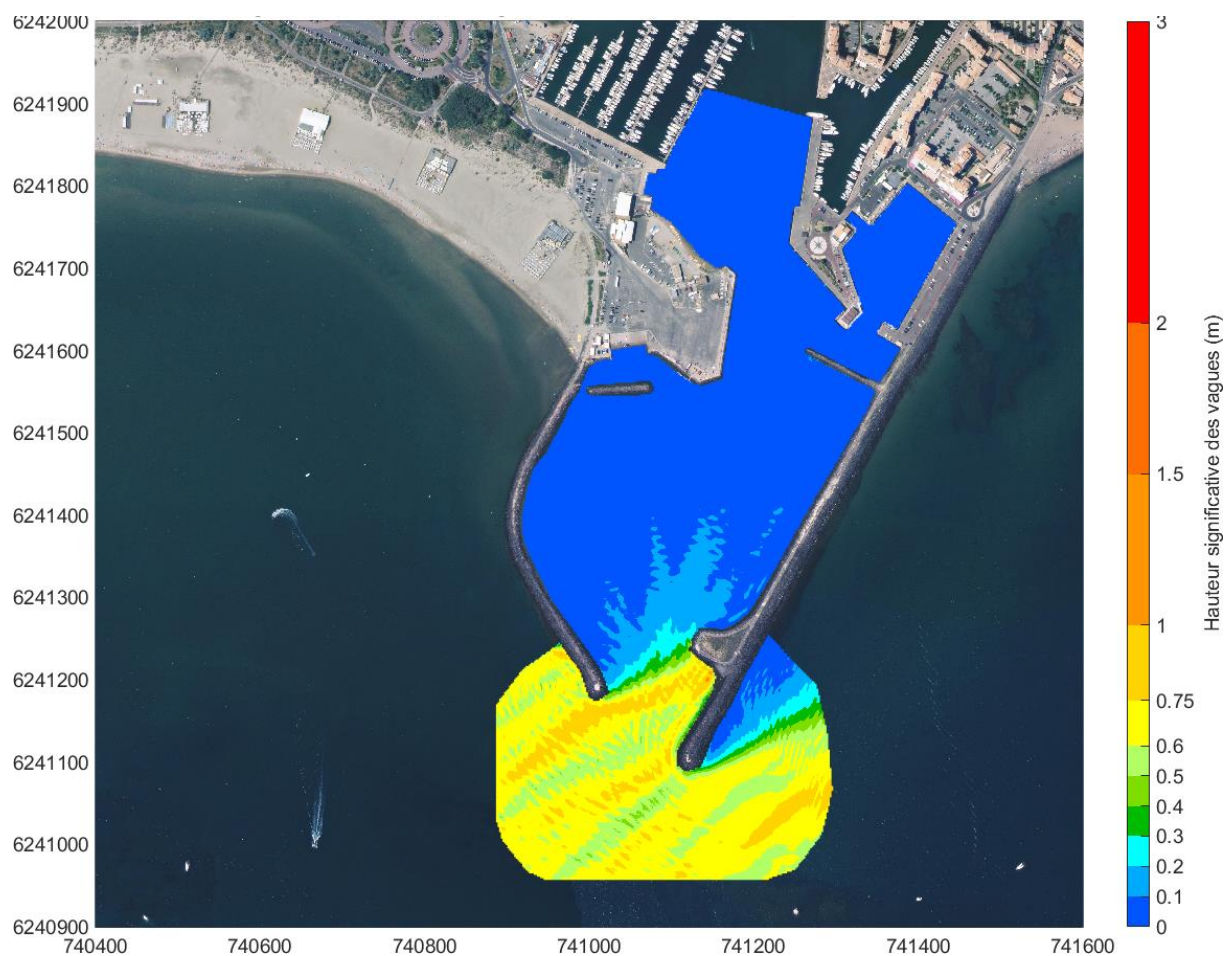


Figure 7.9 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions fréquentes – Scénario 9 – $H_s=1.0m$, $T_p=8s$, $Dir=210^\circ N$

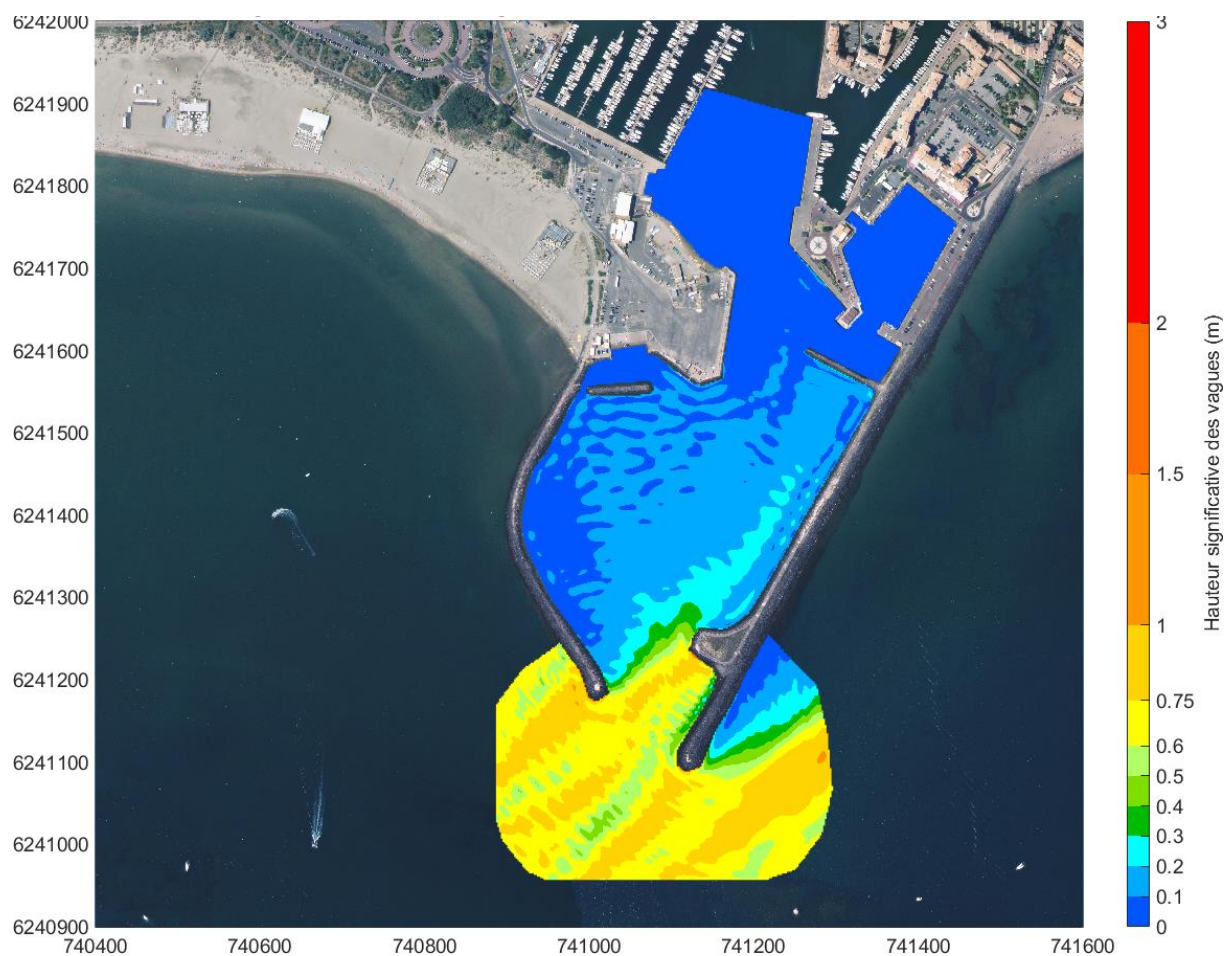
SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



SODEAL – PORT DE CAP D'AGDE

ETUDE D'AGITATION DANS LE CADRE DU REAMENAGEMENT DU BASSIN D'ACCUEIL DU PORT DE CAP D'AGDE



8. Annexe 2 : Resultats complets conditions extrêmes

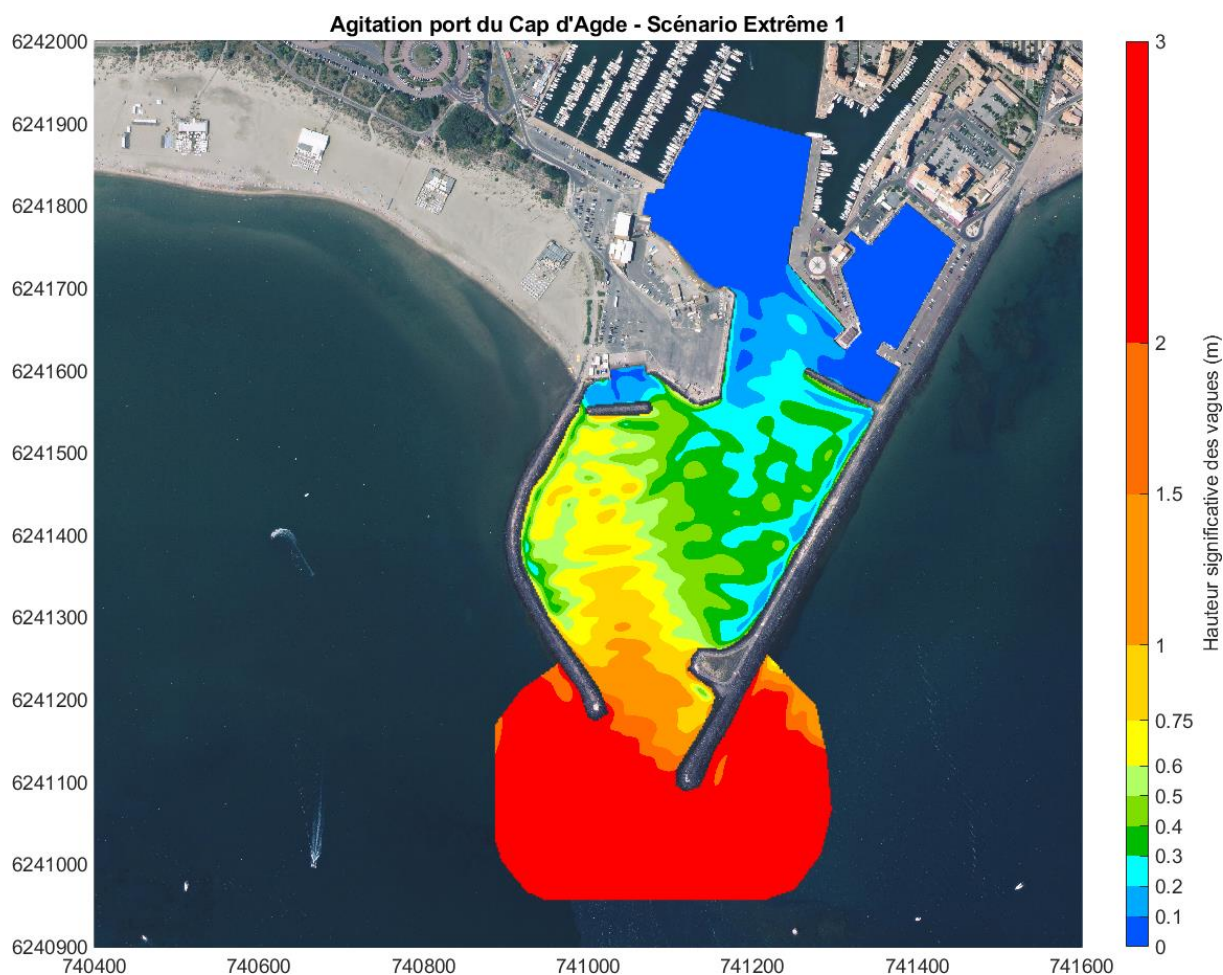


Figure 8.1 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 1 – Période de retour 5ans – $H_s=6.5m$, $T_p=12s$, $Dir=130^\circ N$

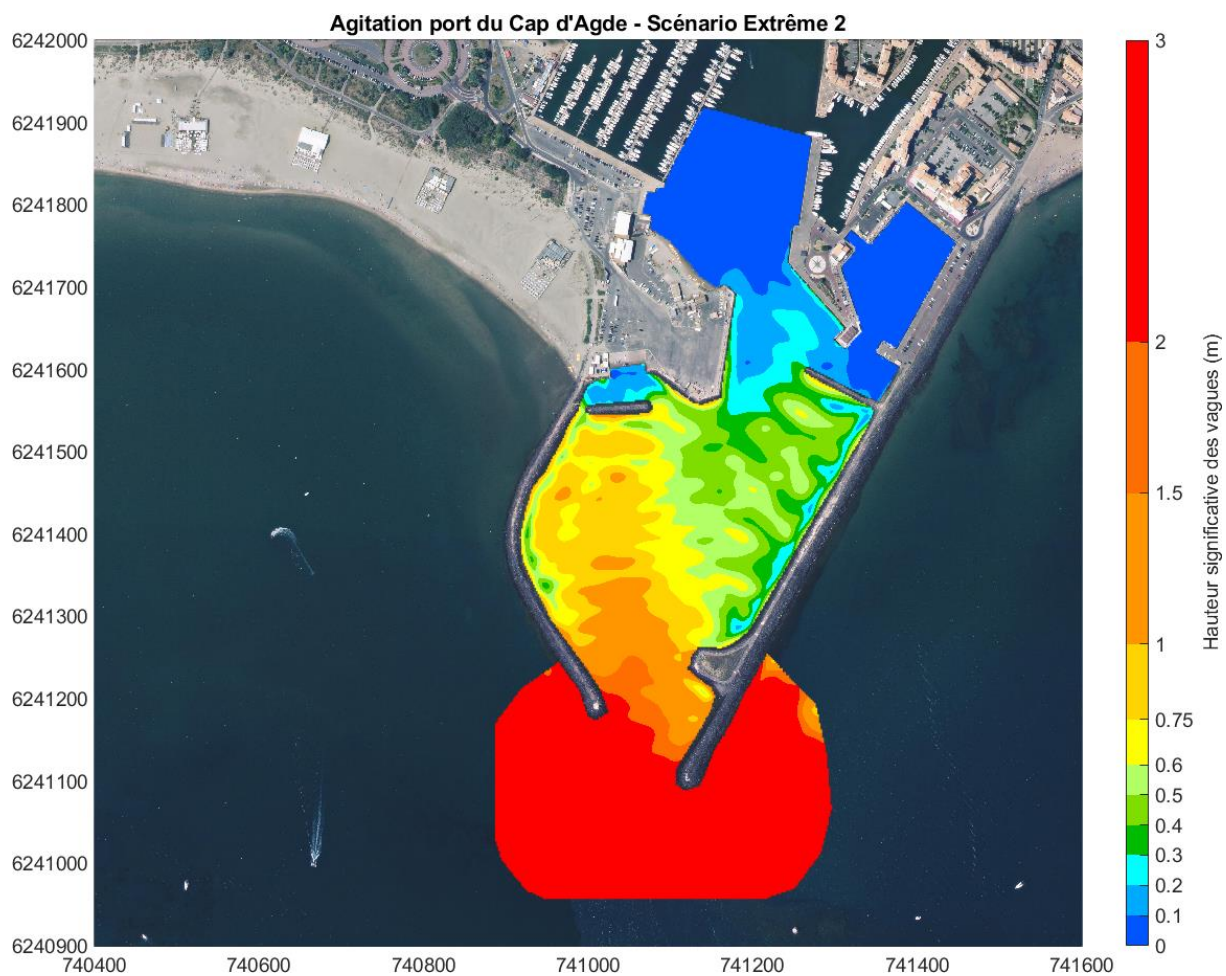


Figure 8.2 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 2 – Période de retour 50ans – $H_s=10.4m$, $T_p=13s$, $Dir=130^\circ N$

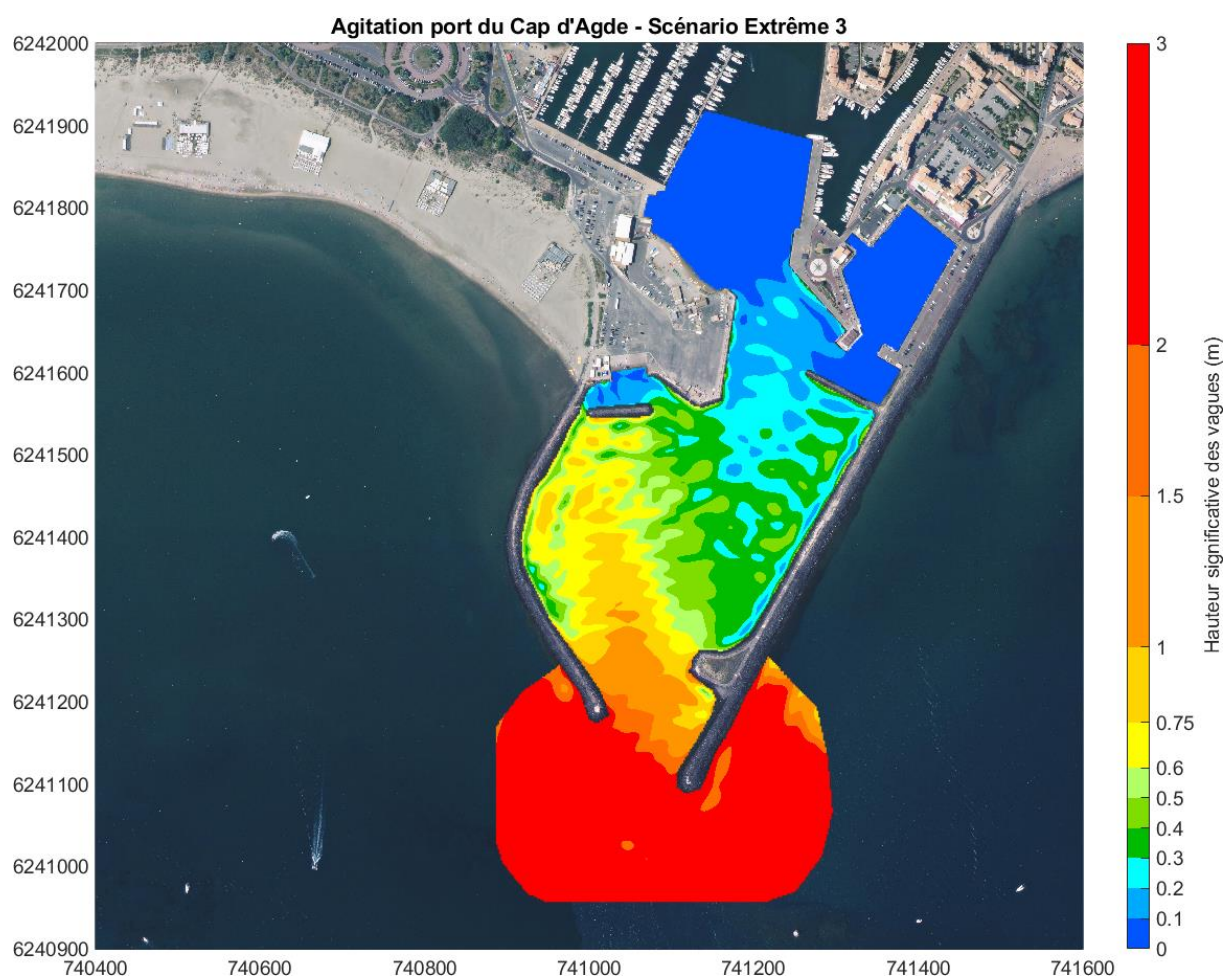


Figure 8.3 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 3 – Période de retour 1an – $H_s=4.7m$, $T_p=11s$, $Dir=150^\circ N$

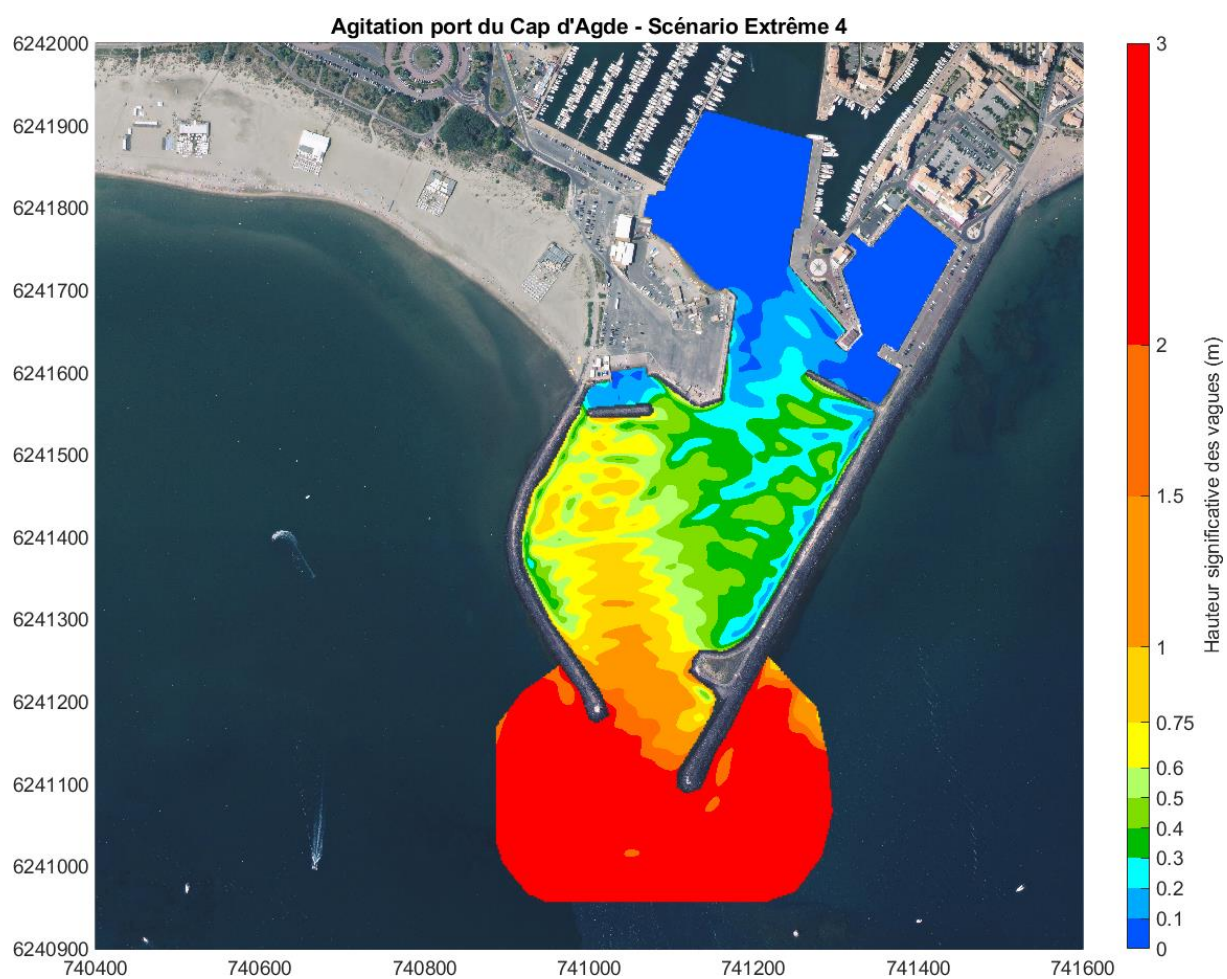


Figure 8.4 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 4 – Période de retour 5ans – $H_s=6.5m$, $T_p=12s$, $Dir=150^\circ N$

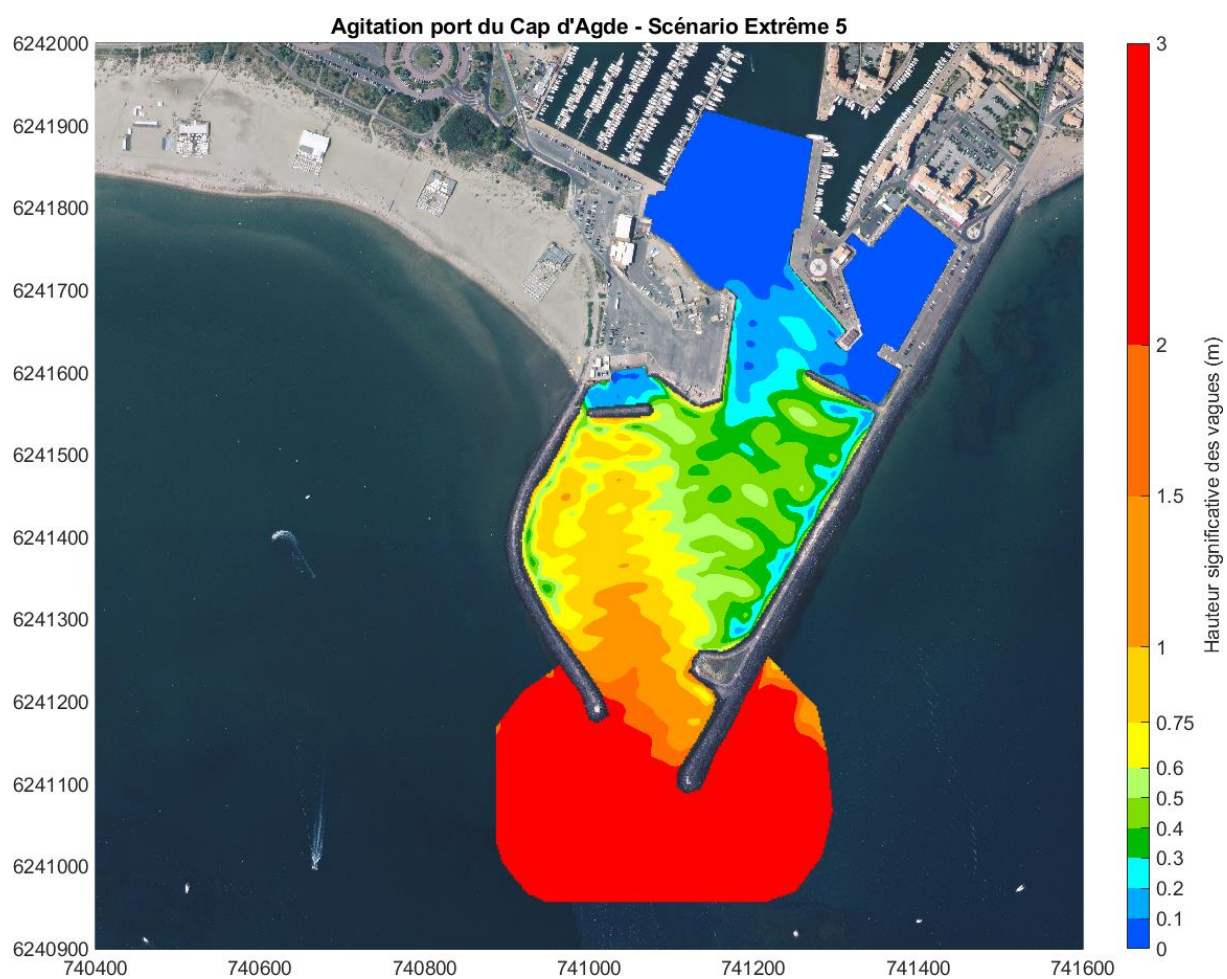


Figure 8.5 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 5 – Période de retour 10ans – $H_s=7.5m$, $T_p=13s$, $Dir=150^\circ N$

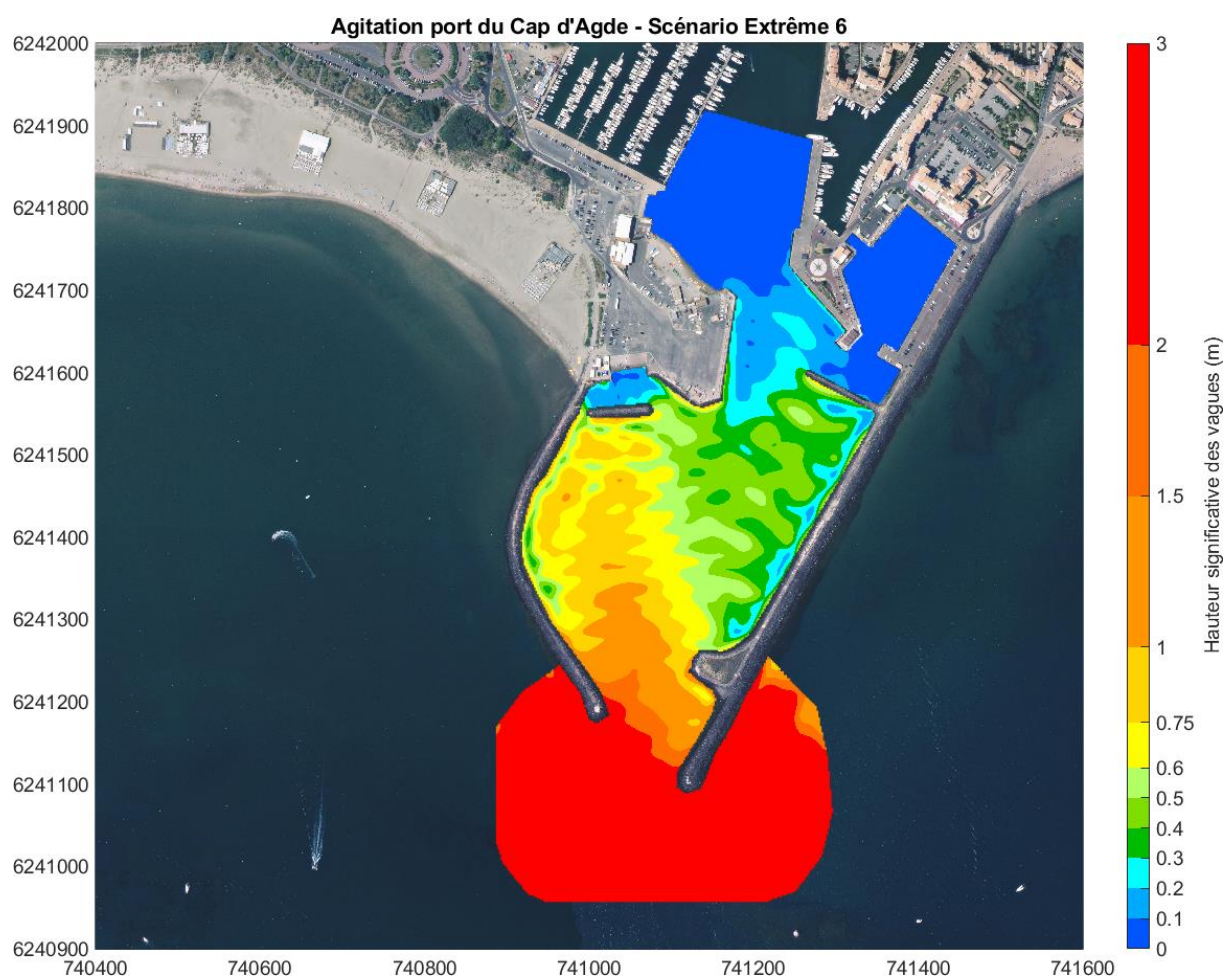


Figure 8.6 : Visualisation de l'agitation portuaire – Conditions extrêmes – Scénario 6 – Période de retour 50ans – $H_s=10.4m$, $T_p=13s$, $Dir=150^\circ N$