



RAPPORT

TRACTEBEL ENGIE

Plateforme 4000 T – La Ciotat

Etude d'agitation

11 janvier 2019 - version 4.0





International Marine & Dredging Consultants

Colophon

International Marine & Dredging Consultants

Adresse: Van Immerseelstraat 66, 2018 Anvers, Belgique

: + 32 3 270 92 95

: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Site Web: www.imdc.be

Identification du document

Titre	Etude d'agitation
Projet	Plateforme 4000 T – La Ciotat
Client	TRACTEBEL ENGIE
Cahier des Charges n°	
Nom du document	I/RA/14261/18.136/LMI/JWA
Ref document	D:\études sur D\Ciotat\RA14261_18136_AGSTUDYv4_Vue PCE 2019-01-28.docx

Révisions

Version	Date	Description	Auteur	Contrôle	Approuvé
1.0	31/08/2018	Concept	LMI	THL	JWA
4.0	11/01/2019	Revision3	LMI	THL	JWA

Contrôle

Auteur	LMI	
Contrôle	THL	
Approuvé	JWA	

Liste de distribution

	Papier	-
1	Numérique	TEF

Contact chez IMDC

Nom	Jan Walravens
Numéro de téléphone	+32 3 270 92 84 / +32 473 235 681
Email	Jan.walravens@imdc.be

Table des matières

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	5
2. DONNEES METEO-OCEANOGRAPHIQUE	6
2.1 BATHYMETRIE.....	6
2.2 NIVEAU D'EAU	7
2.3 CAS DE CALCUL.....	7
2.4 CLIMAT DES VAGUES	9
3. MODELISATION	10
3.1 ARTEMIS	10
3.2 METHOLOGIE	10
4. AMENAGEMENTS DU PORT.....	11
4.1 MISE EN ŒUVRE DU MODELE	12
4.1.1 Conditions aux limites.....	12
4.1.2 Conditions aux limites en cas de changement climatique.....	15
4.2 CONDITIONS A L'ENTREE DU PORTS.....	17
5. RESULTATS.....	18
5.1 ZONES D'ANALYSE.....	18
5.2 VALEURS K_D DANS LE PORT.....	19
5.3 CORRESPONDANCE AVEC L'ETUDE BRL	29
5.4 ANALYSE DE HOULES ET CLAPOTS	32
5.5 EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	38
6. CONCLUSION GÉNÉRALE.....	39
7. BIBLIOGRAPHIE	40

ANNEXES

ANNEXE A ... EPURES D'AGITATION SITUATION ACTUELLE (SANS AMENAGEMENT)

ANNEXE B ... EPURES D'AGITATION SCENARIO B2

ANNEXE C ... EPURES D'AGITATION SCENARIO A2

C.1 ... HYPOTHESE QUAI D'ATTENTE AVEC MUR IMPERMEABLE

C.2 ... HYPOTHESE QUAI D'ATTENTE AVEC MUR TRANSPARENT

Table des tableaux

TABLEAU 2-1 : CAS DE CALCUL POUR LA PROPAGATION DES HOULES EXTREMES (BRL INGENIERIE, 2017).....	8
--	---

TABEAU 2-2 : CAS DE CALCUL POUR LA GENERATION DES CLAPOTS (BRL INGENIERIE, 2017).....	8
TABEAU 2-3 : FREQUENCE MOYENNE DES VENT (EN %) PAR DIRECTION ET PAR VITESSE (BRL INGENIERIE, 2017).....	8
TABEAU 2-4 : HAUTEURS DE HOULE ET DE CLAPOT CALCULE PAR (BRL INGENIERIE, 2017).....	9
TABEAU 4-1 : SCENARIOS MODELISE AVEC ARTEMIS.	17
TABEAU 5-1 : COORDONNES DES POINTS EN PROJECTION LAMBERT SUD (EPSG : 27563).	18
TABEAU 5-2 : VALEURS K_D AU POINT 1. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	19
TABEAU 5-3: VALEUR K_D AU POINT 2. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	20
TABEAU 5-4 : VALEUR K_D AU POINT 3. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	21
TABEAU 5-5 : VALEUR K_D AU POINT 4. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	22
TABEAU 5-6 : VALEUR K_D AU POINT 5. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	22
TABEAU 5-7 : VALEUR K_D AU POINT 6. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	23
TABEAU 5-8 : VALEUR K_D AU POINT 7. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	23
TABEAU 5-9 : VALEUR K_D AU POINT 8. VALEUR MOYENNE (\pm ECART TYPE).	24
TABEAU 5-10 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 1.....	32
TABEAU 5-11: HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 2.....	33
TABEAU 5-12 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 3.....	33
TABEAU 5-13 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0})AU POINT 4.....	34
TABEAU 5-14 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 5.....	34
TABEAU 5-15 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0})AU POINT 6.....	35
TABEAU 5-16 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 7.....	35
TABEAU 5-17 : HAUTEUR DE VAGUE (H_{M0}) AU POINT 8.....	36

Table des Figures

FIGURE 1-1 : CARTOGRAPHIE MONTRANT LES DIRECTIONS DES HOULES ET CLAPOTS.....	5
FIGURE 2-1 : BATHYMETRIE DE LA CIOTAT UTILISEE POUR LE MODELE ARTEMIS.	6
FIGURE 2-2 : DIFFERENCE ENTRE LA RESOLUTION DE BATHYMETRIE DANS LE PORT ET AU LARGE.	7
FIGURE 4-1 : DESSIN CAO POUR SOLUTION A2.....	11
FIGURE 4-2 : DESSIN CAO POUR SOLUTION B2.	11
FIGURE 4-3 : CONFIGURATION ACTUELLE.	13
FIGURE 4-4 : CONFIGURATION 'A2 AVEC MUR IMPERMEABLE'.....	13
FIGURE 4-5 : CONFIGURATION 'A2' AVEC MUR TRANSPARENT.	14
FIGURE 4-6 : CONFIGURATION 'B2'.....	14
FIGURE 4-7 : DETAIL DU MAILLAGE DANS LE VIEUX PORT.....	15

FIGURE 4-8 : CONDITIONS LIMITE POUR LA SITUATION ACTUELLE – CHANGEMENT CLIMATIQUE.	16
FIGURE 4-9 : CONFIGURATION 'B2' – CHANGEMENT CLIMATIQUE.	16
FIGURE 5-1 : POSITON DES ZONES D'ANALYSE.....	18
FIGURE 5-2 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 1.	25
FIGURE 5-3 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 2.	25
FIGURE 5-4: DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 3.	26
FIGURE 5-5: DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 4.	26
FIGURE 5-6 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 5.	27
FIGURE 5-7 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 6.	27
FIGURE 5-8 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 7.	28
FIGURE 5-9 : DIAGRAMME AVEC LES VALEURS K_D POUR CHAQUE DIRECTION ET PERIODE POUR ZONE 8.	28
FIGURE 5-10 : ZONES D'ANALYSE BRL.	29
FIGURE 5-11 : HAUTEURS DE HOULE RELATIVE (K_D) DANS LA ZONE « QUAI 9 », COMPARAISON POUR LA SITUATION ACTUELLE ENTRE LES RÉSULTATS DE BRL INGÉNIERIE (2017).	30
FIGURE 5-12 : HAUTEURS DE HOULE RELATIVE (K_D) DANS LA ZONE « BASSIN », COMPARAISON POUR LA SITUATION ACTUELLE ENTRE LES RÉSULTATS DE BRL INGÉNIERIE (2017).	30
FIGURE 5-13 : HAUTEURS DE HOULE RELATIVE (K_D) DANS LA ZONE « QUAI 4 », COMPARAISON POUR LA SITUATION ACTUELLE ENTRE LES RÉSULTATS DE BRL INGÉNIERIE (2017).	31
FIGURE 5-14 : HAUTEURS DES VAGUES TOTALES (H_{M0}).	36
FIGURE 5-15 : MODIFICATION DE L'AMENAGEMENT DU QUAI : LA LIGNE ROUGE MONTRE LES SCENARIOS AVEC AMENAGEMENT ET LA LIGNE BLEUE MONTRE LE SCENARIO 'SANS AMENAGEMENT'.	37
FIGURE 5-16: HAUTEURS DES VAGUES TOTALES (H_{M0}) AVEC UN NIVEAU MARIN DE RÉFÉRENCE JUSQU'À 2.10M NGF.	38

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

La Ciotat Shipyards va mettre en œuvre une nouvelle plateforme de réparation navale pour méga-yachts de 4000t sur le site des chantiers navals de la Ciotat. Les aménagements concernent la mise en œuvre d'un ascenseur à bateaux notamment et de nouveaux quais.

En conséquence, la Ciotat Shipyards souhaite connaître les impacts de ces aménagements sur l'agitation dans le port. A cette fin, IMDC a réalisé une étude d'agitation en utilisant le module ARTEMIS de la suite de calcul TELEMAT. Les conditions aux limites existantes de l'étude BRL (BRL ingénierie, 2017) sont utilisées dans cette étude.

NOTA : Aucune analyse supplémentaire des conditions aux limites n'a été réalisée dans le cadre de cette étude. Il est noté également que les conditions aux limites disponibles ne sont pas toujours liées à des périodes de retour.

Le port de La Ciotat est indiqué par la Figure 1-1. Le positionnement du port sur la côte le rend vulnérable à un état de mer engendré localement par le vent (clapot du Nord à l'Est) et des vagues qui sont formées au large par un champ de vent (houles du Sud-Est).

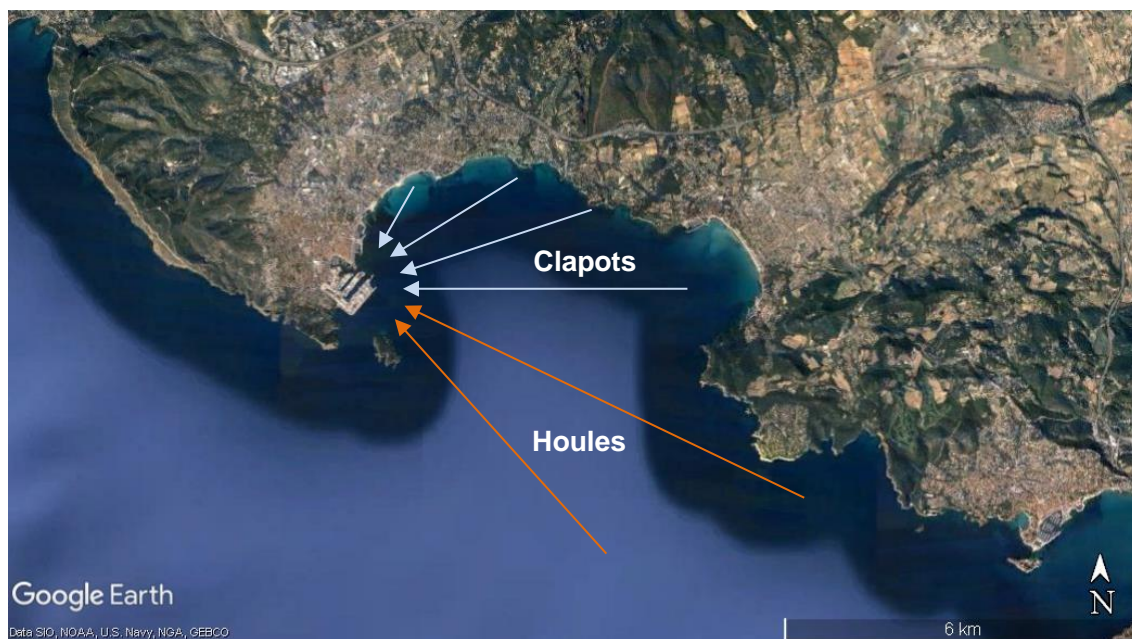


Figure 1-1 : Cartographie montrant les directions des houles et clapots.

2. DONNEES METEO-OCEANOGRAPHIQUE

2.1 BATHYMETRIE

La bathymétrie à l'intérieur du port a été obtenue grâce à une campagne de mesure réalisée par SEMANTIC entre 2008 et 2009. Les données ont été mises à disposition sous forme d'une maille rectangulaire avec une résolution de 1m*1m.

Pour la bathymétrie au large, le modèle s'est appuyé sur des données d'EMODnet (<http://www.emodnet-bathymetry.eu/>) avec une résolution de 150 m. Les points bathymétriques ont été interpolés linéairement sur le maillage du modèle (voir Figure 2-1). La Figure 2-2 montre la différence entre le nombre de point bathymétrique dans le port et au large.

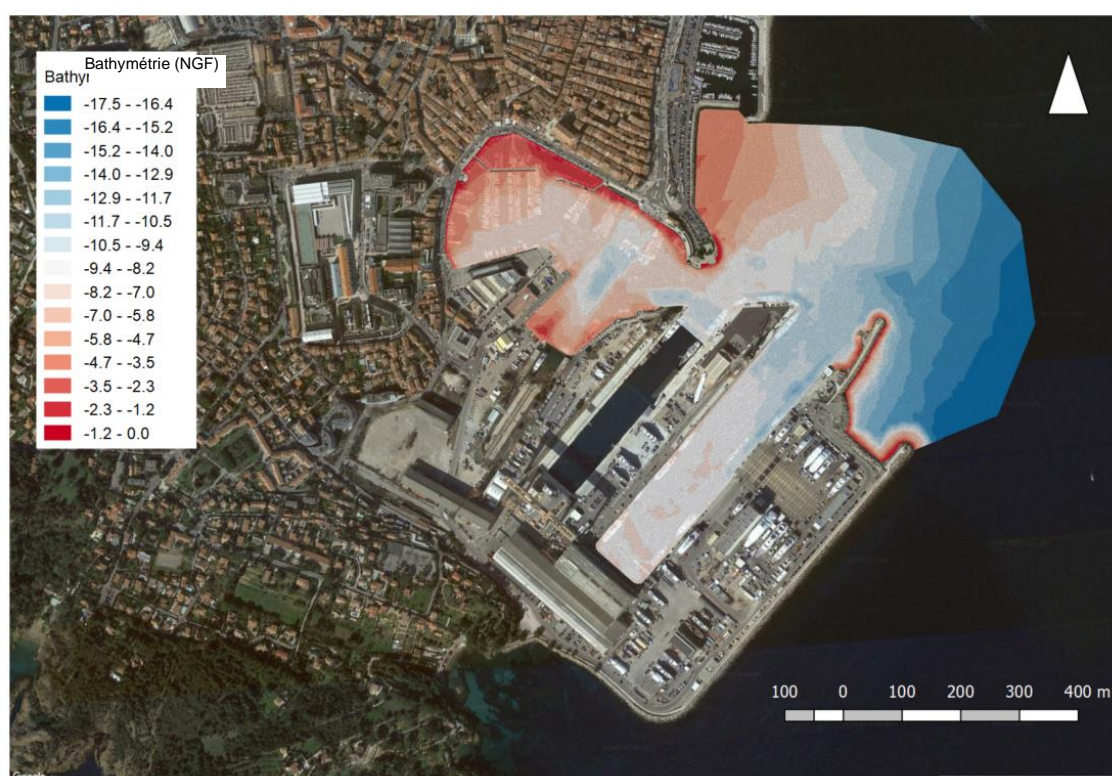


Figure 2-1 : Bathymétrie de La Ciotat utilisée pour le modèle ARTEMIS.

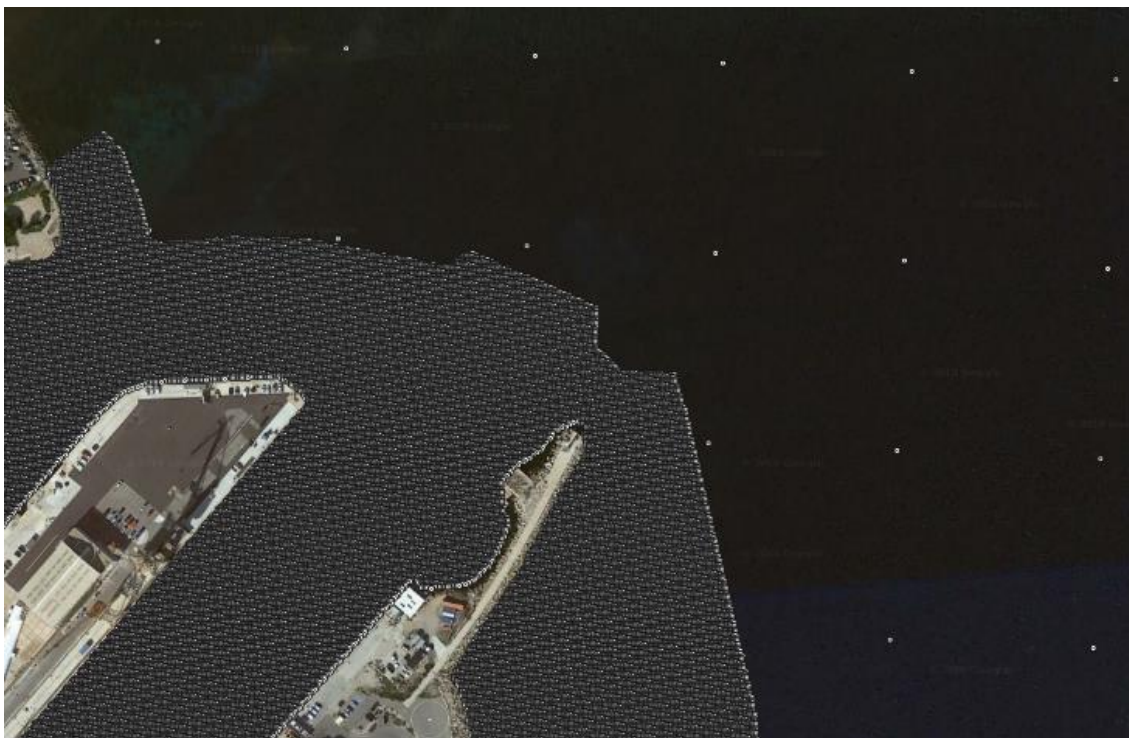


Figure 2-2 : Différence entre la résolution de bathymétrie dans le port et au large.

2.2 NIVEAU D'EAU

Le bassin méditerranéen est influencé par deux cycles de marée par jour : deux pleines mers et basses mers. Le rapport de BRL ingénierie (2017) explique que le niveau d'eau moyen aux abords de La Ciotat est de 0.17 mNGF. Ce sera le niveau d'eau retenu pour les simulations présentées dans cette étude.

Dans le cas où le changement climatique est pris en compte, le niveau marin de référence à l'horizon 2100 est de 2.10 mNGF. Ce niveau est à prendre en compte pour évaluer l'impact de l'aménagement dans le secteur du Port Vieux. Les calculs pour la situation actuelle du port et avec l'aménagement sont repris avec une élévation du niveau marin de référence jusqu'à 2.10 mNGF.

2.3 CAS DE CALCUL

Les conditions aux limites existantes de l'étude BRL (BRL ingénierie, 2017) sont utilisées dans cette étude. Selon le rapport la BRL ingénierie (2017), l'orientation du port limite les principaux facteurs influençant l'agitation du bassin intérieur à :

- des houles de Sud à Sud-Est
- des clapots de Nord à Sud-Est

Le rapport de la BRL ingénierie (2017) comprend une analyse des vagues caractéristiques. Les 8 scénarios considérés sont repris dans cette étude et sont présentés dans les Tableau 2-1 et Tableau 2-2. Le Tableau 2-3 montre la direction et la vitesse des vents mesurés au rocher du Bec de l'Aigle entre 1951 et 1980 que BRL ingénierie (2017) a utilisé pour calculer

les clapots. Il est supposé que les données de vent sont représentatives pour la situation actuelle.

*Tableau 2-1 : cas de calcul pour la propagation des houles extrêmes
(BRL ingénierie, 2017).*

Cas de calcul	Direction (°N)	Période de retour	T _p au large (m)	H _s au large (m)	Niveau d'eau (m CM)
1	135	1 an	8	4.34	0.94
2	135	10 ans	10	6.17	1.24
3	135	100ans	10	8.42	1.50

Tableau 2-2 : cas de calcul pour la génération des clapots (BRL ingénierie, 2017).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p au large (m)	Vitesse de vent (m/s)	Niveau d'eau (m CM)
4	20	4	17	0.17
5	40	4	17	0.17
6	60	4	24	0.17
7	80	4	24	0.17
8	100	4	24	0.17

*Tableau 2-3 : fréquence moyenne des vent (en %) par direction et par vitesse
(BRL ingénierie, 2017).*

Beaufort	1 à 4	5 à 7	8 à 9	> 10 Total	Total
Vitesse (m/s)	0.5 à 7	8 à 17	18 à 24	>24	
20	11	4	*	0	15
40	21	7	*	*	29
60	37	20	2	*	60
80	61	57	7	*	125
100	46	35	4	*	85
120	23	10	*	*	33
140	14	5	*	*	19
160	11	2	*	0	13
180	10	1	*	0	12
200	7	*	*	0	8
220	14	2	*	*	16
240	24	4	*	*	28
260	48	23	1	*	72
280	62	44	2	*	109
300	49	75	6	*	131
320	33	65	9	*	108
340	18	21	3	*	42
360	16	12	*	*	29

2.4 CLIMAT DES VAGUES

Les hauteurs de vague à l'entrée du port ont été calculées par BRL ingénierie (2017) et sont présentées au Tableau 2-4. Il faut toutefois noter que leurs calculs de houles avec période de retour de 1, 10 et 100 ans ne tiennent pas compte de l'influence des vents locaux. De plus, les données de clapot correspondent à la direction et vitesse de vent présentés dans le Tableau 2-3. En conséquence aucune période de retour n'est définie pour les scénarios avec clapot.

Tableau 2-4 : Hauteurs de houle et de clapot calculé par (BRL ingénierie, 2017).

Cas de calcul	H _s à l'entrée du port (m)
Houle 135°N – 1 ans	3.0
Houle 135°N – 10 ans	3.8
Houle 135°N – 100 ans	5.3
Clapot - 20°N	0.4
Clapot - 40°N	0.5
Clapot - 60°N	1.0
Clapot - 80°N	1.3
Clapot – 100°N	1.6

3. MODELISATION

3.1 ARTEMIS

Les calculs d'agitation ont été réalisés à l'aide du module ARTEMIS. Il s'agit d'un logiciel scientifique destiné à reproduire la propagation de la houle sur un domaine côtier ou à l'intérieur d'une zone portuaire. ARTEMIS résout l'équation de Berkhoff par une méthode d'éléments finis (maillage triangulaire). L'équation de Berkhoff a été modifiée de manière à intégrer les processus de dissipation de l'énergie.

Le modèle est capable de prendre en compte les phénomènes physiques suivants (HR Wallingford, 2014) :

- Réfraction par les fonds ;
- Diffraction par les ouvrages et les irrégularités des fonds ;
- Le shoaling (modification de hauteur due à la remontée des fonds) ;
- Déferlement par la cambrure et la profondeur, dû à la remontée des fonds ;
- Frottement sur le fond ;
- Réflexion totale ou partielle sur les ouvrages ;
- Conditions de radiation ou de sortie libre.

3.2 METHODOLOGIE

Une méthodologie similaire à celle de BRL ingénierie (2017) a été utilisée pour cette étude. Le modèle d'agitation calculera les valeurs de houle relative « K_d » dans le port qui seront utilisées comme un indicateur d'agitation :

$$K_d = \frac{H_{\text{Interieur}}}{H_{\text{Au large}}}$$

Ainsi, une valeur de K_d basse représentera une perte d'énergie à l'entrée dans le port et inversement. Une valeur supérieure à 1 indique une augmentation des hauteurs de vague dans le port.

ARTEMIS étant un modèle linéaire, les hauteurs de houle ont été fixées à 1 mètre à l'entrée du modèle pour différentes périodes et directions. En conséquence les valeurs KD peuvent être multipliées par les hauteurs des houles et clapots incidents afin de calculer les hauteurs de vague dans le port (HR Wallingford, 2014).

Le processus de déferlement est non-linéaire, et par conséquent les plus grosses vagues peuvent être surestimées dans le modèle. Toutefois, la profondeur dans la plus grande partie du port est de 4-10m (elle est inférieure à 2m seulement sur les bords), donc la hauteur significative de vagues considérées dans l'étude ($H_{m0} = 0.83\text{m}$) est inférieure à la moitié de la hauteur d'eau. Ainsi, l'impact du déferlement est négligeable dans le cas de La Ciotat. De plus, cette approximation mène à des résultats plus contraignants que la réalité.

4. AMENAGEMENTS DU PORT

Les calculs d'agitation ont été effectués pour 3 différents aménagements du port :

- La situation actuelle
- Aménagement A2 (Figure 4-1) avec quai d'attente en mer. Le quai d'attente pourra être construit avec des pieux. Il est difficile d'évaluer la perméabilité d'un mur de pieux pour la propagation des vagues, les calculs de l'aménagement seront repris pour les deux extrêmes :
 - Mur imperméable ;
 - Mur transparent aux vagues.
- Aménagement B2 (Figure 4-2) avec ascenseur sur le terre-plein.

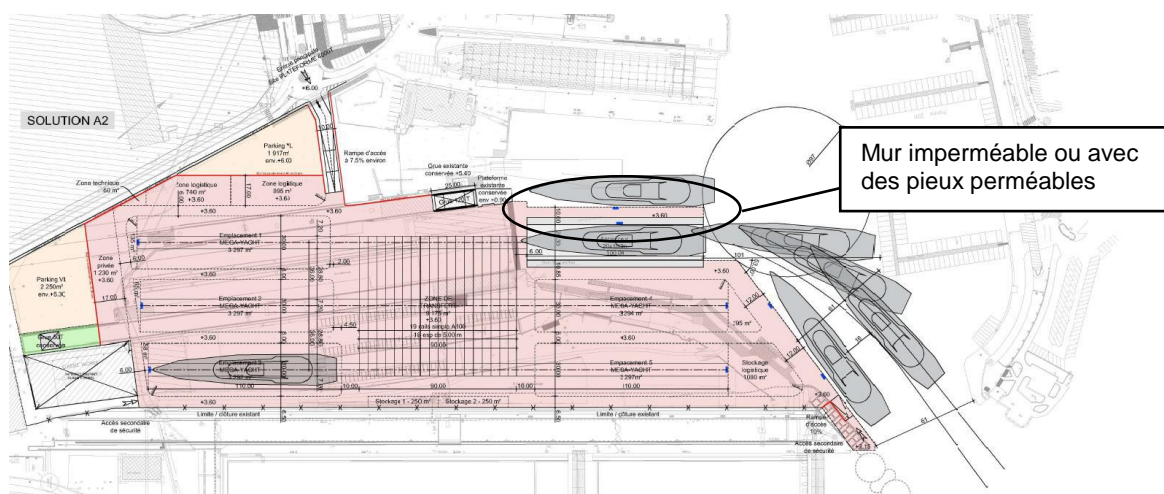


Figure 4-1 : Dessin CAO pour solution A2.

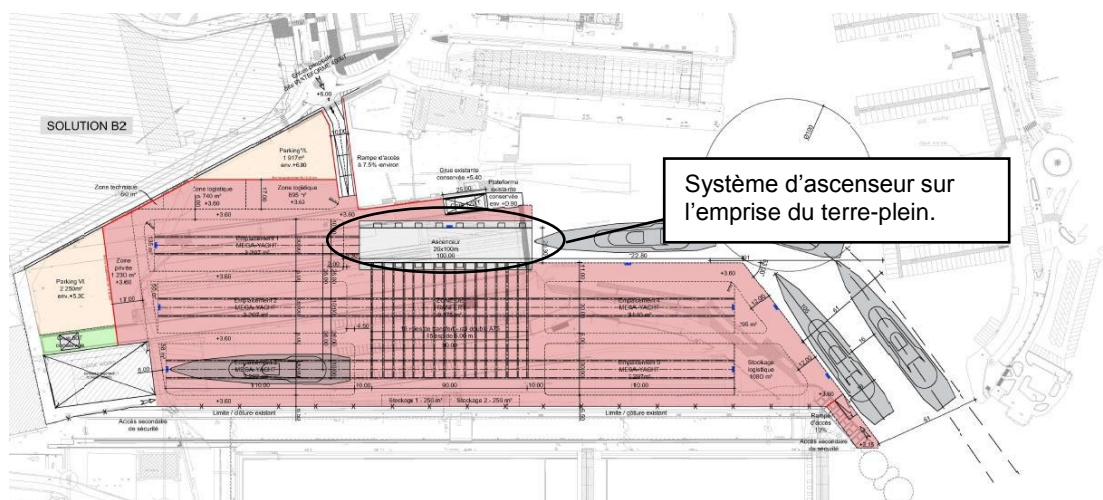


Figure 4-2 : Dessin CAO pour solution B2.

4.1 MISE EN ŒUVRE DU MODELE

4.1.1 Conditions aux limites

Les figures ci-dessous présentent les conditions aux limites des modèles pour chaque solution d'aménagement envisagée :

- 1) Situation actuelle 'Sans aménagement' voir Figure 4-3
- 2) Solution 'A2 avec mur imperméable' voir Figure 4-4
- 3) Solution 'A2 avec mur transparent pour les vagues' voir Figure 4-5
- 4) Solution 'B2' voir Figure 4-6

Ces plans montrent également les coefficients de réflexion (K_r) qui ont été utilisés pour déterminer le comportement des vagues dans le port :

- 1) $K_r = 0.45$ pour les digues et les talus en enrochements dans le port
- 2) $K_r = 0.90$ pour les quais verticaux

NOTA : L'amortissement des pontons et des navires n'a pas été pris en compte. Cette approximation est conservatrice dans le cas où des navires sont présents où dans le cas où le port serait entièrement vide.

Le logiciel ARTEMIS utilise un maillage d'éléments finis. Les maillages ont été réalisés avec le logiciel BlueKenue avec un ratio de croissance de 1.08 et une longueur de bord de 2, donnant une grille de modèle d'environ 10^5 nœuds (Figure 4-7).

Il faut noter que l'emprise du modèle est différente de celle prise en compte par BRL ingénierie (2017). Dans le modèle de BRL ingénierie (2017), toute la cale sèche est intégrée dans le modèle. Pour de raisons conservatrices, le modèle de cette étude fait abstraction de toute atténuation potentielle de cette cale pour accentuer les effets des aménagements proposés. Ainsi, un mur imperméable a été considéré à l'entrée de la cale sèche, comme indiqué dans la Figure 4-3 .



Figure 4-3 : Configuration actuelle.



Figure 4-4 : Configuration 'A2 avec mur imperméable'.



Figure 4-5 : Configuration 'A2' avec mur transparent.



Figure 4-6 : Configuration 'B2'.

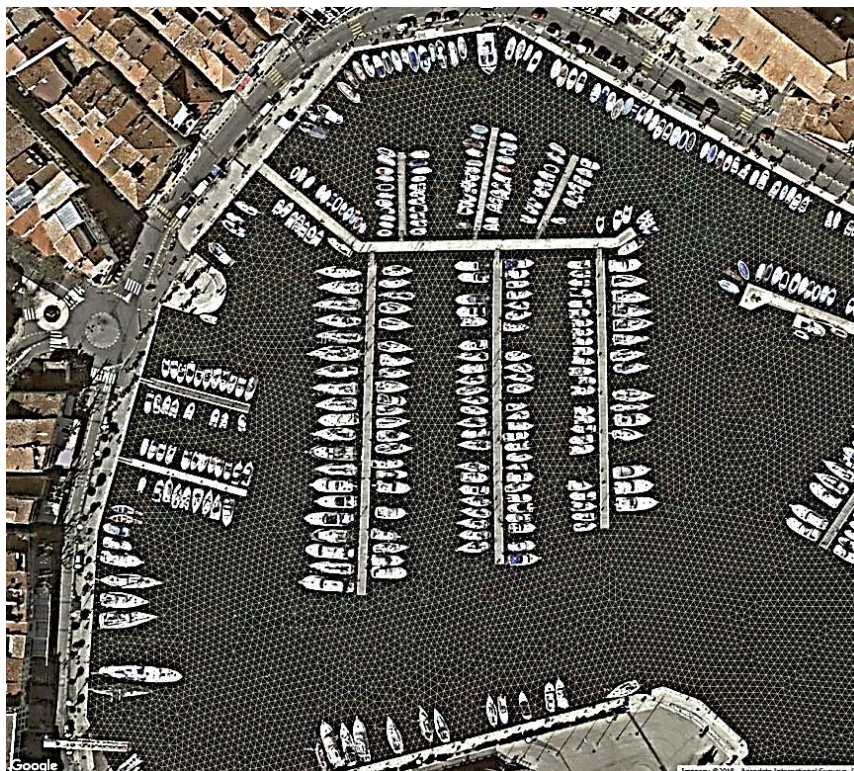


Figure 4-7 : Détail du maillage dans le vieux port.

4.1.2 Conditions aux limites en cas de changement climatique

L'impact du changement climatique a également été analysé en prenant en compte le niveau marin de référence à l'horizon 2100, soit 2.10 mNGF.

Dans cette situation, une partie de la ville et du port serait inondée mais ceci n'est pas l'objet de la présente étude. Ainsi pour les calculs avec le modèle ARTEMIS, il a été considéré que des murs pleins encerclent la totalité du bassin portuaire afin de ne mettre en évidence que l'impact de la modification de l'emprise du port. Dans les 2 situations, la situation actuelle et l'aménagement final (solution B2), des murs de protection sont considéré autour de l'intérieur

du port. Le coefficient de réflexion (K_r) pour le mur est considéré uniforme 0.9 à l'intérieur du port.



Figure 4-8 : conditions limite pour la situation actuelle – changement climatique.



Figure 4-9 : Configuration 'B2' – changement climatique.

4.2 CONDITIONS A L'ENTREE DU PORTS

Conformément à l'étude précédente (BRL ingénierie, 2017) , les cas de houles (Tableau 2-1) sont combinés avec les clapots (Tableau 2-2) donnant onze scenarios différents de conditions météo-océaniques (Tableau 4-1).

Tableau 4-1 : Scenarios modélisé avec ARTEMIS.

Cas de calcul	Direction à l'entrée (°N)	T _p à l'entrée (s)	H _s à l'entrée (m)	Niveau d'eau (mNGF)	Niveau d'eau 2100 (mNGF)
01	20 (Nord)	4	1	0.17	2.10
02	45 (Nord-Est)	4	1	0.17	2.10
03	60 (Est-Nord-Est)	4	1	0.17	2.10
04	90 (Est)	4	1	0.17	2.10
05	90 (Est)	6	1	0.17	2.10
06	110 (Est-sud-est)	4	1	0.17	2.10
07	110 (Est-sud-est)	6	1	0.17	2.10
08	110 (Est-sud-est)	8	1	0.17	2.10
09	135 (Sud-est)	4	1	0.17	2.10
10	135 (Sud-est)	6	1	0.17	2.10
11	135 (Sud-est)	8	1	0.17	2.10

5. RESULTATS

Les résultats des calculs sont présentés en deux étapes :

- La section 5.2 présente les résultats de hauteur de houle relative (valeurs d'atténuation/amplification de la houle « K_d »).
- Dans la section 5.3, les valeurs K_d sont multipliées par les hauteurs de vagues pour l'analyse des conditions réelles.

NOTA : Il est à noter que toutes les simulations sont faites avec un niveau moyen c'est-à-dire 0.17 mNGF.

5.1 ZONES D'ANALYSE

Les résultats de calculs K_d des différents scénarios sont évalués pour huit zones d'analyse, correspondants à des zones représentatives du port. Les zones couvrent un cercle avec rayon de 20 mètres autour des points. La position des zones est présentée dans la Figure 5-1, les coordonnées sont résumées au Tableau 5-1. Il faut noter que les zones P1 et P3 correspondent respectivement aux zones d'analyse de l'étude BRL ingénierie (2017) « Bassin » et « quai 4 »



Figure 5-1 : Position des zones d'analyse.

Tableau 5-1 : Coordonnées des points en projection Lambert sud (EPSG : 27563).

Point	zone	X	Y
'P1'	Bassin ouest	866000	102195
'P2'	Pannes flottantes port vieux au centre	865854	102317
'P3'	Entrée du port	866131	102226

Point	zone	X	Y
'P4'	Port vieux quai De Gaulle	865880	102420
'P5'	Bassin à l'est du mur	866025	102162
P6	Ciotat Shipyard	865925	102137
P7	Dans le bassin côté Grande Forme	866140	102175
P8	Port vieux, quai Ganteaume (poste à quai 4)	866038	102364

5.2 VALEURS K_d DANS LE PORT

Les résultats des calculs sont présentés sous forme de cartes de valeur K_d pour les différentes conditions à l'entrée du port dans les annexes suivantes :

- Annexe A: Epures d'agitation Situation actuelle (sans aménagement)
- Annexe B : Epures d'agitation Scénario B2
- Annexe C : Epures d'agitation Scénario A2 avec spécification de l'hypothèse retenu pour le KD du quai d'attente :
 - C.1 : Hypothèse quai d'attente avec pieux
 - C.2: Hypothèse quai d'attente avec mur

Les valeurs de K_d calculées pour chaque zone sont présentées dans les Tableau 5-2 à Tableau 5-9 et les Figure 5-2 à Figure 5-9. Les cas de calcul les plus défavorables (K_d au-dessus de 0.5) pour chaque zone sont soulignés en couleur.

Tableau 5-2 : Valeurs K_d au point 1. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T_p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	$T_p = 4$ s	0.16 (± 0.02)	0.27 (± 0.04)	0.26 (± 0.05)	0.27 (± 0.05)
2	Dir = 45°	$T_p = 4$ s	0.27 (± 0.03)	0.45 (± 0.05)	0.39 (± 0.08)	0.47 (± 0.05)
3	Dir = 60°	$T_p = 4$ s	0.46 (± 0.05)	0.58 (± 0.06)	0.49 (± 0.08)	0.60 (± 0.06)
4	Dir = 90°	$T_p = 4$ s	0.52 (± 0.05)	0.53 (± 0.06)	0.45 (± 0.08)	0.56 (± 0.06)
5	Dir = 90°	$T_p = 6$ s	0.44 (± 0.05)	0.51 (± 0.05)	0.45 (± 0.07)	0.53 (± 0.06)
6	Dir = 110°	$T_p = 4$ s	0.33 (± 0.03)	0.31 (± 0.04)	0.30 (± 0.06)	0.32 (± 0.05)
7	Dir = 110°	$T_p = 6$ s	0.28 (± 0.04)	0.29 (± 0.04)	0.26 (± 0.05)	0.30 (± 0.04)
8	Dir = 110°	$T_p = 8$ s	0.27 (± 0.03)	0.27 (± 0.04)	0.26 (± 0.04)	0.29 (± 0.04)
9	Dir = 135°	$T_p = 4$ s	0.06 (± 0.01)	0.08 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.08 (± 0.01)
10	Dir = 135°	$T_p = 6$ s	0.05 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)
11	Dir = 135°	$T_p = 8$ s	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)

Tableau 5-3: Valeur K_d au point 2. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T_p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	$T_p = 4$ s	0.18 (± 0.02)	0.21 (± 0.03)	0.22 (± 0.03)	0.25 (± 0.04)
2	Dir = 45°	$T_p = 4$ s	0.21 (± 0.02)	0.27 (± 0.03)	0.28 (± 0.03)	0.34 (± 0.04)
3	Dir = 60°	$T_p = 4$ s	0.27 (± 0.03)	0.30 (± 0.03)	0.31 (± 0.03)	0.34 (± 0.04)
4	Dir = 90°	$T_p = 4$ s	0.29 (± 0.03)	0.26 (± 0.03)	0.26 (± 0.03)	0.27 (± 0.03)
5	Dir = 90°	$T_p = 6$ s	0.25 (± 0.03)	0.25 (± 0.03)	0.22 (± 0.03)	0.27 (± 0.04)
6	Dir = 110°	$T_p = 4$ s	0.16 (± 0.02)	0.19 (± 0.02)	0.16 (± 0.02)	0.23 (± 0.03)
7	Dir = 110°	$T_p = 6$ s	0.15 (± 0.02)	0.18 (± 0.02)	0.18 (± 0.03)	0.22 (± 0.03)
8	Dir = 110°	$T_p = 8$ s	0.15 (± 0.02)	0.18 (± 0.03)	0.18 (± 0.03)	0.22 (± 0.03)
9	Dir = 135°	$T_p = 4$ s	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)
10	Dir = 135°	$T_p = 6$ s	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.08 (± 0.01)
11	Dir = 135°	$T_p = 8$ s	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)

Tableau 5-4 : Valeur K_d au point 3. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T_p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	$T_p = 4$ s	0.27 (± 0.02)	0.33 (± 0.04)	0.32 (± 0.04)	0.31 (± 0.03)
2	Dir = 45°	$T_p = 4$ s	0.36 (± 0.03)	0.44 (± 0.04)	0.42 (± 0.05)	0.45 (± 0.05)
3	Dir = 60°	$T_p = 4$ s	0.50 (± 0.06)	0.53 (± 0.06)	0.53 (± 0.07)	0.53 (± 0.07)
4	Dir = 90°	$T_p = 4$ s	0.56 (± 0.07)	0.52 (± 0.06)	0.52 (± 0.07)	0.52 (± 0.09)
5	Dir = 90°	$T_p = 6$ s	0.51 (± 0.06)	0.51 (± 0.05)	0.48 (± 0.08)	0.50 (± 0.08)
6	Dir = 110°	$T_p = 4$ s	0.37 (± 0.07)	0.36 (± 0.04)	0.36 (± 0.07)	0.37 (± 0.05)
7	Dir = 110°	$T_p = 6$ s	0.34 (± 0.06)	0.34 (± 0.03)	0.33 (± 0.03)	0.35 (± 0.03)
8	Dir = 110°	$T_p = 8$ s	0.33 (± 0.07)	0.33 (± 0.03)	0.33 (± 0.03)	0.34 (± 0.03)
9	Dir = 135°	$T_p = 4$ s	0.09 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)	0.09 (± 0.01)	0.09 (± 0.01)
10	Dir = 135°	$T_p = 6$ s	0.09 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)
11	Dir = 135°	$T_p = 8$ s	0.09 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)	0.10 (± 0.01)

Tableau 5-5 : Valeur KD au point 4. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	T _p = 4 s	0.05 (± 0.01)	0.07 (± 0.02)	0.07 (± 0.02)	0.08 (± 0.02)
2	Dir = 45°	T _p = 4 s	0.06 (± 0.01)	0.09 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)	0.12 (± 0.03)
3	Dir = 60°	T _p = 4 s	0.08 (± 0.02)	0.10 (± 0.03)	0.10 (± 0.03)	0.12 (± 0.03)
4	Dir = 90°	T _p = 4 s	0.10 (± 0.03)	0.09 (± 0.03)	0.08 (± 0.03)	0.10 (± 0.02)
5	Dir = 90°	T _p = 6 s	0.08 (± 0.03)	0.07 (± 0.02)	0.07 (± 0.02)	0.08 (± 0.02)
6	Dir = 110°	T _p = 4 s	0.06 (± 0.02)	0.06 (± 0.02)	0.05 (± 0.02)	0.08 (± 0.02)
7	Dir = 110°	T _p = 6 s	0.05 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)
8	Dir = 110°	T _p = 8 s	0.05 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)	0.06 (± 0.02)	0.07 (± 0.02)
9	Dir = 135°	T _p = 4 s	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.01)	0.02 (± 0.01)	0.02 (± 0.01)
10	Dir = 135°	T _p = 6 s	0.02 (± 0.01)	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.00)
11	Dir = 135°	T _p = 8 s	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.00)	0.02 (± 0.00)

Tableau 5-6 : Valeur KD au point 5. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	T _p = 4 s	0.15 (± 0.02)	0.23 (± 0.04)	0.22 (± 0.05)	0.22 (± 0.03)
2	Dir = 45°	T _p = 4 s	0.31 (± 0.04)	0.43 (± 0.08)	0.46 (± 0.11)	0.44 (± 0.07)
3	Dir = 60°	T _p = 4 s	0.43 (± 0.07)	0.58 (± 0.12)	0.63 (± 0.15)	0.61 (± 0.10)
4	Dir = 90°	T _p = 4 s	0.47 (± 0.07)	0.54 (± 0.12)	0.59 (± 0.15)	0.57 (± 0.10)
5	Dir = 90°	T _p = 6 s	0.35 (± 0.07)	0.49 (± 0.10)	0.57 (± 0.14)	0.53 (± 0.10)
6	Dir = 110°	T _p = 4 s	0.24 (± 0.04)	0.26 (± 0.06)	0.27 (± 0.08)	0.27 (± 0.05)
7	Dir = 110°	T _p = 6 s	0.18 (± 0.04)	0.24 (± 0.05)	0.24 (± 0.06)	0.24 (± 0.05)
8	Dir = 110°	T _p = 8 s	0.17 (± 0.03)	0.21 (± 0.04)	0.24 (± 0.06)	0.22 (± 0.04)
9	Dir = 135°	T _p = 4 s	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)
10	Dir = 135°	T _p = 6 s	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)
11	Dir = 135°	T _p = 8 s	0.04 (± 0.00)	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)

Tableau 5-7 : Valeur KD au point 6. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	T _p = 4 s	0.17 (± 0.04)	0.23 (± 0.05)	0.19 (± 0.05)	0.20 (± 0.04)
2	Dir = 45°	T _p = 4 s	0.36 (± 0.08)	0.44 (± 0.09)	0.29 (± 0.06)	0.44 (± 0.09)
3	Dir = 60°	T _p = 4 s	0.51 (± 0.11)	0.61 (± 0.13)	0.37 (± 0.08)	0.61 (± 0.13)
4	Dir = 90°	T _p = 4 s	0.52 (± 0.11)	0.58 (± 0.12)	0.35 (± 0.08)	0.59 (± 0.13)
5	Dir = 90°	T _p = 6 s	0.41 (± 0.09)	0.59 (± 0.12)	0.38 (± 0.09)	0.61 (± 0.12)
6	Dir = 110°	T _p = 4 s	0.26 (± 0.06)	0.28 (± 0.06)	0.23 (± 0.06)	0.27 (± 0.06)
7	Dir = 110°	T _p = 6 s	0.20 (± 0.04)	0.28 (± 0.06)	0.22 (± 0.05)	0.28 (± 0.06)
8	Dir = 110°	T _p = 8 s	0.20 (± 0.05)	0.27 (± 0.06)	0.20 (± 0.05)	0.26 (± 0.06)
9	Dir = 135°	T _p = 4 s	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.06 (± 0.01)
10	Dir = 135°	T _p = 6 s	0.05 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.07 (± 0.01)
11	Dir = 135°	T _p = 8 s	0.04 (± 0.01)	0.07 (± 0.02)	0.06 (± 0.01)	0.06 (± 0.02)

Tableau 5-8 : Valeur KD au point 7. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	T _p = 4 s	0.28 (± 0.05)	0.41 (± 0.09)	0.42 (± 0.10)	0.42 (± 0.10)
2	Dir = 45°	T _p = 4 s	0.52 (± 0.07)	0.73 (± 0.19)	0.75 (± 0.19)	0.74 (± 0.19)
3	Dir = 60°	T _p = 4 s	0.63 (± 0.09)	0.87 (± 0.18)	0.89 (± 0.18)	0.88 (± 0.18)
4	Dir = 90°	T _p = 4 s	0.71 (± 0.10)	0.71 (± 0.11)	0.72 (± 0.11)	0.71 (± 0.10)
5	Dir = 90°	T _p = 6 s	0.50 (± 0.08)	0.69 (± 0.10)	0.68 (± 0.08)	0.69 (± 0.09)
6	Dir = 110°	T _p = 4 s	0.27 (± 0.05)	0.29 (± 0.04)	0.27 (± 0.04)	0.29 (± 0.04)
7	Dir = 110°	T _p = 6 s	0.20 (± 0.05)	0.30 (± 0.03)	0.30 (± 0.03)	0.30 (± 0.03)
8	Dir = 110°	T _p = 8 s	0.20 (± 0.05)	0.29 (± 0.03)	0.29 (± 0.03)	0.29 (± 0.03)
9	Dir = 135°	T _p = 4 s	0.06 (± 0.01)	0.09 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)
10	Dir = 135°	T _p = 6 s	0.06 (± 0.01)	0.09 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)
11	Dir = 135°	T _p = 8 s	0.07 (± 0.01)	0.09 (± 0.02)	0.08 (± 0.02)	0.09 (± 0.02)

Tableau 5-9 : Valeur KD au point 8. Valeur moyenne (\pm écart type).

Cas de calcul	Direction (°N)	T _p (s)	Sans aménagement	B2	A2 (mur imperméable)	A2 (mur transparent)
1	Dir = 20°	T _p = 4 s	0.13 (± 0.04)	0.19 (± 0.07)	0.18 (± 0.06)	0.18 (± 0.06)
2	Dir = 45°	T _p = 4 s	0.15 (± 0.05)	0.23 (± 0.07)	0.22 (± 0.07)	0.25 (± 0.07)
3	Dir = 60°	T _p = 4 s	0.20 (± 0.06)	0.25 (± 0.08)	0.24 (± 0.07)	0.25 (± 0.07)
4	Dir = 90°	T _p = 4 s	0.25 (± 0.08)	0.22 (± 0.07)	0.20 (± 0.07)	0.23 (± 0.07)
5	Dir = 90°	T _p = 6 s	0.19 (± 0.06)	0.21 (± 0.07)	0.23 (± 0.09)	0.21 (± 0.07)
6	Dir = 110°	T _p = 4 s	0.14 (± 0.05)	0.14 (± 0.05)	0.11 (± 0.04)	0.17 (± 0.06)
7	Dir = 110°	T _p = 6 s	0.11 (± 0.04)	0.13 (± 0.04)	0.13 (± 0.04)	0.15 (± 0.05)
8	Dir = 110°	T _p = 8 s	0.12 (± 0.04)	0.14 (± 0.04)	0.12 (± 0.04)	0.16 (± 0.05)
9	Dir = 135°	T _p = 4 s	0.04 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)
10	Dir = 135°	T _p = 6 s	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)
11	Dir = 135°	T _p = 8 s	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.01)	0.04 (± 0.01)	0.05 (± 0.02)

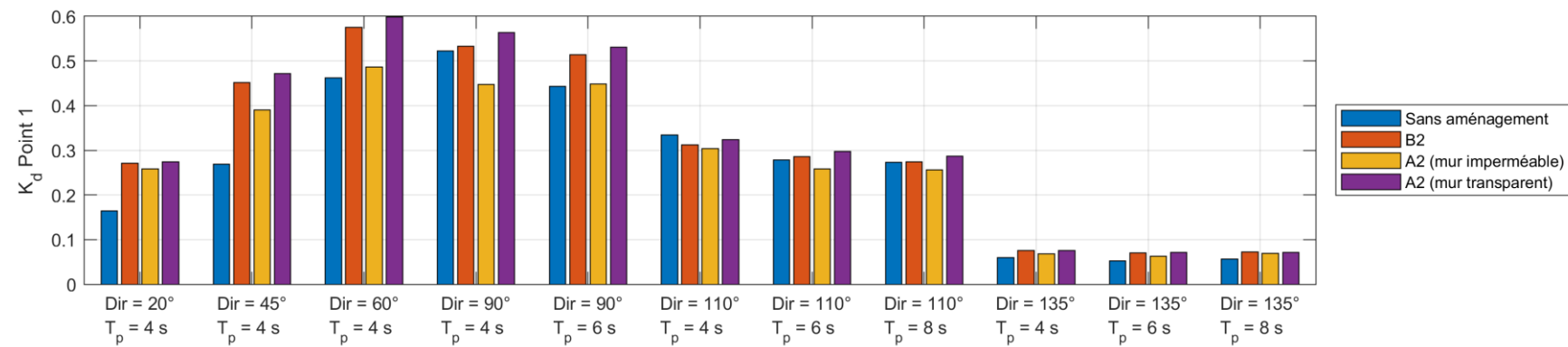


Figure 5-2 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 1.

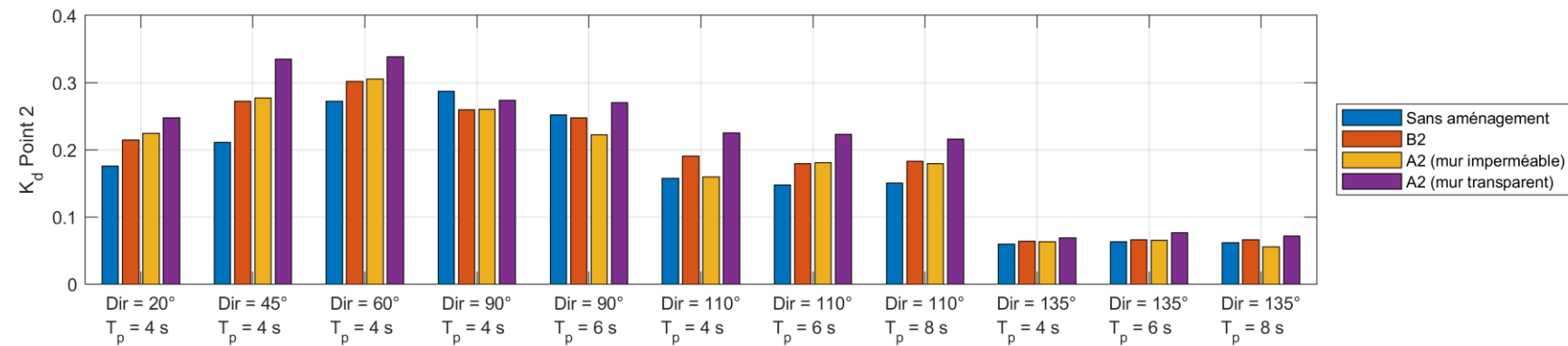


Figure 5-3 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 2.

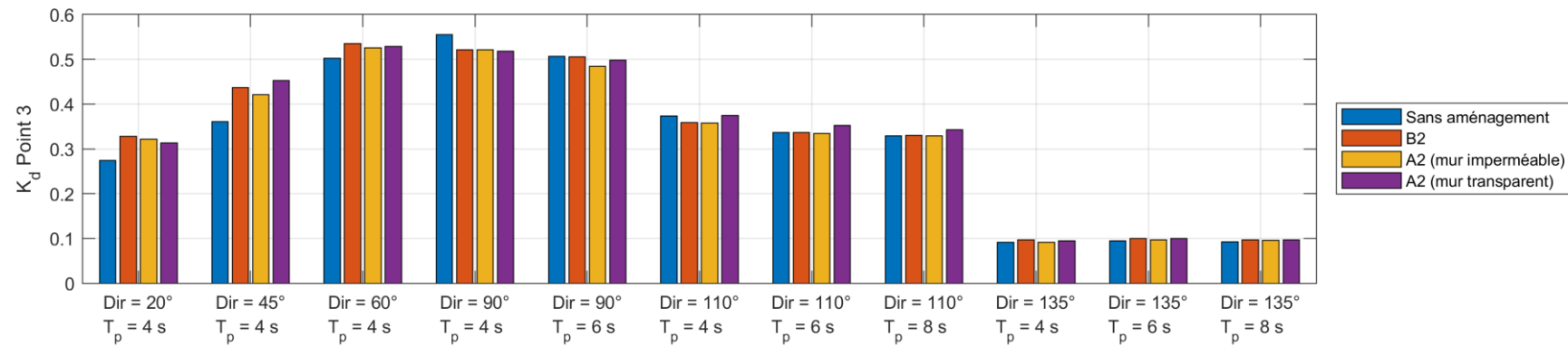


Figure 5-4: Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 3.

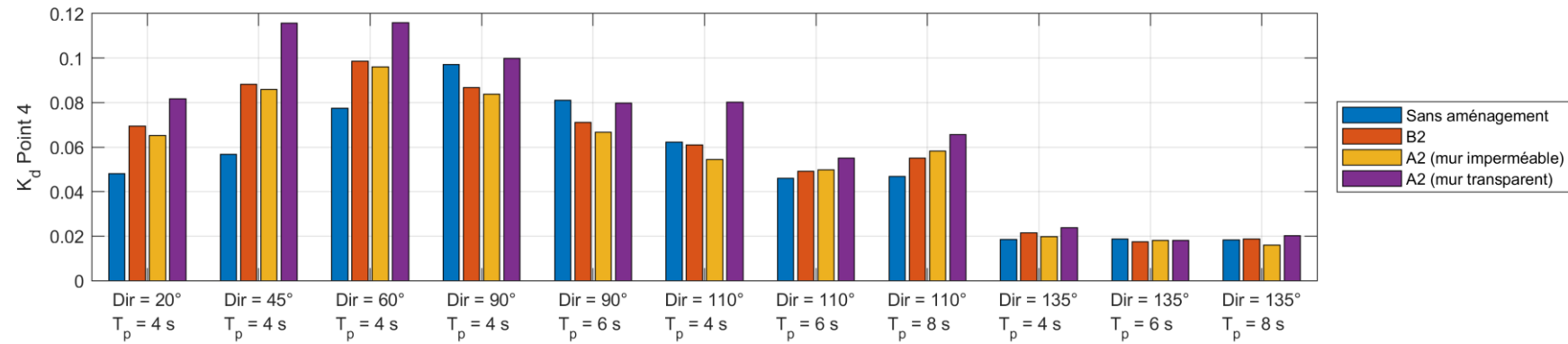


Figure 5-5: Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 4.

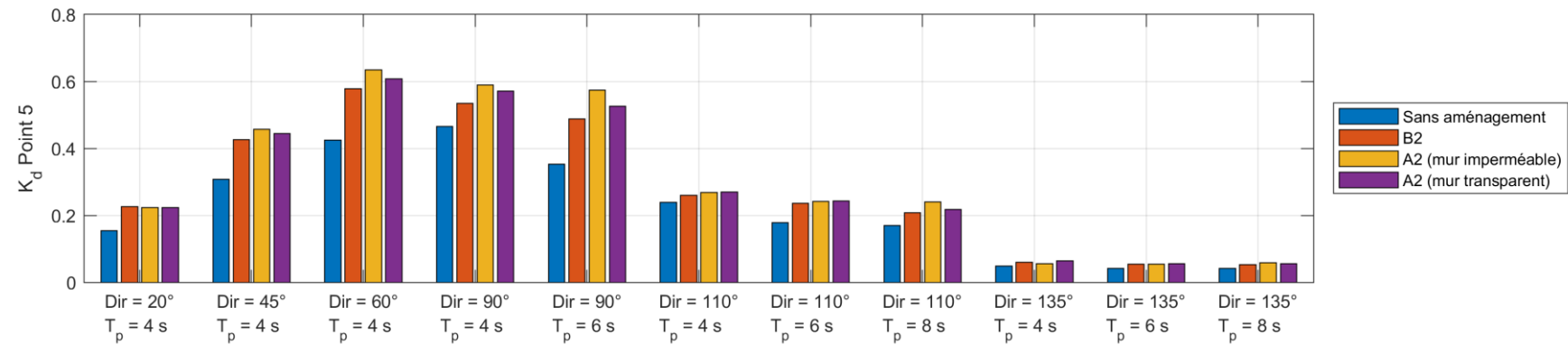


Figure 5-6 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 5.

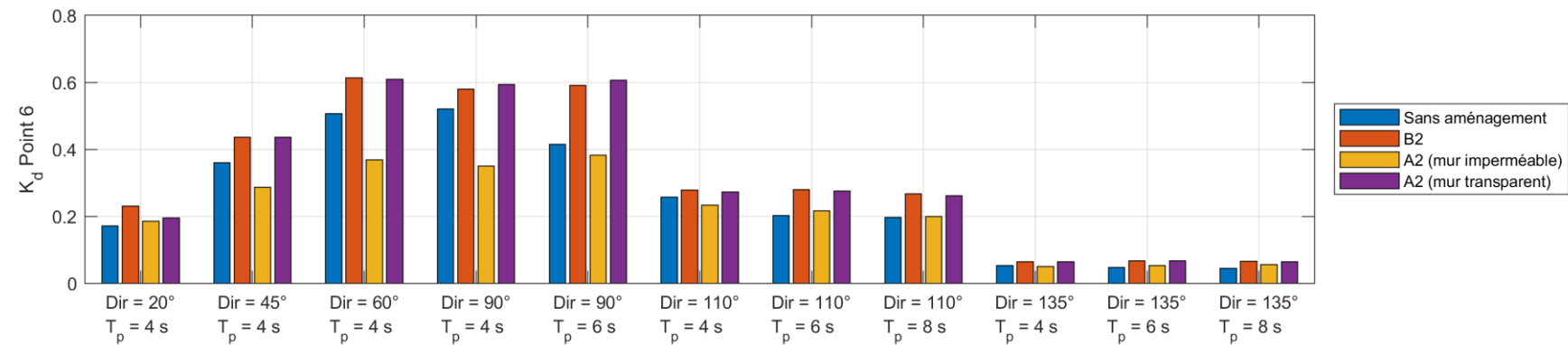


Figure 5-7 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 6.

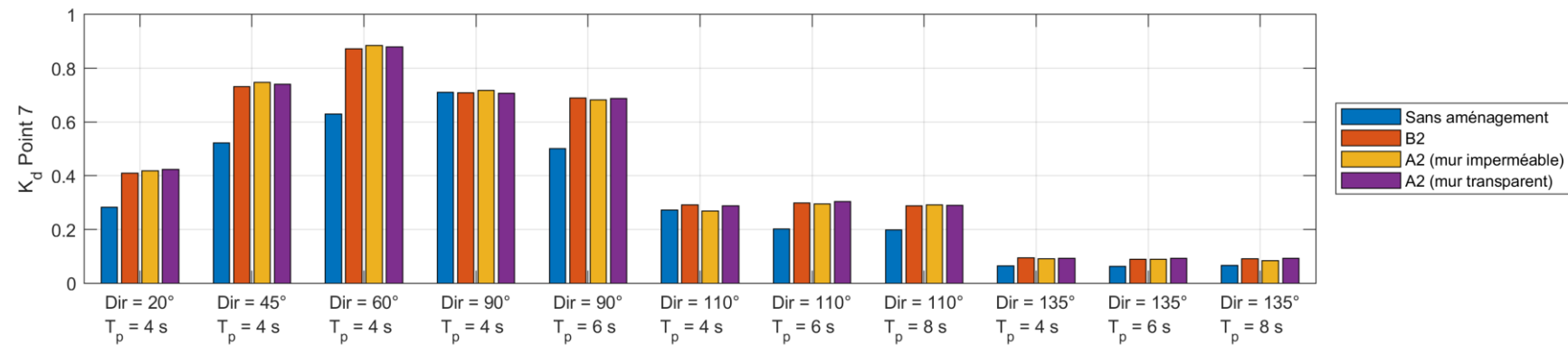


Figure 5-8 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 7.

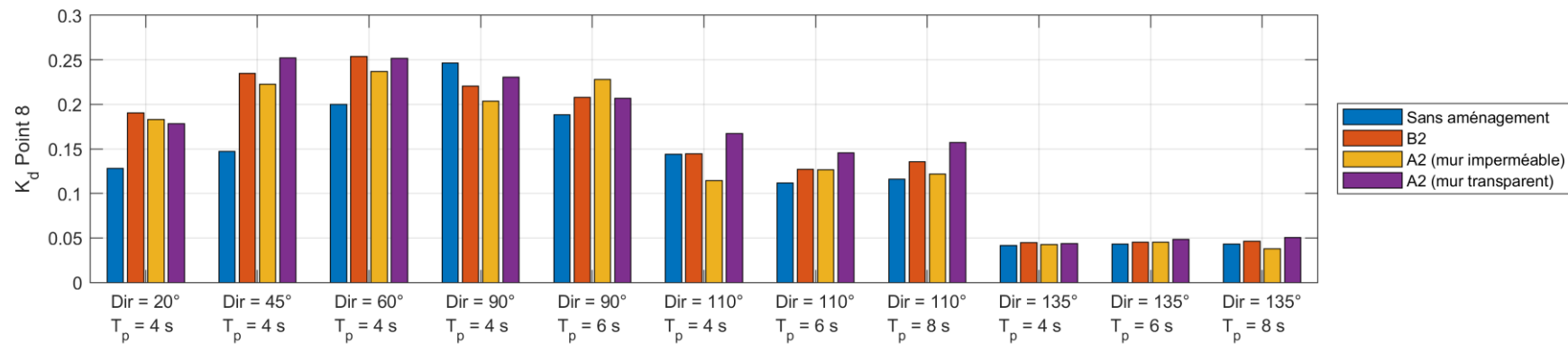


Figure 5-9 : Diagramme avec les valeurs K_d pour chaque direction et période pour zone 8.

5.3 CORRESPONDANCE AVEC L'ETUDE BRL

Afin de réaliser une comparaison avec l'étude de BRL, les résultats du modèle d'IMDC pour la situation actuelle ont été comparés à ceux du modèle de BRL dans les zones communes que sont « Bassin », « Quai 4 » et « Quai9bis ».

Les contours des zones ont été digitalisés à partir de la Figure 5-10 BRL ingénierie (2017). Cet exercice aillant dû être réalisé à la main, les zones d'analyse du modèle d'IMDC peuvent différer légèrement de la délimitation de BRL.

Les simulations ont montré que, le fait d'avoir des zones légèrement différentes est le facteur de différence le plus important entre les deux études. Les résultats des études correspondent toutefois avec un bon niveau de confiance.

Les résultats de hauteur de houle relative K_d obtenus par les deux études dans les trois zones d'analyses et les 11 cas de calcul sont comparés dans les Figure 5-11, Figure 5-12 et Figure 5-13.

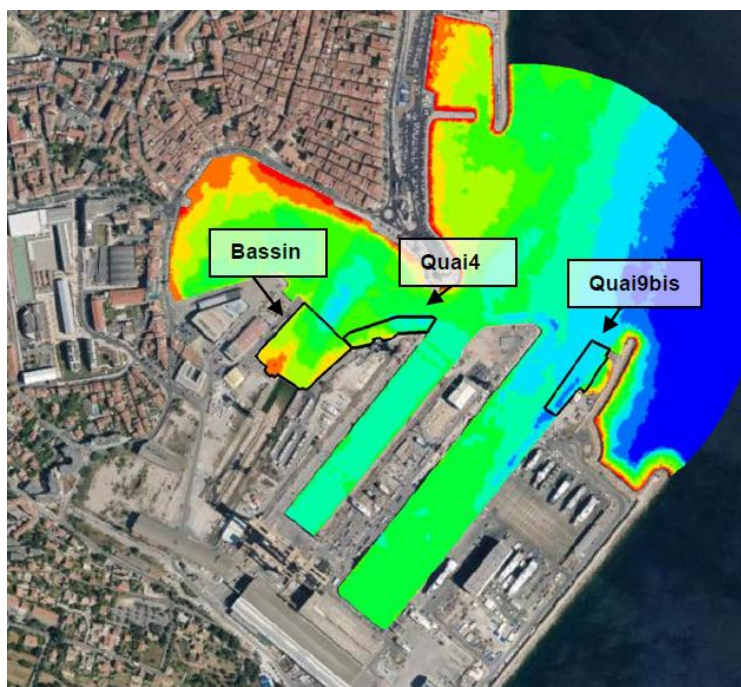


Figure 5-10 : zones d'analyse BRL.

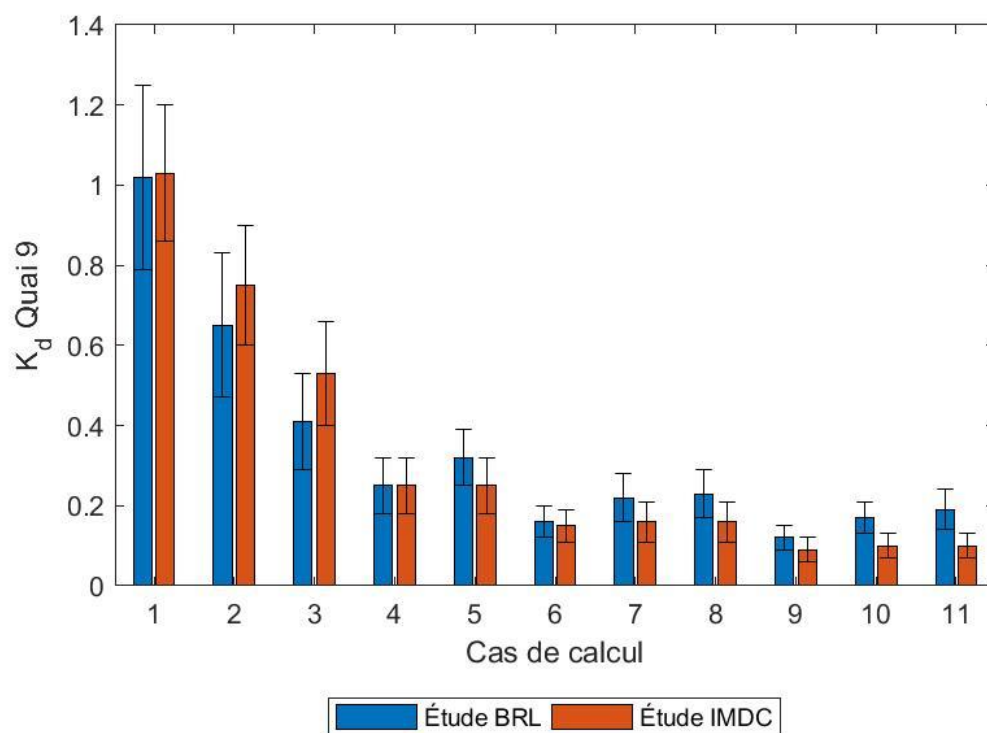


Figure 5-11 : Hauteurs de houle relative (K_d) dans la zone « Quai 9 », comparaison pour la situation actuelle entre les résultats de BRL ingénierie (2017).

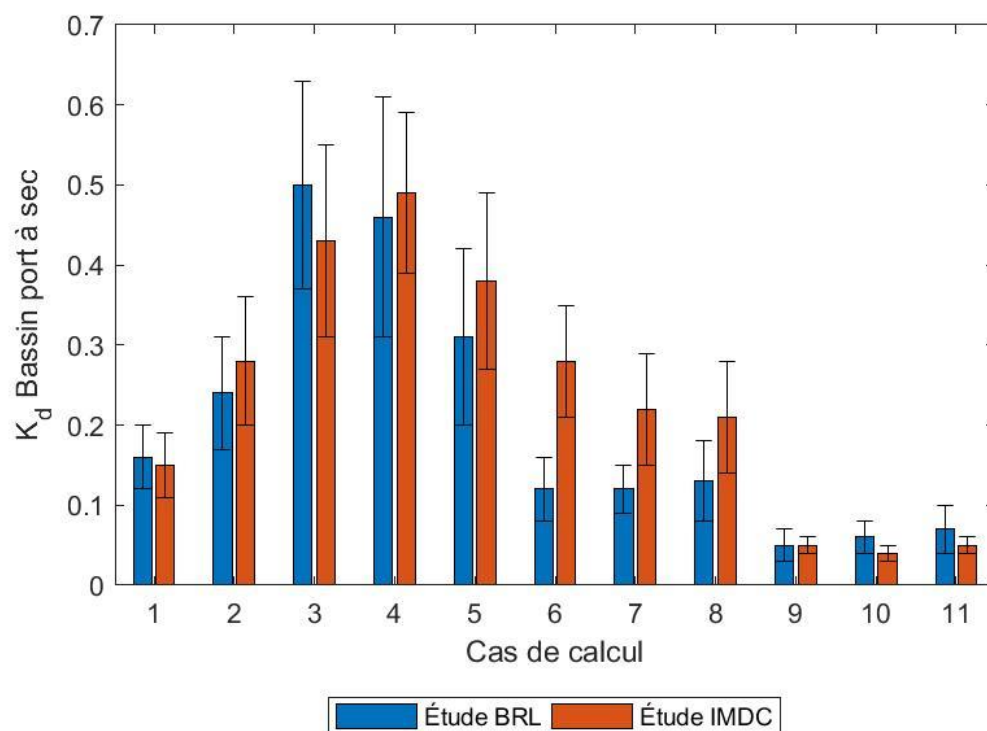


Figure 5-12 : Hauteurs de houle relative (K_d) dans la zone « Bassin », comparaison pour la situation actuelle entre les résultats de BRL ingénierie (2017).

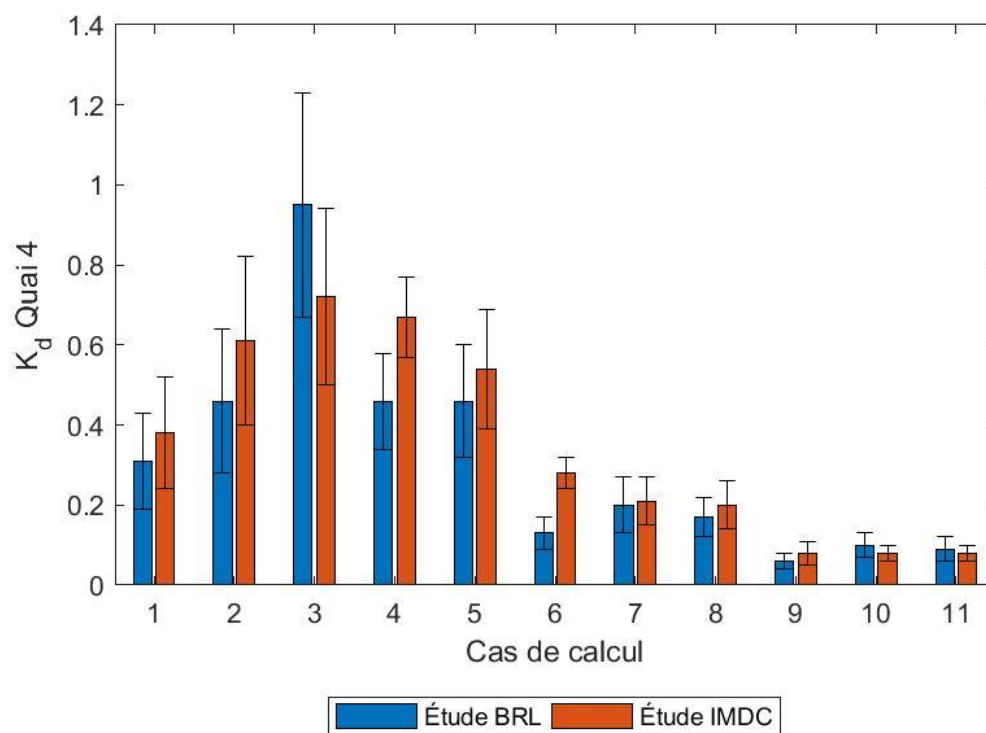


Figure 5-13 : Hauteurs de houle relative (K_d) dans la zone « Quai 4 », comparaison pour la situation actuelle entre les résultats de BRL ingénierie (2017).

5.4 ANALYSE DE HOULES ET CLAPOTS

Les hauteurs de vague réelles sont calculées en multipliant les hauteurs de houle et de clapot (H_{m0} hauteur significative) dans le Tableau 2-4 par les valeurs K_d dans les zones d'analyse (Tableau 5-2 - Tableau 5-6). Les résultats sont présentés dans les Tableau 5-10 à Tableau 5-17. Chaque tableau présente également la hauteur de vague 'totale' qui est une combinaison de la houle SE (100 ans) et le clapot (80°N) :

$$H_{m0,total} = \sqrt{(Houle_{135^\circ N(100ans)})^2 + (Clapot_{80^\circ N})^2}$$

Cette valeur servira d'exemple d'agitation extrême. Aucune période de retour n'étant définie par BRL ingénierie (2017) pour les vents et les clapots, la période de retour de la vague extrême combinée ne peut être caractérisée. Les valeurs totales pour les 8 zones sont aussi représentées sur la Figure 5-14.

Les valeurs présentées sont des valeurs H_{m0} (hauteur significative). Les hauteur de vagues maximales (H_{max}) correspondent à 2.0 H_{m0} (Goda, 2010).

Tableau 5-10 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 1.

Cas de calcul	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.17 m	0.22 m	0.21 m	0.21 m
Houle 135°N – 10 ans	0.21 m	0.27 m	0.26 m	0.27 m
Houle 135°N – 100 ans	0.30 m	0.38 m	0.37 m	0.38 m
Clapot – 20°N	0.07 m	0.11 m	0.10 m	0.11 m
Clapot – 40°N	0.12 m	0.21 m	0.18 m	0.22 m
Clapot – 60°N	0.46 m	0.58 m	0.49 m	0.60 m
Clapot – 80°N	0.65 m	0.71 m	0.60 m	0.75 m
Clapot – 100°N	0.69 m	0.68 m	0.60 m	0.71 m
Total	0.72 m	0.81 m	0.70 m	0.84 m

Tableau 5-11: Hauteur de vague (H_{m0}) au point 2.

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.19 m	0.20 m	0.17 m	0.21 m
Houle 135°N – 10 ans	0.23 m	0.25 m	0.21 m	0.27 m
Houle 135°N – 100 ans	0.33 m	0.35 m	0.29 m	0.38 m
Clapot – 20°N	0.07 m	0.09 m	0.09 m	0.10 m
Clapot – 40°N	0.10 m	0.13 m	0.13 m	0.16 m
Clapot – 60°N	0.27 m	0.30 m	0.31 m	0.34 m
Clapot – 80°N	0.37 m	0.36 m	0.36 m	0.38 m
Clapot – 100°N	0.36 m	0.36 m	0.34 m	0.40 m
Total	0.49 m	0.50 m	0.46 m	0.54 m

Tableau 5-12 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 3

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.28 m	0.29 m	0.29 m	0.29 m
Houle 135°N – 10 ans	0.35 m	0.37 m	0.37 m	0.37 m
Houle 135°N – 100 ans	0.49 m	0.52 m	0.51 m	0.51 m
Clapot – 20°N	0.11 m	0.13 m	0.13 m	0.13 m
Clapot – 40°N	0.17 m	0.21 m	0.20 m	0.21 m
Clapot – 60°N	0.50 m	0.53 m	0.53 m	0.53 m
Clapot – 80°N	0.70 m	0.68 m	0.68 m	0.68 m
Clapot – 100°N	0.74 m	0.70 m	0.70 m	0.71 m
Total	0.86 m	0.86 m	0.85 m	0.85 m

Tableau 5-13 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 4.

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.05 m	0.06 m	0.05 m	0.06 m
Houle 135°N – 10 ans	0.07 m	0.07 m	0.06 m	0.08 m
Houle 135°N – 100 ans	0.10 m	0.10 m	0.08 m	0.11 m
Clapot – 20°N	0.02 m	0.03 m	0.03 m	0.03 m
Clapot – 40°N	0.03 m	0.04 m	0.04 m	0.05 m
Clapot – 60°N	0.08 m	0.10 m	0.10 m	0.12 m
Clapot – 80°N	0.12 m	0.12 m	0.11 m	0.14 m
Clapot – 100°N	0.13 m	0.12 m	0.11 m	0.14 m
Total	0.15 m	0.15 m	0.14 m	0.17 m

Tableau 5-14 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 5.

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.12 m	0.16 m	0.18 m	0.17 m
Houle 135°N – 10 ans	0.16 m	0.20 m	0.22 m	0.21 m
Houle 135°N – 100 ans	0.22 m	0.28 m	0.31 m	0.30 m
Clapot – 20°N	0.06 m	0.09 m	0.09 m	0.09 m
Clapot – 40°N	0.14 m	0.19 m	0.20 m	0.20 m
Clapot – 60°N	0.43 m	0.58 m	0.63 m	0.61 m
Clapot – 80°N	0.59 m	0.71 m	0.79 m	0.76 m
Clapot – 100°N	0.56 m	0.64 m	0.69 m	0.67 m
Total	0.63 m	0.77 m	0.85 m	0.82 m

Tableau 5-15 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 6.

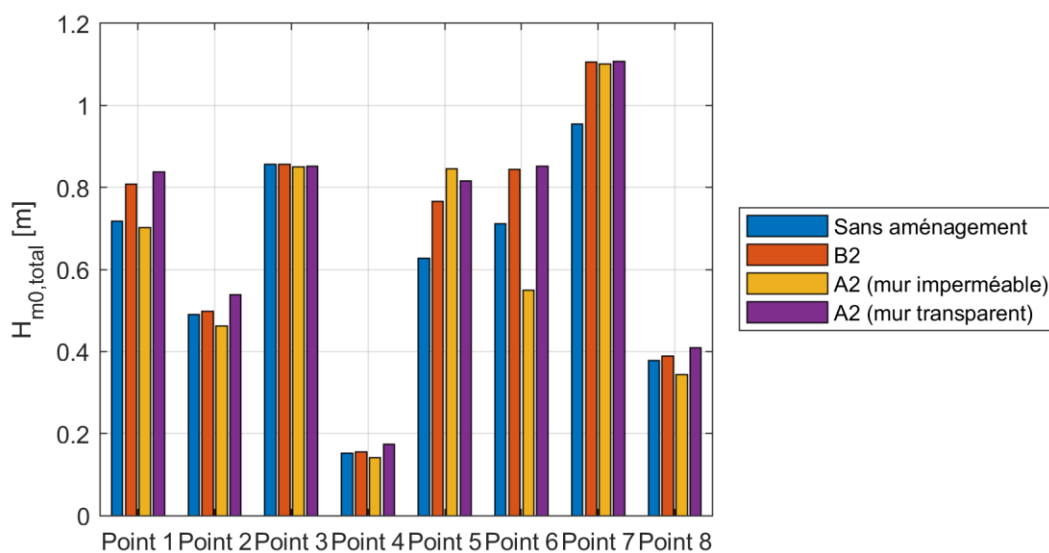
Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.13 m	0.20 m	0.17 m	0.19 m
Houle 135°N – 10 ans	0.17 m	0.25 m	0.21 m	0.25 m
Houle 135°N – 100 ans	0.24 m	0.35 m	0.29 m	0.34 m
Clapot – 20°N	0.07 m	0.09 m	0.07 m	0.08 m
Clapot – 40°N	0.16 m	0.20 m	0.13 m	0.19 m
Clapot – 60°N	0.51 m	0.61 m	0.37 m	0.61 m
Clapot – 80°N	0.67 m	0.77 m	0.46 m	0.78 m
Clapot – 100°N	0.62 m	0.69 m	0.47 m	0.69 m
Total	0.71 m	0.84 m	0.55 m	0.85 m

Tableau 5-16 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 7.

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.20 m	0.28 m	0.25 m	0.28 m
Houle 135°N – 10 ans	0.25 m	0.35 m	0.32 m	0.35 m
Houle 135°N – 100 ans	0.35 m	0.49 m	0.45 m	0.49 m
Clapot – 20°N	0.11 m	0.16 m	0.17 m	0.17 m
Clapot – 40°N	0.24 m	0.33 m	0.34 m	0.34 m
Clapot – 60°N	0.63 m	0.87 m	0.89 m	0.88 m
Clapot – 80°N	0.89 m	0.99 m	1.00 m	0.99 m
Clapot – 100°N	0.79 m	0.80 m	0.79 m	0.80 m
Total	0.95 m	1.11 m	1.10 m	1.11 m

Tableau 5-17 : Hauteur de vague (H_{m0}) au point 8.

Direction (°N)	Sans aménagement (H_{m0})	B2 (H_{m0})	A2 (mur imperméable) (H_{m0})	A2 (mur transparent) (H_{m0})
Houle 135°N – 1 an	0.13 m	0.14 m	0.11 m	0.15 m
Houle 135°N – 10 ans	0.16 m	0.18 m	0.14 m	0.19 m
Houle 135°N – 100 ans	0.23 m	0.24 m	0.20 m	0.27 m
Clapot – 20°N	0.05 m	0.08 m	0.07 m	0.07 m
Clapot – 40°N	0.07 m	0.11 m	0.11 m	0.12 m
Clapot – 60°N	0.20 m	0.25 m	0.24 m	0.25 m
Clapot – 80°N	0.30 m	0.30 m	0.28 m	0.31 m
Clapot – 100°N	0.31 m	0.29 m	0.25 m	0.32 m
Total	0.38 m	0.39 m	0.34 m	0.41 m

Figure 5-14 : Hauteurs des vagues totales (H_{m0}).

En moyenne sur les 8 points d'étude :

- le scénario 'B2' contribue à une augmentation de la hauteurs des vagues de 7 cm (max 16 cm) soit une augmentation de 9%.
- le scénario 'A2 avec mur imperméable' contribue à une augmentation de la hauteurs des vagues de 1 cm (max 22 cm).
- le scénario 'A2 avec mur transparent' contribue à une augmentation de la hauteurs des vagues de 9 cm (max 19 cm).

Les figures (Figure 5-2 à Figure 5-9) montrent que l'aménagement A2 avec quai d'attente et un mur imperméable est l'aménagement générant le K_d le plus bas aux points 1, 2, 3, 4, 6 et 8. Ceci est dû à la réflexion générée par le mur facilitant la dissipation de l'énergie. En revanche, au point 5, la Figure 5-14 montrent que les vagues peuvent atteindre $H_{m0} = 0.85$ m ($H_{max} = 2.0$ $H_{m0} = 1.70$ m) dans un cas extrême. Ceci peut être problématique pour les bateaux qui attendent l'ascenseur.

Les solutions 'A2 avec mur transparent' et 'B2' présentent des résultats similaires avec des vagues sensiblement plus hautes aux points 1, 2, 4, 6, 7 et 8. Par exemple, au point 1 les vagues extrêmes sont augmentées d'environ 0.1 m par rapport à la situation actuelle ('sans aménagement') pour atteindre 0.81 m pour l'aménagement 'B2' et jusqu'à 0.84 pour la solution 'A2 avec mur transparent'.

Dans le bassin du quai 3 et de façon générale, c'est le remplacement des enrochements sur le mur Est du bassin au pied de la calle n°1 (ligne bleue, $K_r = 0.45$ -

Figure 5-15) par un mur vertical (ligne rouge, $K_r = 0.9$ -

Figure 5-15) qui amplifie légèrement la réflexion dans le port.

Le scénario 'B2' a un effet modéré sur l'agitation grâce au nouveau bassin à hauteur de la cale sèche qui contribue à la dissipation de l'énergie.

Pour la partie de port indiquée par le point 4, les aménagements n'ont pas d'influence sur l'agitation (la hauteur H_s des vagues dans les conditions extrêmes n'excède pas 0.17 m). La situation reste également inchangée pour le port de plaisance, indiqué par le point 2, où les vagues extrêmes n'augmentent que de 0.05m comparé à la situation sans aménagement.

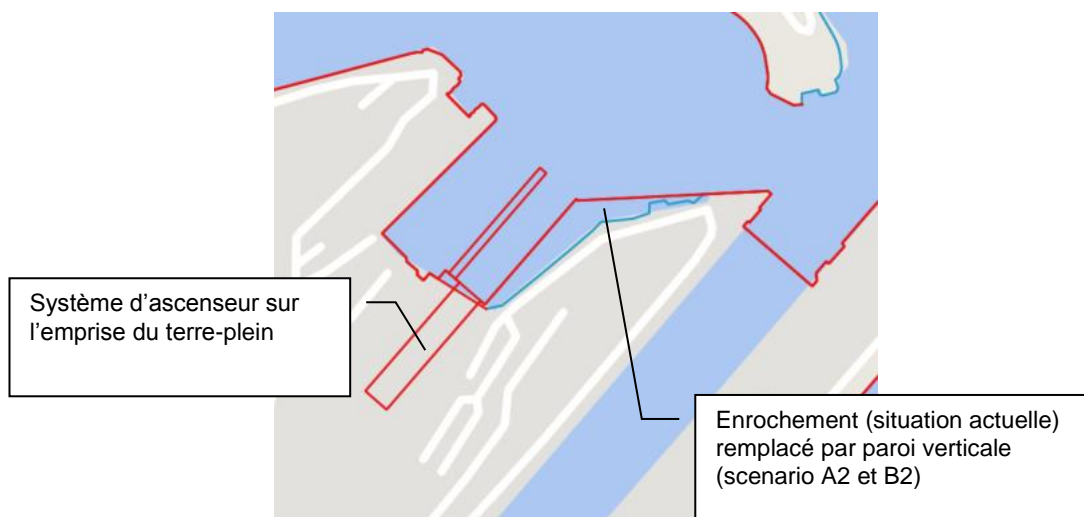


Figure 5-15 : Modification de l'aménagement du quai : la ligne rouge montre les scenarios avec aménagement et la ligne bleue montre le scenario 'sans aménagement'.

5.5 EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La montée de la mer jusqu'à 2.1 mNGF a un effet significatif sur la hauteur d'eau et donc sur la vitesse de propagation des vagues et la réflexion sur les bords/quais etc. Les résultats de cet exercice sont présentés dans la Figure 5-16 pour :

- la situation actuelle sans montée de la mer ;
- la situation avec aménagement B2 sans montée de la mer ;
- la situation actuelle avec quais modifiés (voir § 4.1.2) et avec montée du niveau de la mer (cote 2,1 mNGF);
- la situation avec aménagement B2, modification des quais du Port-Vieux et montée du niveau de la mer.

Pour la situation sans aménagement, la montée de la mer a pour effet l'augmentation de la hauteur de vagues totales (histogrammes jaunes) par rapport au climat/niveau de la mer actuelle (histogrammes bleus) de 20 à 60 %.

L'augmentation relative la plus élevée se situe à hauteur de point 8 le long du poste à quai 4 (quai Ganteaume port vieux). Ceci est lié au changement de la condition limite du quai (la réflexion sur les enrochements dans la situation actuelle est remplacée par une paroi verticale).

Dans la situation avec montée de la mer et avec aménagement de la plateforme B2 (histogrammes mauves), la hauteur des vagues a une tendance à diminuer par rapport à la situation sans aménagement (histogrammes jaunes). Dans les deux cas le niveau de la mer ainsi que les coefficients de réflexion sur les bords à l'intérieur du port restent inchangés. La modification de l'emprise de cette cale a pour effet l'atténuation de la réflexion de vagues.

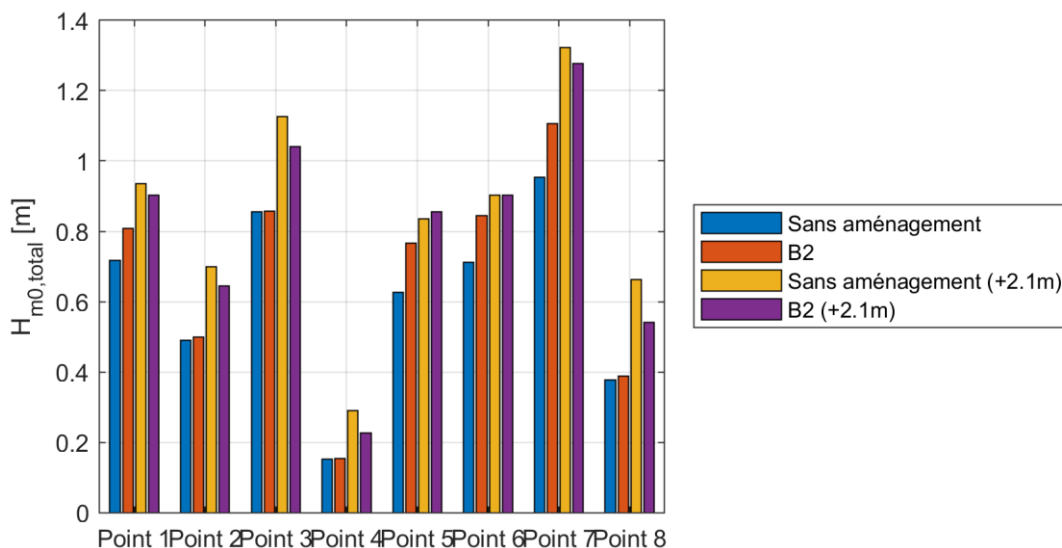


Figure 5-16: Hauteurs des vagues totales (H_{m0}) avec un niveau marin de référence jusqu'à 2.10m NGF.

6. CONCLUSION GÉNÉRALE

Les résultats montrent que les aménagements proposés ont un effet modéré sur l'agitation du port pour des conditions météo-océaniques extrêmes.

La solution 'A2 avec mur imperméable' est la solution qui a le moins d'impact sur l'agitation. En revanche, à proximité de l'ascenseur les vagues ont tendance à être amplifiées par les modifications des quais (vagues de 0.85m).

La solution B2 avec ascenseur sur le terre-plein entraîne une augmentation modérée de l'agitation, avec des augmentations de la hauteur de vague maximale (totale) de 0.09 – 0.16 m pour les points 1-8.

Le principal facteur influant sur l'agitation lors de la modification de l'emprise de la plateforme est le remplacement de l'enrochement existant sur la partie nord de la plateforme par un quai vertical. En effet l'enrochement avait un effet d'atténuation des vagues alors qu'un quai vertical favorise la réflexion. Cette influence reste cependant très limitée.

La montée des eaux liées au changement climatique influe sur la taille des vagues à l'intérieur du port quel que soit la configuration. Toutefois l'aménagement de la plateforme 4 000 tonnes a un effet légèrement atténuateur par rapport à l'hypothèse d'une simple modification des quais actuels pour assumer l'augmentation du niveau de la mer.

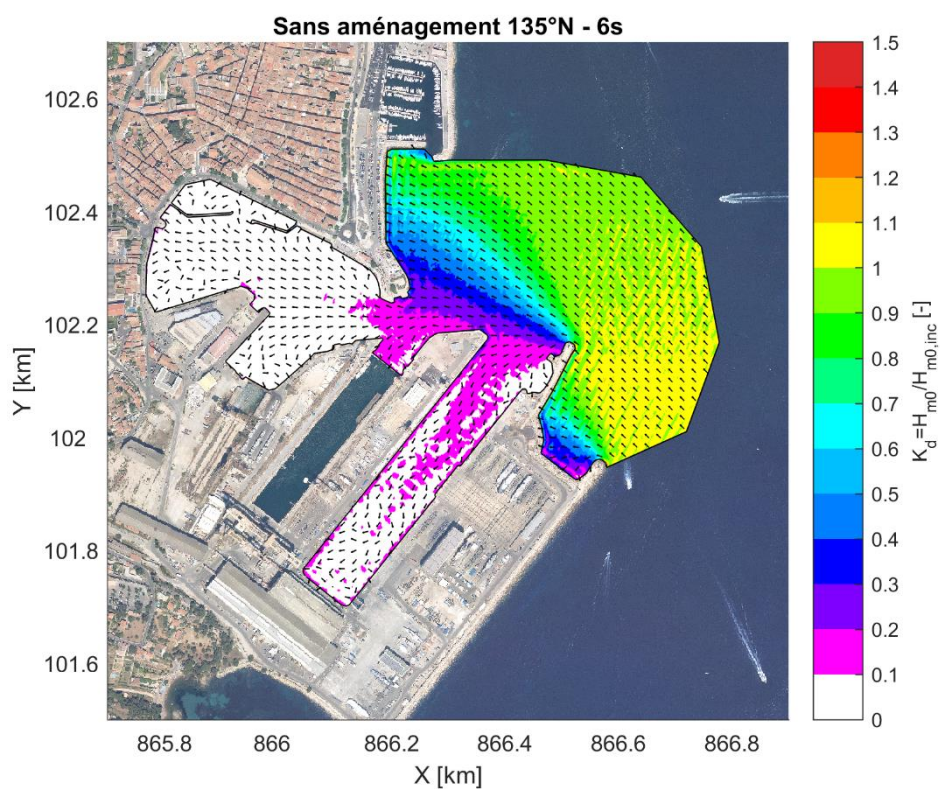
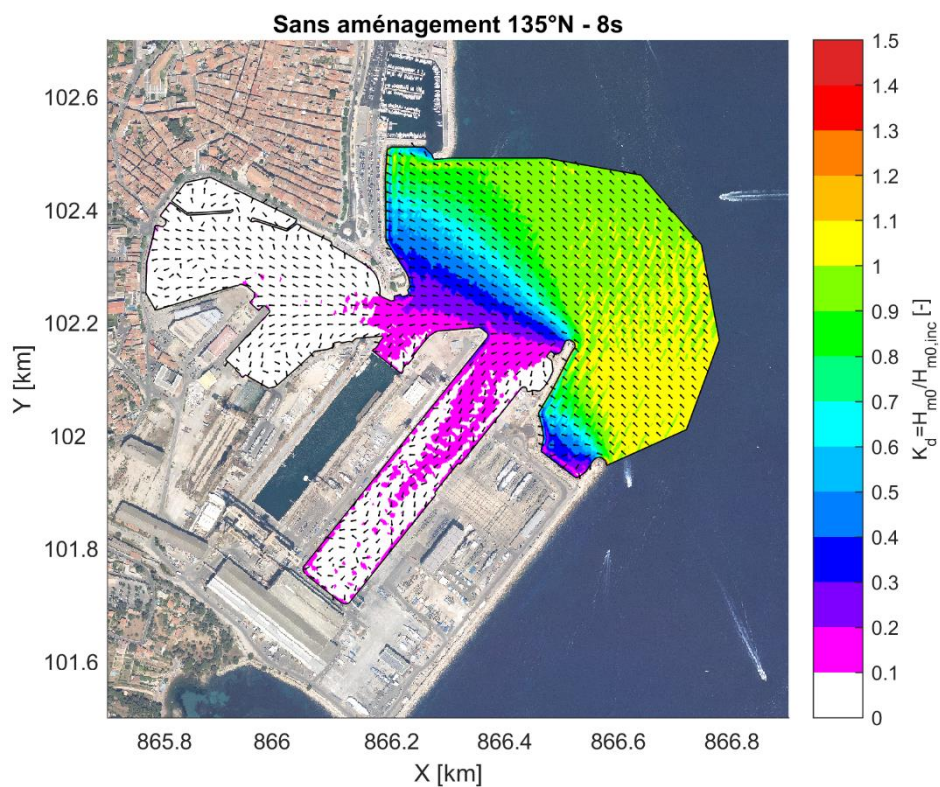
7. BIBLIOGRAPHIE

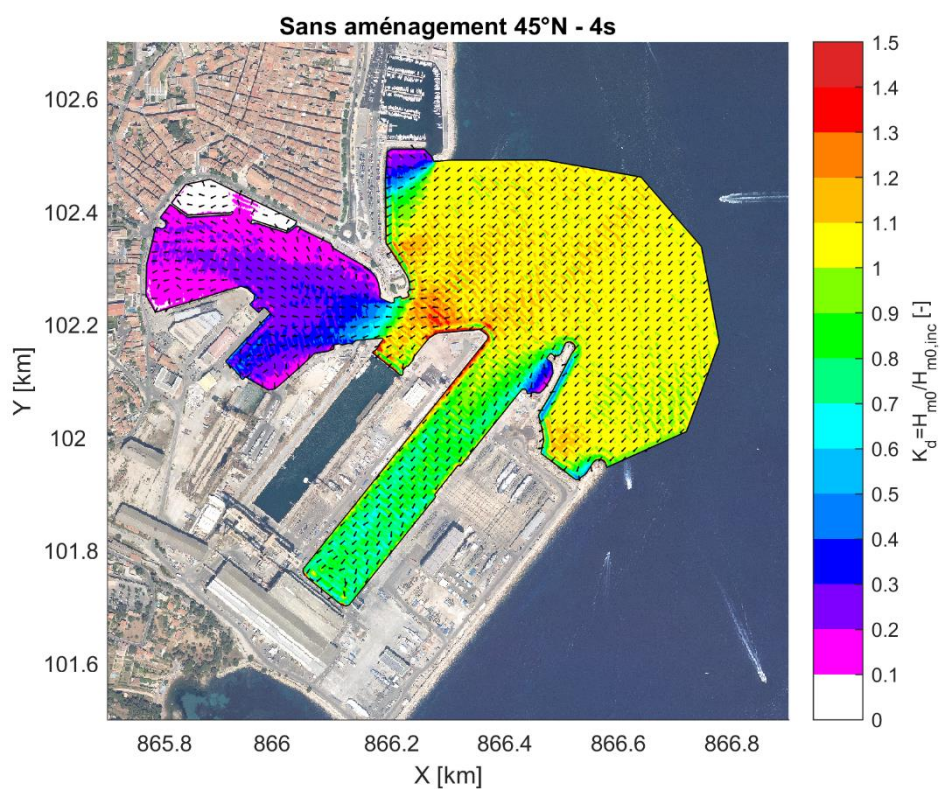
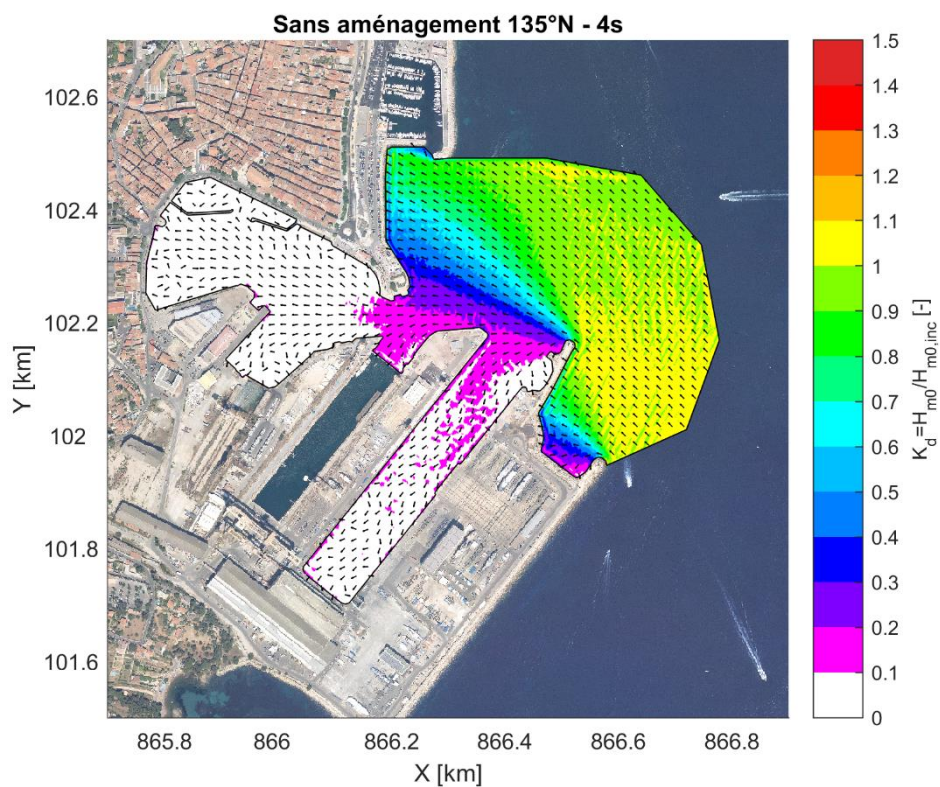
BRL ingénierie (2017). Etude d'Agitation du port de La Ciotat. SEMIDEP, Département DES Bouches-du-Rhône, A00069_Agitation_LaCiotat.

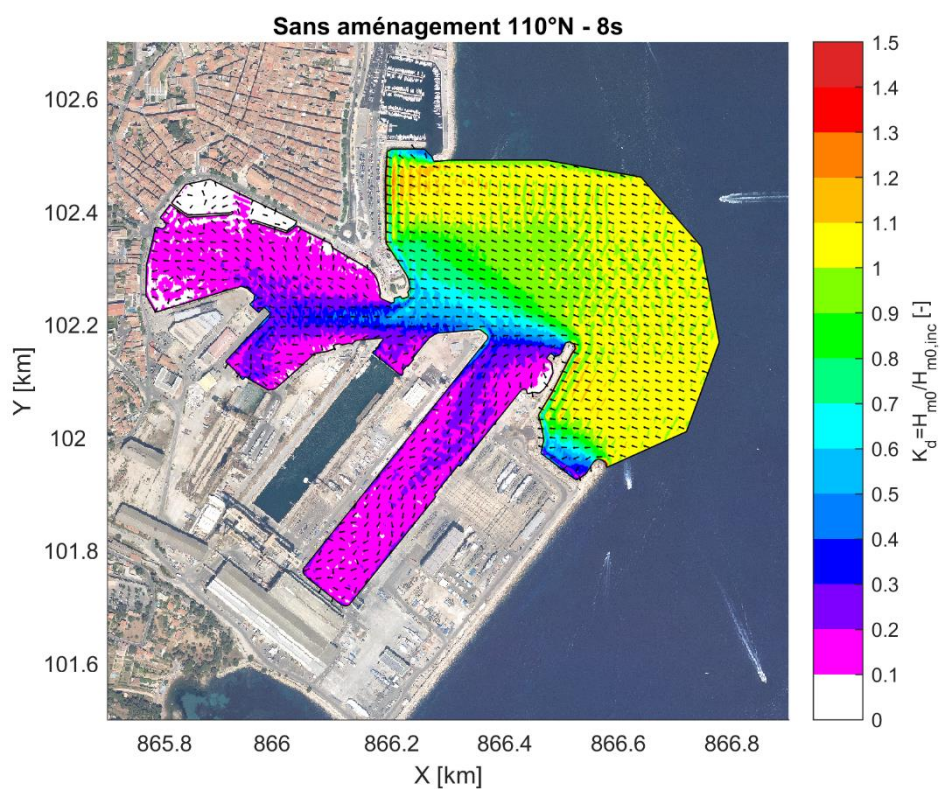
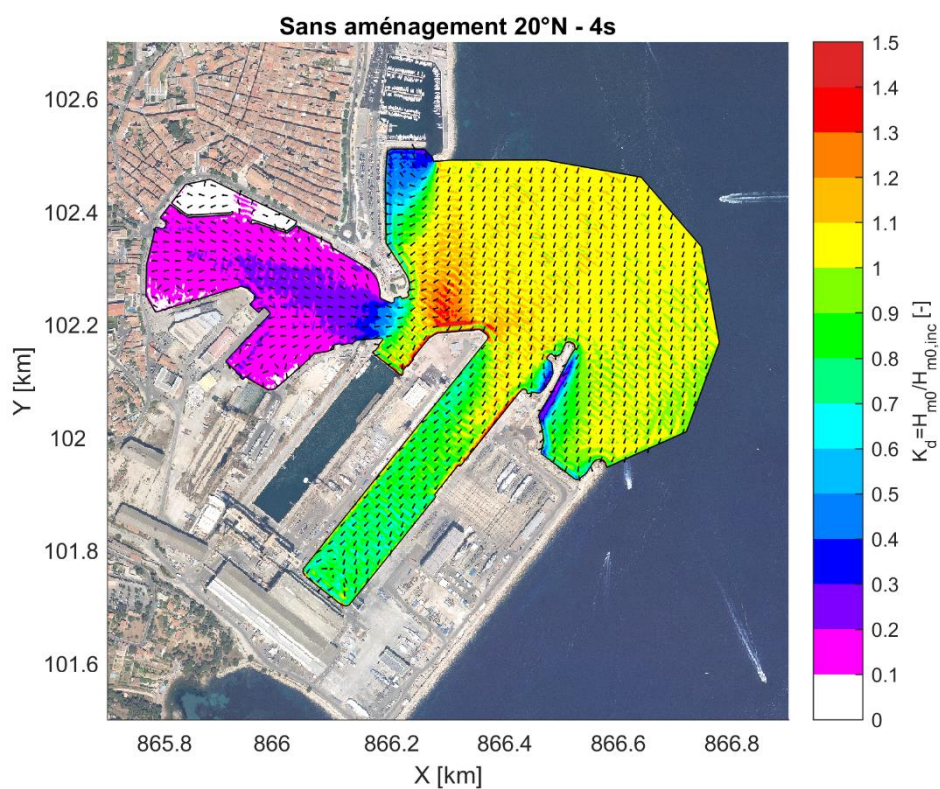
Goda Y. (2010). Random Seas and Design of Maritime Structures 3rd editio. World Scientific.

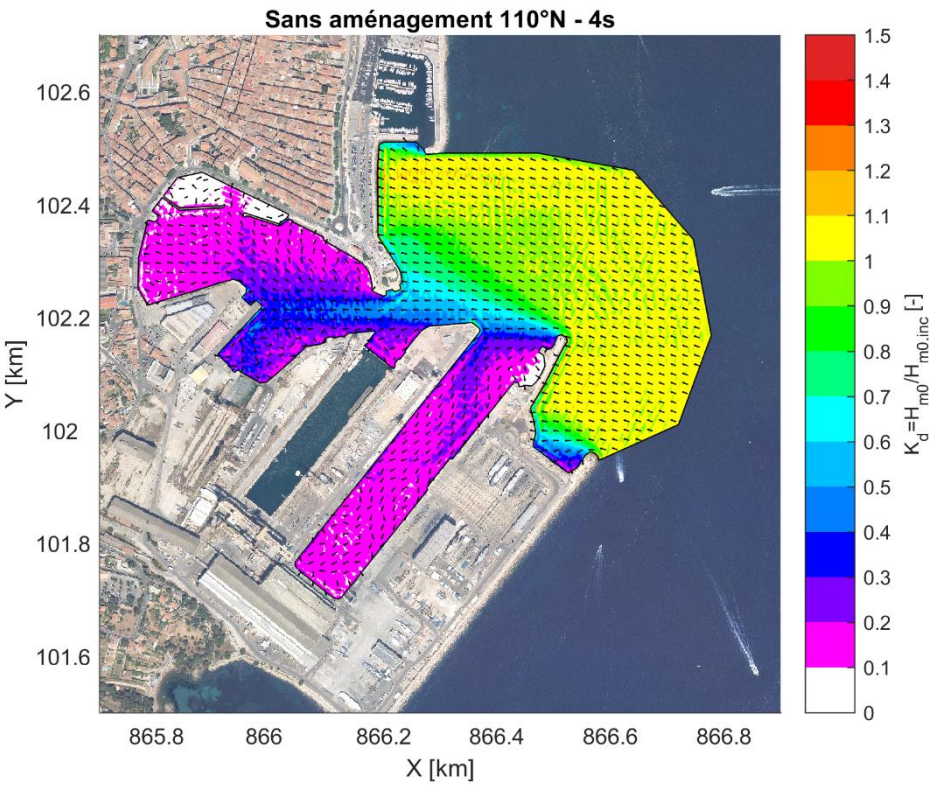
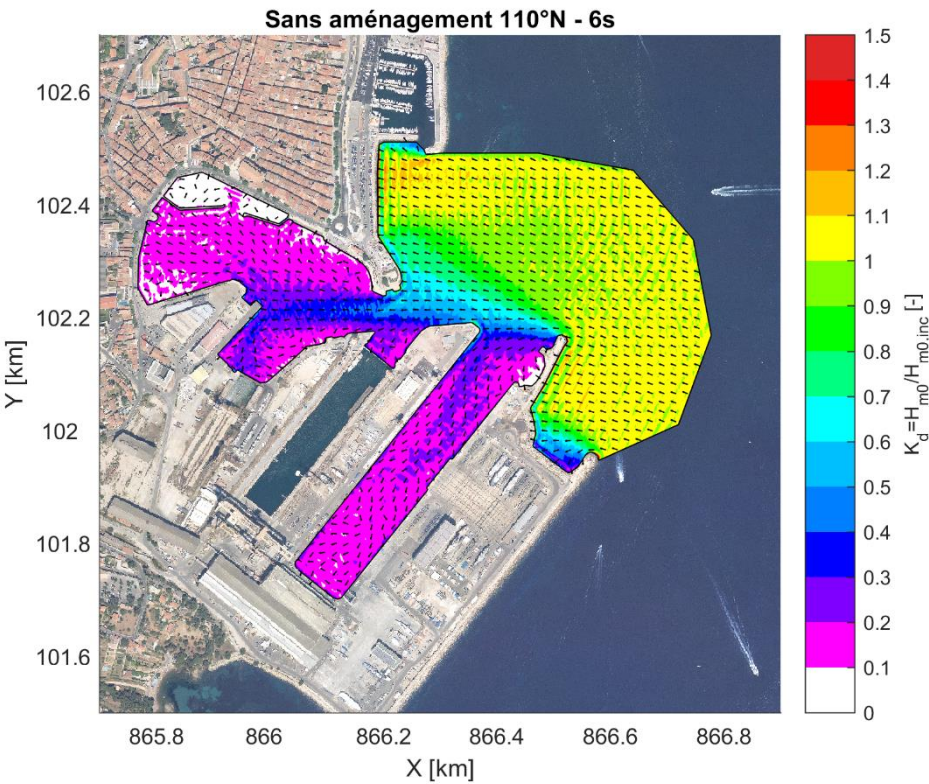
HR Wallingford (2014). Wave modelling with ARTEMIS and TOMAWAC - 11th June 2014.

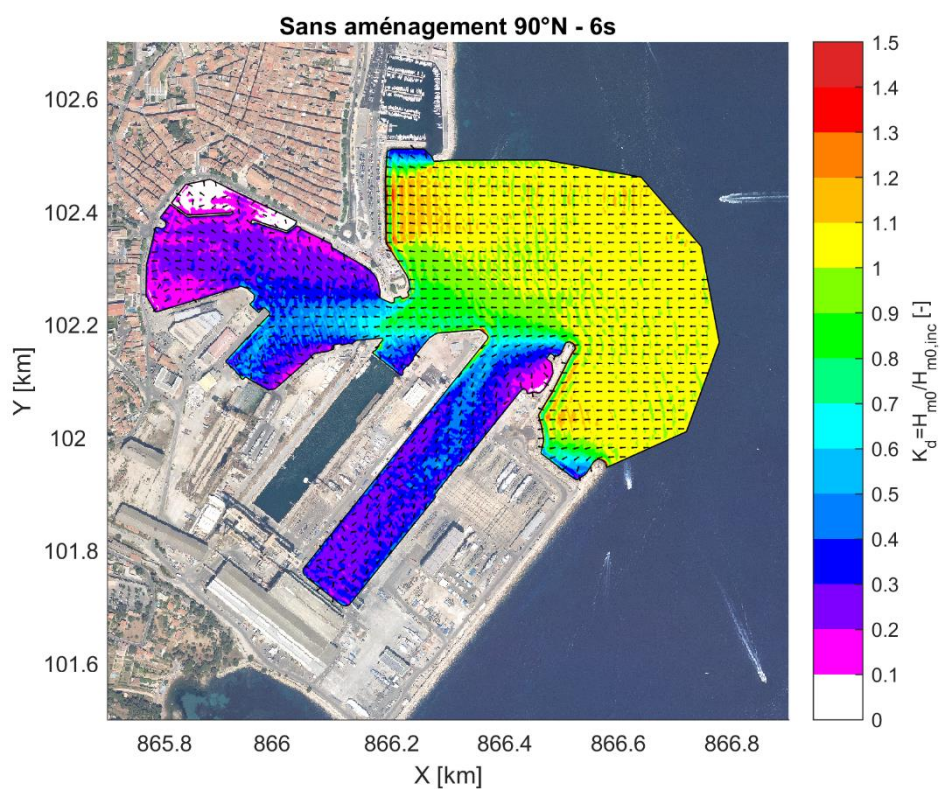
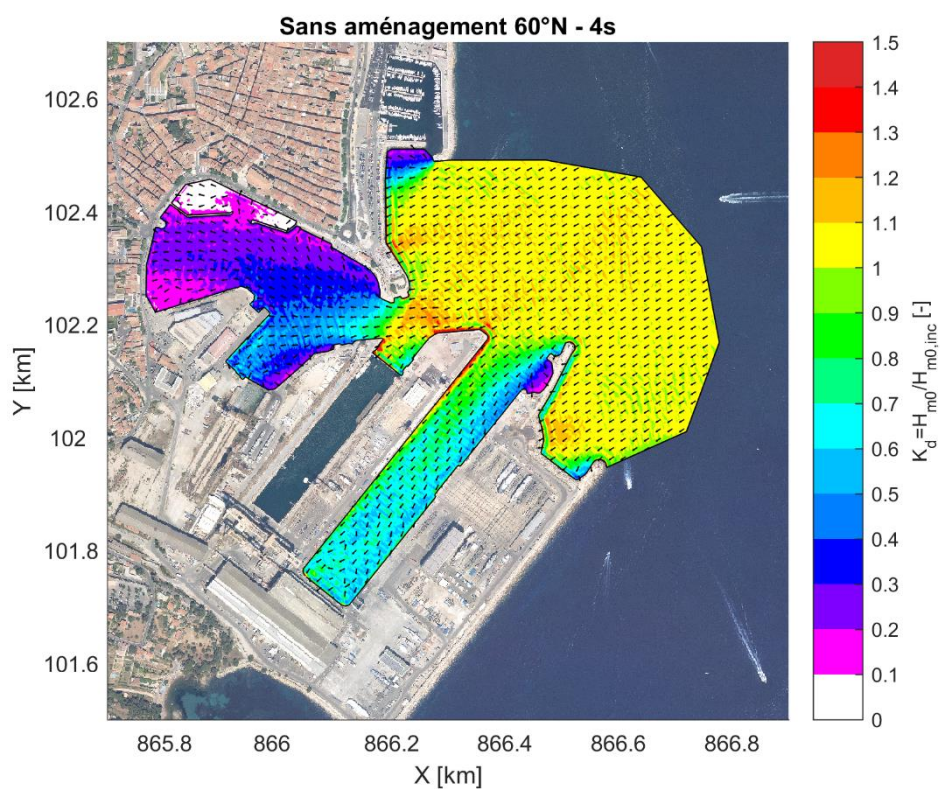
Annexe A Epures d'agitation Situation actuelle (sans aménagement)

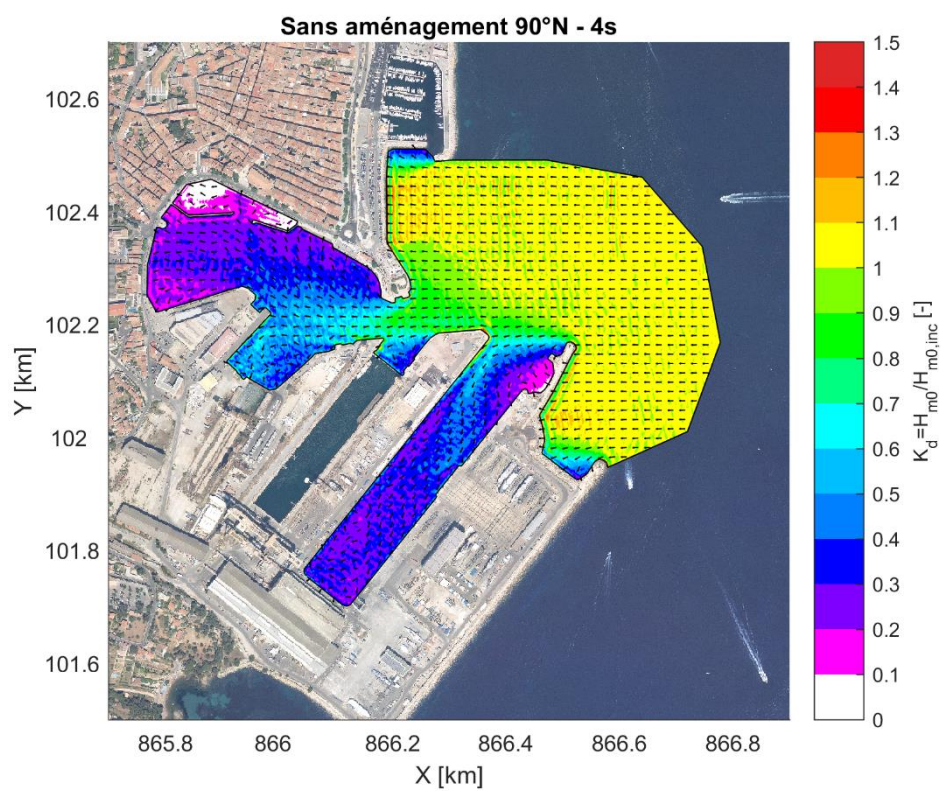






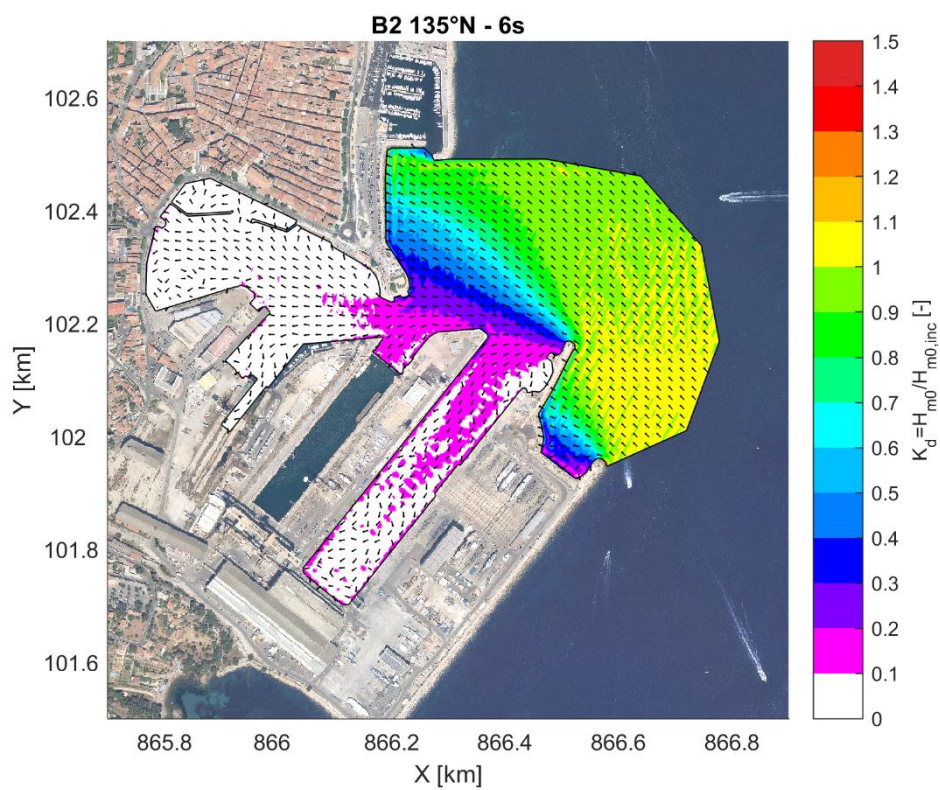
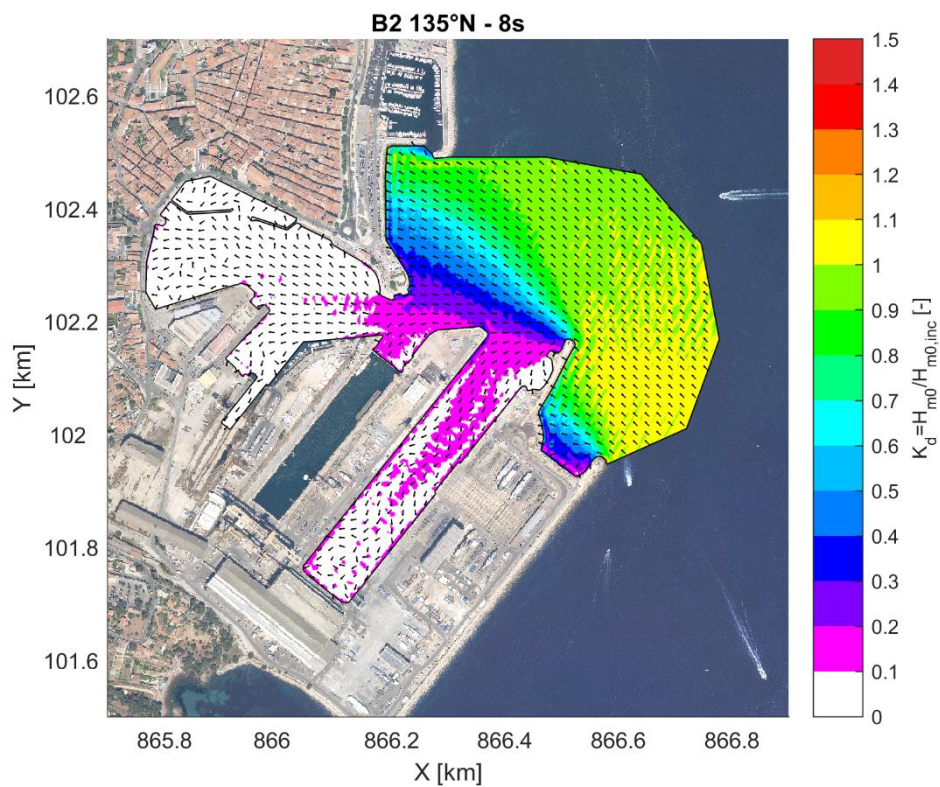


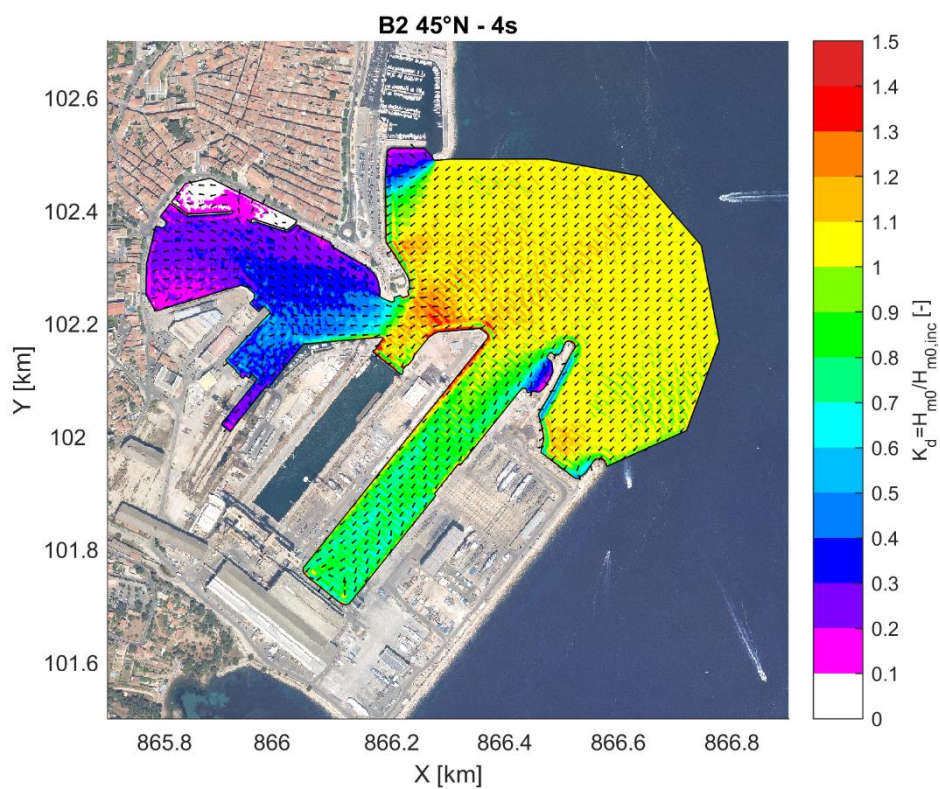
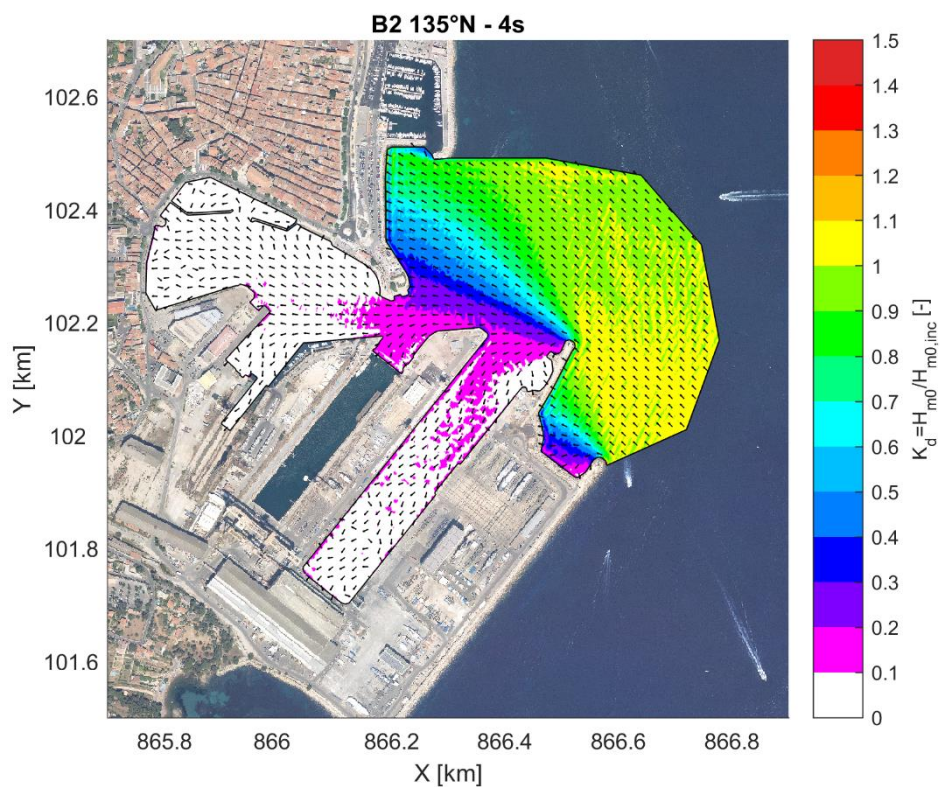


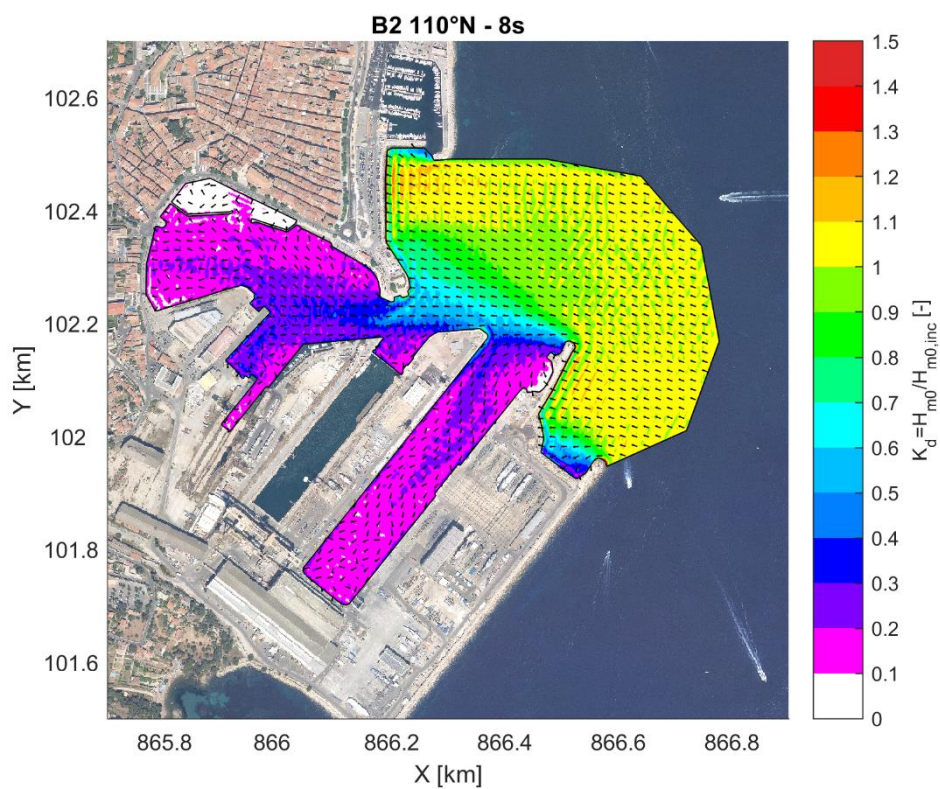
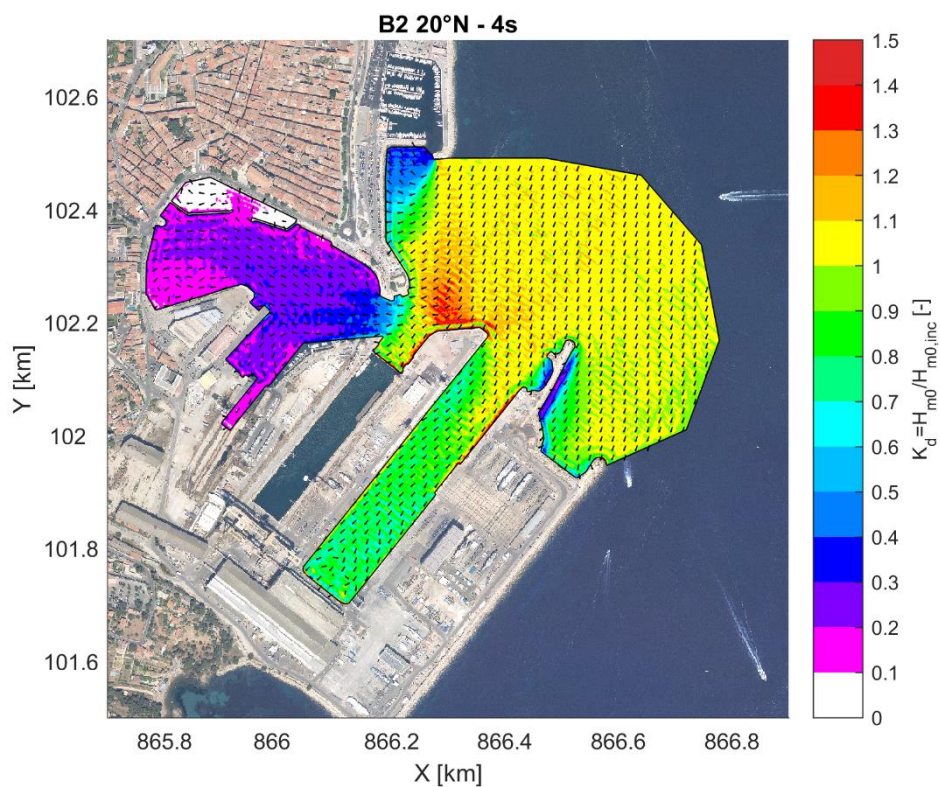


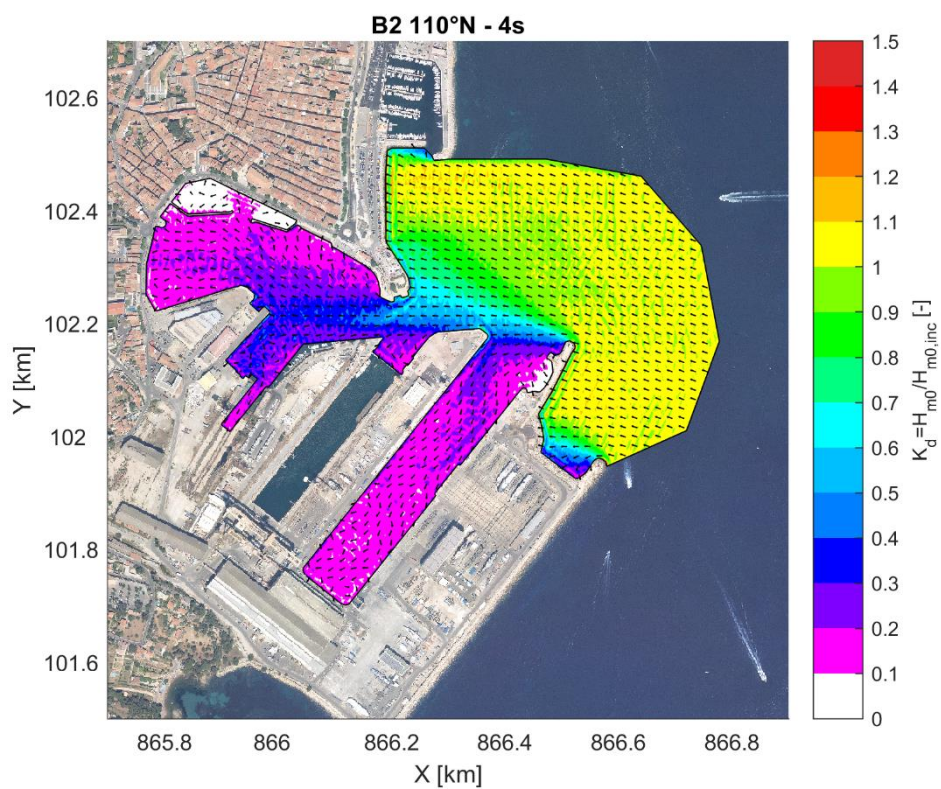
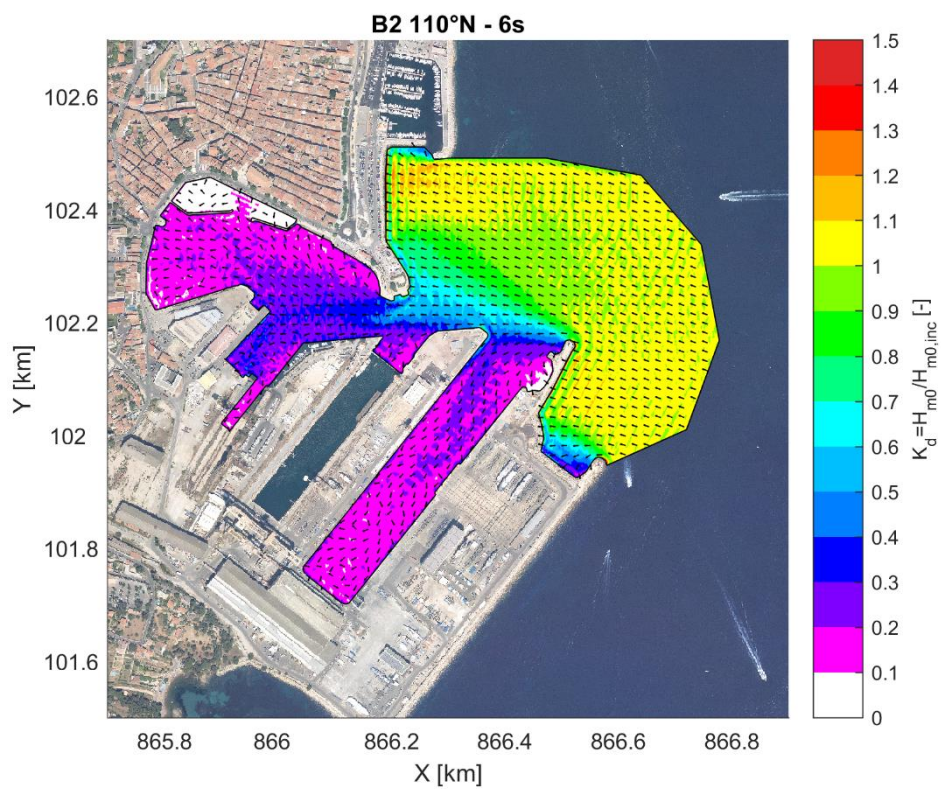
Annexe B

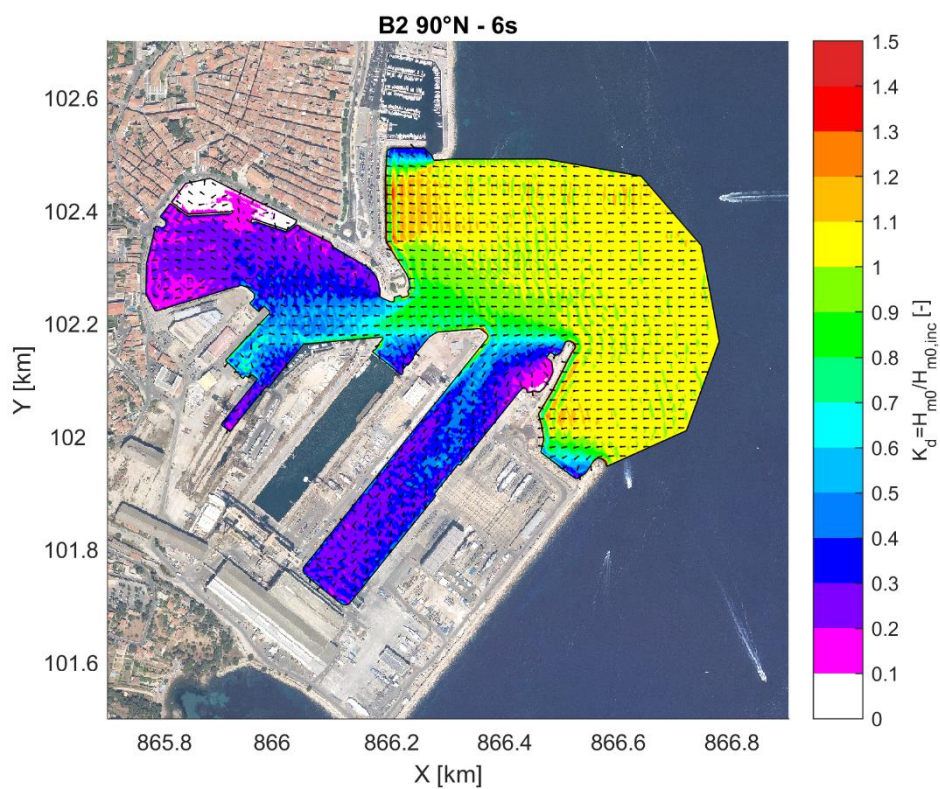
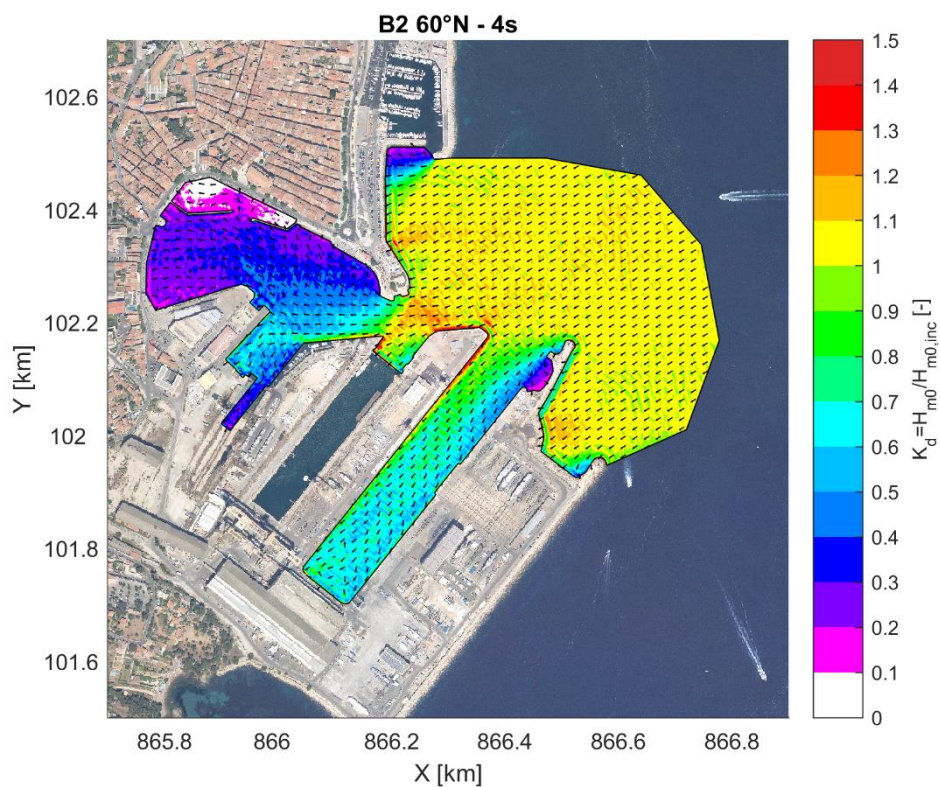
Epures d'agitation Scénario B2

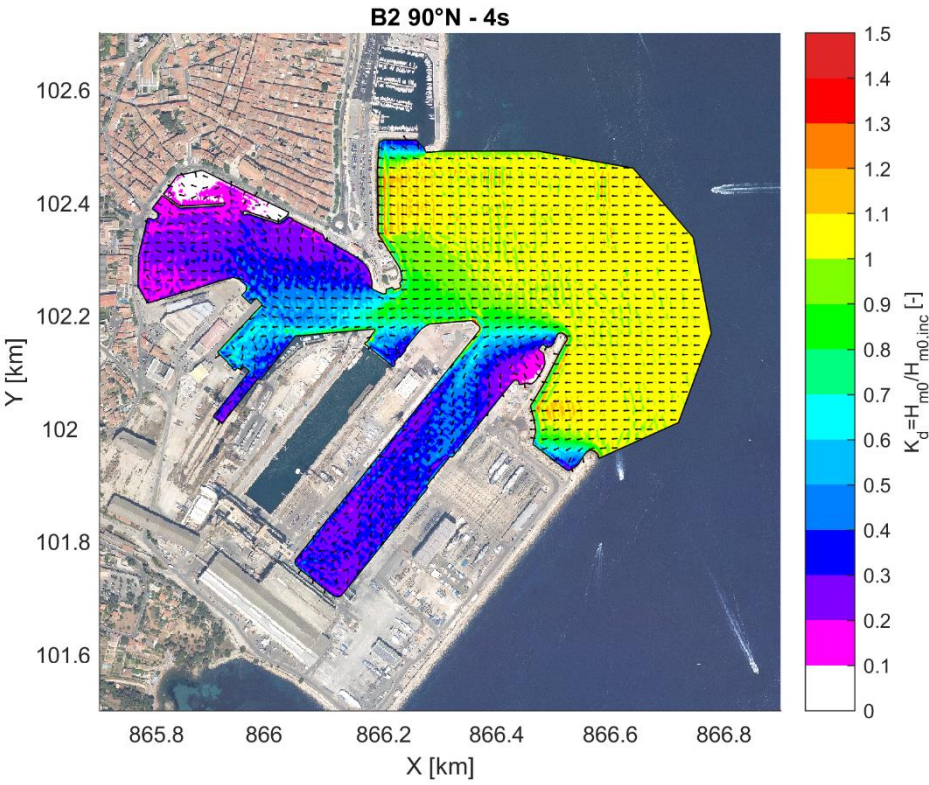






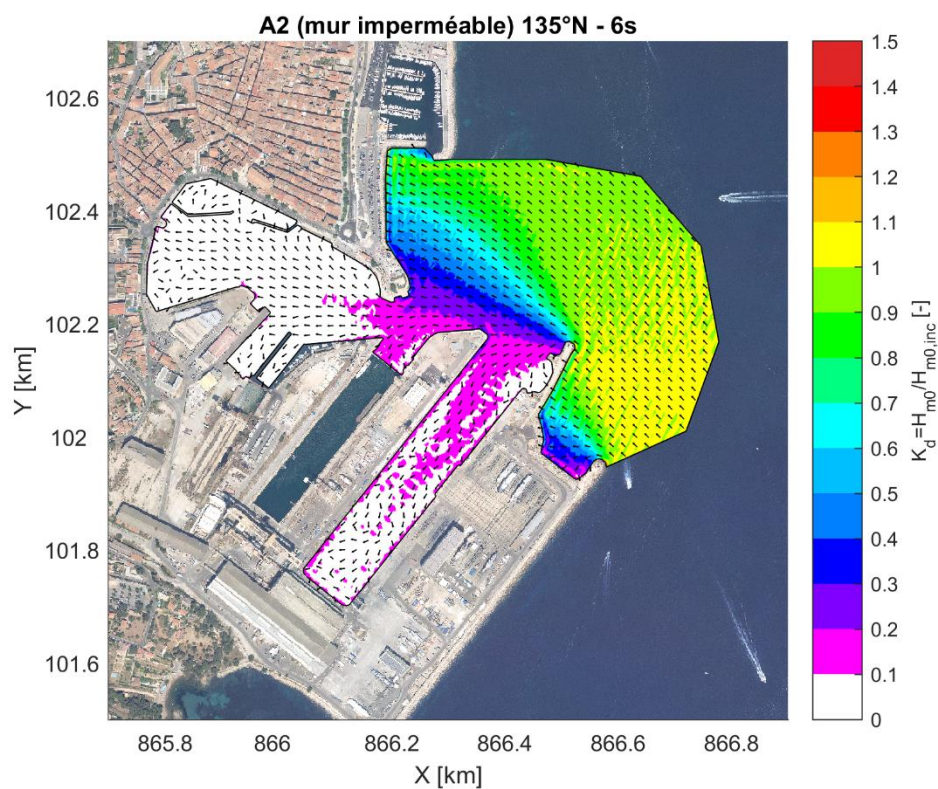
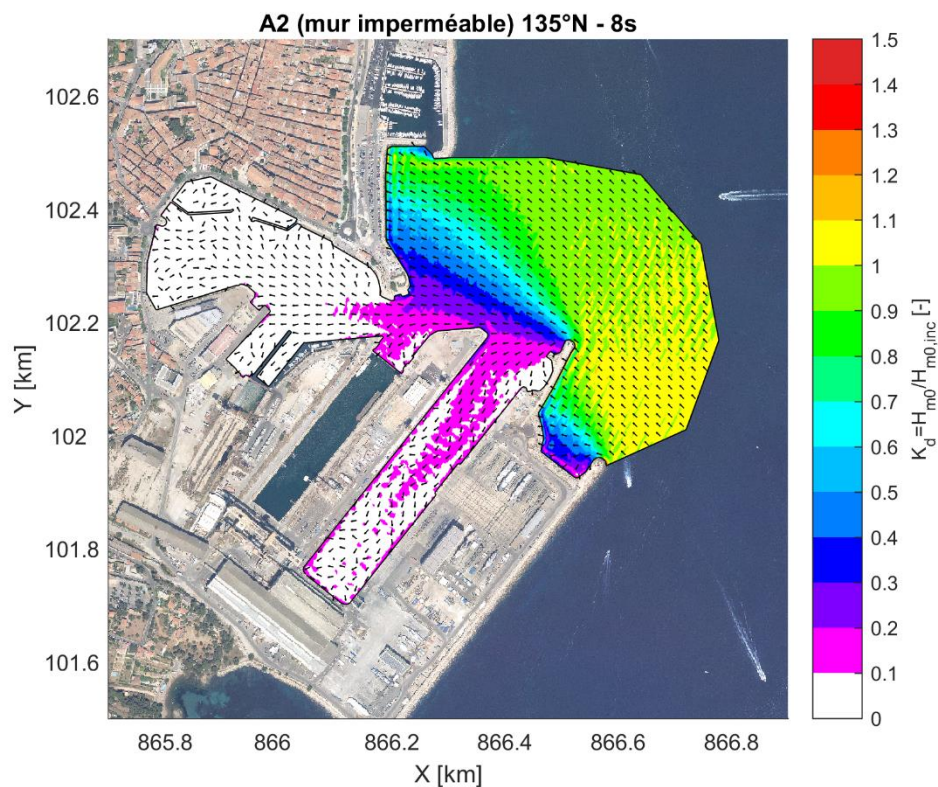


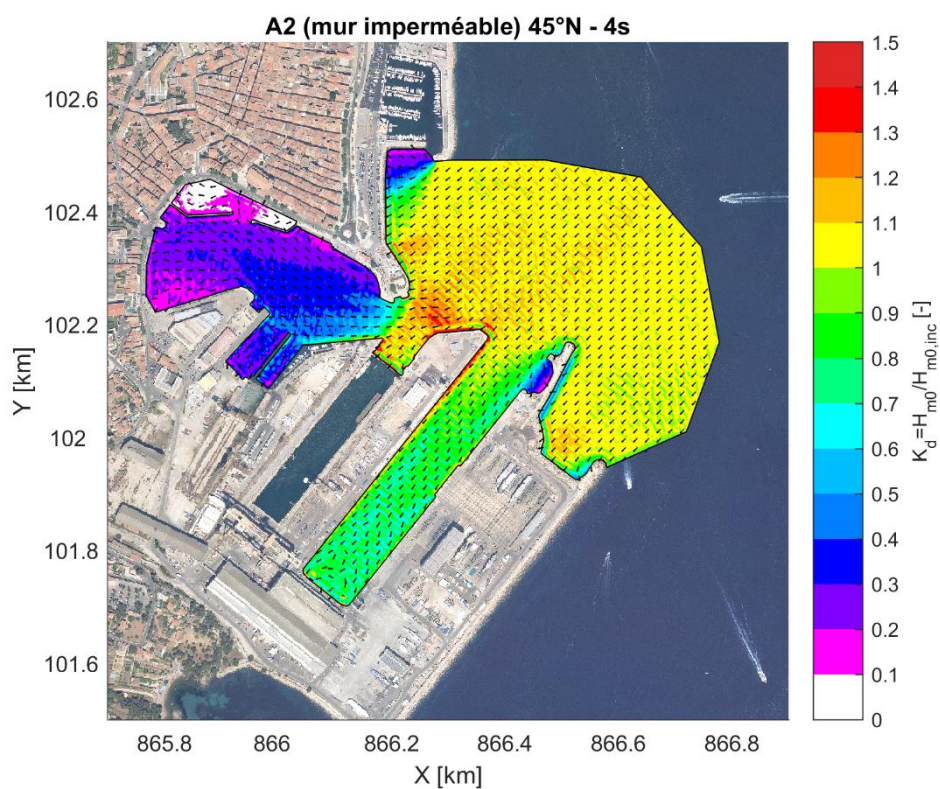
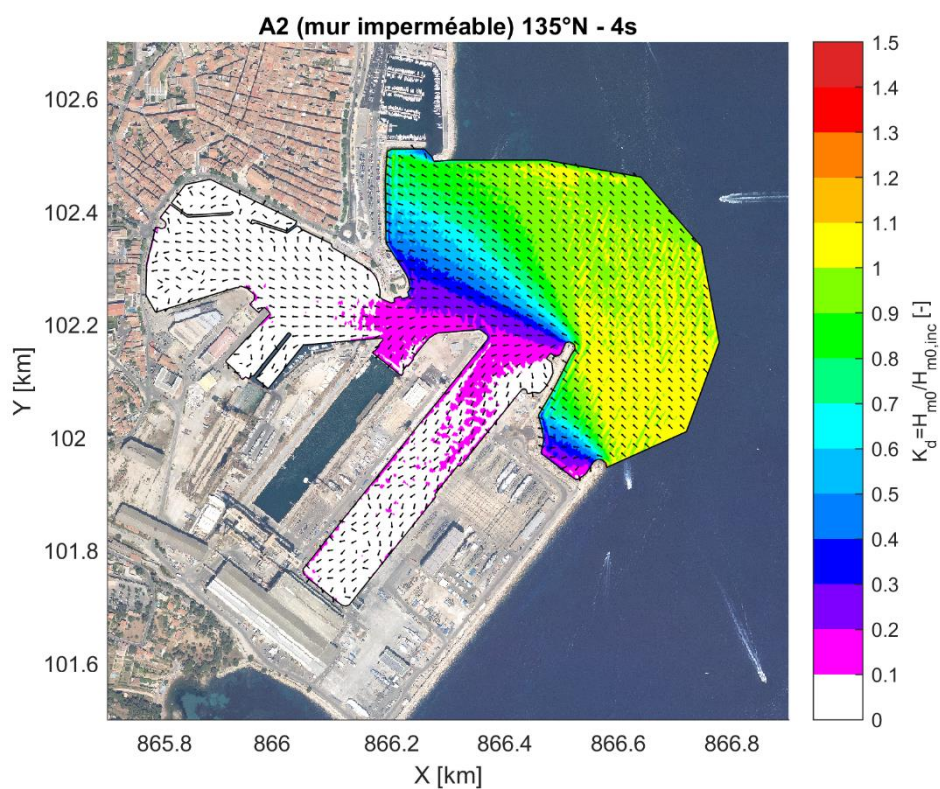


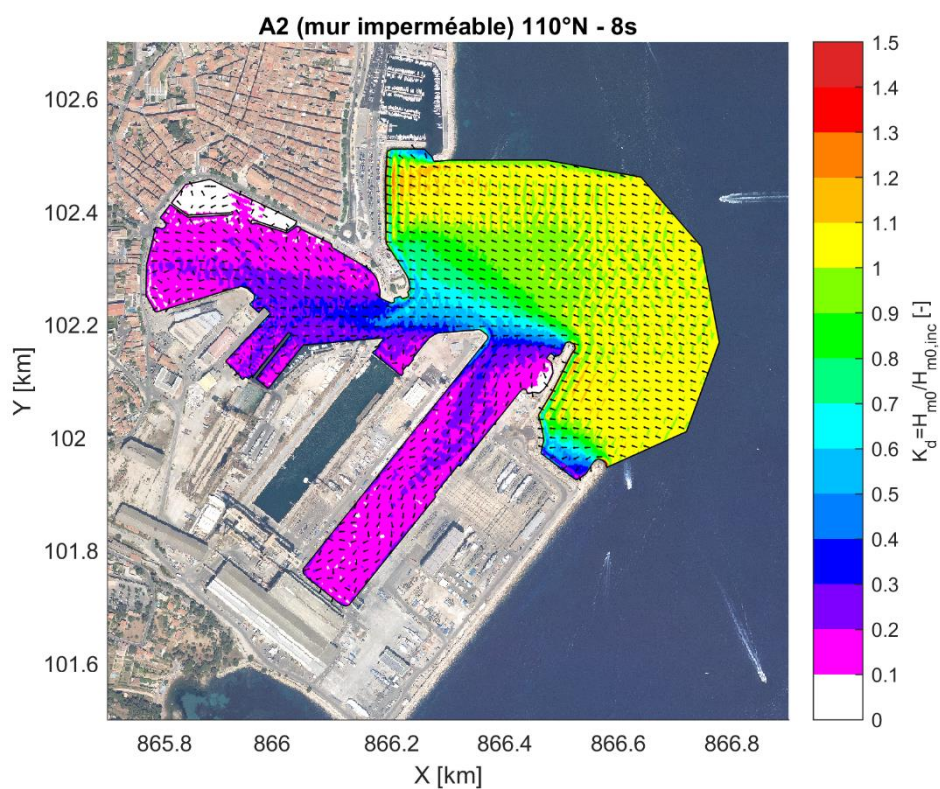
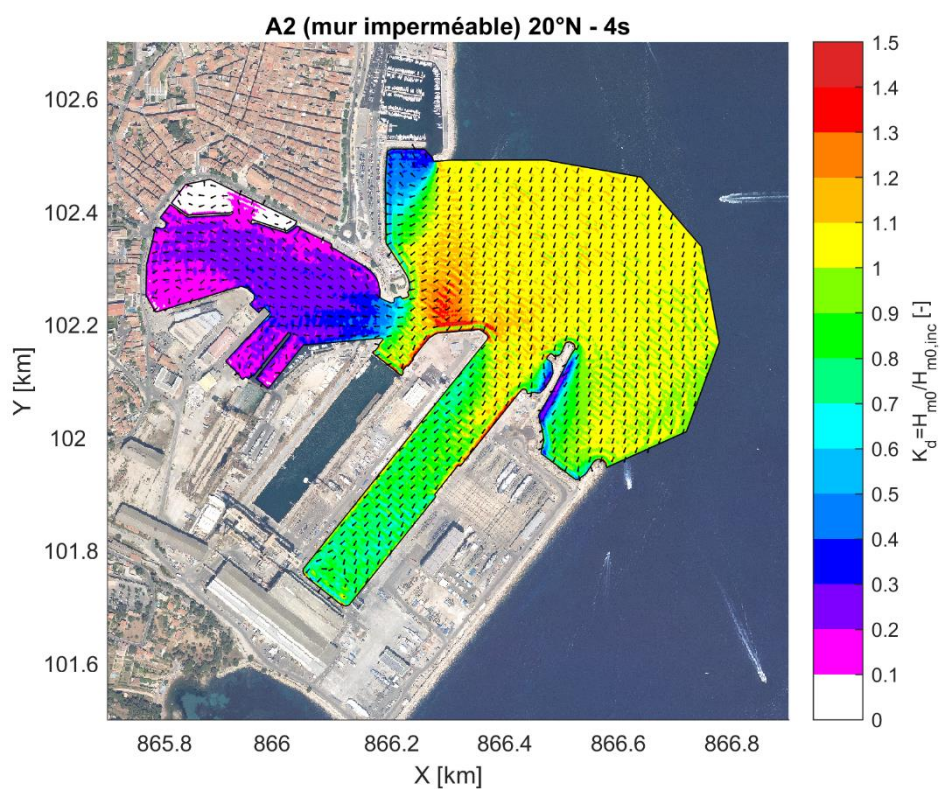


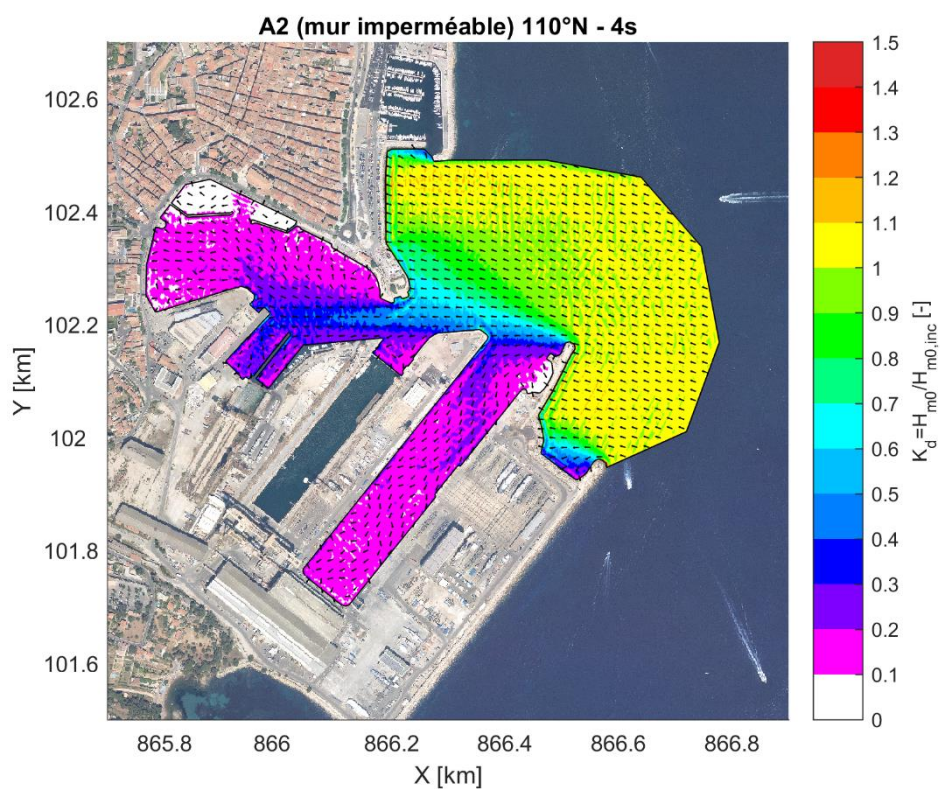
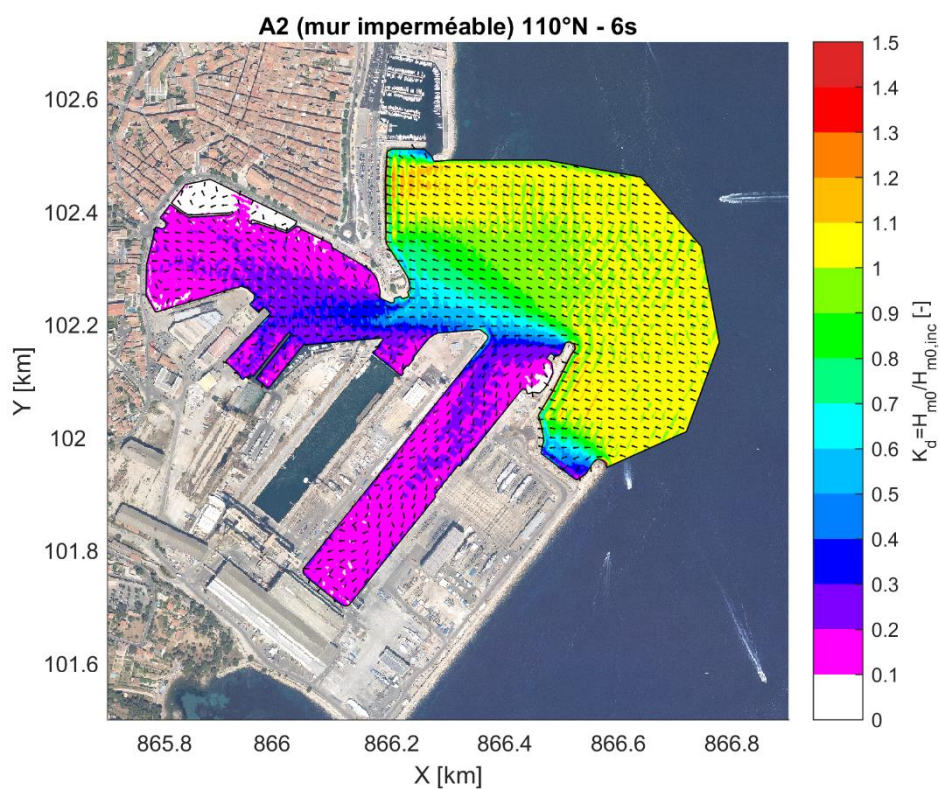
Annexe C Epures d'agitation Scenario A2

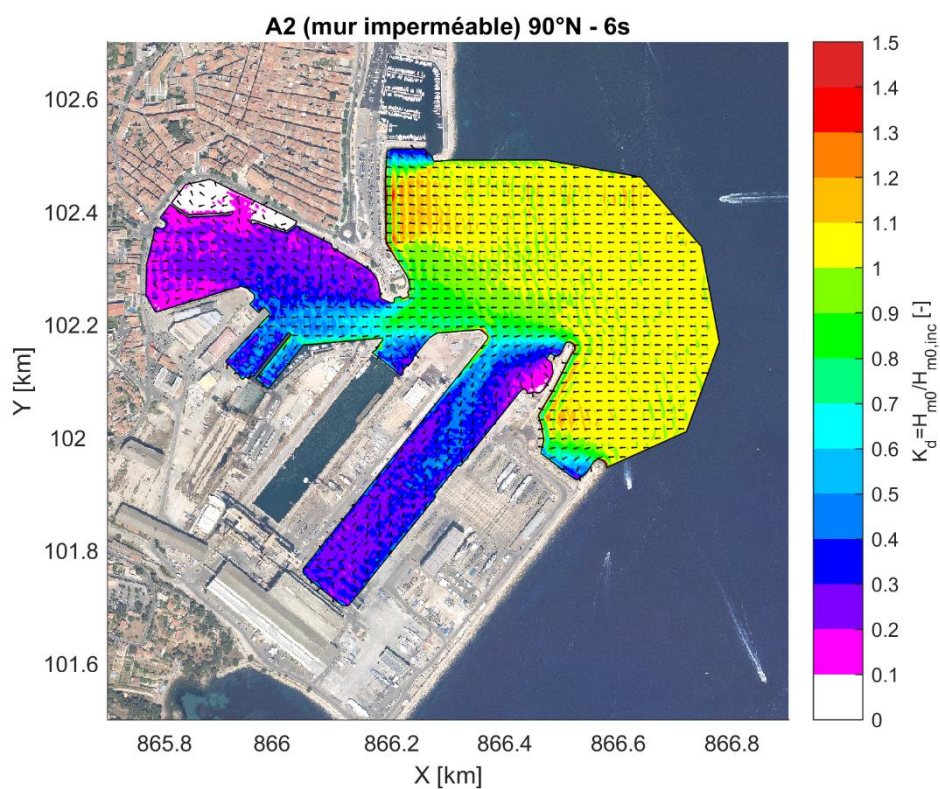
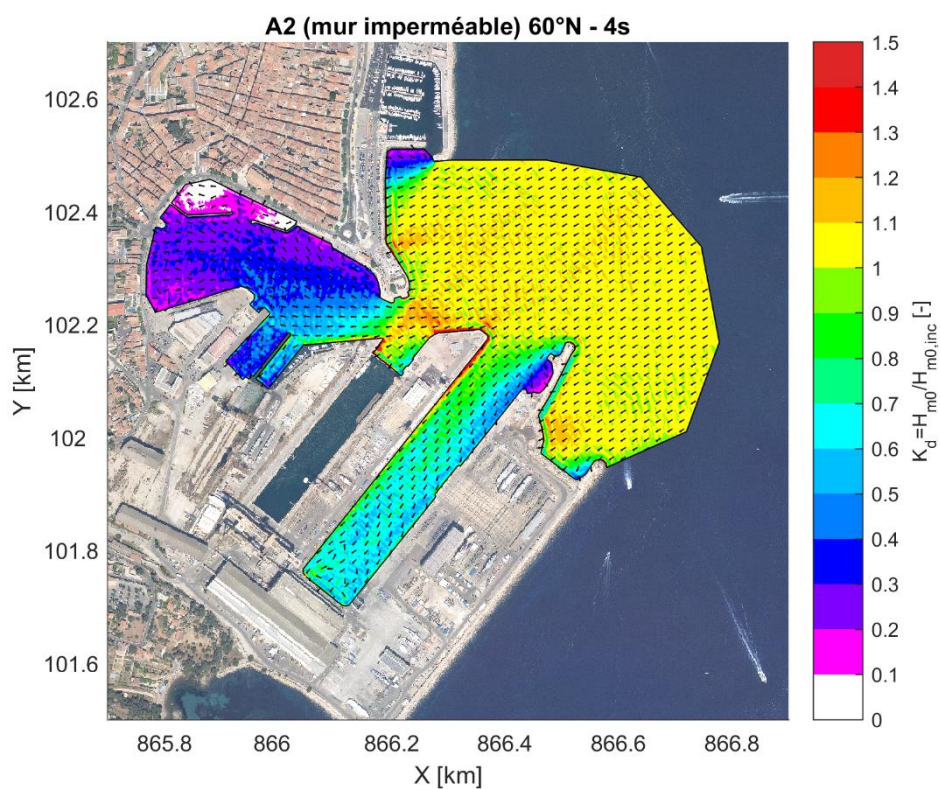
C.1 Hypothèse quai d'attente avec mur imperméable

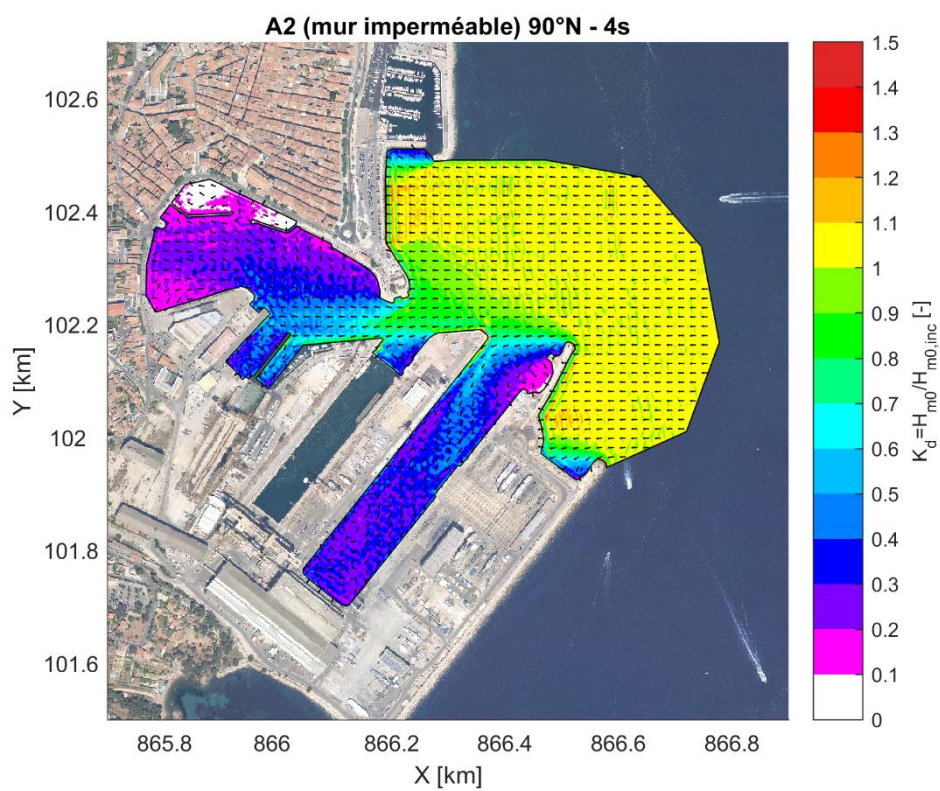












C.2 Hypothèse quai d'attente avec mur transparent

