

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'EXTENSION DU

## Port des Heures Claires



PHASE AVANT-PROJET

**Etude d'agitation du bassin portuaire et des anes de mise à l'eau**

mandataire



**MAGNAN**

architecture



Frédéric RILL  
Architecte



HYDRO GC

Etude d'agitation du bassin portuaire et des anses de mise à l'eau

Emetteur : HydroGC

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Observations
A	13/03/2017	DL	PL	Première diffusion

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Objet.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Les données naturelles .....</b>	<b>5</b>
2.1	La bathymétrie.....	5
2.2	Les vents et clapots.....	7
2.3	Le niveau d'eau .....	9
<b>3</b>	<b>L'agitation dans le bassin portuaire.....</b>	<b>10</b>
3.1	Critères d'agitation.....	10
3.2	Hypothèses de modélisation.....	11
3.3	Configuration existante .....	12
3.4	Configuration A, esquisse de base issue de l'étude préliminaire.....	14
3.5	Configuration B, ajustement du tracé en plan .....	16
3.6	Configuration C, ajout d'un ouvrage dissipateur vertical sous ponton .....	20
<b>4</b>	<b>L'agitation dans les anses et plages au Nord du port .....</b>	<b>25</b>
4.1	L'agitation résiduelle en fond de plage.....	25
4.2	Stabilité des plages sous l'effet des coups de mer.....	27
4.2.1	Caractéristiques des coups de mer atteignant les plages.....	27
4.2.2	Notion d'équilibre hydro-sédimentaire .....	29
4.2.3	Estimation des érosions par approche numérique.....	30
4.2.4	L'anse naturelle dans les conditions actuelles.....	31
4.2.5	L'anse naturelle dans les conditions futures protégées .....	33
4.2.6	L'anse naturelle avec une pente adoucie .....	34
<b>5</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Références.....</b>	<b>36</b>

## 1 Objet

Le projet d'extension du Port des Heures Claires s'inscrit dans une démarche globale de remise à niveau des infrastructures existantes, d'accueil de nouvelles unités de plaisance et d'harmonisation entre l'espace maritime et le milieu urbain. Les études préliminaires ont conduit à retenir les grands principes suivants pour la restructuration des infrastructures maritimes du port :

- l'extension de la digue principale vers le Nord et vers le Sud ;
- l'intégration de l'actuelle plage bordant le port côté Nord dans l'espace portuaire, de manière à disposer d'une nouvelle darse accueillant des mouillages ;
- l'aménagement de l'anse située plus au Nord pour accueillir l'espace naturel de mise à l'eau des bateaux de l'école de voile ;
- l'intégration d'une nouvelle cale de mise à l'eau ;
- la construction de nouvelles contre-jetées protégeant le bassin portuaire et les plages aménagées ;
- l'aménagement de nouveaux quais et pontons, dont le quai de la navette à passagers circulant à travers l'étang de Berre, installé dans un espace protégé.

Cette note a pour objectif de définir les contours des ouvrages de protection au regard de l'agitation résiduelle dans le bassin portuaire et dans les anses naturelles exploitées par la base nautique.

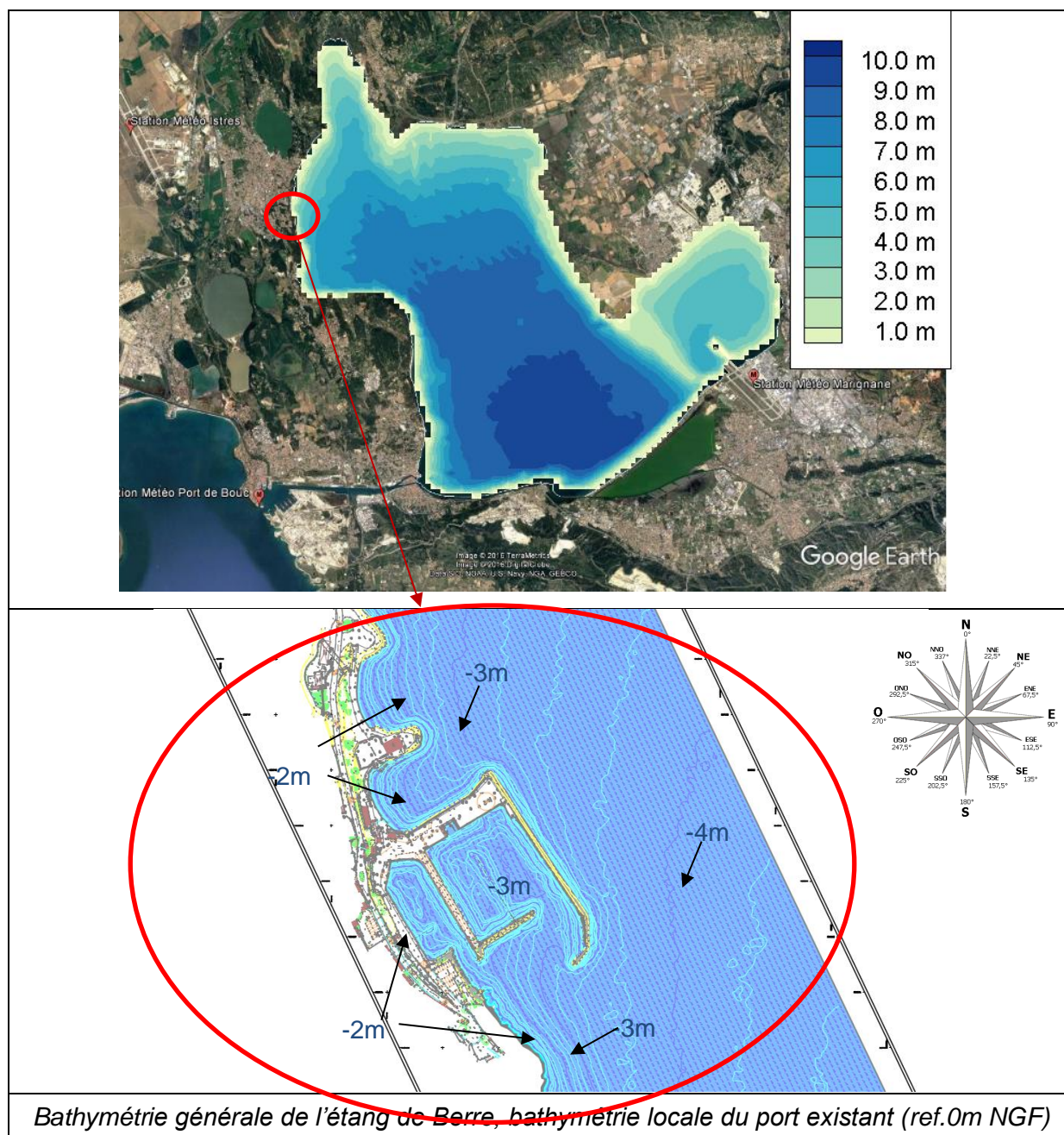
L'étude est fondée sur la modélisation numérique de l'agitation. Les champs d'agitation sont d'abord simulés dans la configuration existante du port, de manière à disposer d'une base de référence. Le projet d'extension est ensuite évalué sur la base des esquisses établies en phase d'études préliminaires. Des ajustements de configuration sont ensuite proposés et testés numériquement pour aboutir à une solution satisfaisante en termes de confort et de sécurité du nouveau plan d'eau.

## 2 Les données naturelles

Les données naturelles ont fait l'objet d'une analyse détaillée reportée dans la note dédiée « hypothèse des données naturelles maritimes » [10]. On rappelle ci-après les synthèses obtenues pour les données directement concernées par l'étude d'agitation : la bathymétrie, les clapots et le niveau d'eau.

### 2.1 La bathymétrie

La bathymétrie a été interpolée à partir du pavé numérique numéro 180035 du SHOM, complété par les données en ligne Navionics pour toute l'anse Sud-Est, au niveau de l'aéroport de Marignane. L'interpolation numérique aboutit au résultat graphique ci-dessous. La bathymétrie fine locale a été fournie par la ville d'Istres.

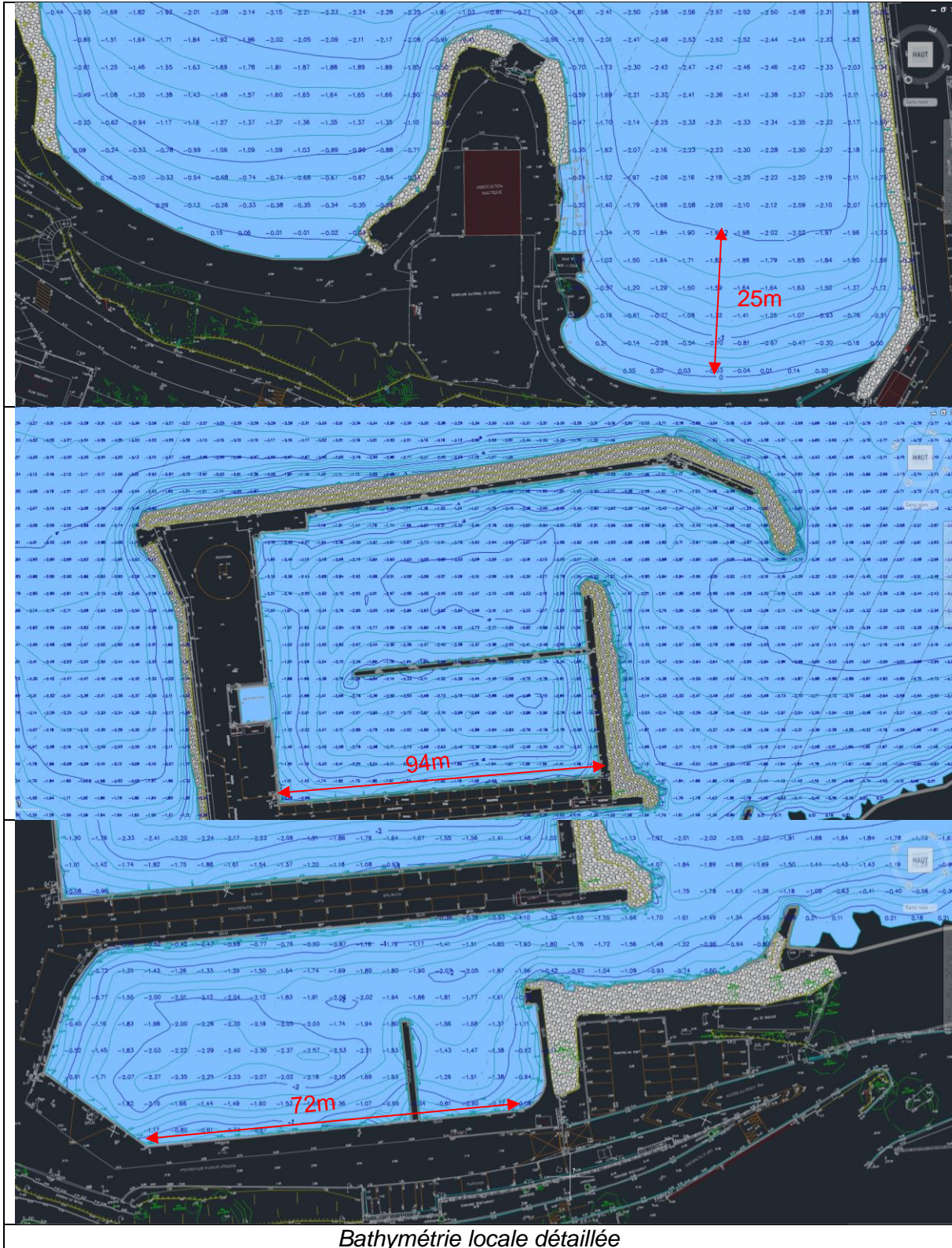




## Commune d'Istres

### Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.

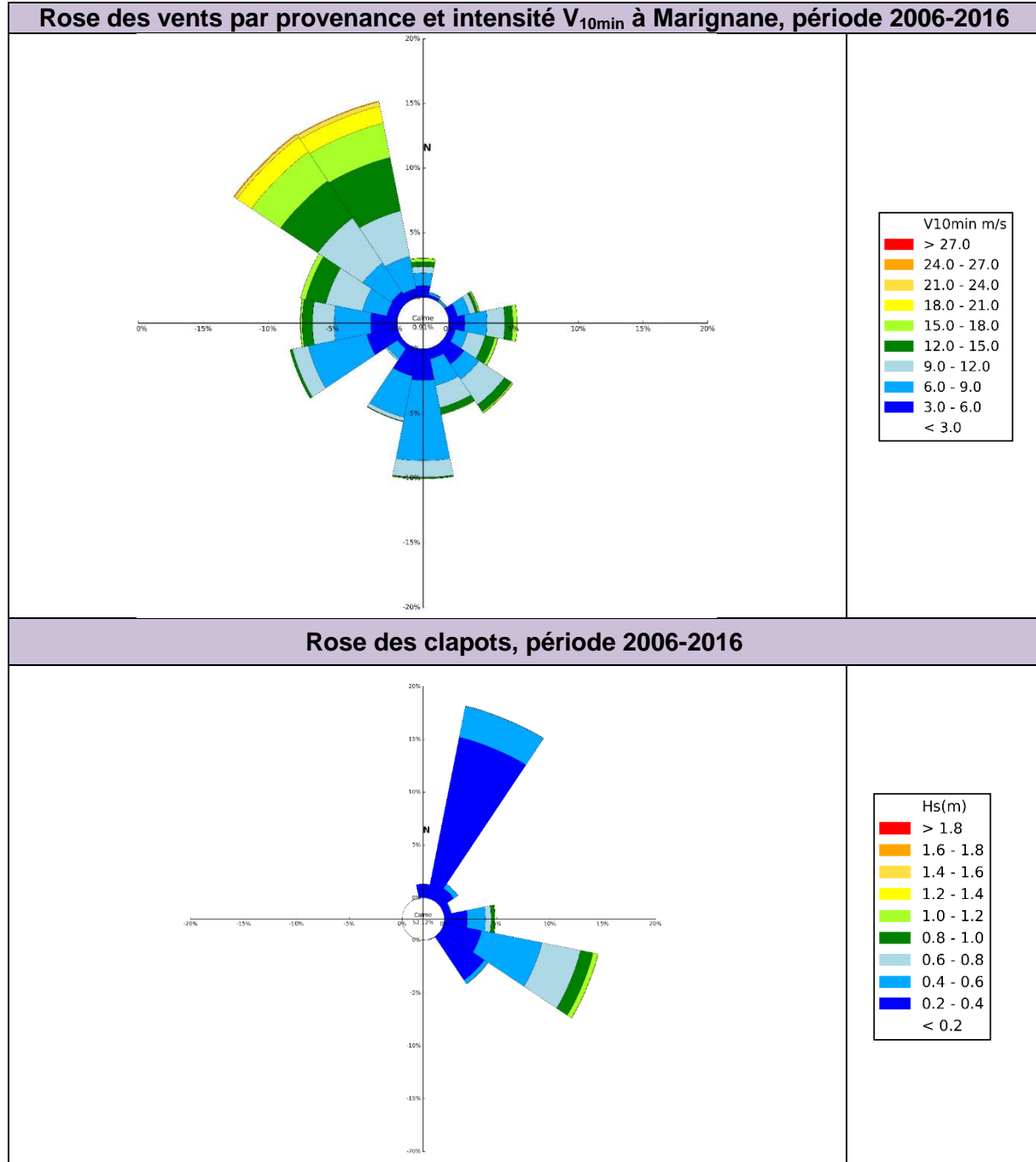
On note que les profondeurs sont relativement peu élevées sur l'ensemble de l'étang, atteignant environ 10m au plus profond, coté Sud. La digue du port est située vers l'isobathe -3m NGF. Les pentes naturelles sont relativement douces jusqu'à cette cote, de l'ordre de 1% entre -5m et -3m. Les fonds se raidissent progressivement en s'approchant du littoral, atteignant 3% à 6% entre -2m et -1m, puis 10% jusqu'à la ligne de rive.



Bathymétrie locale détaillée

## 2.2 Les vents et clapots

La hauteur significative ( $H_{m0} \approx H_S$  (\*)) des clapots soulevés par le vent marin d'Est vers le port des Heures Claires aurait dépassé  $H_S=1.2m$  sur la période 2006-2016, pour laquelle toute la climatologie des états de mer a été simulée [10]. Les clapots de hauteur supérieure à  $H_S=1m$  apparaîtraient une à deux fois par an. Les clapots de mistral sont soulevés sur un fetch très court entre la rive Nord de l'étang et le port. Ils diffractent vers le secteur N30° avant d'aborder la zone portuaire. Leur hauteur significative dépasse  $H_S=0.5m$  en moyenne une fois par an.

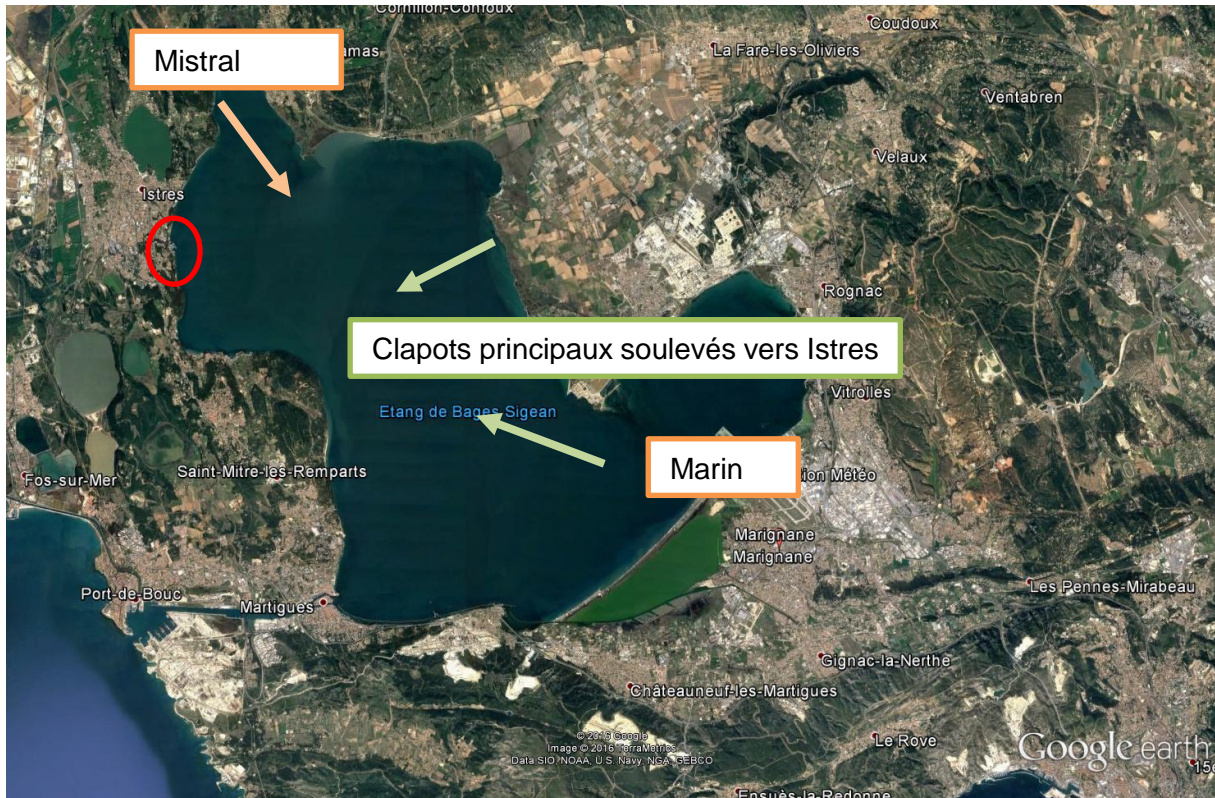


(\*) Nota :  $H_{m0}$  est la hauteur significative spectrale telle que  $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$ ,  $m_0$  étant la quantité d'énergie associée à l'état de mer. Au large, et dans une moindre mesure hors zone de déferlement,  $H_{m0}$  est proche de la hauteur significative  $H_S$  ou  $H_{1/3}$ , égale à la moyenne du 1/3 supérieur des vagues les plus hautes. La plus grande vague du train de houle a une hauteur  $H_{max}$  de l'ordre de 1.8 à 2 fois  $H_S$ .



**Commune d'Istres**

*Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.*



*Station METEO FRANCE de l'aéroport de Marignane.*

*Clapots locaux soulevés par le Mistral et les vents marins d'Est à Sud-Est*

Les clapots de projet retenus à l'issue de l'analyse par extrapolation sur les deux secteurs principaux sont les suivants [10] :

Extrapolation des clapots à l'approche immédiat du port		
Occurrence	Est à Sud-Est	Mistral
annuelle	$H_S=1.05m, T_P=4.0s, N105$	$H_S=0.50m, T_P=2.7s, N30$
quinquennale	$H_S=1.20m, T_P=4.3s, N105$	$H_S=0.56m, T_P=3.0s, N105$
décennale	$H_S=1.25m, T_P=4.5s, N105$	$H_S=0.60m, T_P=3.2s, N30$
vingtennale	$H_S=1.35m, T_P=4.8s, N105$	$H_S=0.65m, T_P=3.3s, N30$
cinquantennale	$H_S=1.45m, T_P=4.9s, N105$	$H_S=0.68m, T_P=3.4s, N30$
centennale	$H_S=1.50m, T_P=5.0s, N110$	$H_S=0.72m, T_P=3.5s, N20 \text{ et } N40$
Extrême ELU	$H_S=1.65m, T_P=5.2s, N110$	$H_S=0.90m, T_P=4.0s, N20 \text{ et } N40$



## 2.3 Le niveau d'eau

Il n'existe pas à notre connaissance de véritables bases de données marégraphiques sur de longues durées à l'intérieur de l'étang de Berre. Les niveaux d'eau hauts de projet ont été estimés sur la base d'ordres de grandeur des facteurs de réduction entre les oscillations rencontrées dans le Golfe de Fos et les oscillations transmises dans l'étang à travers le canal de Caronte. Ce dernier forme un étranglement dissipant une partie de l'énergie transmise entre l'étang de Berre et le Golfe de Fos. Les facteurs de réduction ont été estimés après analyse de l'étude SOGREAH (2009 [1]). L'analyse, détaillée dans la note d'hypothèses sur les données naturelles [10], conduit aux résultats suivants :

<b>Approximation sommaire des niveaux d'eau exceptionnels attendus dans l'étang de Berre</b>			
Niveau moyen	0.11m NGF (*)		
Niveau de marée haute	0.17m NGF		
	Surcote retenue dans l'étang de Berre	Niveau de projet (0.17mNGF+surcote)	Niveau de projet Horizon 2060 (+0.35m)
Surcote annuelle	0.21m	0.38m NGF	0.73m NGF
Surcote décennale	0.32m	0.49m NGF	0.84m NGF
Surcote vingtennale	0.35m	0.52m NGF	0.87m NGF
Surcote cinquantennale	0.52m	0.69m NGF	1.04m NGF
Surcote centennale	0.56m	0.73m NGF	1.08m NGF

(\*) Cette valeur de niveau moyen est extraite de la note sur les contraintes de site [9], fournie par la ville d'Istres.

On tient compte également de la montée du niveau global des océans, attendue dans les prochaines décennies. On se projette à l'horizon 2060, avec une montée estimée à 0.35m selon l'un des scénarii les plus pessimistes édités par le GIEC [7].

Le niveau d'eau bas fréquent ne devrait pas descendre sous la cote 0m NGF, considérant la faible pénétration des marées dans l'étang. Le niveau d'eau bas exceptionnel ne peut pas descendre sous la cote 0m CM à Fos, soit -0.33m NGF.

### 3 L'agitation dans le bassin portuaire

#### 3.1 Critères d'agitation

Les hauteurs significatives acceptables à l'intérieur d'un port de plaisance abritant des navires de 4m à 20m ont été estimées par l'Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation [11]. Les hauteurs significatives suivantes ont été associées à diverses classes de navires comme étant représentatives de critères de confort pouvant être dépassés une à deux fois par an.

Longueur des bateaux (m)	Houles de travers pour les bateaux		Houles de face pour les bateaux	
	Période (s)	Hauteur H <sub>s</sub>	Période (s)	Hauteur H <sub>s</sub>
4m-10m	< 2.0s	20 cm	< 2.5s	20 cm
	2.0s-4.0s	10 cm	2.5s-4.0s	15 cm
	> 4.0s	15 cm	> 4.0s	20 cm
10m-16m	< 3.0s	25 cm	< 3.5s	30 cm
	3.0s-4.0s	15 cm	3.5s-4.5s	20 cm
	> 5.0s	20 cm	> 5.5s	30 cm
20m	< 4.0s	30 cm	< 4.5s	30 cm
	4.0s-6.0s	15 cm	4.5s-7.0s	25 cm
	> 6.0s	25 cm	> 7.0s	30 cm

*Critères de confort pour un port de plaisance*

Le critère H<sub>s</sub>=30cm en occurrence annuelle est considéré comme un standard de confort selon le guide des pontons de plaisance, édité par le Secrétariat d'Etat à la Mer suivant le Conseil Supérieur de la Navigation de Plaisance et des Sports Nautiques. La Commission Scientifique et Technique du ministère français de l'équipement mentionne jusqu'à 40cm admissible. Elle conclut sur des agitations résiduelles de 20cm à 30cm synonymes de confort, allant jusqu'à 60cm en termes de sécurité.

Le critère de sécurité de 60cm est recommandé par les standards Nord-Américains en occurrence cinquantennale. De telles valeurs peuvent en effet être acceptables même pour les petits navires, en particulier si elles correspondent à des ondes relativement longues devant la taille des navires.

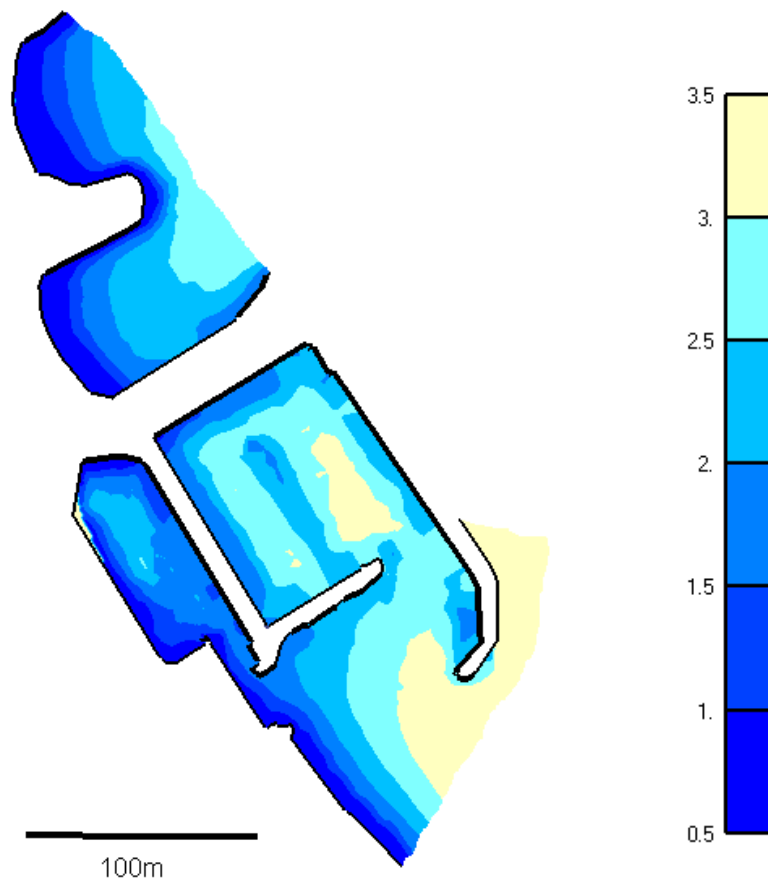
On retiendra en conclusion les critères suivants pour un port de plaisance :

Occurrence	Hauteur significative H <sub>s</sub>	Notion de
Annuelle	0.3m	Confort
Décennale	0.4m à 0.5m	Sécurité
Cinquantennale	0.6m	Sécurité pour navires <20m

### 3.2 Hypothèses de modélisation

L'agitation dans le port d'Istres a été simulée en résolvant l'équation d'ondes de Berkhoff à l'aide d'une méthode aux éléments finis permettant d'intégrer les effets combinés de la réfraction et de la diffraction, les réflexions multiples sur les parois physiques avec dissipation d'énergie en fonction de la nature des ouvrages, ainsi que la dissipation d'énergie par frottement sur le fond ou déferlement.

Les franchissements des digues ne sont pas pris en compte dans les simulations. L'influence des bateaux est négligée, sachant que ceux-ci interagissent très peu sur la propagation des ondes (effet de bouchon flottant), et que leur présence a même tendance à réduire légèrement l'agitation globale, en particulier en fond de bassin, notamment pour les petites périodes  $T_P=2s$  à  $3s$ , fréquemment rencontrées sur l'étang.



*Bathymétrie à l'intérieur du port (référence 0m NGF)*






Les conditions aux limites sont définies sur les limites physiques du port, sur lesquelles on impose des coefficients de réflexion partielle selon la nature des parois ou des talus, ainsi que selon la cambrure des houles. L'ouverture vers l'étang est modélisée par une frontière fictive en arc de cercle, sur laquelle on applique les caractéristiques des houles incidentes à l'approche du port, ainsi qu'une condition de rayonnement traduisant l'évacuation des ondes réfléchies vers le large.

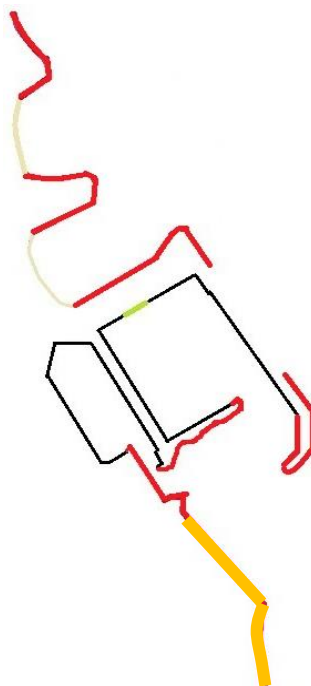
Toutes les simulations intègrent la combinaison d'une large gamme de périodes ( $T=2s$  à  $7s$  tous les  $0.25s$ ) et de directions (incidence tous les  $5^\circ$ ) de façon à calculer la hauteur significative  $H_s$  résiduelle engendrée par un état de mer irrégulier en fréquence et en direction.



Les valeurs de coefficients de réflexion adoptées dans la configuration de base existante sont présentées ci-après :

- $K_r=0.95$  sur les murs droits verticaux
- $K_r=0.5$  sur les talus en enrochements
- $K_r=0.1$  sur les plages et la cale de mise à l'eau
- $K_r=0.2$  sur les plages rocheuses (pente lisse à 4/1)

	Cales
	Murs droits
	Quais et talus amortisseurs
	Plage
	Plage rocheuse

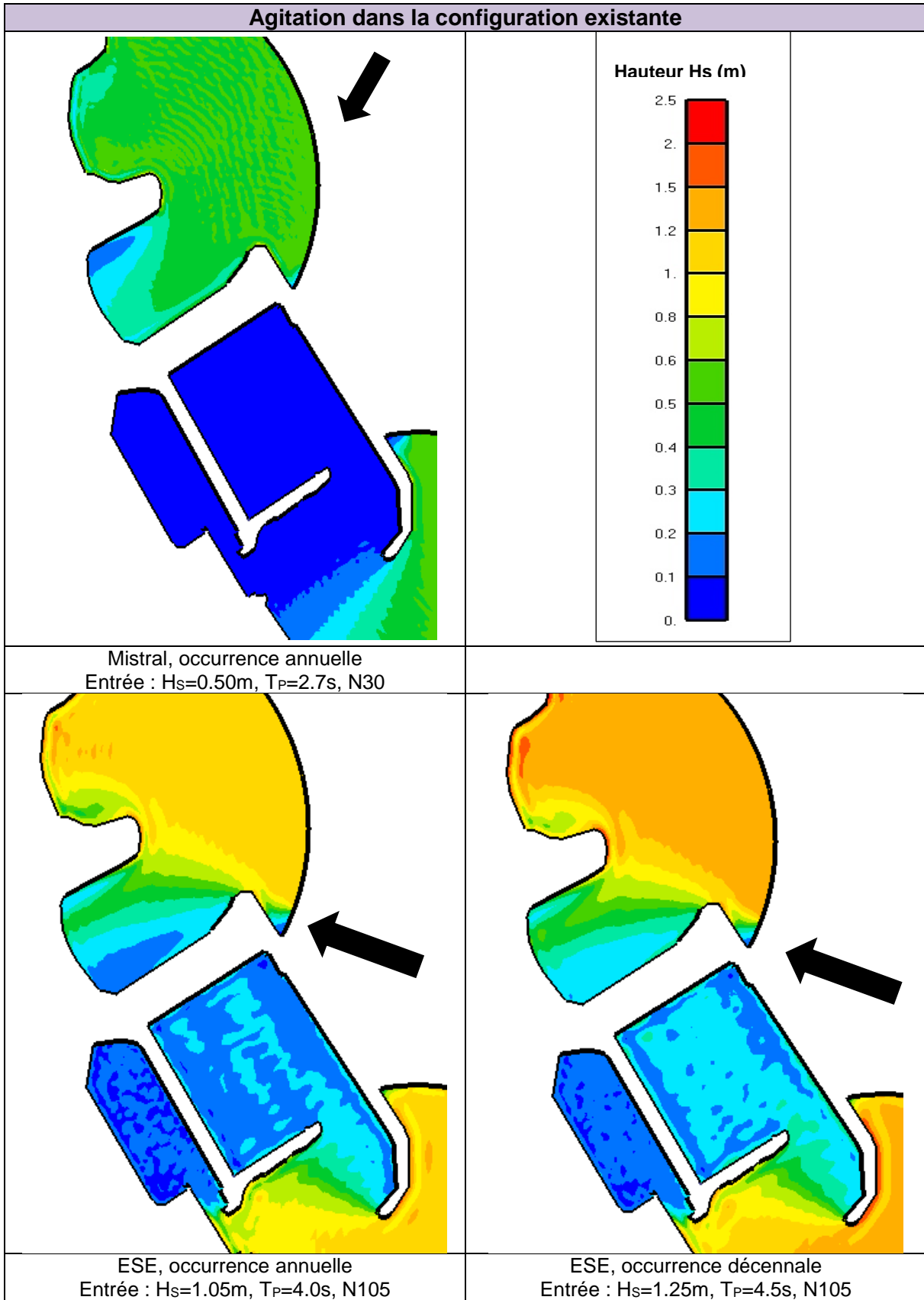


*Configuration existante, conditions aux limites sur les frontières physiques*

### 3.3 Configuration existante

Les champs d'agitation dans la configuration existante sont représentés ci-après pour trois conditions océano-météorologiques représentatives sélectionnées : clapot de mistral annuel, clapots d'ESE de périodes de retour 1 an et 10 ans.

Les champs par situation météorologique sont comparés en proposant un zoom sur le bassin portuaire lui-même. Les planches complètes, en comparaison avec les autres configurations aménagées étudiées par la suite, sont reportées sur format A3 en annexe de ce rapport.

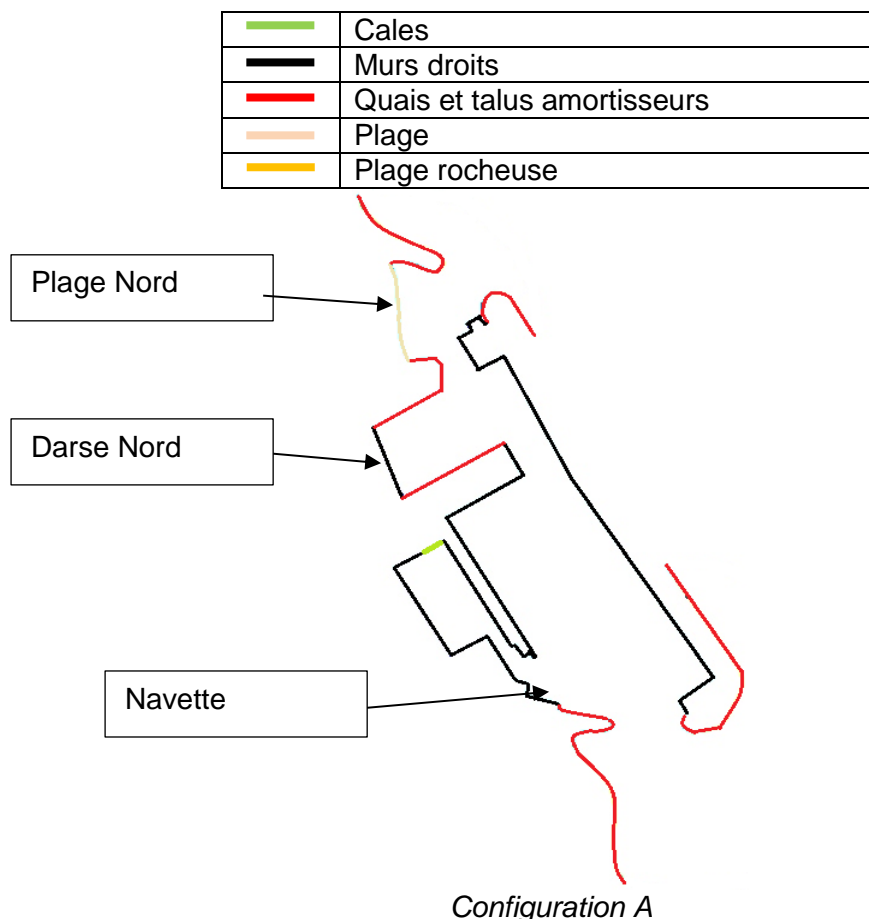


Selon la modélisation, le bassin portuaire dans sa configuration actuelle est relativement calme. Le mistral n'engendre logiquement qu'une agitation marginale,  $H_S < 0.1\text{m}$  en occurrence annuelle. L'agitation par clapot d'Est-Sud-Est d'occurrence annuelle serait inférieure à  $H_S = 30\text{cm}$ , ne dépassant pas  $H_S = 40\text{cm}$  en occurrence décennale. Selon notre approche, le bassin portuaire actuel respecte les critères de confort ( $H_S < 30\text{cm}$  en occurrence annuelle) et de sécurité ( $H_S < 50\text{cm}$  en occurrence décennale) admis pour un port de plaisance. Il est par ailleurs probable que l'approche numérique soit légèrement pessimiste par rapport à la réalité physique, notamment après avoir retenu les vitesses de vent  $V_{10\text{min}}$  maximales quotidiennes pour générer les clapots.

### 3.4 Configuration A, esquisse de base issue de l'étude préliminaire

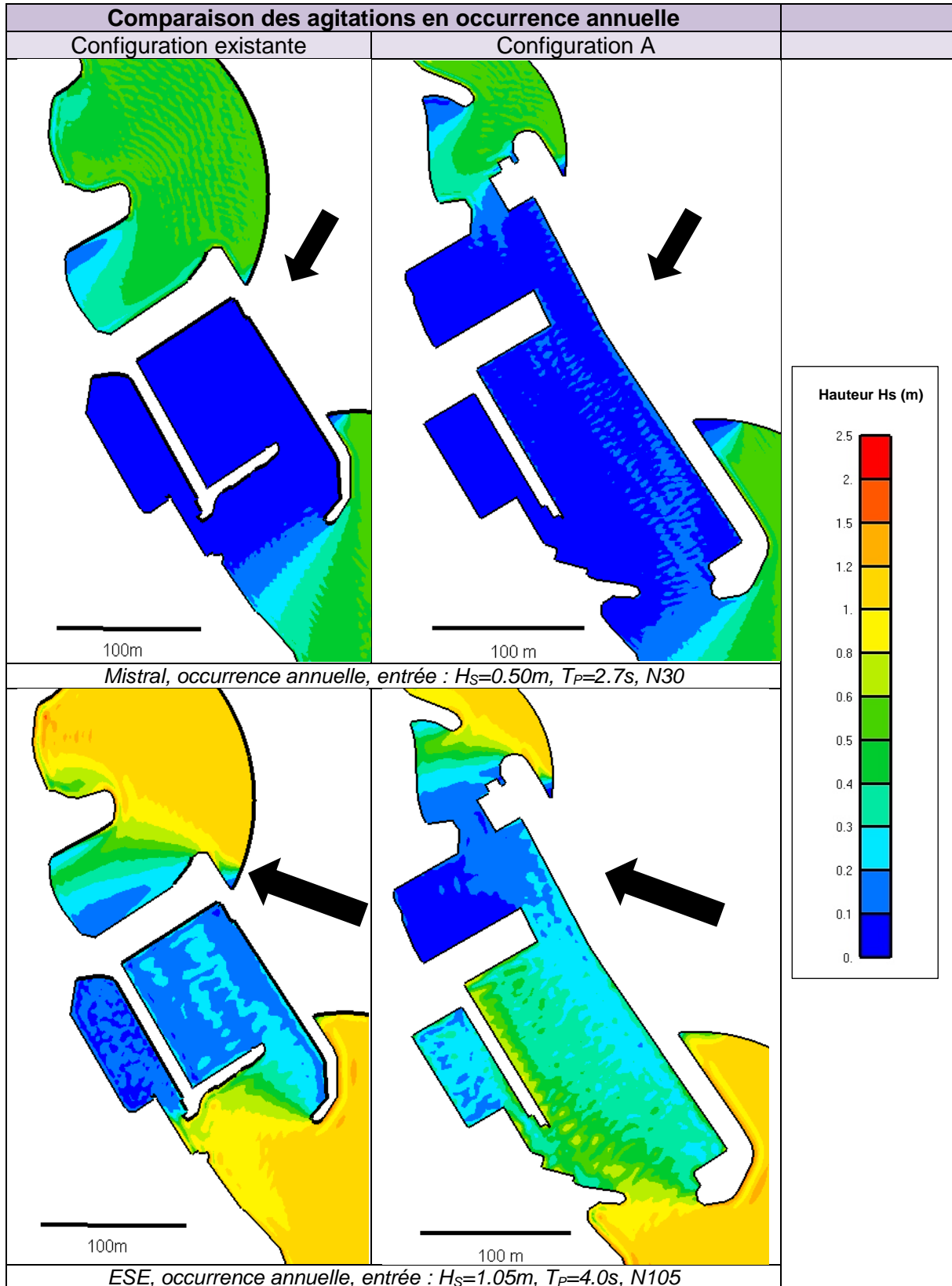
La configuration A reprend le tracé esquissé dans les cadre des réflexions en phase d'études préliminaires. Celui-ci a été établi de manière à intégrer toutes les dispositions permettant de répondre au programme fonctionnel, notamment les surfaces de mouillage, le poste protégé de la navette, la cale de mise à l'eau, l'activité de la base nautique. Les principes essentiels retenus dans la conception sont les suivants :

- Intégration de la plage immédiatement au Nord du port dans le bassin portuaire en allongeant la digue principale vers le Nord. Nous appellerons ici cette nouvelle partie portuaire la darse Nord.
- Déplacement de l'activité nautique, notamment les mises à l'eau depuis la darse Nord, vers l'anse immédiatement plus au Nord. Nous appellerons cette partie à aménager l'anse naturelle.
- Nouvelle passe côté Nord, laissant circuler l'eau pour renouveler le bassin portuaire et offrir une meilleure qualité d'eau.
- Allongement de la digue principale, remodelage du musoir.
- Ajout d'une nouvelle contre-jetée, abritant le poste de la navette.





Le comparatif existant - configuration A est présenté sur les planches ci-dessous. Dans le texte principal, on se limite à la comparaison des scénarios pour l'occurrence annuelle de mistral et de vent marin, lesquelles sont suffisamment représentatives pour conclure sur les niveaux d'agitation. Les planches complètes, intégrant l'occurrence décennale, sont reportées en annexe.








La nouvelle passe au Nord laisse évidemment passer une partie des clapots de mistral, mais l'agitation résiduelle reste encore largement acceptable. En revanche, l'agitation résiduelle par vent marin est complètement dégradée par rapport à la situation existante. Les quais les plus exposés subiraient même une agitation annuelle dépassant  $H_s=0.6m$ , ce qui n'est pas acceptable. La configuration est réajustée pour éviter de concevoir des bassins trop agités.

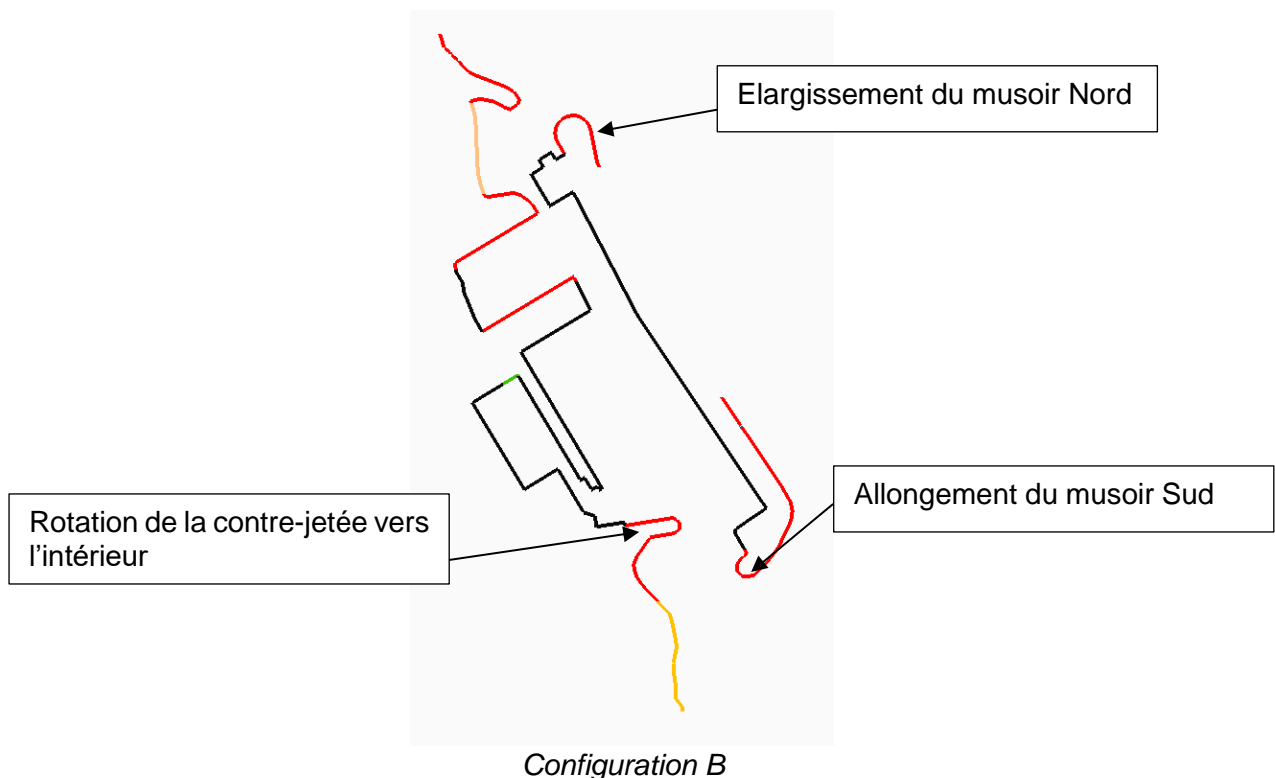
### 3.5 Configuration B, ajustement du tracé en plan

Le tracé de la configuration B apporte les modifications suivantes :

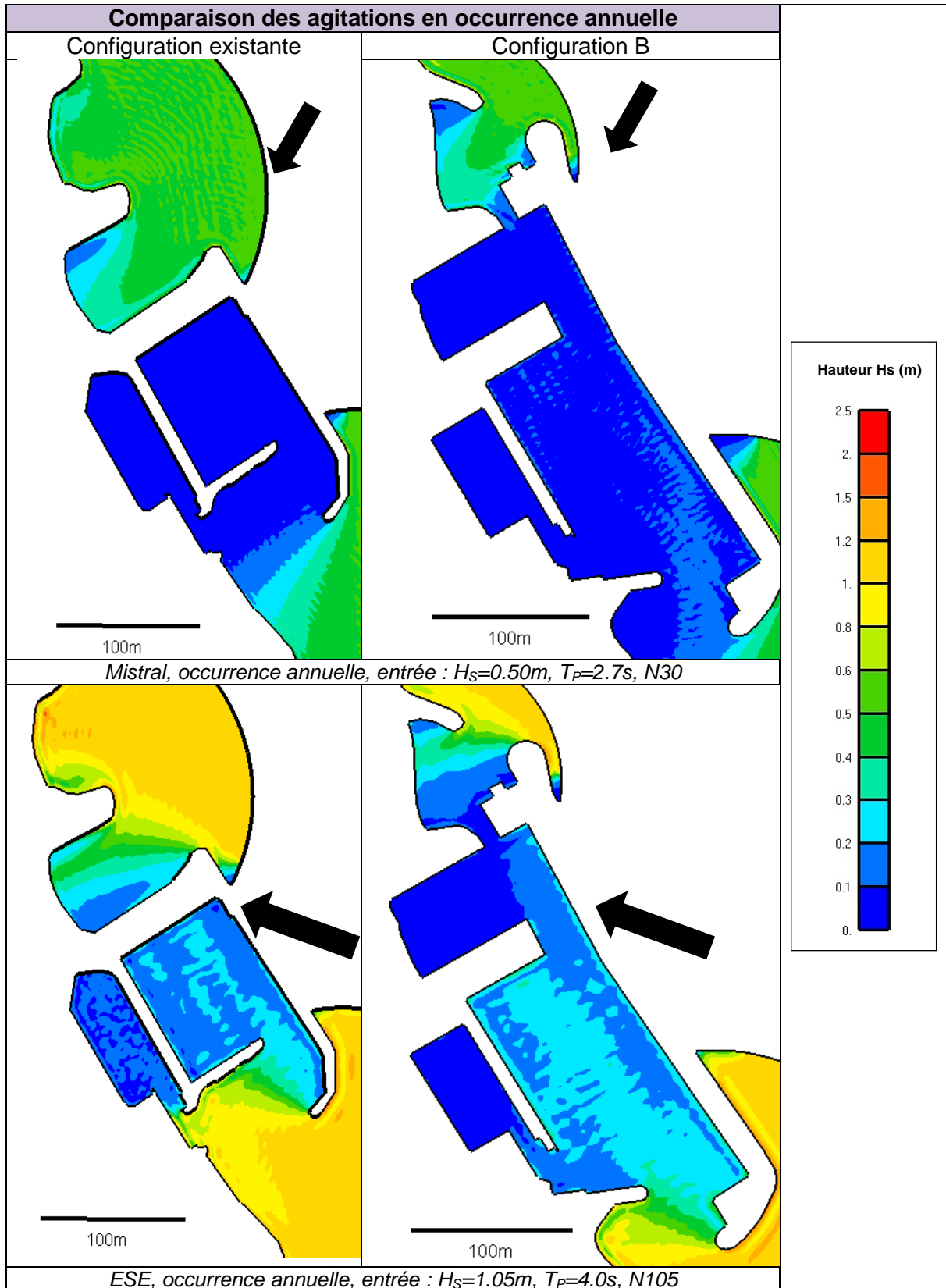
- Rotation vers l'intérieur de la contre-jetée. On vérifie que la navette dispose toujours d'un cercle d'évitage suffisant ; au moins 1.5 la longueur de la navette (20m), soit un diamètre de 30m.
- Allongement de 5m du musoir Sud de la digue principale pour offrir un meilleur recouvrement avec la contre-jetée.
- Incurvation et élargissement du musoir Nord pour une meilleure protection de la plage Nord à aménager.

	Cales
	Murs droits
	Quais et talus amortisseurs
	Plages
	Plages rocheuses

- $K_r=0.95$  sur les murs droits verticaux
- $K_r=0.5$  sur les talus en enrochements
- $K_r=0.1$  sur les plages et la cale de mise à l'eau
- $K_r=0.2$  sur les plages rocheuses



Les champs d'agitation annuels de la configuration existante et de la configuration B sont comparés ci-dessous.





La configuration B permet de respecter globalement les critères de confort ( $H_s < 0.3\text{m}$  en occurrence annuelle) et de sécurité ( $H_s < 0.5\text{m}$  en occurrence décennale, voir annexe). Si la darse Nord est parfaitement calme, on note que le bassin principal n'est pas aussi calme que dans la configuration actuelle.

Cette notion est étudiée plus en détail via des statistiques sur les niveaux d'agitation atteints sur quelques zones de mouillage représentatives. L'agitation est simulée en établissant la climatologie complète, sur 11 ans, des états de mer dans toutes les zones sélectionnées. La hauteur significative  $H_s$  choisie pour représenter une agitation résiduelle dans une zone n'est pas la moyenne globale sur la zone, mais la moyenne sur 25% des points les plus agités à l'intérieur de la zone. Ce choix permet d'extraire l'agitation  $H_s$  maximale ressentie dans la zone à l'échelle d'un ou deux navires.

Trois zones sont sélectionnées pour la configuration existante. Elles sont schématisées ci-dessous, numérotées Z1, Z2 et Z3. Ces trois zones sont reportées au même endroit dans la configuration B. On y ajoute trois autres zones, Z4 au niveau du poste navette, Z5 en extrémité de digue et Z6 dans la darse Nord. La comparaison directe de l'agitation en configuration actuelle sur ces trois dernières zones Z4, Z5 et Z6 n'est pas pertinente.



## Commune d'Istres

### Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.

Les résultats sont reportés en termes de pourcentage du temps où l'on rencontre une classe de hauteurs  $H_s$  dans une zone.

Statistique des agitations par zone			
	Classes de hauteur $H_s$	Configuration existante	Configuration B
Z1 bassin principal	0.00m- 0.10m	84.86%	59.59%
	0.10m- 0.20m	11.93%	36.43%
	0.20m- 0.30m	2.95%	3.88%
	0.30m- 0.40m	0.25%	0.10%
Z2 quai digue principale	0.00m- 0.10m	88.72%	74.17%
	0.10m- 0.20m	9.74%	23.01%
	0.20m- 0.30m	1.44%	2.70%
	0.30m- 0.40m	0.10%	0.13%
Z3 bassin secondaire	0.00m- 0.10m	92.53%	99.92%
	0.10m- 0.20m	7.47%	0.08%
	0.20m- 0.30m	0.00%	0.00%
	0.30m- 0.40m	0.00%	0.00%
Z4 extrémité digue principale	0.00m- 0.10m	-	62.56%
	0.10m- 0.20m	-	31.89%
	0.20m- 0.30m	-	4.67%
	0.30m- 0.40m	-	0.83%
	0.40m- 0.50m	-	0.05%
Z5 poste navette	0.00m- 0.10m	-	90.51%
	0.10m- 0.20m	-	9.11%
	0.20m- 0.30m	-	0.38%
	0.30m- 0.40m	-	0.00%
Z6 darse Nord	0.00m- 0.10m	-	100.00%
	0.10m- 0.20m	-	0.00%
	0.20m- 0.30m	-	0.00%
	0.30m- 0.40m	-	0.00%

Ces résultats statistiques confirment que le bassin principal serait légèrement moins calme dans la configuration B qu'actuellement. Par exemple en Z1, il y aurait 36% du temps au cours duquel  $H_s$  serait compris entre 0.1m et 0.2m au lieu de 12% actuellement. On note la même tendance le long de la digue principale. Le critère de confort  $H_s=0.3m$  est rarement dépassé (moins d'un jour par an ou 0.27% du temps) sur toutes les zones (excepté un léger dépassement en extrémité de digue principale), confirmant les planches représentatives de l'agitation annuelle.

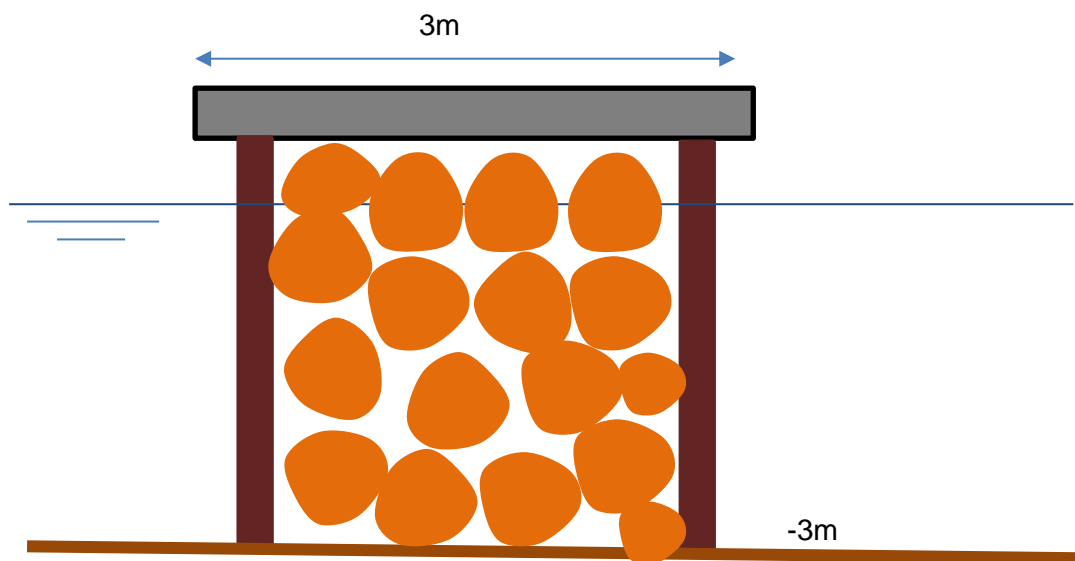
Le bassin secondaire serait mieux protégé qu'actuellement, avec presque 100% du temps où  $H_s < 0.1m$  contre 92% actuellement. La darse Nord est la zone la plus calme.

Le poste de la navette est calme, permettant une exploitation ou un amarrage toute l'année.

### 3.6 Configuration C, ajout d'un ouvrage dissipateur vertical sous ponton

Une configuration C est étudiée de façon à viser une agitation résiduelle dans le bassin principal au moins équivalente à celle rencontrée actuellement. La modification consiste à équiper le premier ponton d'un dispositif amortisseur de houle, là où se trouve la contre-jetée actuelle. Celui-ci serait placé sous le ponton fixe, sans dépasser sa largeur de 3m pour ne pas empiéter sur les zones de mouillage.







On propose en première approche une conception simple du dispositif, avec des enrochements 0.5/1.5t engagés sous le ponton pour former un ouvrage poreux de type gabion à parois verticales.

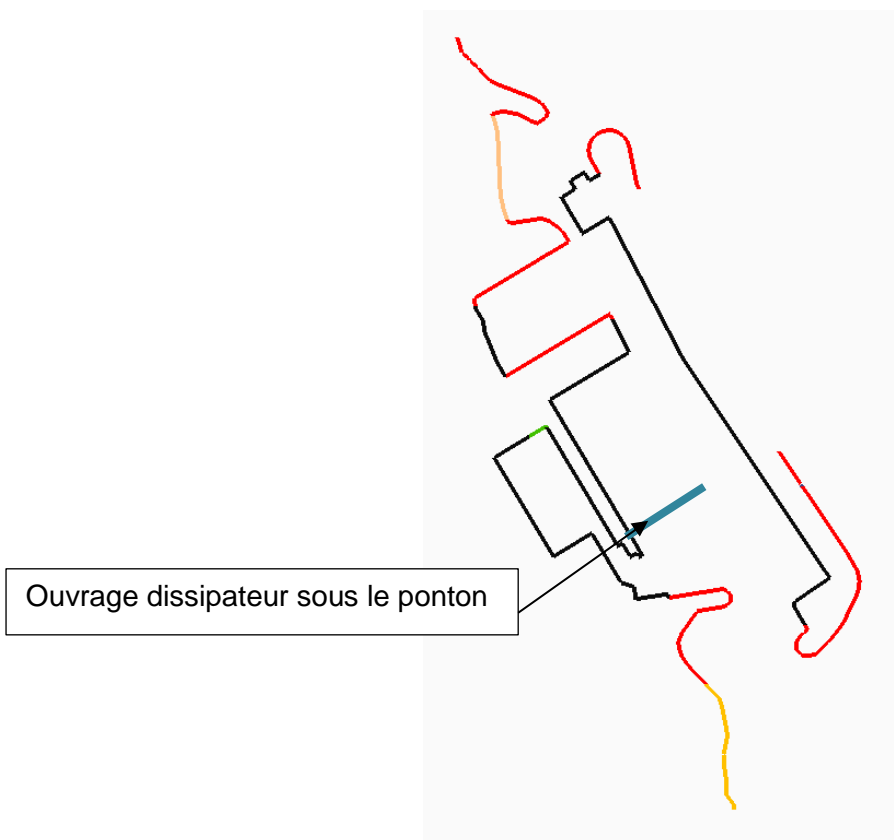


Des calculs hydrodynamiques intégrant les dissipations des houles en milieu poreux ont permis d'estimer les coefficients de réflexion  $K_r$  et de transmission  $K_t$  à travers un tel ouvrage. L'ordre de grandeur du coefficient de réflexion majorant serait  $K_r \approx 0.7$ , tandis que la transmission serait majorée par  $K_t < 0.2$ . Des calculs plus poussés seront menés en phase ultérieure si la proposition d'aménagement est retenue dans le cadre de l'approbation de l'avant-projet par le Maître d'ouvrage.

La configuration C, identique à la configuration B, mais avec un ouvrage dissipateur d'énergie sous le premier ponton est schématisée ci-après.

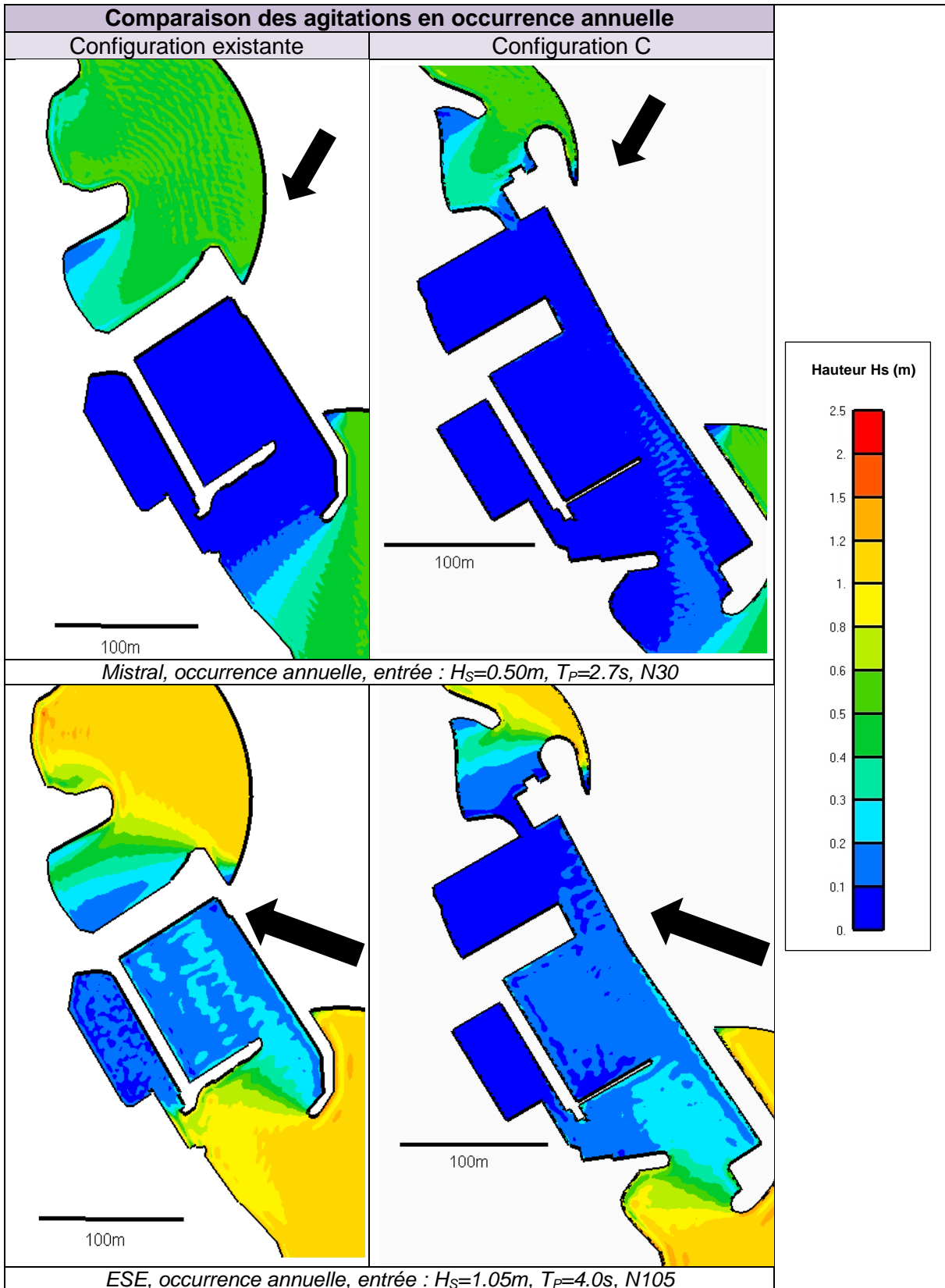
- $K_r=0.95$  sur les murs droits verticaux
- $K_r=0.5$  sur les talus en enrochements
- $K_r=0.1$  sur les plages et la cale de mise à l'eau
- $K_r=0.2$  sur les plages rocheuses
- $K_r=0.7, K_t=0.2$  sur l'ouvrage dissipateur

	Cales
	Murs droits
	Quais et talus amortisseurs
	Plages
	Plages rocheuses
	Ouvrage dissipateur sous ponton



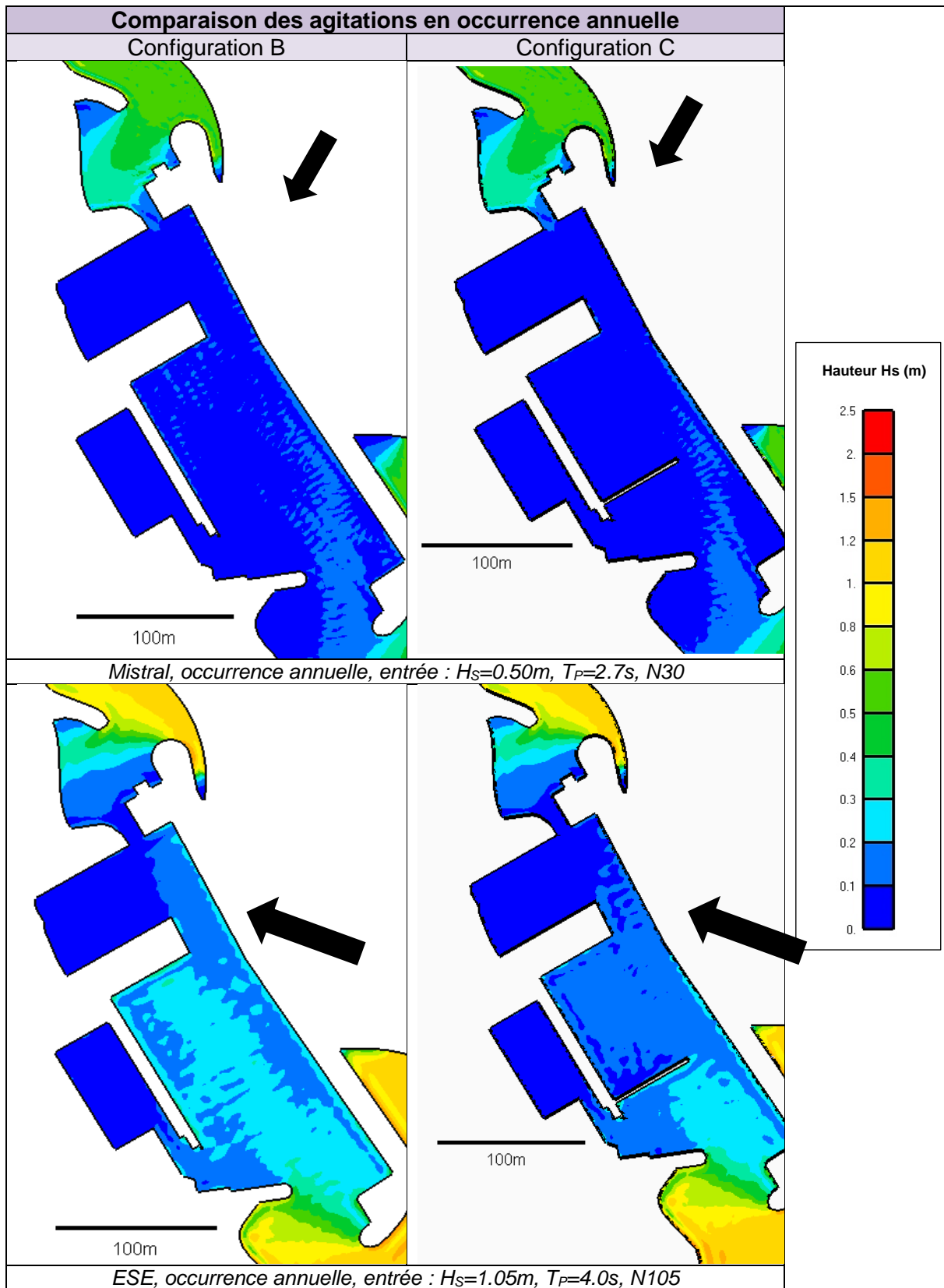
Configuration C

Les champs d'agitation obtenus sont comparés avec ceux de la configuration existante en occurrence annuelle.





Les champs d'agitation des configurations B et C sont comparés ci-dessous.



## Commune d'Istres

### *Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.*

L'ajout de l'ouvrage dissipateur apporte une amélioration significative de l'agitation dans le bassin principal, lequel serait encore plus calme qu'actuellement.

Dans le même temps, l'agitation résiduelle dans la nouvelle partie Sud serait acceptable, respectant globalement les critères de confort et de sécurité. Cette partie serait agitée de manière analogue au bassin principal actuel.

Le bassin secondaire, la darse Nord et le poste navette restent très calmes, aussi bien en configuration C que B.

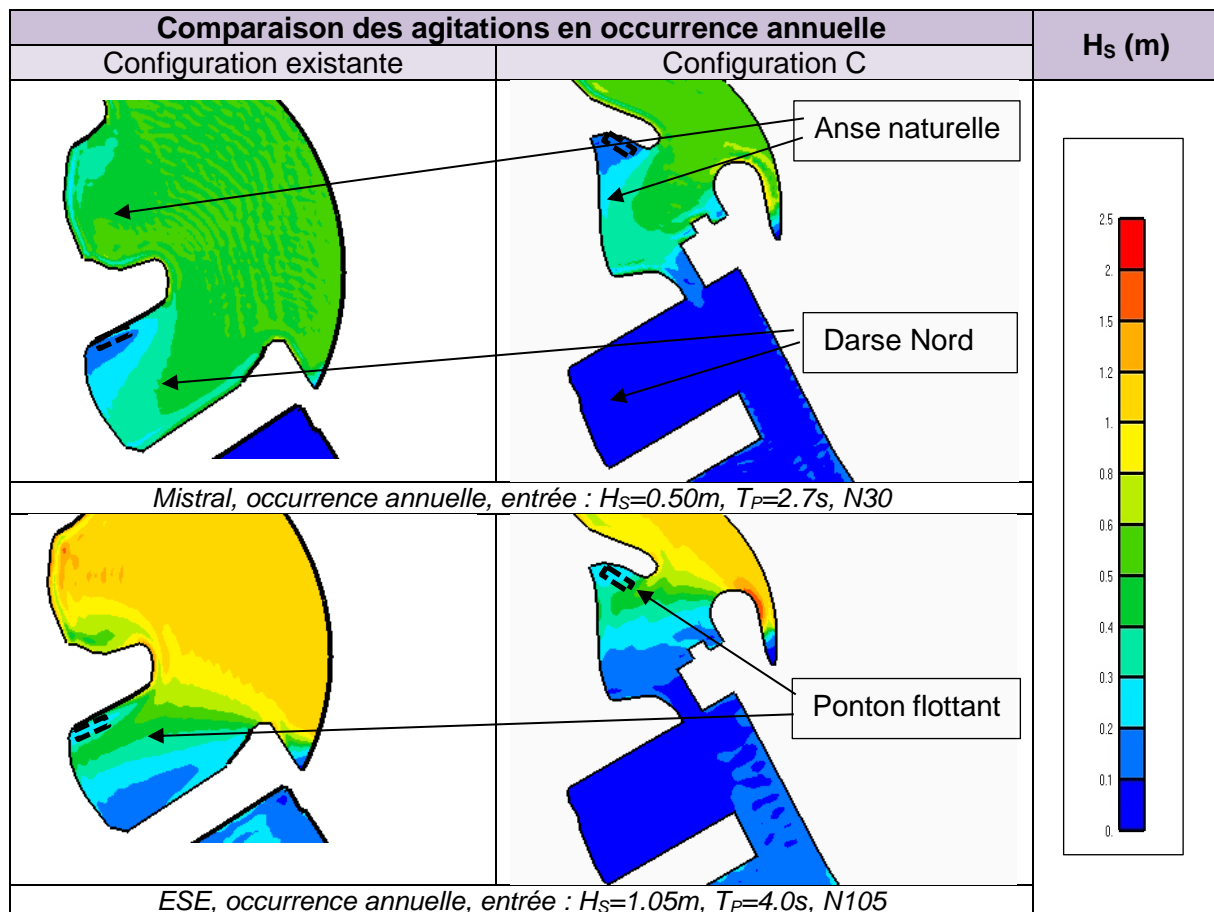
L'ouvrage dissipateur sous le ponton, évitant une légère dégradation de l'agitation résiduelle dans les zones actuellement exploitées, et même procurant une atténuation globale supplémentaire, est recommandé.

## 4 L'agitation dans les anses et plages au Nord du port

### 4.1 L'agitation résiduelle en fond de plage

L'anse naturelle, dans la configuration actuelle du port, subit les sollicitations directes des clapots, aussi bien par mistral que par vent marin, comme le montrent les champs d'agitation. La plage actuelle au fond de l'anse subit apparemment des érosions, seuls les graviers restant à peu près stables dans cette zone.

La darse Nord, en partie protégée par la digue du port, est exploitée comme espace de mise à l'eau des voiliers de la base nautique. Un ponton flottant y est d'ailleurs installé. Les simulations montrent que la zone locale du ponton flottant est relativement protégée, avec moins de 30cm d'agitation en occurrence annuelle. La plage est, d'après les observations, relativement stable à cet endroit.



La protection apportée par le nouveau musoir et le contre-épi au Nord permet de calmer de façon significative l'agitation aujourd'hui rencontrée dans l'anse naturelle. La nouvelle configuration aménagée du port (B ou C) permettrait d'obtenir dans l'anse naturelle les conditions actuellement observées dans la darse Nord. On confirme ce résultat par une approche statistique des hauteurs résiduelles au cours des 11 dernières années.

## Commune d'Istres

### Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.

Dans le tableau ci-après, on a reporté les statistiques d'agitation évaluées sur 3 zones :

1. l'anse naturelle actuelle, très exposée aux clapots ;
2. la darse Nord dans la configuration existante, relativement protégée et exploitée par la base nautique ;
3. l'anse naturelle dans la configuration aménagée.

Statistiques des agitations en fond de plage, avant déferlement			
Classes H <sub>s</sub>	Configuration existante, Anse naturelle	Configuration existante, Darse Nord	Configuration aménagée, Anse naturelle
0.00m- 0.10m	34.69%	55.88%	55.93%
0.10m- 0.20m	22.35%	25.33%	24.92%
0.20m- 0.30m	14.13%	13.85%	14.48%
0.30m- 0.40m	11.10%	3.78%	3.71%
0.40m- 0.50m	5.60%	1.01%	0.86%
0.50m- 0.60m	4.14%	0.13%	0.08%
0.60m- 0.80m	4.69%	0.03%	0.03%
0.80m- 1.00m	2.14%	0.00%	0.00%
1.00m- 1.50m	1.16%	0.00%	0.00%

La nouvelle protection permet d'obtenir des durées statistiques de hauteurs résiduelles dans l'anse naturelle quasi équivalentes à celles observées actuellement au fond de la darse Nord. Les activités pratiquées actuellement au fond de la darse Nord pourront donc être déplacées vers l'anse naturelle, sans subir des conditions de mer altérées par rapport à celles rencontrées actuellement.

## 4.2 Stabilité des plages sous l'effet des coups de mer

### 4.2.1 Caractéristiques des coups de mer atteignant les plages

Quelques caractéristiques des états de mer les plus intenses sur les trois zones sélectionnées précédemment ont été extraits des simulations. Les résultats sont présentés dans les trois tableaux suivants.

Caractéristiques des états de mer les plus intenses avant déferlement au fond de l'anse naturelle, configuration existante				
Date	Hauteur $H_s$	Période $T_P$	Hauteur $H_{s0}$ devant la passe	Provenance devant la passe
28/1/2006	1.25m	4.2s	1.08m	N104
26/10/2006	1.14m	3.9s	1.03m	N109
18/2/2007	1.17m	3.9s	1.01m	N104
4/1/2008	1.20m	4.0s	1.02m	N101
28/5/2008	1.13m	4.5s	1.07m	N114
14/12/2008	1.33m	4.5s	1.24m	N111
26/12/2008	1.15m	3.6s	0.95m	N91
26/4/2009	1.18m	3.9s	1.01m	N101
20/10/2009	1.20m	4.2s	1.08m	N109
4/3/2010	1.19m	3.9s	0.99m	N91
4/10/2010	1.16m	3.9s	1.03m	N107
12/10/2010	1.27m	4.3s	1.08m	N101
12/3/2011	1.25m	4.2s	1.07m	N101
24/10/2011	1.20m	4.0s	1.02m	N101
4/11/2011	1.39m	4.5s	1.23m	N107
<b>6/3/2013</b>	<b>1.41m</b>	<b>4.2s</b>	<b>1.17m</b>	<b>N92</b>
20/5/2014	1.13m	3.9s	0.98m	N104
12/9/2015	1.15m	3.9s	1.02m	N107
4/10/2015	1.12m	3.9s	1.01m	N109

Depuis 2006, l'anse naturelle aurait subi des clapots de hauteurs  $H_s$  comprises entre 1.1m et 1.4m en moyenne une à deux fois par an.



Commune d'Istres

Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.

Caractéristiques des états de mer les plus intenses avant déferlement au fond de la darse nord, configuration existante				
Date	Hauteur H <sub>s</sub> à l'approche de la plage	Période T <sub>P</sub>	Hauteur H <sub>s0</sub> devant la passe	Provenance devant la passe
28/1/2006	0.46m	4.2s	1.08m	N104
26/10/2007	0.48m	3.7s	0.91m	N96
4/1/2008	0.47m	4.0s	1.02m	N101
26/12/2008	0.55m	3.6s	0.95m	N91
26/4/2009	0.47m	3.9s	1.01m	N101
4/3/2010	0.56m	3.9s	0.99m	N91
12/10/2010	0.49m	4.3s	1.08m	N101
12/3/2011	0.52m	3.9s	1.02m	N97
24/10/2011	0.47m	4.0s	1.02m	N101
4/11/2011	0.47m	4.5s	1.23m	N107
<b>6/3/2013</b>	<b>0.65m</b>	<b>4.2s</b>	<b>1.17m</b>	<b>N92</b>
28/4/2013	0.52m	3.5s	0.89m	N91
18/11/2013	0.46m	3.1s	0.70m	N84
4/4/2014	0.48m	3.7s	0.91m	N96
30/11/2014	0.48m	3.5s	0.81m	N91
16/3/2015	0.46m	3.3s	0.76m	N90
12/6/2015	0.46m	3.1s	0.69m	N84
28/2/2016	0.46m	3.6s	0.87m	N96
28/9/2016	0.49m	3.1s	0.75m	N84

Caractéristiques des états de mer les plus intenses avant déferlement au fond de la plage nord, configuration aménagée				
Date	Hauteur H <sub>s</sub>	Période T <sub>P</sub>	Hauteur H <sub>s0</sub> devant la passe	Provenance devant la passe
6/3/2006	0.48m	3.3s	0.64m	N31
12/4/2006	0.43m	2.7s	0.54m	N38
4/8/2006	0.43m	2.7s	0.54m	N38
26/10/2007	0.43m	3.7s	0.91m	N96
4/1/2008	0.44m	4.0s	1.02m	N101
26/12/2008	0.51m	3.6s	0.95m	N91
26/4/2009	0.43m	3.9s	1.01m	N101
4/3/2010	0.52m	3.9s	0.99m	N91
12/10/2010	0.46m	4.3s	1.08m	N101
12/3/2011	0.48m	3.9s	1.02m	N97
24/10/2011	0.44m	4.0s	1.02m	N101
4/11/2011	0.45m	4.5s	1.23m	N107
<b>6/3/2013</b>	<b>0.62m</b>	<b>4.2s</b>	<b>1.17m</b>	<b>N92</b>
28/4/2013	0.48m	3.5s	0.89m	N91
18/11/2013	0.43m	3.1s	0.70m	N84
4/4/2014	0.43m	3.7s	0.91m	N96
30/5/2014	0.46m	2.9s	0.60m	N66
30/11/2014	0.44m	3.5s	0.81m	N91
12/6/2015	0.43m	3.1s	0.69m	N84

Les vingt coups de mer les plus forts rencontrés sur 11 ans dans la darse Nord actuelle ou dans la future anse naturelle protégée auraient une hauteur H<sub>s</sub> comprise entre 0.4m et 0.6m.

La nouvelle protection atténue d'environ 60% les hauteurs de vagues parvenant au fond de l'anse naturelle.

#### 4.2.2 Notion d'équilibre hydro-sédimentaire

Les mouvements sédimentaires dans l'étang de Berre, et en Méditerranée en général où l'effet de marée est négligeable, sont essentiellement contrôlés par la houle ou les clapots en zone de déferlement. On distingue deux catégories de mouvements :

- les mouvements transversaux, perpendiculaires au trait de côte, dits dans le profil de la plage. Ce sont les remaniements à courts termes des profils de plage. Les tempêtes ont en général tendance à éroder les plages, entraînant des matériaux définitivement perdus vers le large, tandis que les houles de beau temps peuvent ré-engraisser les plages en remontant des matériaux depuis les petits fonds.
- les mouvements longitudinaux, parallèles au trait de côte, engendrés principalement par les courants littoraux des houles fréquentes déferlant avec une obliquité par rapport à la plage. Ce sont des mouvements s'accompagnant d'une déformation à long terme du trait de côte.

Les anses au Nord du port des Heures Claires forment toutes deux des cellules sédimentaires indépendantes, pour lesquelles les mouvements longitudinaux sont confinés entre les épis ou terre-pleins existants qui les bordent.

Les clapots de tempête peuvent en principe éroder les plages dans leur profil, tandis que les houles de beau temps ramènent en partie les sédiments vers le cordon littoral. En général, on observe une distribution étagée des tailles de grains, qui sont de plus en plus fins en allant vers le large. Seuls les grains les plus gros restent sur la plage, tandis que les petits grains finissent par être dispersés au large. S'il n'y pas d'apport de sédiment, le profil de plage s'équilibre avec les plus gros grains uniquement, voire des rochers, comme c'est le cas du littoral Sud.



*Schématisation des mouvements sédimentaires principaux dans les anses au Nord du port des Heures Claires*

### **4.2.3 Estimation des érosions par approche numérique**

L'équilibre sédimentaire des anses au Nord du port dépend essentiellement de leur capacité à résister aux érosions dans le profil de la plage, à la suite des coups de mer successifs.

Nous avons exploité un outil numérique de modélisation des processus d'érosion de plage. Il s'agit du logiciel Xbeach, développé par le laboratoire Deltares à Delft aux Pays-Bas. Le logiciel a été exploité dans sa version 2D transversale, permettant d'évaluer l'évolution d'un profil de plage à l'échelle d'une tempête. Quelques principes essentiels de la modélisation sont résumés ci-après :

- simulation de l'évolution d'une onde incidente abordant une plage frontalement avant de déferler ;
- l'onde incidente est irrégulière en fréquences et en hauteurs ; l'énergie incidente est modélisée par groupe de vagues suivant une approche temporelle sur toute la durée de la tempête ;
- modélisation de la dissipation énergétique par déferlement, avec prise en compte de la transmission de l'énergie potentielle vers l'énergie cinétique des rouleaux déferlants ;
- introduction des termes de quantité de mouvement associés aux tenseurs de radiation. Ce terme très scientifique traduit en fait la création de courants oscillants de périodes relativement longues. Il s'agit de termes de forçage qui sont à l'origine des courants littoraux parallèles, si la houle déferle de façon oblique par rapport à la plage (il n'y en a pas par houle frontale), et des courants transversaux de va-et-vient entre le rivage et large (lesquels sont le vecteur de transport des sédiments vers le large) ;
- estimation des contraintes au sol, incluant la notion de turbulence au déferlement en plus des courants orbitaux de houle au fond ;
- estimation des concentrations déplacées par charriage ou mises en suspension ;
- résolution des équations de conservation de masse et de transport pour simuler l'évolution probable du profil de plage au cours de la tempête.

Les paramètres du programme ont été ajustés pour reproduire l'évolution de plages de sable. Quelques confrontations avec la réalité physique ont permis de valider les bons ordres de grandeur sur les taux d'érosion et l'évolution des profils. Les simulations sur des plages constituées de graviers ou de galets sont moins fiables.

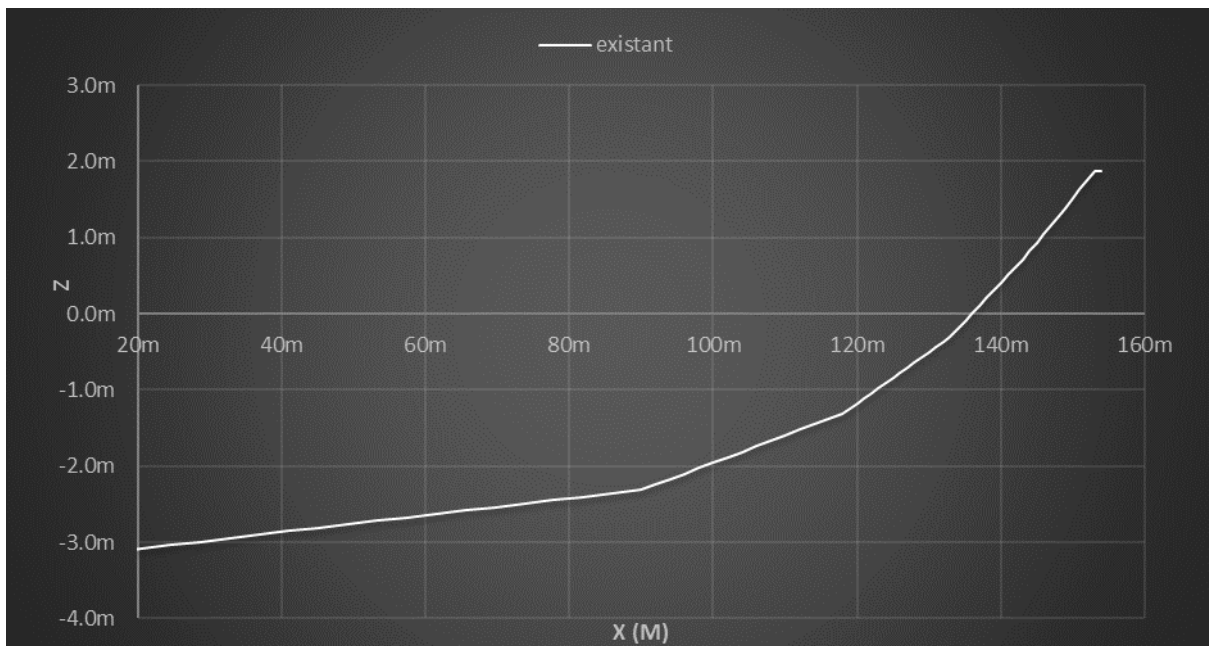
L'outil de modélisation numérique des processus hydro-sédimentaires complexes comme une érosion de plage vient en appui de l'analyse historique et des observations de terrain. Il permet surtout de cerner les phénomènes prépondérants qui sont à l'origine des mouvements de plage, puis d'évaluer l'impact d'un aménagement par comparaison de résultats. Dans tous les cas, les résultats obtenus sont à considérer comme qualitatifs.

On présente ci-après les tendances obtenues à la suite de quelques simulations numériques ciblées.

#### 4.2.4 L'anse naturelle dans les conditions actuelles

Le profil type de l'anse naturelle, telle qu'elle apparaît sur les relevés bathymétriques, est tracé ci-dessous.

Profil de plage type de l'anse naturelle		
Cote altimétrique	Distance	Pente
Entre -3.8m et -3.3m NGF	133m	0.4%
Entre -3.3m et -2.3m NGF	90m	1.1%
Entre -2.3m et -1.3m NGF	28m	3.6%
Entre -1.3m et -0.3m NGF	15m	6.7%
Entre -0.3m et +0.8m NGF	11m	10.2%
Entre 0.8m et +1.4m NGF	5m	12.0%
Entre 1.4m et +2.0m NGF	5m	12.0%



*Profil bathymétrique type dans l'anse naturelle existante*

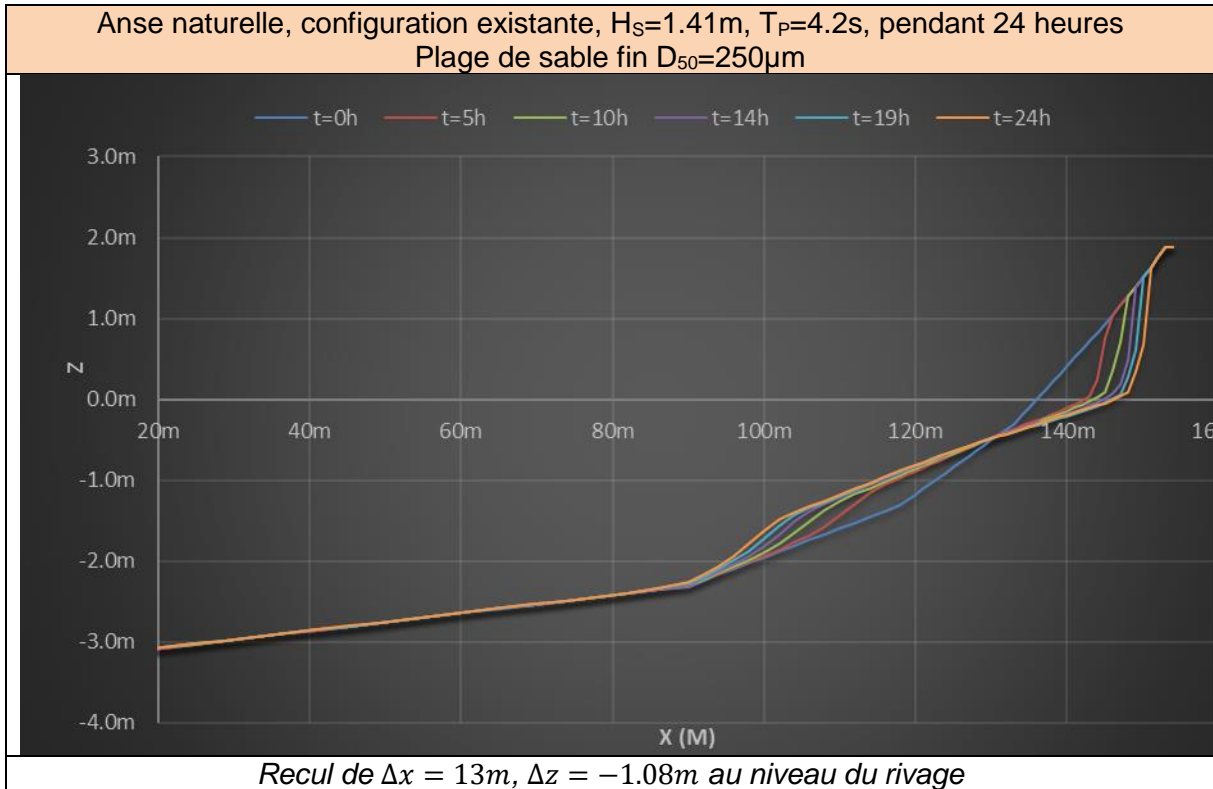
Une simulation Xbeach a été réalisée en retenant le clapot le plus fort observé depuis 2006, soit  $H_S=1.41m$ ,  $T_P=4.2s$  vers -3m à l'approche de l'anse, correspondant à des conditions de vent marin d'Est, proches de l'occurrence décennale.

On suppose que la plage est constituée uniquement de sédiments sableux. En réalité, on observerait plutôt des remblais gravelo-sableux sur 1.5m d'épaisseur (Cf. contraintes de site [9], synthèse de l'échantillon Fondasol près des plages). La tempête est simulée sur une durée de base de 24 heures, au cours de laquelle on estime l'évolution du profil. Le graphe ci-après indique l'évolution du profil de plage à 6 instants entre  $t=0h$  et  $t=24h$ . On effectue une sensibilité sur la taille médiane des sables : sable fin :  $D_{50}=250\mu m$ , sable moyen à grossier  $D_{50}=500\mu m$ .

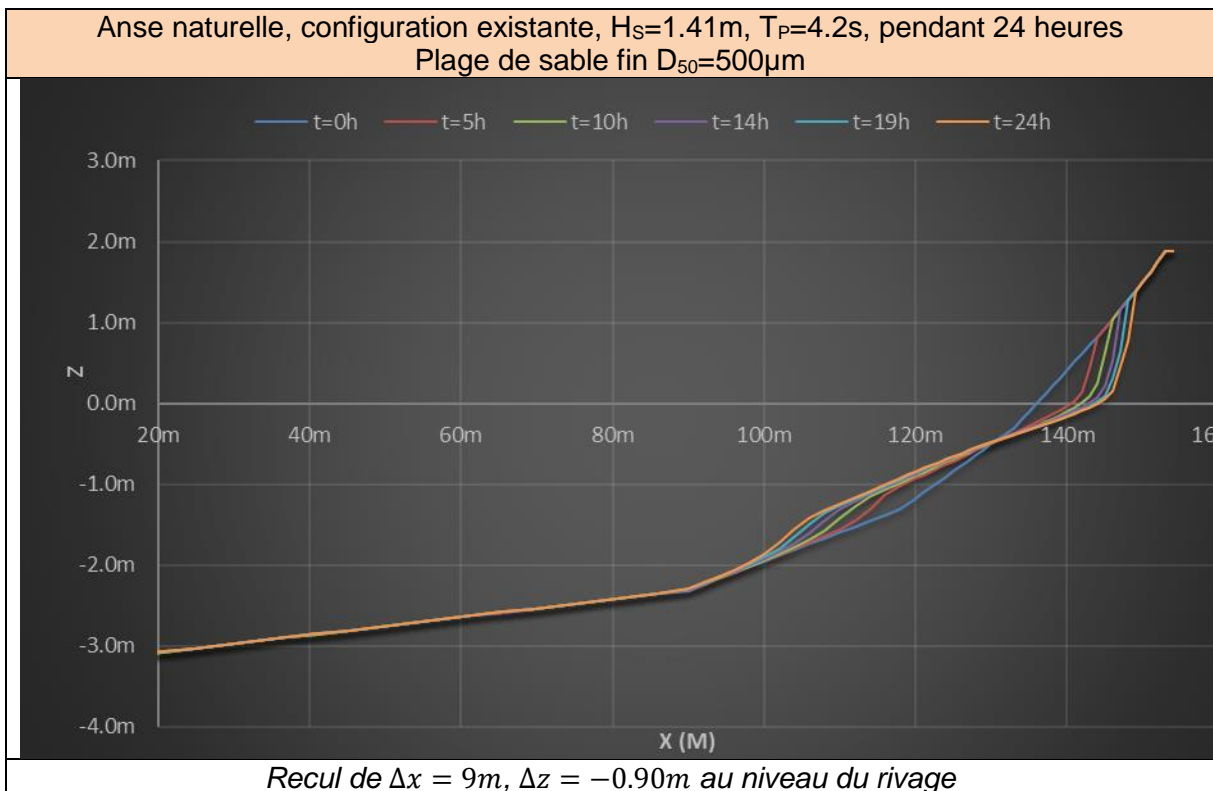


Commune d'Istres

Extension du port des Heures Claires. Etude d'agitation.



Si la plage était en sable, elle reculerait de 10m à 15m sous l'effet d'un fort coup de mer. Le sable en haut de plage serait tiré vers le bas jusqu'à 2-m environ, aplatissant la pente vers 3%. Les remaniements sous la cote -2m seraient marginaux.



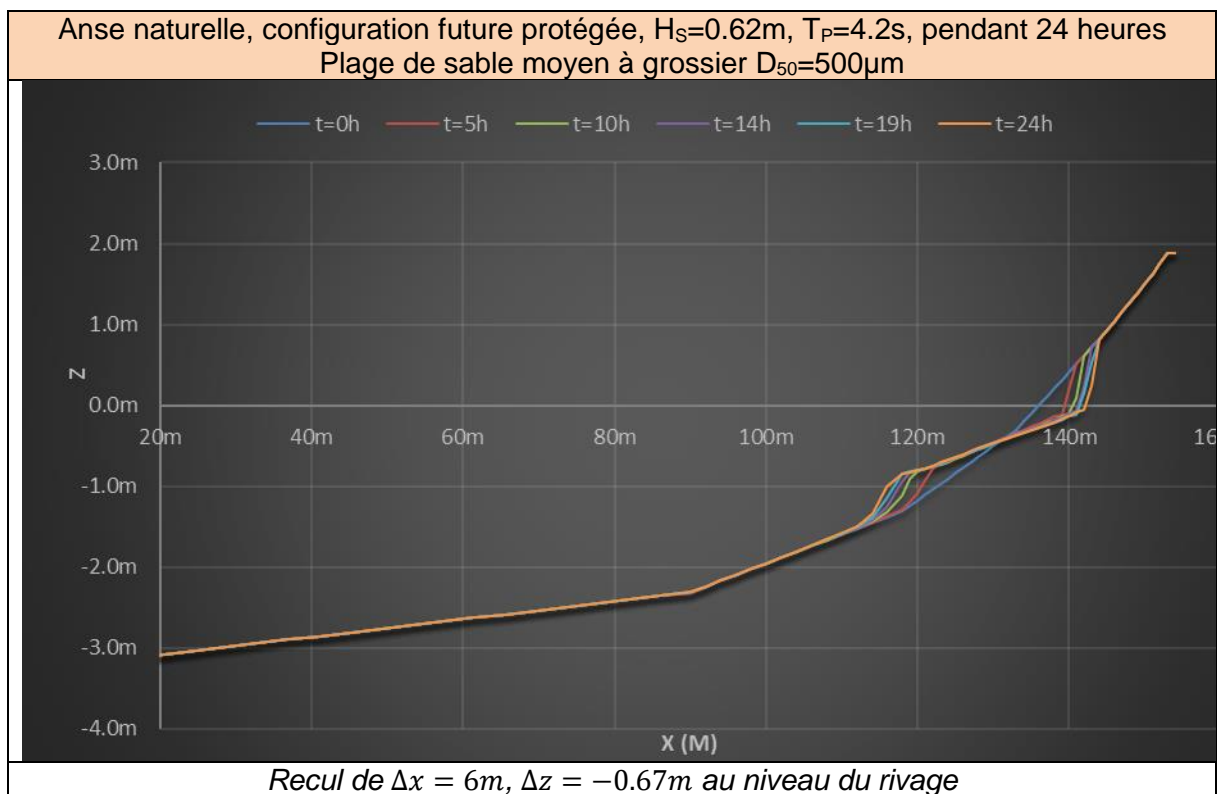
Les mêmes tendances seraient observées avec un sable plus grossier  $D_{50}=500\mu m$ , avec une meilleure tenue de la pente vers 3.5% et un recul légèrement inférieur à 10m.



#### 4.2.5 L'anse naturelle dans les conditions futures protégées

On se projette dans les conditions futures, après avoir protégé l'anse naturelle, ce qui lui procurerait les conditions hydrodynamiques proches de celles rencontrées actuellement dans la darse Nord. Les deux profils, darse Nord et anse naturelle, sont d'ailleurs assez semblables, en pente douce 1% jusqu'à -2m, puis se raidissant à 6% puis 10% vers le rivage. En principe, ils pourraient différer quant à leur constitution en termes de taille de sédiment. Les données granulométriques détaillées sur les deux plages ne sont pas disponibles à ce stade de l'étude. Dans le cadre des campagnes complémentaires, il serait recommandé de faire quelques prélèvements pour analyse granulométrique afin de conforter les réflexions en cours en phase ultérieure d'étude de conception.

On se place dans l'hypothèse d'une plage constituée de sable grossier  $D_{50}=500\mu\text{m}$ , subissant une agression de type décennale sur 24 heures telle que  $H_S=0.62\text{m}$ ,  $T_P=4.2\text{s}$ .

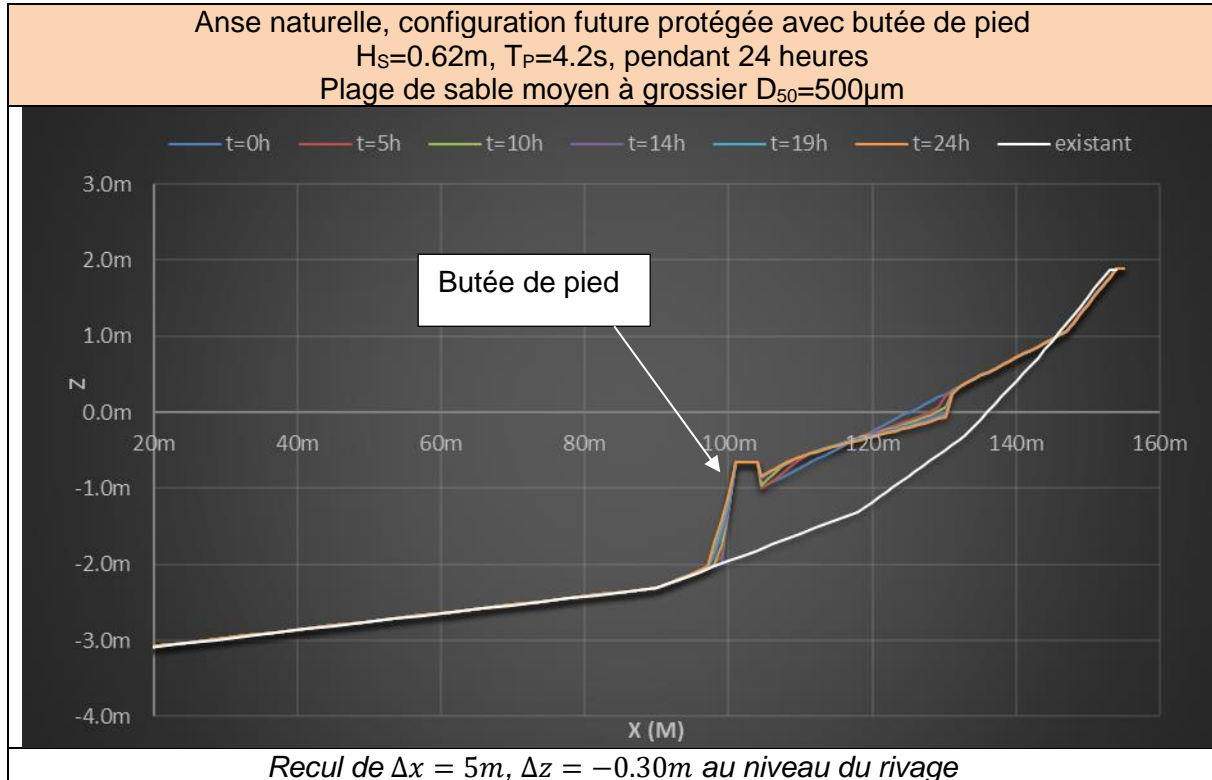


La simulation montre que l'érosion s'opérerait sur un linéaire beaucoup plus court que dans les conditions actuelles. Les remaniements deviendraient marginaux sous la cote -1m, la plage ayant toujours tendance à s'aplatir par rapport au profil raide actuel.

Dans ces conditions protégées, l'équilibre du profil, ou a minima une érosion maîtrisée, serait toutefois plus facilement atteint qu'actuellement, dans la mesure où les clapots de beau temps remontent petit à petit l'érosion créée par le fort coup de mer.

#### 4.2.6 L'anse naturelle avec une pente adoucie

On se projette toujours dans les conditions futures protégées, mais la pente de la plage est adoucie d'emblée grâce à une butée de pied. Il s'agit d'un merlon en enrochements, posé vers la cote -2m, arasé vers -0.90m, et venant buter le sable vers la cote -1m, c'est-à-dire à la cote où les remaniements sont faibles lors des coups de mer significatifs. La taille médiane des grains de sable est toujours supposée égale à  $D_{50}=500\mu\text{m}$ .



La simulation montre un profil beaucoup plus stable, peu aplati par rapport au rechargement de sable initial (pente 4.5% à 5%). La majeure partie du sable resterait confinée entre la butée de pied et le haut de plage, même après un coup de mer significatif.

La configuration future protégée, doublée d'une butée de pied, devrait permettre de stabiliser une plage de sable moyen à grossier. La taille des grains, dont le diamètre médian est estimé à  $D_{50}=500\mu\text{m}$  selon notre approche numérique relativement sommaire au regard de la complexité des phénomènes réels, doit être confirmée. Il s'agit notamment d'identifier les granulométries réelles des deux plages actuelles, sachant que l'anse naturelle protégée subira sensiblement les mêmes agressions que la darse Nord actuelle.

## 5 Conclusion

### **Agitation dans le bassin portuaire**

L'étude numérique d'agitation fait ressortir un comportement correct du plan d'eau actuel face aux clapots soulevés par le vent marin. Les critères de confort et de sécurité applicables aux navires de plaisance sont aujourd'hui respectés, en dehors de tout effet de franchissement de la digue principale.

Les simulations montrent que le tracé en plan de l'extension du port, tel qu'il a été esquissé lors de nos réflexions préliminaires sur plan, doit être ajusté pour éviter de dégrader fortement le confort du bassin : allongement du musoir Sud, rotation de la contre-jetée vers l'intérieur. Ces modifications ne remettent pas en cause le plan de mouillage ou les nouvelles fonctionnalités, comme la tenue à poste de la navette, mais elles permettent de remettre à niveau le plan d'eau au regard des critères d'agitation à respecter.

Ces seules modifications conduisent toutefois à une agitation dans le bassin principal (B1 dans le dossier AVP) légèrement supérieure à celle observée aujourd'hui, alors que la darse Nord (B3), intégrée dans le port, le nouveau poste navette et le bassin secondaire existant (B2) sont parfaitement calmes. On montre qu'un dispositif simple de type cage verticale, renfermant des encochements, placé sous le premier ponton en occupant la même largeur que le ponton, permettrait de dissiper suffisamment d'énergie pour atténuer un peu plus l'agitation dans le bassin principal et obtenir un niveau de confort amélioré par rapport à la situation actuelle. Un tel dispositif est recommandé pour la conception finale du projet.

### **Stabilité de l'anse naturelle**

Le musoir Nord a été remodelé par rapport aux esquisses préliminaires pour apporter une meilleure protection à l'anse naturelle. On montre que l'agitation résiduelle attendue dans la future configuration protégée de l'anse sera équivalente à celle rencontrée aujourd'hui dans la darse Nord accueillant les activités nautiques. Dans ces conditions, les activités de mises à l'eau depuis la plage, ou d'exploitation du ponton flottant, pourront être déplacées de la darse Nord vers l'anse naturelle.

La stabilité de la plage de l'anse naturelle devrait suivre des évolutions identiques à celles aujourd'hui observées dans la darse Nord. Quelques simulations numériques d'estimation des comportements de profils de plage montrent qu'une butée de pied adoucissant la pente de la plage apporterait une stabilité supplémentaire, au point d'envisager un rechargement de l'anse naturelle par du sable moyen à grossier. L'analyse mériterait d'être confirmée en se basant sur les granulométries réelles des sédiments constituant les plages des deux anses actuelles.

## 6 Références

- [1] « Modélisation hydrodynamique de l'étang de Berre et des milieux annexes », rapport SOGREAH n°1740286, février 2009
- [2] Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes, environnements maritime et estuarien, CETMEF, avril 2013.
- [3] Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines. CETMEF, avril 2013.
- [4] « Le guide des enrochements, l'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques » (version française du « rock manual »).
- [5] EurOtop Manual. Wave overtopping of sea defences and related structures, assessment manual. Environment Agency (UK), Expertise Netwerk Waterkeren (NL), Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen.
- [6] Coastal Engineering Manual, Part VI, Fundamental of design, Hans F. Burcharth and Steven A. Hughes (DE).
- [7] GIEC, changements climatiques 2013, les éléments scientifiques, résumé à l'attention des décideurs – Contribution du groupe de travail 1 au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- [8] SHOM, références altimétriques maritimes. Ports de France Métropolitaine et d'Outre-Mer. Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. Edition 2014.
- [9] Opération d'extension et de requalification du port des Heures Claires. Marché de maîtrise d'œuvre, annexe 3, contraintes de site.
- [10] « Mission de maîtrise d'œuvre pour l'extension du port des Heures Claires. Phase d'avant-projet. Note d'hypothèses sur les données naturelles maritimes ». Groupement P. Louis Ing. Conseils – Magnan – Rill Architecte – TPF – Asconit – HydroGC.
- [11] Critères régissant les mouvements des navires amarrés dans les ports. Guide pratique. Rapport du groupe de travail n°24. Supplément au bulletin n°89, 1995. Permanent International Association of Navigation Congress.