



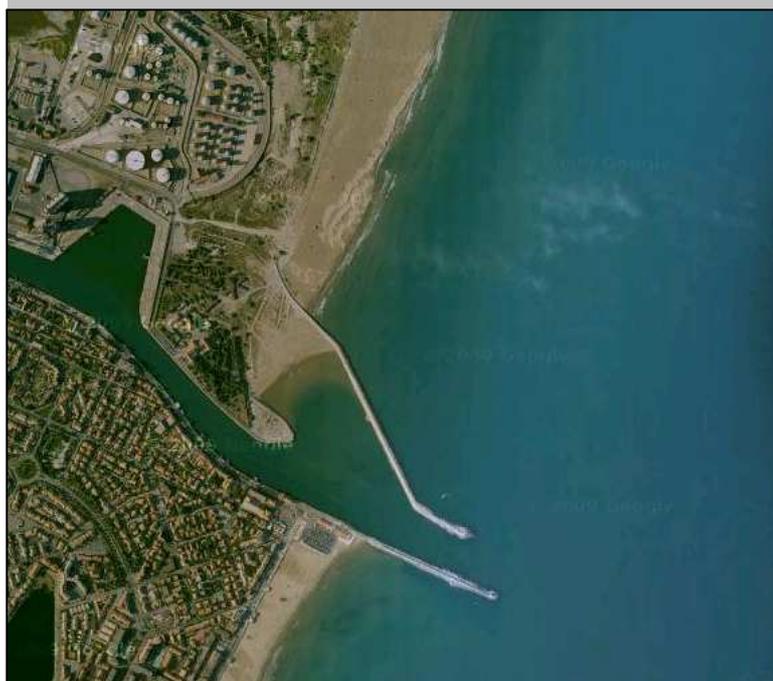
Port de Brégaillon
Bâtiment FIRST
B. P. 63
83 502 La Seyne/Mer
Tél. : 04 94 10 97 40
Fax : 04 94 94 42 27
E-mail : contact@oceanide.net



Port de Port la Nouvelle

Projet Grand Port

Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique



Rapport de synthèse sur la configuration d'aménagement retenue

Avec la participation financière du :

Numéro : RS 10-3-091 / 01 / A
Date : 13 Juillet 2011
Révision : A



FICHE D'IDENTIFICATION

REFERENCES DU DOCUMENT						
Nature du document	<input type="checkbox"/>	pièce d'étude	<input type="checkbox"/>	publication	<input checked="" type="checkbox"/>	rapport
	<input type="checkbox"/>	document final	<input type="checkbox"/>	document intermédiaire	<input type="checkbox"/>	devis
	Numéro	TITRE				
Classement	RS 10-3-091 01/A	Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique Rapport de Synthèse sur la configuration d'aménagement retenue				
Pièce	Rév.A					
CLIENT		Région Languedoc Roussillon – Sous direction des Ports – Pôle Ingénierie				
Référence						

VISAS AVANT DIFFUSION		
REDIGE PAR	RELU PAR	APPROUVE PAR
Alban LE QUERRÉ	Stéphane SCARDIGLI	Jean-Pierre AULANIER
DATE D'EMISSION		APPROBATION MO
13 Juillet 2011		

DIFFUSION		
Fiche d'identification seule		
Document complet	Interne	Externe
	Génie Côtier	RLR – Sous direction des Ports RLR – PTPLN

MOTS CLES
HOULE, AGITATION, OPERABILITE



IDENTIFICATION



Révision	Date	Objet
A	13/07/2011	1 ^{ère} émission

SOMMAIRE

I-	INTRODUCTION	1
II-	RESUME DE L'ETUDE	2
III-	CONDITIONS HYDRAULIQUES – HYPOTHESES DE MODELISATION	3
3-1	RAPPEL SUR LE CLIMAT DE HOULES A PORT-LA-NOUVELLE	3
3-2	HOULES DE LIMITE D'OPERABILITE	4
3-2.1	<i>Occurrence</i>	4
3-3	HOULES ANNUELLES	5
3-4	HOULES DECENNALES	6
3-5	NIVEAUX D'EAU	6
3-6	CRITERES	6
IV-	PRESENTATION DE LA CONFIGURATION D'AMENAGEMENT	8
4-1	GENERALITES	8
4-2	BATHYMETRIE	10
4-3	COEFFICIENTS DE REFLEXION	10
V-	RESULTATS DES MODELISATIONS NUMERIQUES D'AGITATION	12
5-1	DESCRIPTION DU MODELE D'AGITATION	12
5-2	CONDITIONS AUX LIMITES	12
5-2.1	<i>Données d'entrée</i>	12
5-2.2	<i>Coefficients de réflexion</i>	12
5-3	EMPRISE DU MODELE	12
5-4	BATHYMETRIE	12
5-5	MAILLAGE	13
5-6	CAS ETUDIES	14
5-7	PRESENTATION DES RESULTATS	14
5-8	RESULTATS	15
5-8.1	<i>Houle limite d'opérabilité</i>	15
5-8.2	<i>Houle annuelle – limite de navigabilité</i>	18
5-8.3	<i>Houle décennale</i>	21
5-8.4	<i>Synthèse sur la configuration d'aménagement retenue par le Maître d'Ouvrage</i>	24

FIGURES DANS LE TEXTE

Figure 1	: Rose des houles au niveau du Sealine	3
Figure 2	: Roses des houles supérieures à 2 m au niveau du Sealine	4
Figure 3	: Bathymétrie de la configuration d'aménagement du futur Grand Port	10
Figure 4	: Coefficients de réflexion utilisés lors des études numériques d'agitation	11
Figure 5	: Détails du maillage	13
Figure 6	: Implantation des profils de calcul d'agitation	15
Figure 7	: Houle limite d'opérabilité – 120 ^h N	17
Figure 8	: Houle limite d'opérabilité – 130 ^h N	17
Figure 9	: Houle limite d'opérabilité – 150 ^h N	18
Figure 10	: Houle annuelle – 130 ^h N	20
Figure 11	: Houle annuelle – 140 ^h N	20
Figure 12	: Houle décennale – 130 ^h N	23
Figure 13	: Houle décennale – 140 ^h N	23

TABLEAUX DANS LE TEXTE

Tableau 1 : Occurrence des houles de $H_s \geq 2,0$ m.....	5
Tableau 2 : Hauteur significative des houles annuelles par secteur directionnel.....	5
Tableau 3 : Hauteur significative des houles décennales par secteur directionnel.....	6
Tableau 4 : Niveaux d'eau de projet.....	6
Tableau 5 : Critère d'agitation dans les zones de navigation pour la houle de limite d'opérabilité	7
Tableau 6 : Critère d'agitation pour les houles annuelles et décennales.....	7
Tableau 7 : Cas de calculs modélisés	14
Tableau 8 : Hs moyenne calculée – houle limite d'opérabilité	16
Tableau 9 : Hs moyenne calculée – houle annuelle	19
Tableau 10 : Hs moyenne calculée – houle décennale	22
Tableau 11 : Hs moyenne calculée – houle limite d'opérabilité	25
Tableau 12 : Hs moyenne calculée - houle annuelle.....	26

ANNEXES

ANNEXE A : LOGICIEL TELEMAT – MODULE ARTEMIS

ANNEXE B : RESULTATS D'AGITATION



REFERENCES

[1] : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Rapport des études numériques d'agitation – MN 10-3-091/01/C – 22 Juin 2011

I- INTRODUCTION

Ce document synthétique présente la configuration d'aménagement du futur Grand Port de Port-La-Nouvelle retenue par le Maître d'Ouvrage, suite aux études d'agitation réalisées sur modèles numériques.

Cette synthèse résume en premier lieu le cheminement de l'étude d'aménagement du Grand Port de Port-La-Nouvelle dans son ensemble. Elle expose ensuite les hypothèses inhérentes aux modélisations numériques et décrit la configuration d'aménagement retenue. Enfin, les principaux résultats des calculs mathématiques ainsi que leur analyse sont détaillés.

II- RESUME DE L'ETUDE

L'étude d'aménagement du futur Grand Port de Port-La-Nouvelle sur modèle mathématique s'est déroulée en plusieurs étapes. Ainsi, une étude bibliographique a tout d'abord été menée. Cette revue exhaustive des données relatives à la zone d'étude, associée à un travail d'analyse statistique sur les éléments océano-météorologiques disponibles a contribué à l'élaboration d'une note hypothèses posant les bases des modélisations à venir.

Parallèlement, une réflexion menée en concertation avec les Pilotes de Port-La-Nouvelle ainsi qu'avec un expert pilote sur la manœuvrabilité des navires projets à l'intérieur et à l'approche de la future enceinte portuaire a abouti à l'émission d'une note sur la navigabilité, définissant les principaux critères géométriques à respecter en vue de la création d'un nouveau port (rayon de giration, distances d'arrêt, etc.).

Plusieurs solutions d'aménagement du nouveau Grand Port ont ensuite été testées à travers des modélisations numériques d'agitation, permettant l'évaluation des mouvements du plan d'eau causés par les houles du large. Une étude comparative de ces configurations d'aménagement a été réalisée, et une solution a été retenue par le Maître d'Ouvrage.

Consécutivement, une expertise sédimentologique a permis d'établir un diagnostic de l'impact des nouveaux ouvrages sur la morphodynamique de la zone.

III- CONDITIONS HYDRAULIQUES – HYPOTHESES DE MODELISATION

3-1 Rappel sur le climat de houles à Port-la-Nouvelle

Les houles au niveau du port de Port-la-Nouvelle se concentrent principalement en occurrence sur le secteur $[90^\circ - 130^\circ]$ et en intensité (haute urs significatives les plus grandes) sur le secteur $[70^\circ - 90^\circ]$. La rose des houles au niveau du Seal ine est représentée sur la figure 1. La figure 2 représente cette même rose pour les houles dont la hauteur significative est supérieure ou égale à 2 m.

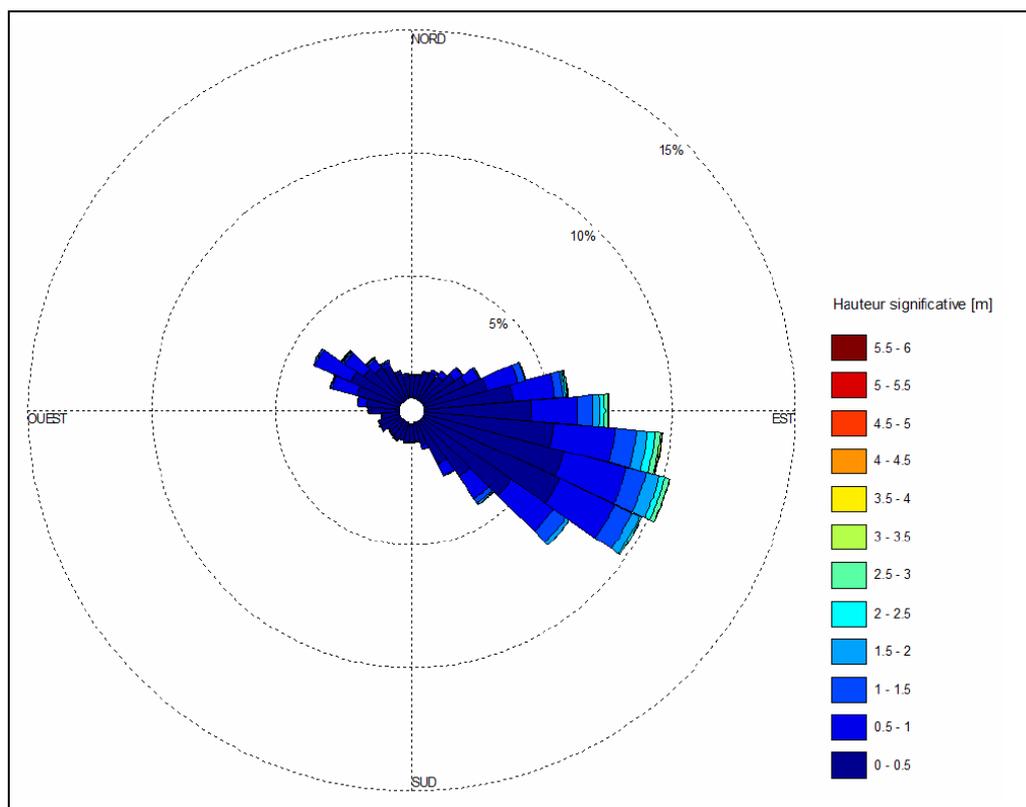


Figure 1 : Rose des houles au niveau du Sealine

L'implantation des ouvrages du futur Grand Port abrite les bassins des houles les plus fortes, c'est-à-dire de direction de provenance située dans le secteur $[70^\circ - 90^\circ]$. Néanmoins, l'orientation de la passe d'entrée (153 N) ainsi que sa largeur (330 m) permettent l'entrée directe ou par diffraction des houles sur un secteur de provenance assez large $[90^\circ - 160^\circ]$. Ce sont les agitations engendrées par les houles de ce secteur, échantillonnées tous les 10° , qui ont été étudiées dans nos modèles numériques.

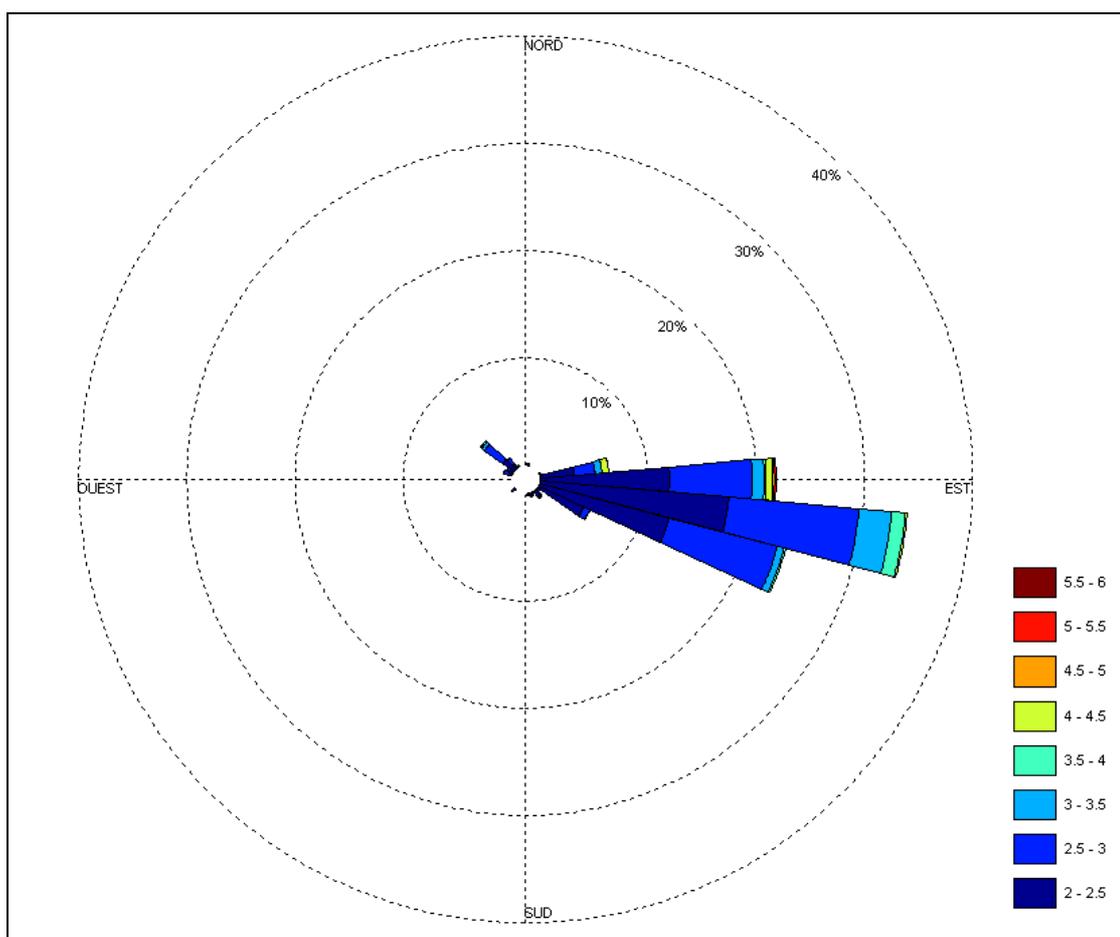


Figure 2 : Roses des houles supérieures à 2 m au niveau du Sealine

3-2 Houles de limite d'opérabilité

Les calculs d'agitation ont été effectués tout d'abord pour la houle de limite d'opérabilité. Cette houle est définie comme un état de mer présentant une hauteur significative de 2,00 m à l'extérieur du port. Elle est à la base de la détermination de l'agitation admissible en différents points du bassin portuaire.

3-2.1 Occurrence

Si les houles de limite d'opérabilité possèdent toutes la même hauteur significative (2.00 m) à l'extérieur du port, elles ne présentent cependant pas la même occurrence statistique dans une année pour chaque direction de propagation. Cette notion d'occurrence des houles est fondamentale pour l'évaluation du taux de disponibilité du futur Grand Port (**évaluation des conditions de navigation dans le port et de l'agitation au niveau des postes pour les bateaux en opération**).

Le tableau 1 suivant synthétise les occurrences des houles de limite d'opérabilité par secteur directionnel.

Note : Cette analyse statistique est basée sur les mesures de houles effectuées au niveau du Sealine dont les valeurs ont été transmises à OCEANIDE par le Maître d'Ouvrage.

Direction	Occurrence (en nombre d'évènement de 30 minutes par an)	Occurrence (en nombre de tempête de 3 heures par an)
90 N	81	13
100 N	160	27
110 N	91	15
120 N	29	5
130 N	12	2
140 N	5	0.8
150 N	0.008	0.0013
160 N	0.0017	0.00028

Tableau 1 : Occurrence des houles de $H_s \geq 2,0$ m

Remarque : La période pic de ces houles a été déterminée à l'aide de corrélogrammes établis lors de l'étude statistique. Elle est de 8 secondes pour les houles de 2 m ainsi que pour les houles annuelles, et de 9 secondes pour les houles décennales.

3-3 Houles annuelles

La vérification des critères d'agitation dans le futur Grand Port de Port-la-Nouvelle a ensuite été effectuée pour les houles annuelles. Le respect des critères pour ces houles est associé à la **sécurité et la tenue à poste**. En effet, en théorie aucun navire ne navigue dans le port pour ces conditions de houle. Leurs hauteurs significatives par secteur directionnel sont résumées dans le tableau 2 suivant.

Note : Ces valeurs sont issues de l'analyse statistique des données de houles par secteur directionnel de 10° centré sur la direction principale.

Direction	Hauteur Significative
90 N	4.70 m
100 N	4.10 m
110 N	3.50 m
120 N	2.90 m
130 N	2.60 m
140 N	2.40 m
150 N	1.30 m
160 N	1.10 m

Tableau 2 : Hauteur significative des houles annuelles par secteur directionnel

3-4 Houles décennales

Enfin, l'agitation du port a été comparée aux critères d'agitation définis pour la houle décennale. La hauteur significative de cette houle par secteur directionnel est donnée dans le tableau 3 suivant.

Direction	Hauteur Significative
90 °N	5.40 m
100 °N	4.80 m
110 °N	4.20 m
120 °N	3.40 m
130 °N	3.10 m
140 °N	3.00 m
150 °N	1.70 m
160 °N	1.50 m

Tableau 3 : Hauteur significative des houles décennales par secteur directionnel

3-5 Niveaux d'eau

Les niveaux d'eaux suivants, issus de l'étude bibliographique, ont été retenus pour les études numériques d'agitation. Ils tiennent compte des marées astronomiques et météorologiques.

Période de retour	Niveau d'eau par rapport au 0 m CM
Niveau d'eau moyen	+ 0,60 m
Tr < 1an (houle de limite d'opérabilité)	+ 1,00 m
Tr = 1 an	+ 1,20 m
Tr = 10 ans	+ 1,40 m

Tableau 4 : Niveaux d'eau de projet

3-6 Critères

Des critères d'agitation ont été définis pour des conditions hydrauliques types. Ce sont ces critères qui sont à la base de l'évaluation des taux d'opérabilité et de navigabilité dans le port de Port-la-Nouvelle.

Les tableaux suivants présentent, par zone étudiée, les critères retenus. L'implantation des différentes zones est schématisée sur la figure de la page 15.

Zone (PORT ACTUEL)	Critère
Darse Pétrolière	0 – 30 cm
Chenal port actuel	0 – 50 cm
Zone (GRAND PORT)	Critère
Agitation à proximité des postes à quai (navire 200 m)	0 – 100 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 200 m)	0 – 80 cm
Agitation à proximité des postes à quai (navire 160 m)	0 – 70 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 160 m)	0 – 50 cm
Agitation au niveau du cercle d'évitage	0 – 100 cm
Agitation dans la passe d'entrée (cm)	50 – 200 cm

Tableau 5 : Critère d'agitation dans les zones de navigation pour la houle de limite d'opérabilité

Rappel : la houle de limite d'opérabilité est caractérisée par une hauteur significative à l'extérieur du port de 2 m.

Zone (PORT ACTUEL)	Critère
Darse Pétrolière	0 – 50 cm
Chenal port actuel	0 – 60 cm
Zone (GRAND PORT)	Critère
Agitation à proximité des postes à quai (navire 200 m)	0 – 120 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 200 m)	0 – 100 cm
Agitation à proximité des postes à quai (navire 160 m)	0 – 80 cm
Agitation au niveau des postes à quai (navire 160 m)	0 – 60 cm
Agitation au niveau du cercle d'évitage (*)	0 – 150 cm
Agitation dans la passe d'entrée (cm) (*)	100 – 300 cm

Tableau 6 : Critère d'agitation pour les houles annuelles et décennales

(*) Ces cas seront étudiés à titre indicatif car en théorie aucune navigation n'est prévue pour de telles conditions (H_s au large > 2,0 m).

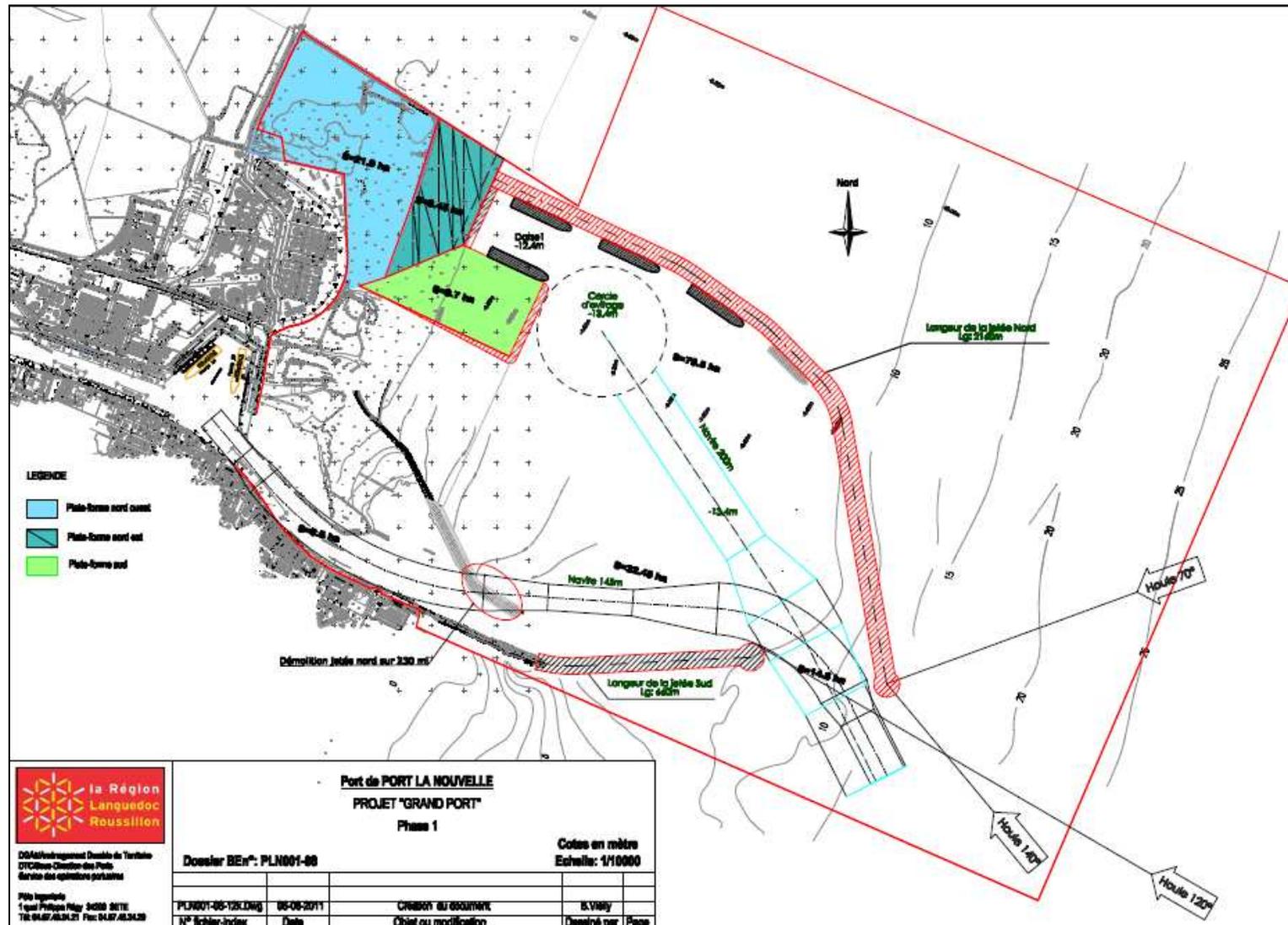
Remarque : Les critères les plus contraignants sont obtenus pour les navires de 160 m. Ces navires pouvant être accueillis sur tous les nouveaux postes créés dans le futur port, ce sont leurs valeurs qui seront retenues pour les études. **Il s'agit là d'une démarche pénalisante.**

IV- PRESENTATION DE LA CONFIGURATION D'AMENAGEMENT

4-1 Généralités

Le plan masse de la solution retenue par le Maître d'Ouvrage figure sur la page suivante. Dans cette configuration,

- Le linéaire des ouvrages extérieurs est porté à un total de **2820 mètres**. Ainsi, la nouvelle digue Nord ainsi que l'allongement de la digue Sud mesurent respectivement 2160 mètres et 660 mètres ;
- Les futurs bassins aménagés comporte **5 postes d'amarrages** : 4 postes sur la Digue Nord (3 adaptés à la réception de navire de 200 m de long, 1 adapté à la réception de navire de 160 m de long) ainsi qu'1 poste dans la nouvelle Darse pouvant accueillir un navire de 200 m de long ;
- La cote de dragage sera abaissée à -13.4 m CM dans l'ensemble du nouveau port, à l'exception de la passe d'entrée (-13.90 m CM), du bassin d'amortissement (bathymétrie existante) et à proximité des quais (-12.4 m CM). Le port actuel sera quant à lui dragué à -9.2 m CM, de même que son accès direct ;
- L'actuelle jetée Nord est recépée sur environ 230 m.



4-2 Bathymétrie

La figure suivante présente la bathymétrie de la configuration d'aménagement retenue.

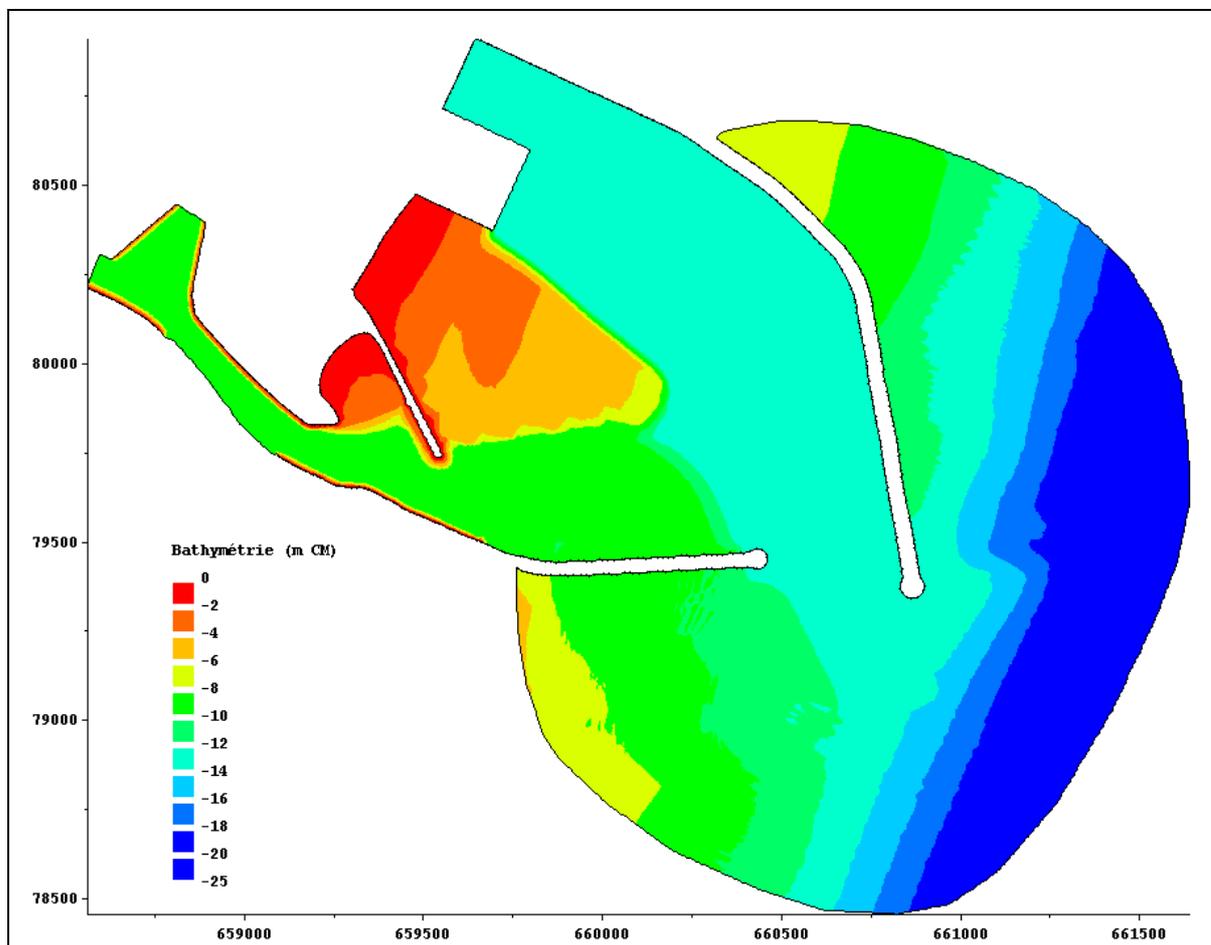


Figure 3 : Bathymétrie de la configuration d'aménagement du futur Grand Port.

4-3 Coefficients de réflexion

Les coefficients de réflexion des nouveaux ouvrages du futur Grand Port ont été déterminés de façon à présenter le meilleur compromis faisabilité technique/réduction de l'agitation. Ils sont présentés sur la figure suivante.

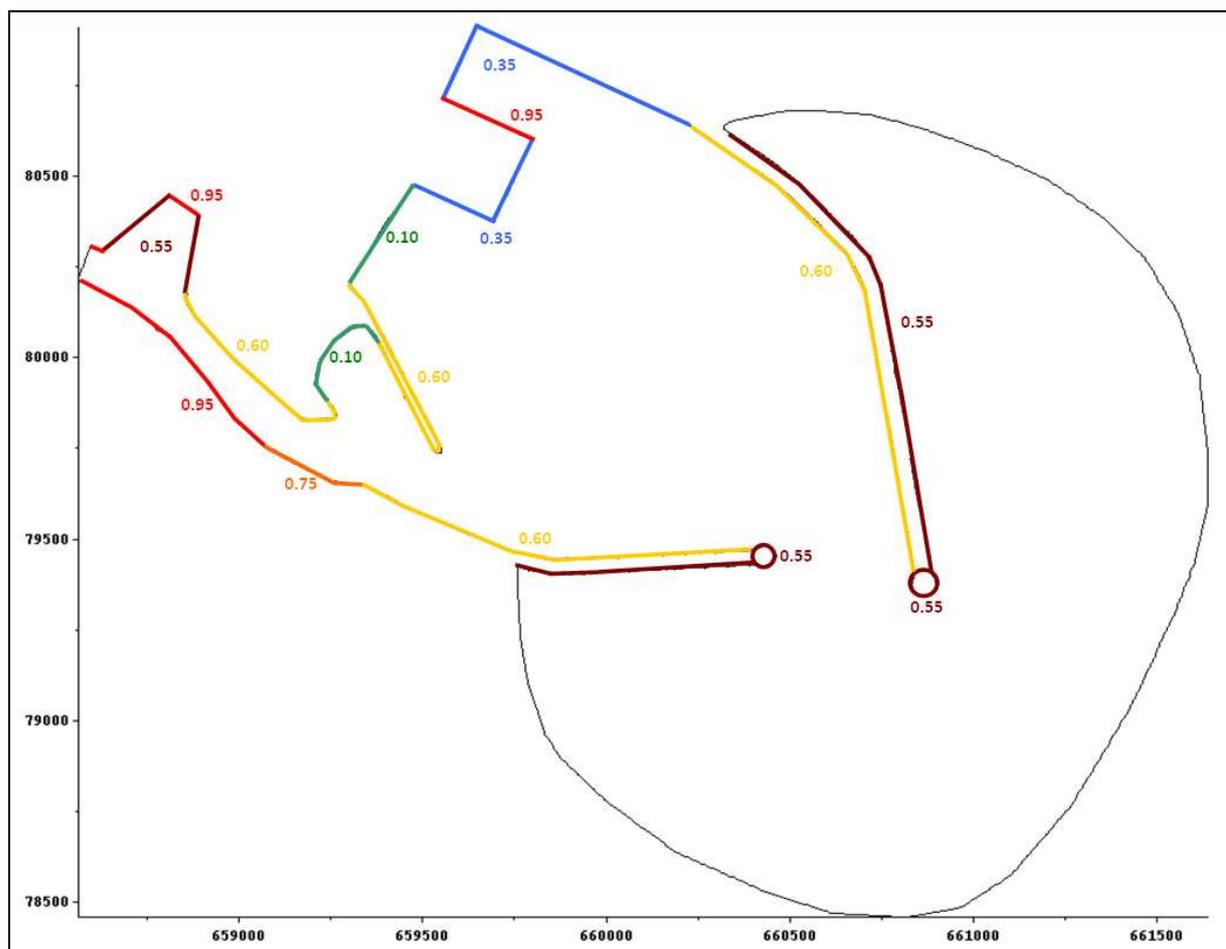


Figure 4 : Coefficients de réflexion utilisés lors des études numériques d'agitation

V- RESULTATS DES MODELISATIONS NUMERIQUES D'AGITATION

5-1 Description du modèle d'agitation

Les modélisations mathématiques ont été réalisées avec le logiciel ARTEMIS (cf. Annexe A). Ce code de calcul permet de déterminer numériquement l'agitation proche de la côte ou à l'intérieur d'un port. Il résout, par la méthode des éléments finis, l'équation de Berkhoff ou « mild slope equation » avec prise en compte des termes de dissipation (déferlement et frottement sur le fond).

Les phénomènes physiques pris en compte sont les suivants : réfraction due à la bathymétrie, diffraction derrière un obstacle, réflexion partielle ou totale par un ouvrage, pertes d'énergie par déferlement et par frottement sur le fond. Les données d'entrée peuvent être des houles régulières ou irrégulières (spectres de houle).

Les résultats principaux d'ARTEMIS sont, en chaque nœud du maillage de résolution, la hauteur et l'incidence de la houle.

5-2 Conditions aux limites

5-2.1 Données d'entrée

Les états de mer en entrée du modèle sont ceux décrits dans la partie III – Conditions Hydrauliques – Hypothèses de Modélisation.

Il s'agit donc principalement des houles de limite d'opérabilité, caractérisée par une hauteur significative au large de 2 mètres, ainsi que des houles annuelles et décennales.

5-2.2 Coefficients de réflexion

Les coefficients de réflexion implémentés dans le modèle sont ceux présentés en 4-3.

5-3 Emprise du modèle

Le modèle d'agitation englobe l'ensemble du futur Grand Port et de ses ouvrages, et s'étend jusqu'à l'isobathe des – 25 m CM.

Remarque : Compte tenu des objectifs de l'étude (agitation dans les bassins), le modèle a été tronqué au niveau des ouvrages extérieurs à proximité de l'isobathe – 5 m CM. En effet la poursuite du modèle jusqu'aux plages ne s'avère pas pertinente pour les calculs.

5-4 Bathymétrie

La bathymétrie de la zone extérieure du port est issue des données fournies par le maître d'ouvrage ainsi que des données du SHOM. Sa représentation figure en 4-2. Les pentes de dragages intérieures sont inférieures (plus douces) à une pente de 5/1.

Rappel : Toutes les profondeurs sont rapportées au 0 m CM.

5-5 Maillage

Le maillage du domaine a été réalisé à l'aide du mailleur MATISSE, intégré au système de modélisation TELEMAC. Le critère de maillage a été défini afin que chaque maille triangulaire présente un minimum de 7 points par longueur d'onde pour tous les cas de calculs. La taille des mailles est donc ainsi fonction de la longueur d'onde locale de la houle, et par conséquent de la bathymétrie.

Le maillage ainsi généré comporte quelques 115 000 mailles. La figure 7 présente, à titre informatif, des détails de ce maillage (musoir, nouvelle darse).

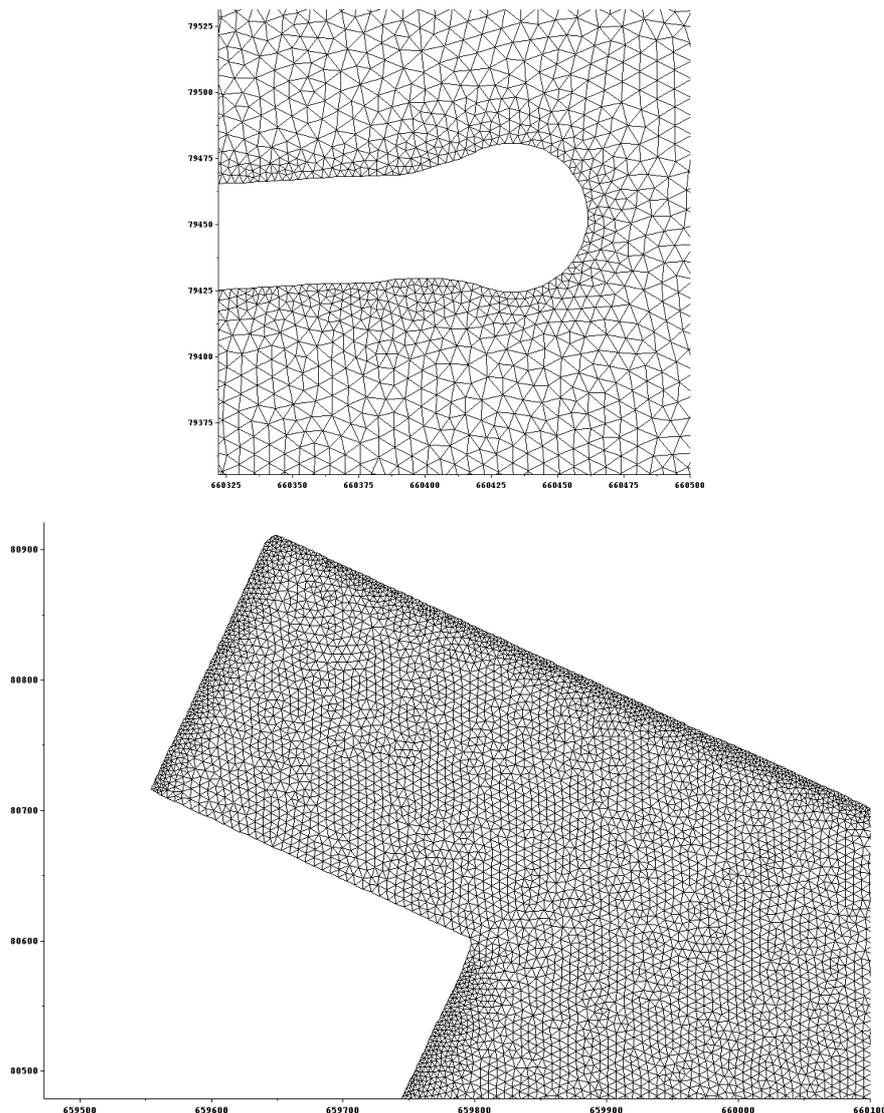


Figure 5 : Détails du maillage

5-6 Cas étudiés

Le tableau suivant précise les calculs ayant été réalisées sur cette configuration d'aménagement.

Conditions hydrauliques
2,0 m – 8s – 90 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 100 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 110 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 120 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 130 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 140 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 150 N – +1,0 m CM
2,0 m – 8s – 160 N – +1,0 m CM
4,7 m – 8s – 90 N – +1,2 m CM
4,1 m – 8s – 100 N – +1,2 m CM
3,5 m – 8s – 110 N – +1,2 m CM
2,9 m – 8s – 120 N – +1,2 m CM
2,6 m – 8s – 130 N – +1,2 m CM
2,4 m – 8s – 140 N – +1,2 m CM
1,3 m – 8s – 150 N – +1,2 m CM
1,1 m – 8s – 160 N – +1,2 m CM
5,4 m – 8s – 90 N – +1,4 m CM
4,8 m – 8s – 100 N – +1,4 m CM
4,2 m – 8s – 110 N – +1,4 m CM
3,4 m – 8s – 120 N – +1,4 m CM
3,1 m – 8s – 130 N – +1,4 m CM
3,0 m – 8s – 140 N – +1,4 m CM
1,7 m – 8s – 150 N – +1,4 m CM
1,5 m – 8s – 160 N – +1,4 m CM

Tableau 7 : Cas de calculs modélisés

5-7 Présentation des résultats

Pour chaque condition hydraulique étudiée, des planches graphiques représentant les hauteurs d'agitation et les directions principales des houles sont fournies. Les cas les plus représentatifs figurent dans le corps du texte et les autres cas sont reportés en annexe B.

D'autre part, des tableaux détaillant la hauteur significative moyenne calculée le long de profils spécifiques sont donnés. Dans ces tableaux de résultats, les cases vertes contiennent des valeurs d'agitation respectant les critères admis, inversement les cases rouges contiennent des valeurs dépassant ces critères.

Ces tableaux présentent également l'occurrence de la houle modélisée. L'emplacement des profils spécifiques figure sur le schéma suivant.

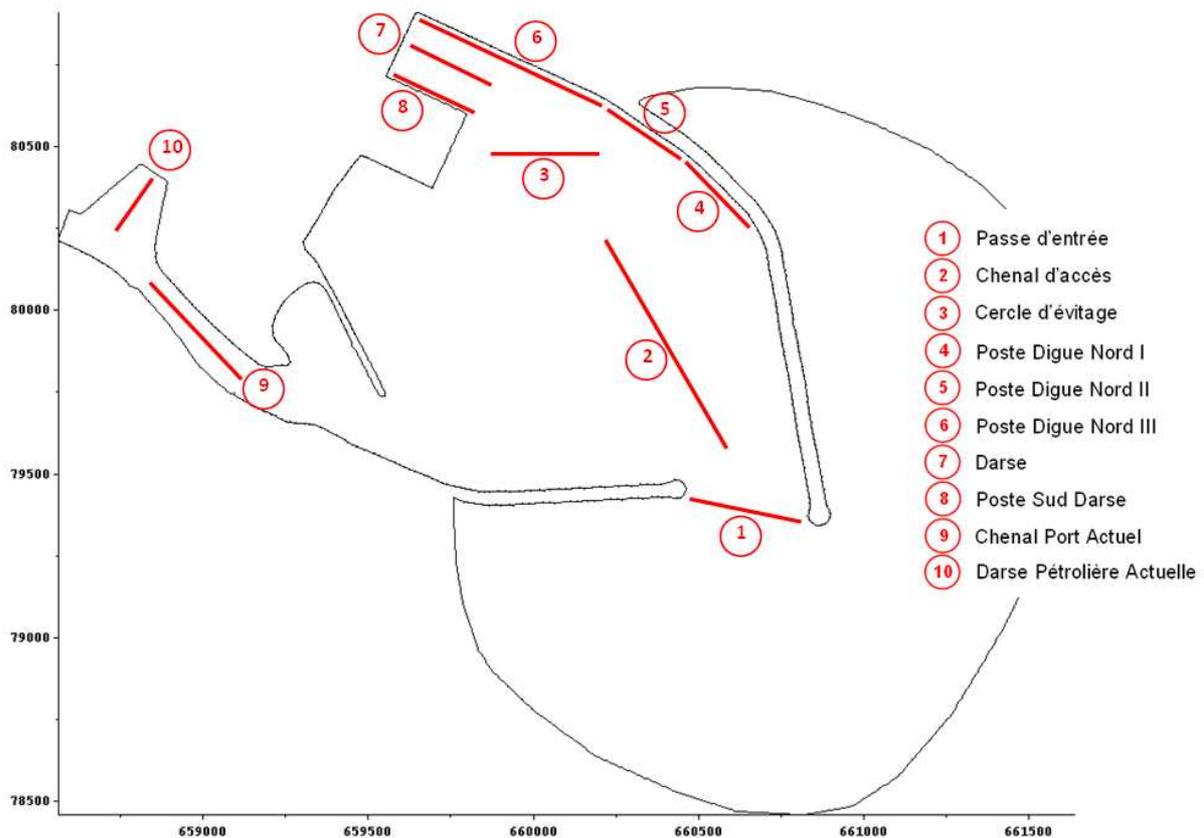


Figure 6 : Implantation des profils de calcul d'agitation

5-8 Résultats

5-8.1 Houle limite d'opérabilité

5-8.1.1 Respect des critères

Le tableau figurant page suivante synthétise les résultats des hauteurs significatives moyennes calculées le long des différents profils pour la houle de limite d'opérabilité.

Profil	Direction (°N)								Critère (en m)
	90	100	110	120	130	140	150	160	
Passe d'entrée	0.63	0.87	1.31	1.74	2.03	2.02	1.90	1.75	2.00
Chenal d'accès	0.18	0.23	0.36	0.55	0.68	0.90	1.84	1.53	1.50
Cercle d'évitage	0.15	0.17	0.26	0.39	0.52	0.96	1.30	1.18	1.00
Poste Digue Nord I	0.14	0.17	0.22	0.30	0.33	0.40	0.48	0.66	0.50
Poste Digue Nord II	0.10	0.12	0.15	0.23	0.31	0.34	0.43	0.74	0.50
Poste Digue Nord III	0.11	0.13	0.19	0.27	0.35	0.59	1.02	0.86	0.50
Darse	0.10	0.11	0.19	0.32	0.41	0.76	0.97	0.64	0.70
Poste Sud Darse	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.67	1.03	0.90	0.50
Chenal Port Actuel	0.09	0.13	0.20	0.25	0.21	0.11	0.11	0.10	0.50
Darse Pétrolière Actuelle	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30
Occurrence Houle de Hs ≥ 2,0 m en nombre d'évènement de 30 minutes par an(*)	81	160	91	29	12	5	0.008	0.0017	

Tableau 8 : Hs moyenne calculée – houle limite d'opérabilité

(*) Cette occurrence ne tient pas compte des phénomènes consécutifs. Par exemple une tempête de 3 h représente 6 évènements dans le tableau.

5-8.1.2 Planches graphiques

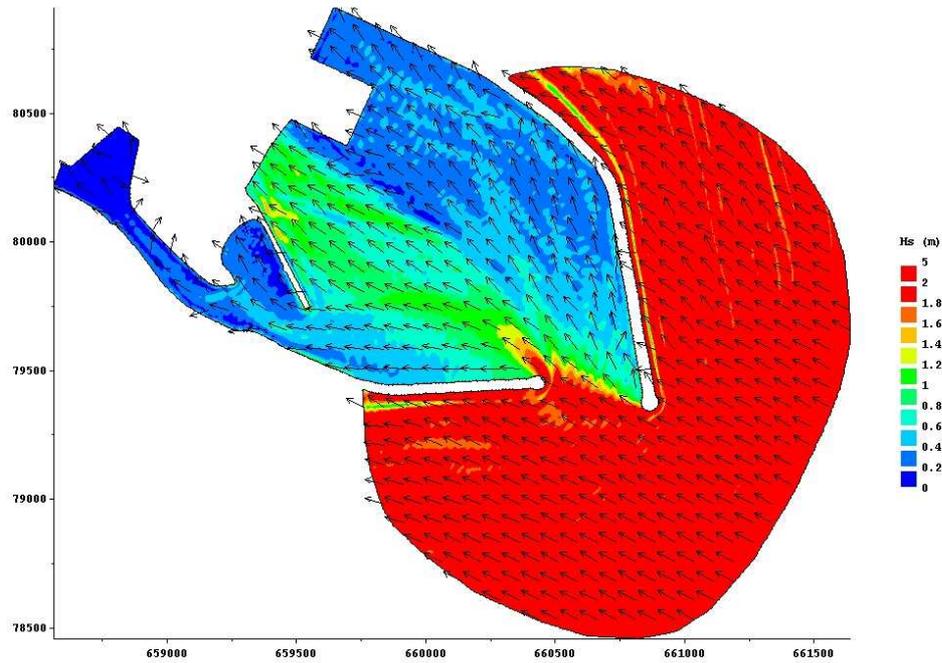


Figure 7 : Houle limite d'opérabilité – 120°N

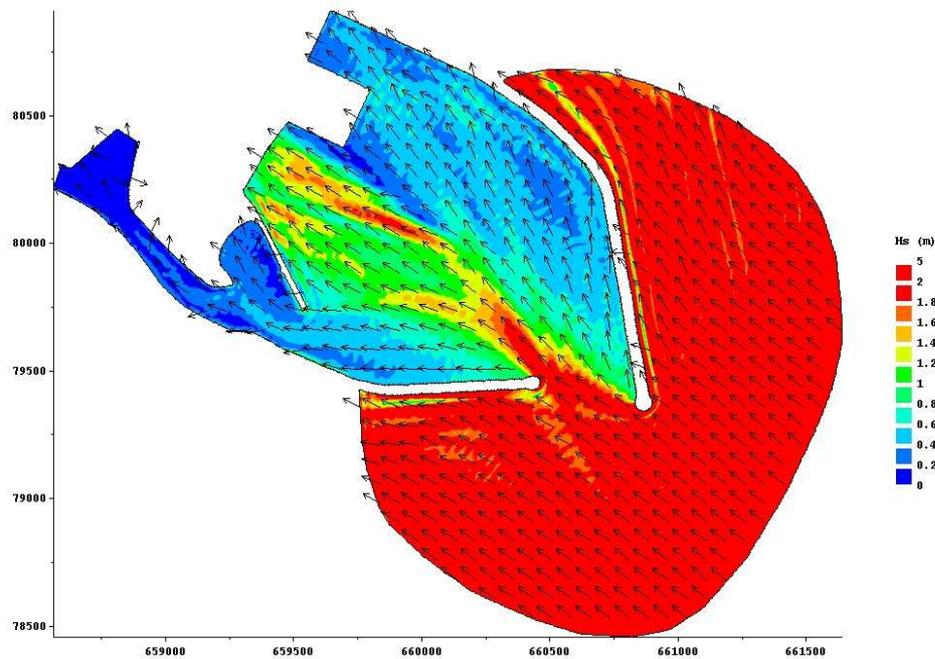


Figure 8 : Houle limite d'opérabilité – 130°N

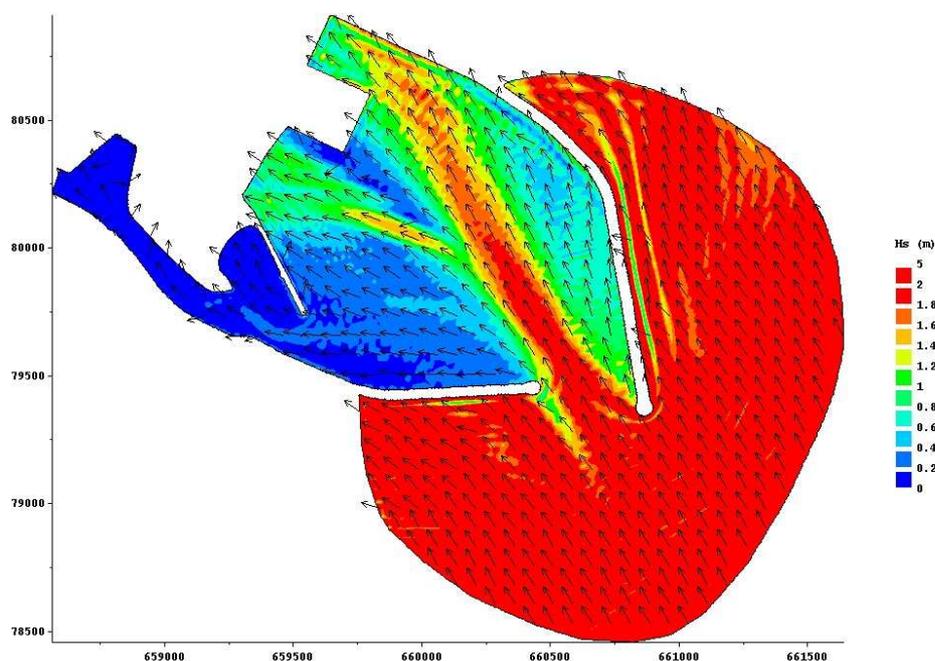


Figure 9 : Houle limite d'opérabilité – 150°N

Commentaires

Cette configuration permet d'orienter une partie non négligeable de l'énergie de la houle vers le bassin d'amortissement créé entre la jetée Nord existante et le nouveau môle (cf. figures 7 à 9). La protection du port historique engendrée par la conservation d'une grande partie de la jetée Nord participe également au passage sous les critères d'agitation de l'ensemble du bassin portuaire pour toutes les houles d'incidences inférieures ou égales à 130°N (excepté la passe d'entrée pour le 130°N, qui dépasse l'agitation adm issible de quelques centimètres).

Le futur Grand Port reste cependant agité défavorablement à partir de la houle de 140°N. Pour cette dernière, seule la nouvelle darse subit des agitations supérieures aux critères. En revanche, le port dans sa globalité reste sensible aux houles de direction 150°N et 160°N.

5-8.2 Houle annuelle – limite de navigabilité

5-8.2.1 Respect des critères

Le comportement du bassin soumis à l'agitation des houles annuelles a été également modélisé. Le tableau de la page suivante synthétise les résultats obtenus en différents profils significatifs du port.

Profil	Direction (°N)								Critère (en m)
	90	100	110	120	130	140	150	160	
Passe d'entrée	1.37	1.72	2.24	2.50	2.63	2.43	1.24	0.96	3.00
Chenal d'accès	0.40	0.47	0.64	0.79	0.88	1.09	1.18	0.84	2.00
Cercle d'évitage	0.32	0.35	0.46	0.56	0.67	1.15	0.84	0.66	1.50
Poste Digue Nord I	0.31	0.34	0.37	0.44	0.43	0.49	0.31	0.37	0.60
Poste Digue Nord II	0.21	0.24	0.24	0.33	0.41	0.41	0.28	0.41	0.60
Poste Digue Nord III	0.24	0.26	0.34	0.39	0.46	0.72	0.66	0.47	0.60
Darse	0.23	0.25	0.34	0.46	0.53	0.91	0.63	0.36	0.80
Poste Sud Darse	0.32	0.32	0.36	0.42	0.52	0.81	0.65	0.49	0.60
Chenal Port Actuel	0.17	0.23	0.32	0.35	0.26	0.10	0.08	0.04	0.60
Darse Pétrolière Actuelle	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.50
Occurrence Houle annuelle <i>en nombre d'évènement de 30 minutes par an(*)</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	

Tableau 9 : Hs moyenne calculée – houle annuelle

5-8.2.2 Planches graphiques

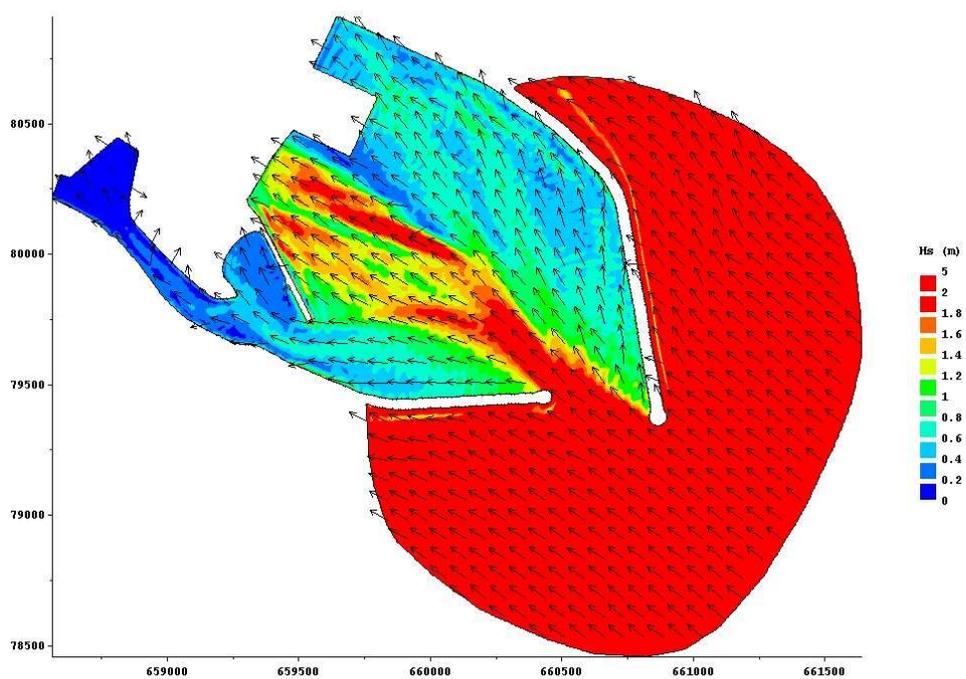


Figure 10 : Houle annuelle – 130°N

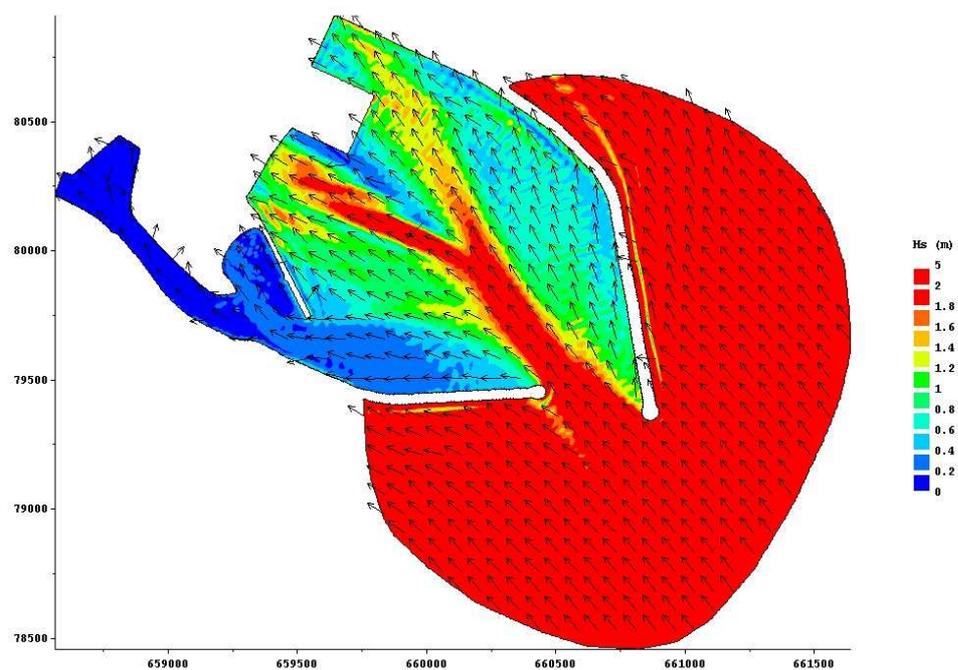


Figure 11 : Houle annuelle – 140°N

Commentaires

Les critères relatifs à la sécurité liée à la navigation sont globalement respectés pour les houles annuelles sur l'ensemble du bassin portuaire, et ce pour toutes les incidences modélisées. Le rôle dissipateur du bassin d'amortissement est prépondérant (cf. Figures 10 et 11). A noter cependant que les postes de la nouvelle darse (Poste Sud Darse et Poste Digue Nord III) présentent une agitation d'environ 17% supérieure aux critères pour les incidences 140°N et 150°N.

5-8.3 Houle décennale

5-8.3.1 Respect des critères

Le comportement du bassin soumis à l'agitation des houles décennales a été également modélisé. Le tableau de la page suivante synthétise les résultats obtenus en différents profils significatifs du port.

Rappel : les critères relatifs à la houle décennale sont identiques à ceux relatifs à la houle annuelle.

Profil	Direction (°N)								Critère (en m)
	90	100	110	120	130	140	150	160	
Passe d'entrée	1.62	2.09	2.67	2.91	3.07	3.06	1.62	1.34	3.00
Chenal d'accès	0.52	0.64	0.83	0.93	0.99	1.56	1.49	1.14	2.00
Cercle d'évitage	0.39	0.45	0.55	0.62	0.83	1.46	1.05	0.95	1.50
Poste Digue Nord I	0.42	0.46	0.53	0.57	0.64	0.74	0.48	0.66	0.60
Poste Digue Nord II	0.30	0.34	0.37	0.52	0.64	0.51	0.46	0.60	0.60
Poste Digue Nord III	0.31	0.34	0.44	0.48	0.60	1.03	0.89	0.70	0.60
Darse	0.31	0.34	0.42	0.48	0.69	1.22	0.85	0.54	0.80
Poste Sud Darse	0.43	0.47	0.54	0.61	0.74	1.09	0.83	0.68	0.60
Chenal Port Actuel	0.19	0.26	0.35	0.37	0.30	0.16	0.06	0.07	0.60
Darse Pétrolière Actuelle	0.04	0.06	0.07	0.08	0.07	0.05	0.02	0.01	0.50
Occurrence Houle décennale <i>en nombre d'évènement de 30 minutes par an(*)</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

Tableau 10 : Hs moyenne calculée – houle décennale

5-8.3.2 Planches graphiques

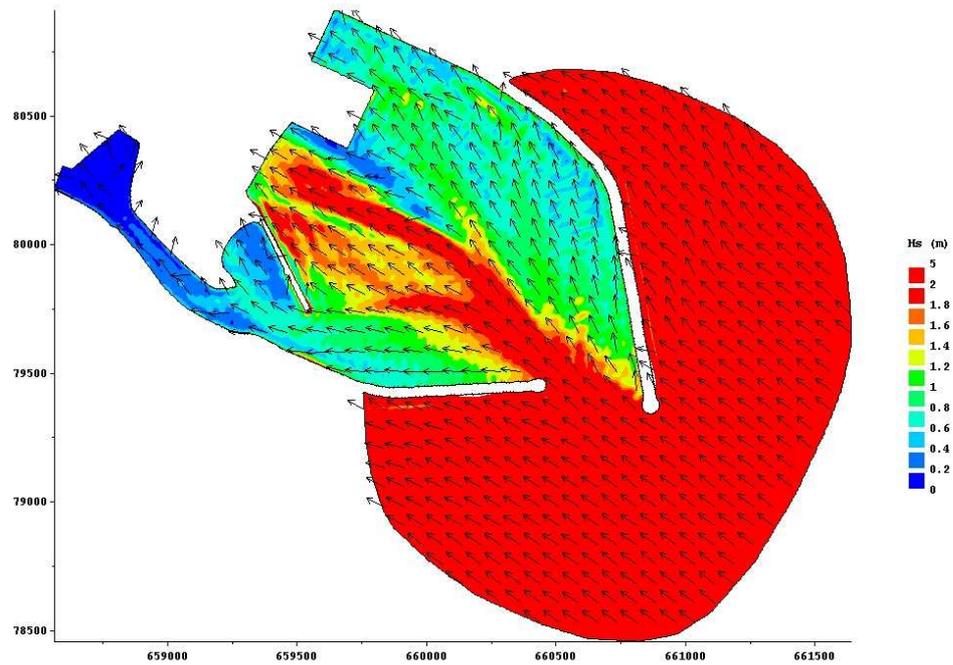


Figure 12 : Houle décennale – 130°N

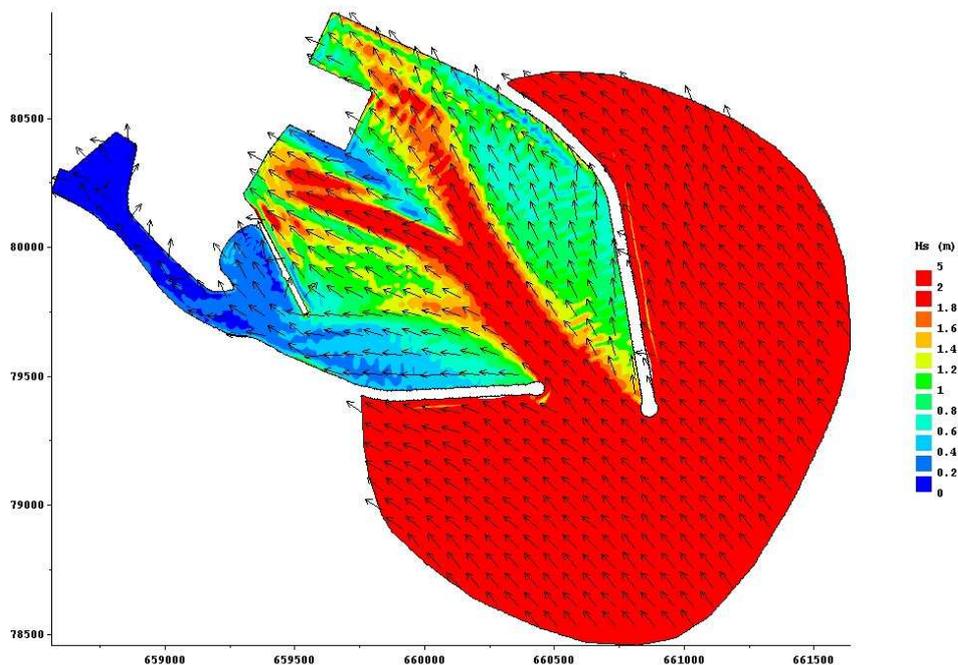


Figure 13 : Houle décennale – 140°N

Commentaires

Les houles décennales agitent de façon plus prononcée le plan d'eau. Si le port historique respecte les critères d'agitation pour toutes les incidences de houle modélisées, le futur Grand Port apparaît sensible notamment au niveau de la nouvelle darse ainsi que des postes attenants à la digue Nord à partir des houles de 130thN. Les agitations y sont parfois supérieures de 50% aux valeurs admissibles.

5-8.4 Synthèse sur la configuration d'aménagement retenue par le Maître d'Ouvrage

Cet aménagement intérieur est très bénéfique à la réduction de l'agitation dans le bassin portuaire. En effet le bassin d'amortissement permet de dissiper une partie non négligeable de l'énergie de la houle.

Le recepage partiel de la jetée Nord actuelle ainsi que l'octroi de coefficients de réflexion relativement faible à la nouvelle darse permettent d'accentuer encore la réduction de l'agitation. Cette dernière deviendrait pénalisante pour l'opérabilité pour environ 5 événements par an. Concernant la sécurité des postes lors de tempêtes annuelles ou décennales, la sensibilité de la nouvelle darse reste importante. Des mesures spécifiques (exploitation des zones de calmes selon l'incidence de la houle, etc.) devront être étudiées.

Concernant la navigabilité, cette optimisation rend inapte à la circulation une partie du plan d'eau qui devra être signalé par un balisage approprié. Cependant, compte-tenu de la pente et de la nature sableuse des fonds dans cette zone non draguée, cet inconvénient ne nuit pas à la sécurité des navires dans le cas d'un éventuel échouage.

On soulignera de plus le design sécuritaire établi lors de la conception de l'aménagement du futur Grand Port : passe d'entrée de 330 m, distance d'arrêt égale à cinq fois la longueur du navire, etc.

Enfin, il est important de rappeler que l'étude a été menée en tenant compte des critères d'agitation acceptable pour un navire de 160 m au niveau et à proximité des différents postes. La prise en compte des critères pour un navire de 200 m conduit à une toute autre vision des possibilités d'exploitation et des limites de sécurité. Les tableaux 11 et 12 en sont l'illustration.

En effet, on constate que pour un navire de 200 m, hormis pour les houles très peu fréquentes provenant des 150 et 160thN, seules les zones du cercle d'évitage du chenal d'accès et des postes de la darse présentent des agitations supérieures aux critères pour la houle de limite d'opérabilité.

Concernant les houles annuelles, l'ensemble du port satisfait les critères prédéterminés (cf. tableau 12).

Profil	Direction (°N)								Critère (en m) (navire 200 m)
	90	100	110	120	130	140	150	160	
Passe d'entrée	0.63	0.87	1.31	1.74	2.03	2.02	1.90	1.75	2.00
Chenal d'accès	0.18	0.23	0.36	0.55	0.68	0.90	1.84	1.53	1.50
Cercle d'évitage	0.15	0.17	0.26	0.39	0.52	0.96	1.30	1.18	1.00
Poste Digue Nord I	0.14	0.17	0.22	0.30	0.33	0.40	0.48	0.66	0.80
Poste Digue Nord II	0.10	0.12	0.15	0.23	0.31	0.34	0.43	0.74	0.80
Poste Digue Nord III	0.11	0.13	0.19	0.27	0.35	0.59	1.02	0.86	0.80
Darse	0.10	0.11	0.19	0.32	0.41	0.76	0.97	0.64	1.00
Poste Sud Darse	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.67	1.03	0.90	0.80
Chenal Port Actuel	0.09	0.13	0.20	0.25	0.21	0.11	0.11	0.10	0.50
Darse Pétrolière Actuelle	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30
Occurrence Houle de $H_s \geq 2,0$ m <i>en nombre d'évènement de 30 minutes par an(*)</i>	81	160	91	29	12	5	0.008	0.0017	

Tableau 11 : Hs moyenne calculée – houle limite d'opérabilité

Profil	Direction (°N)								Critère (en m) (navire 200 m)
	90	100	110	120	130	140	150	160	
Passe d'entrée	1.37	1.72	2.24	2.50	2.63	2.43	1.24	0.96	3.00
Chenal d'accès	0.40	0.47	0.64	0.79	0.88	1.09	1.18	0.84	2.00
Cercle d'évitage	0.32	0.35	0.46	0.56	0.67	1.15	0.84	0.66	1.50
Poste Digue Nord I	0.31	0.34	0.37	0.44	0.43	0.49	0.31	0.37	1.00
Poste Digue Nord II	0.21	0.24	0.24	0.33	0.41	0.41	0.28	0.41	1.00
Poste Digue Nord III	0.24	0.26	0.34	0.39	0.46	0.72	0.66	0.47	1.00
Darse	0.23	0.25	0.34	0.46	0.53	0.91	0.63	0.36	1.20
Poste Sud Darse	0.32	0.32	0.36	0.42	0.52	0.81	0.65	0.49	1.00
Chenal Port Actuel	0.17	0.23	0.32	0.35	0.26	0.10	0.08	0.04	0.60
Darse Pétrolière Actuelle	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.50
Occurrence Houle annuelle <i>en nombre d'évènement de 30 minutes par an(*)</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	

Tableau 12 : Hs moyenne calculée - houle annuelle

Annexe A :
LOGICIEL TELEMAC
MODULE ARTEMIS
(agitation)



océanide

OCEANIDE
Port de Brégaillon - B.P. 63
83 502 La Seyne sur Mer Cedex

Tél. : 04 94 10 97 40
Fax : 04 94 94 42 27
E-Mail : contact@oceanide.net

OUTILS DE CALCULS

MODELE D'AGITATION « ARTEMIS »

Descriptif :

Le logiciel ARTEMIS, du système TEMEMAC, permet de modéliser l'agitation proche de la côte ou à l'intérieur d'un port. Il résout, par la méthode des éléments finis, l'équation de Berkhoff ou « mild slope equation » avec prise en compte des termes de dissipation (déferlement et frottement sur le fond).

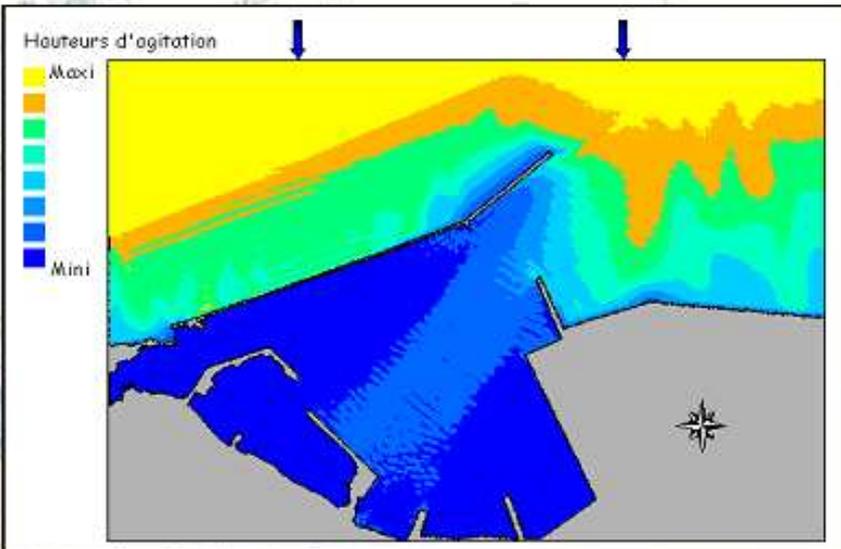
Les phénomènes physiques pris en compte sont les suivants : réfraction due à la bathymétrie, diffraction derrière un obstacle, réflexion partielle ou totale par un ouvrage, pertes d'énergie par déferlement et par frottement sur le fond.

Les données d'entrée peuvent être des houles régulières ou irrégulières (spectres de houle).

La bathymétrie est digitalisée à partir des cartes disponibles et interpolée aux nœuds d'un maillage triangulaire créé à l'aide du logiciel MATISSE.

Une présentation graphique des résultats est réalisée à l'aide du logiciel RUBENS. Elle peut consister en :

- des courbes d'iso-agitation (cf. exemple ci-dessous),
- des champs de vecteur indiquant la direction de la houle.



Hauteurs d'agitation

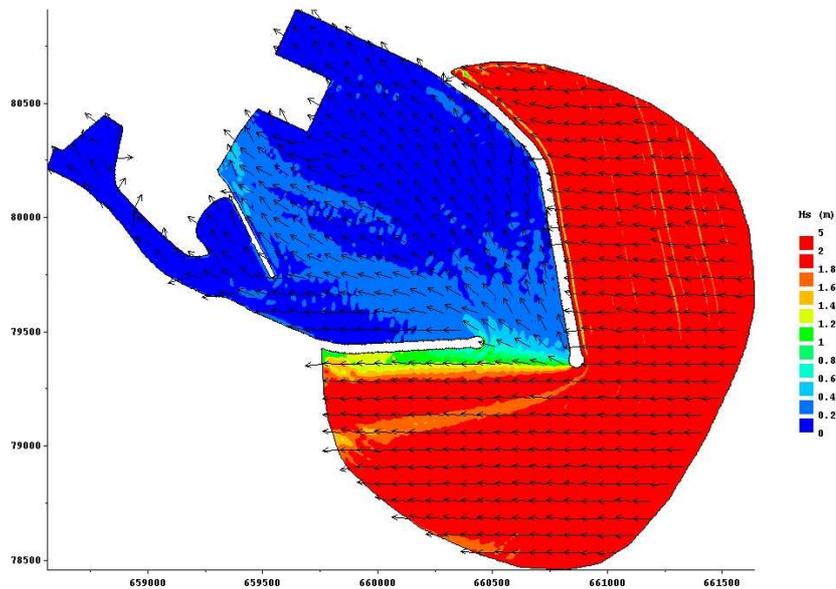
Maxi

Mini

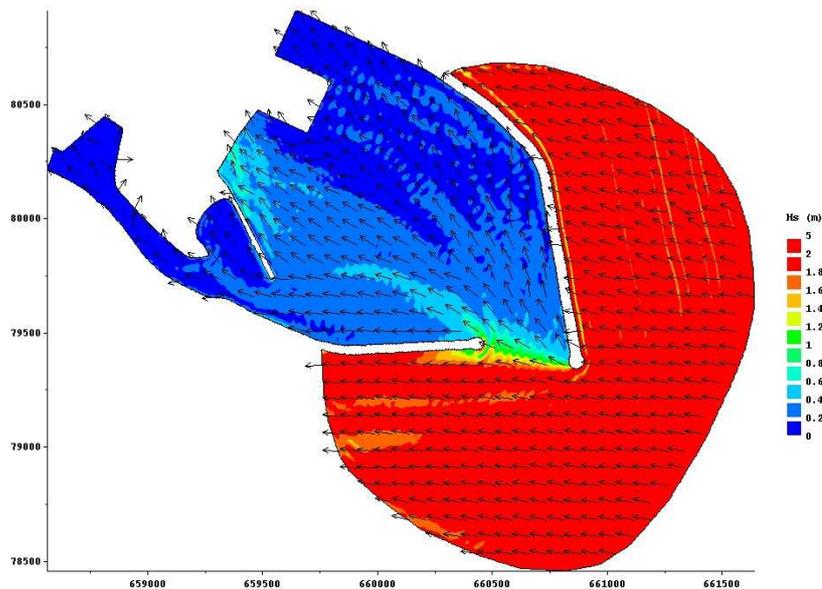
Annexe B :
RESULTATS D'AGITATION

HOULE LIMITE D'OPERABILITE

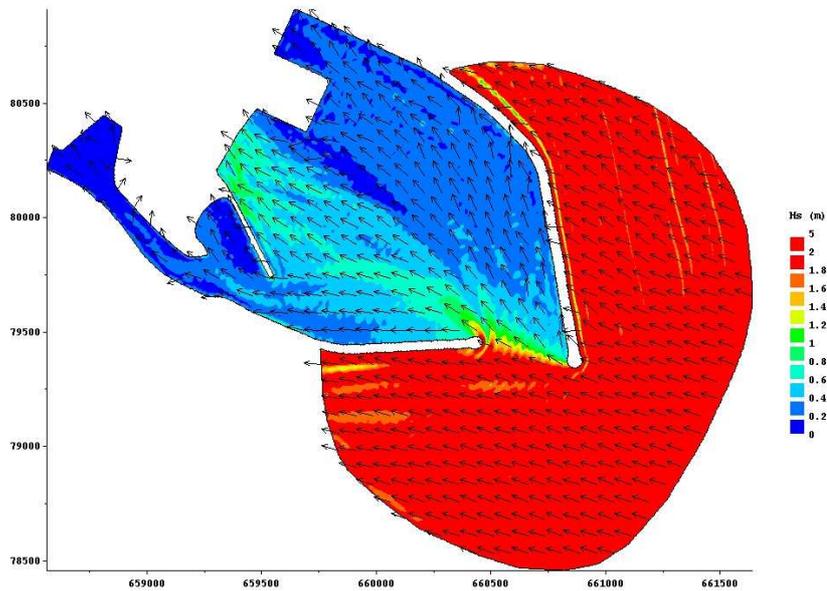
90°N – 2.0 m – 8 s



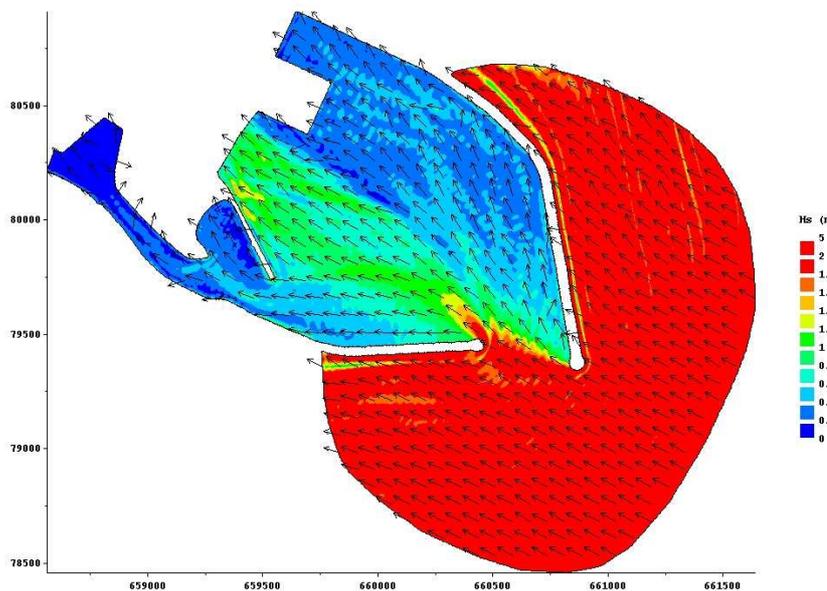
100°N – 2.0 m – 8 s



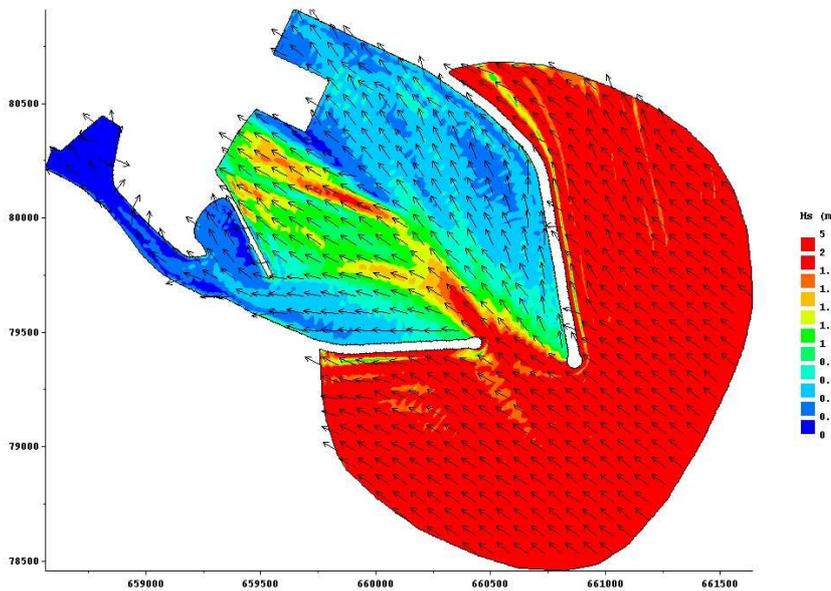
110°N – 2.0 m – 8 s



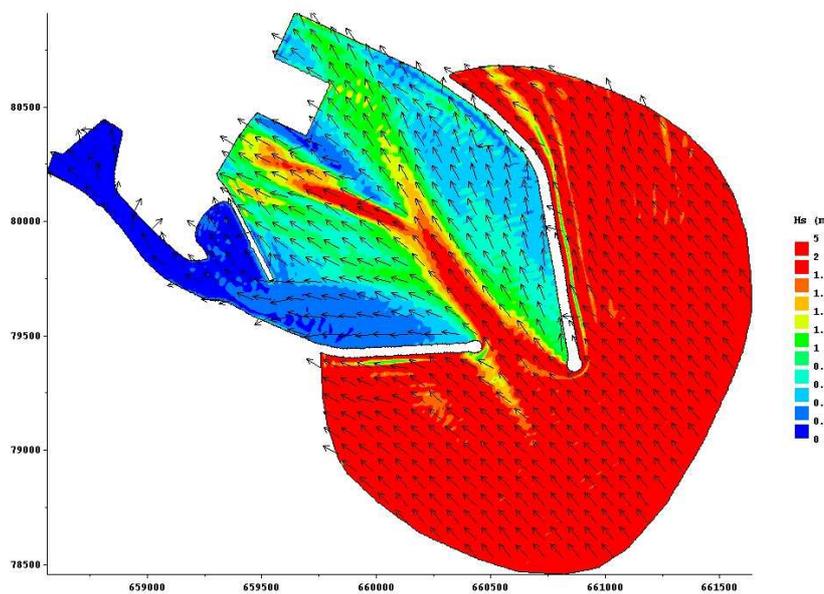
120°N – 2.0 m – 8 s



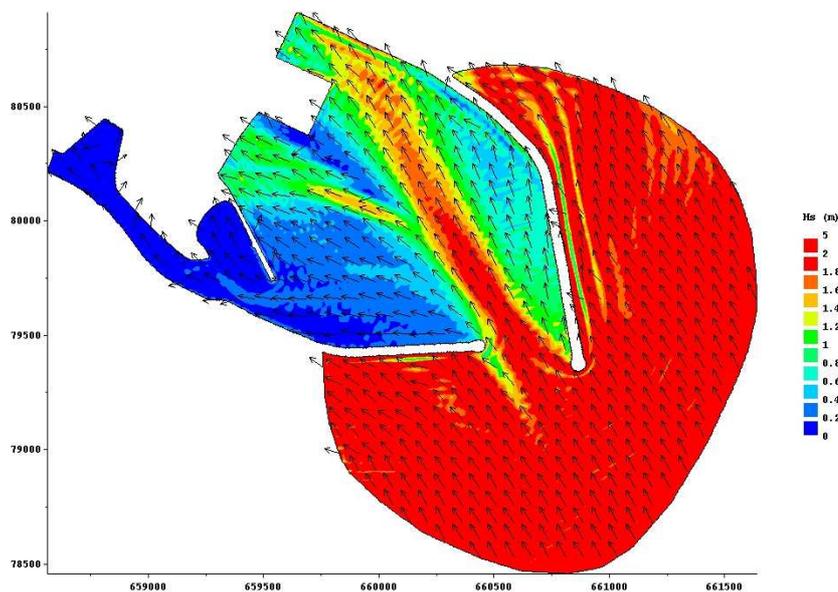
130°N – 2.0 m – 8 s



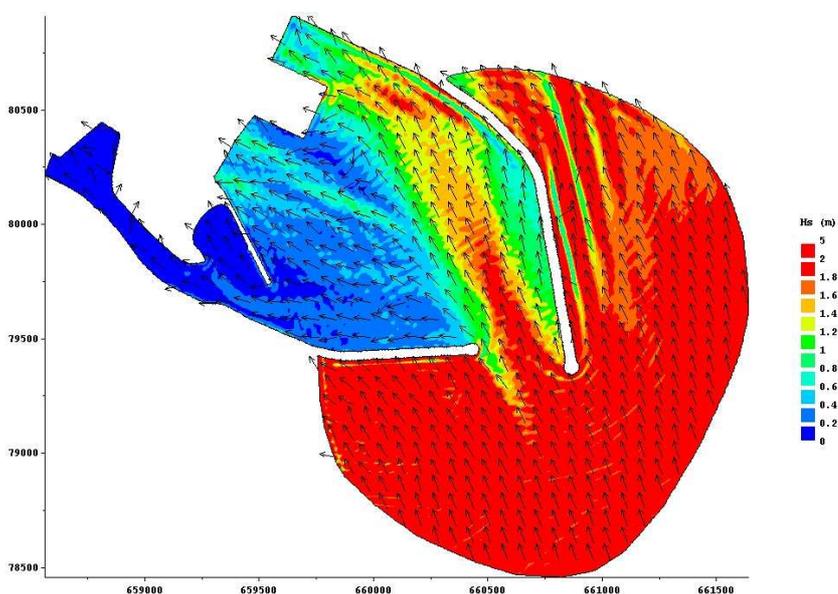
140°N – 2.0 m – 8 s



150°N – 2.0 m – 8 s

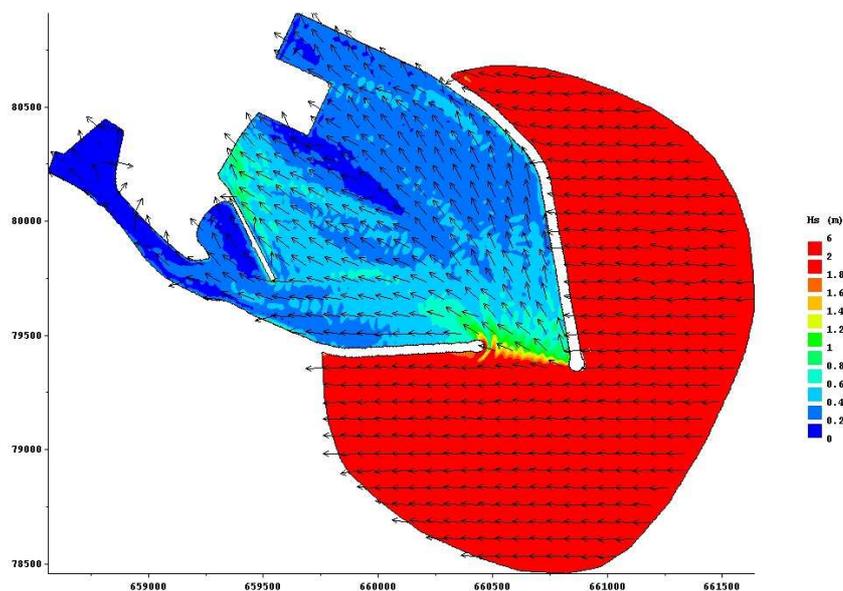


160°N – 2.0 m – 8 s

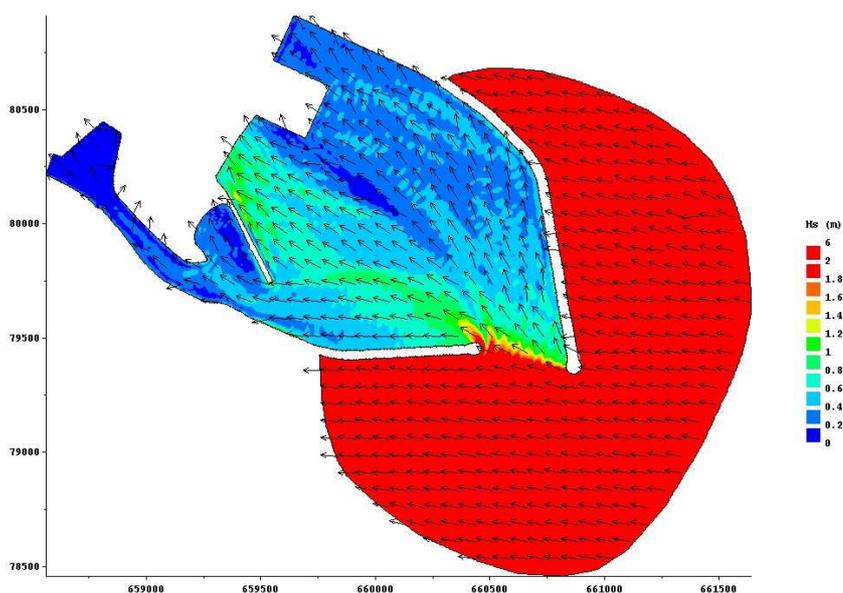


HOULE ANNUELLE

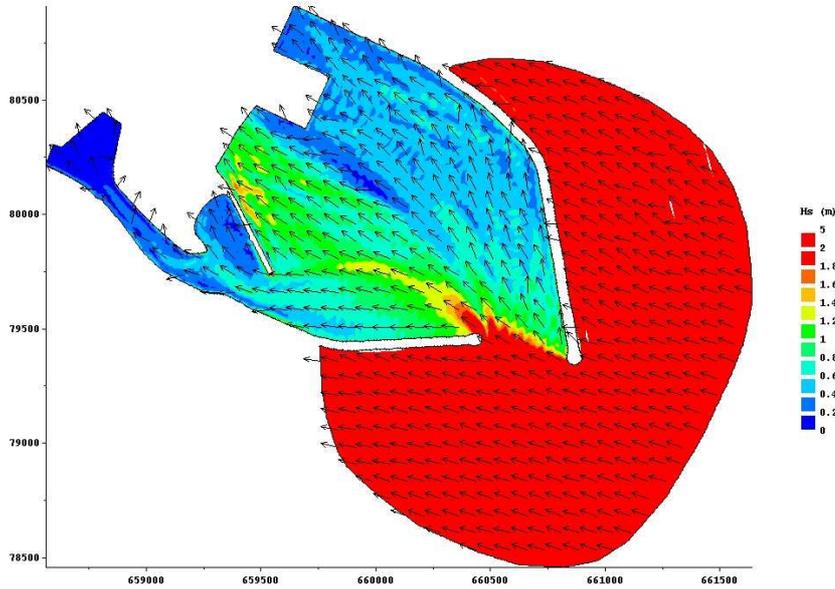
90°N – 4.70 m – 8 s



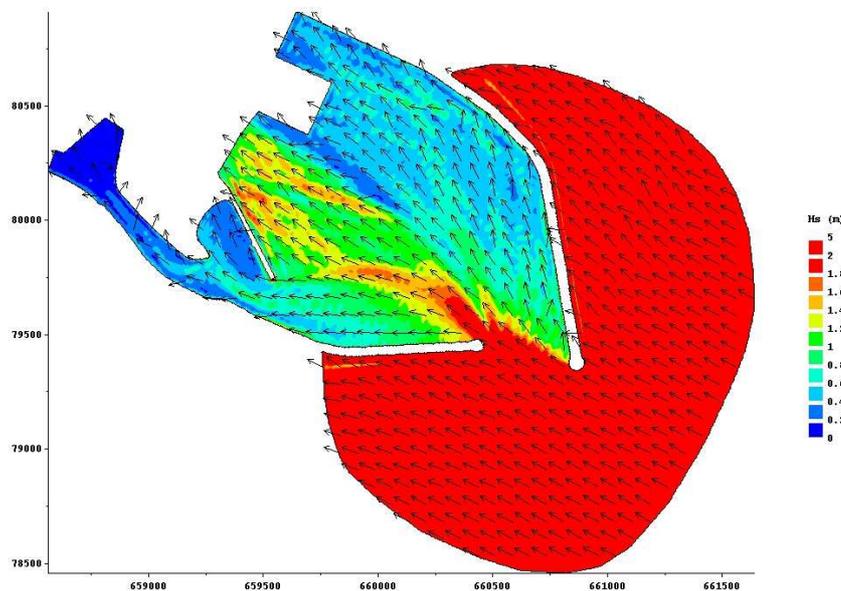
100°N – 4.10 m – 8 s



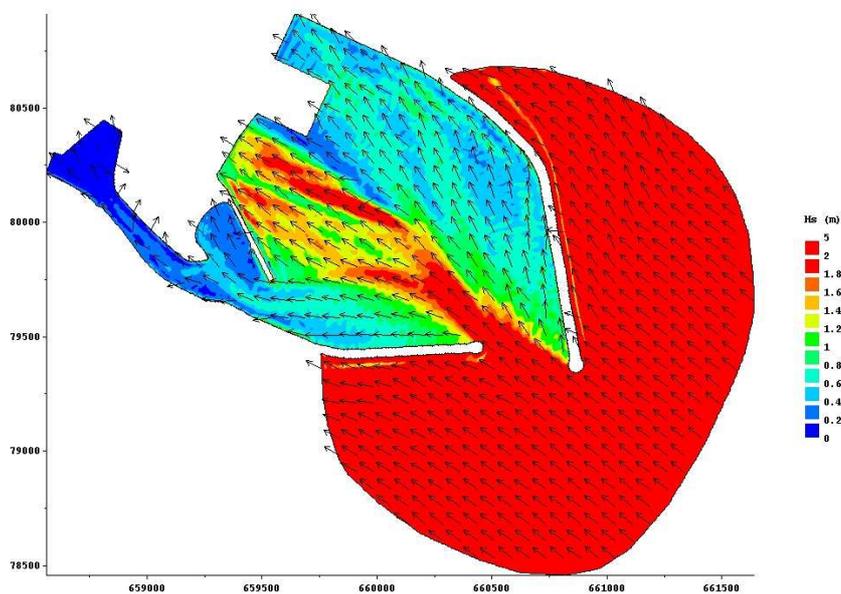
110N – 3.50 m – 8 s



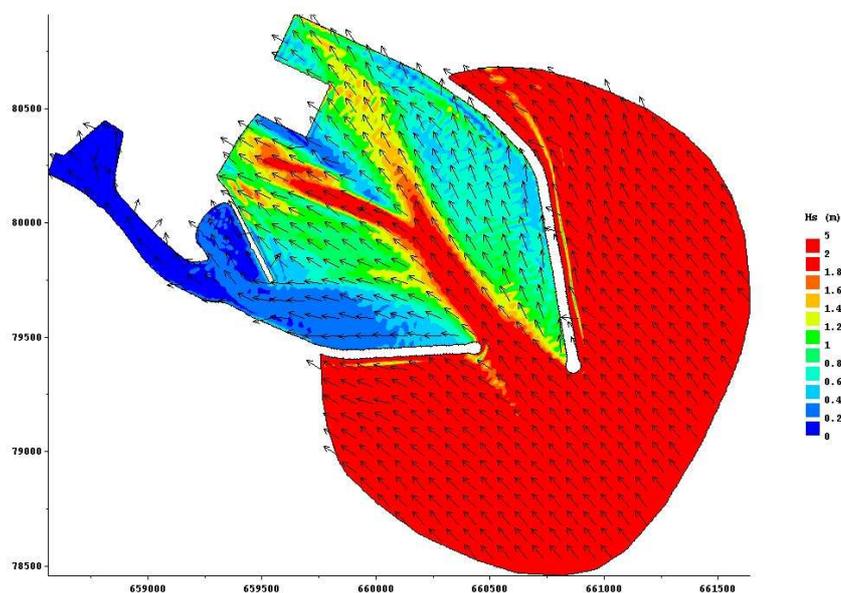
120N – 2.90 m – 8 s



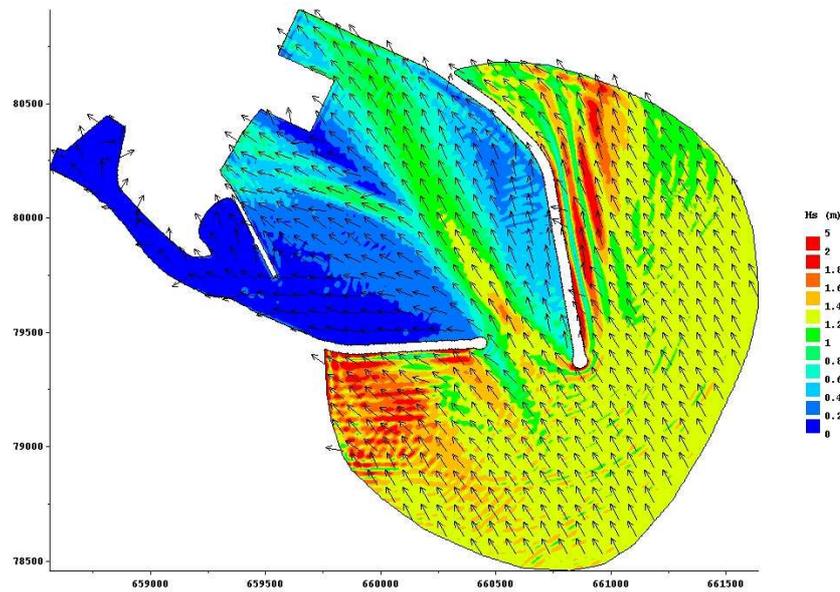
130N – 2.60 m – 8 s



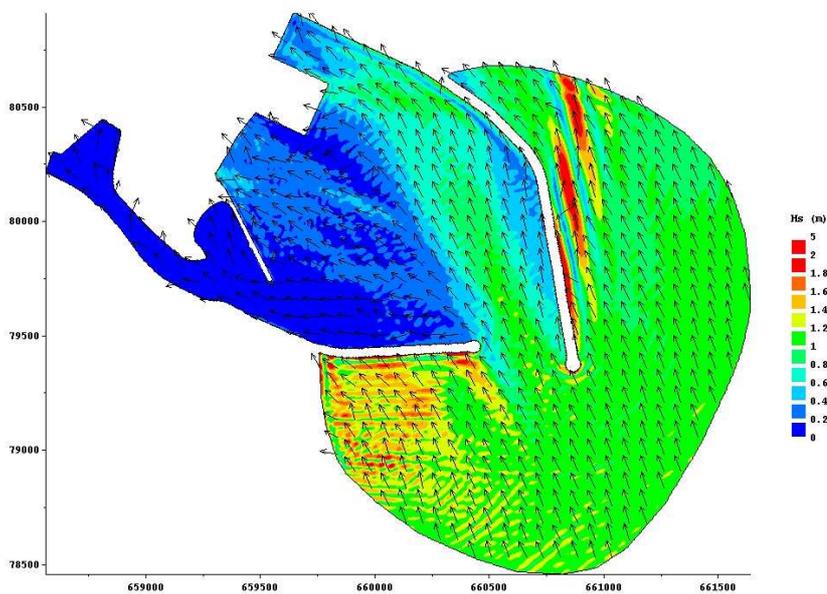
140N – 2.40 m – 8 s



150N – 1.30 m – 8 s

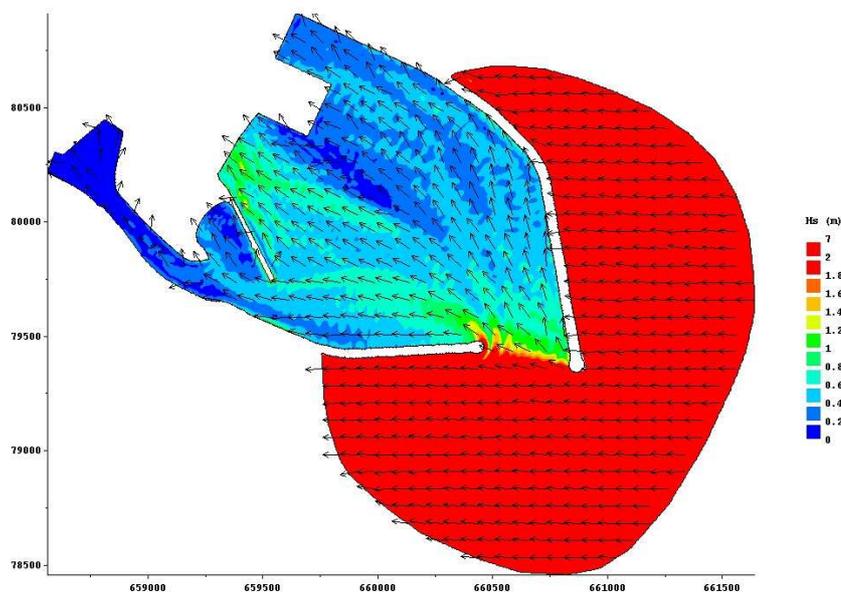


160N – 1.10 m – 8 s

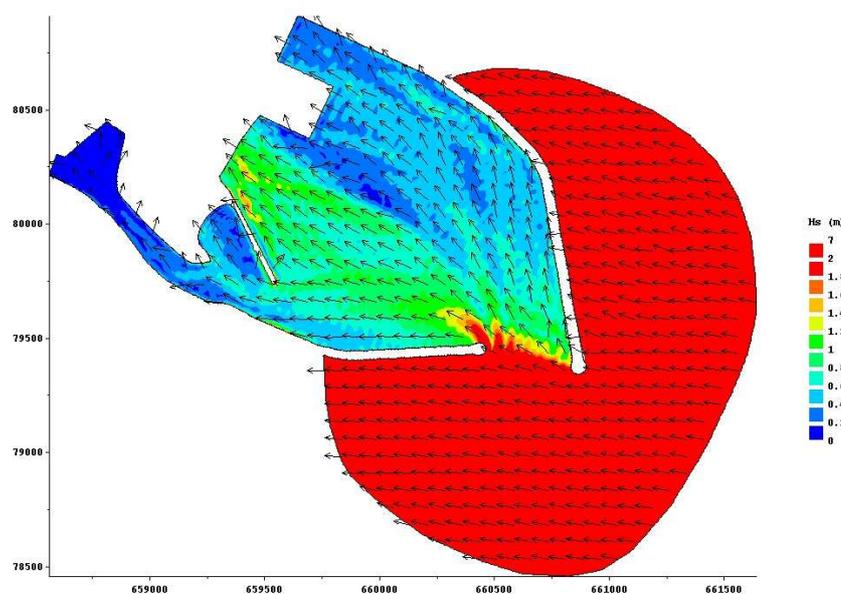


HOULE DECENNALE

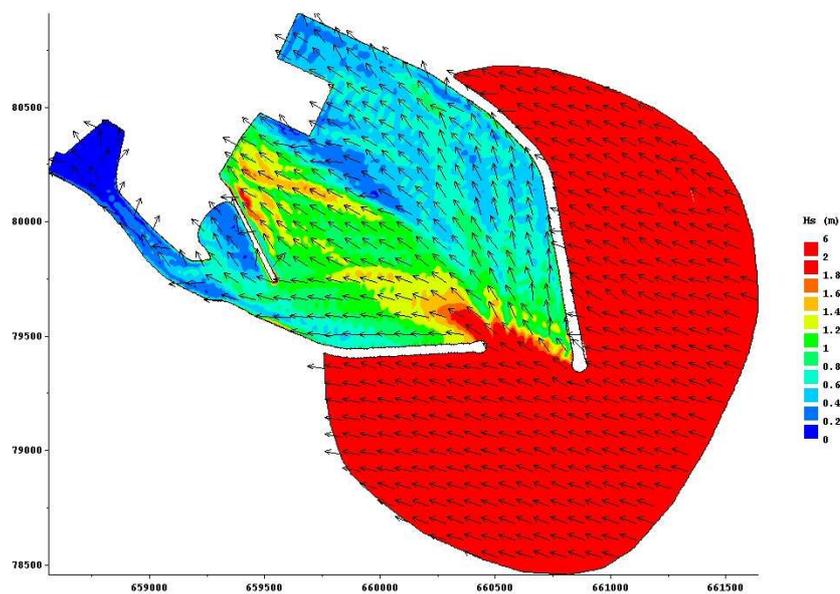
90°N – 5.40 m – 9 s



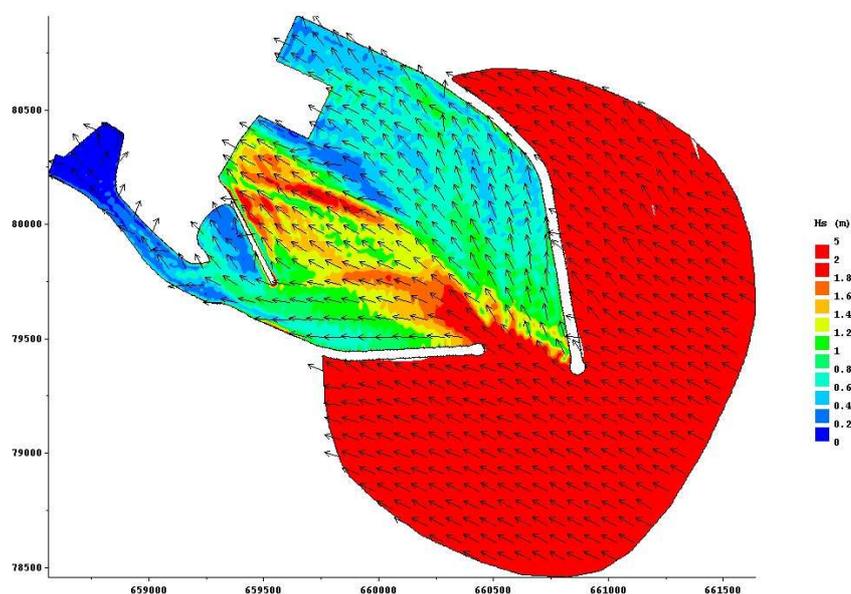
100°N – 4.80 m – 9 s



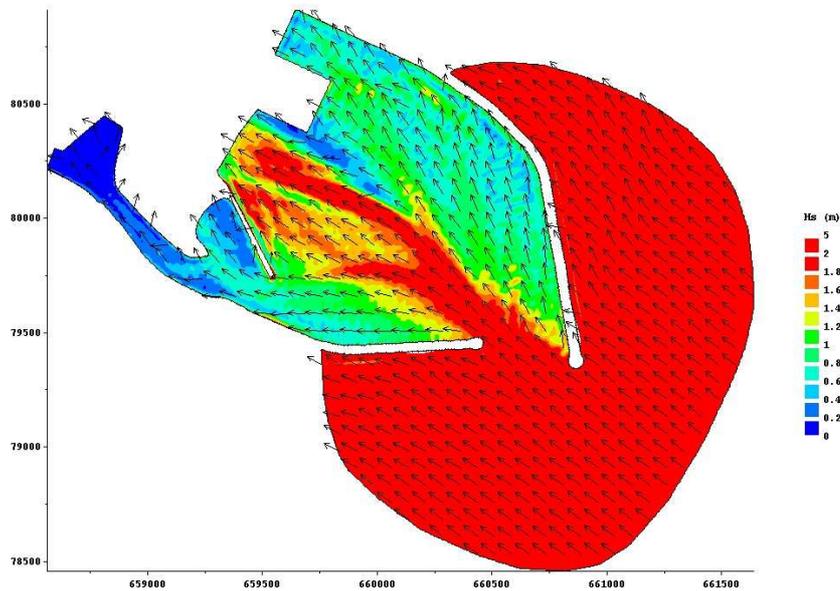
110N – 4.20 m – 9 s



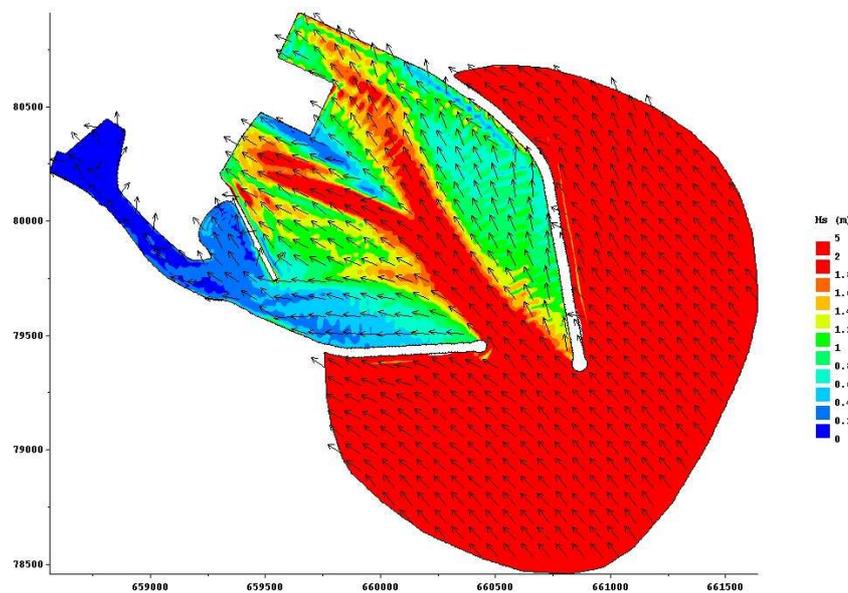
120N – 3.40 m – 9 s



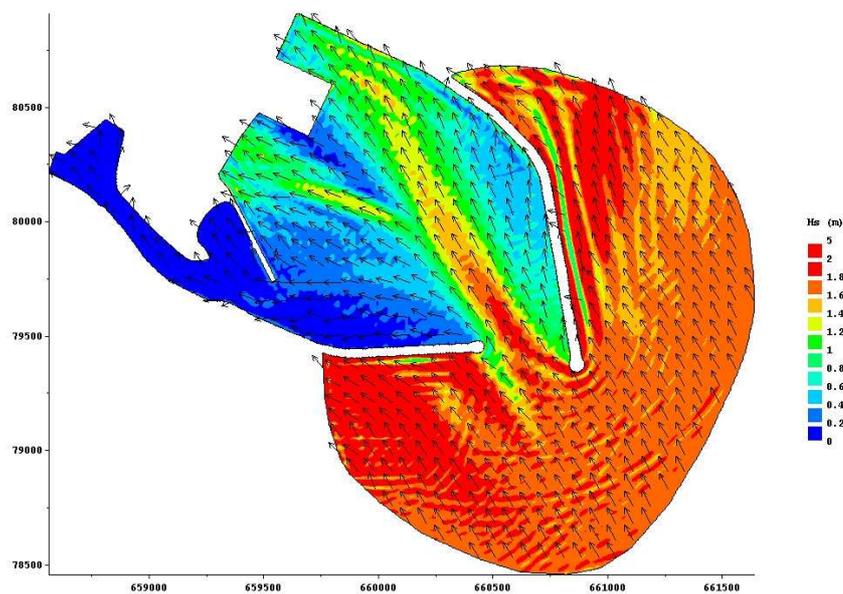
130°N – 3.10 m – 9 s



140°N – 3.0 m – 9 s



150N – 1.70 m – 9 s



160N – 1.50 m – 9 s

