

Port de Perros Guirec  
Etude technique  
Modélisation de l'agitation du port



Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

Rév	Date	Intitulé	Rédigé par	Visé par :
0	26/08/22	Emission initiale	JCA	ER

**Les modifications relatives à cette révision sont indiquées par un trait en marge gauche.**

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

## SOMMAIRE

<b>1. OBJET DU DOCUMENT .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ANALYSE DES CONDITIONS HYDROMETEOROLOGIQUES .....</b>	<b>3</b>
2.1. NIVEAUX D'EAU ET REFERENCES ALTIMETRIQUES.....	3
2.2. VENTS.....	3
2.3. HOULES-CLAPOTS.....	4
2.3.1. <i>Les houles</i> .....	4
2.3.2. <i>Les clapots</i> .....	5
<b>3. PRESENTATION DU MODELE .....</b>	<b>7</b>
3.1. PRESENTATION DU MODELE NUMERIQUE .....	7
3.2. EMPRISE DU MODELE .....	7
3.3. DONNEES UTILISEES .....	8
3.4. DESCRIPTION DU PROJET.....	8
<b>4. PRESENTATION DES RESULTATS.....</b>	<b>9</b>
4.1. TESTS DE SENSIBILITE .....	9
4.2. MAILLAGE .....	9
4.3. ANALYSE DES RESULTATS D'AGITATION LIEE AUX HOULES .....	10
4.4. ANALYSE DES RESULTATS D'AGITATION LIEE AUX CLAPOTS.....	12
<b>5. CONCLUSIONS – RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>14</b>

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port

**1. OBJET DU DOCUMENT**

L'objet de ce rapport est de modéliser les niveaux d'agitation du port de Perros Guirec et de vérifier qu'ils respectent les critères de confort et de sécurité pour la mise en œuvre de lodges flottants.

Afin de déterminer l'agitation du plan d'eau, une analyse des conditions hydrométéorologiques de la zone a tout d'abord été réalisée à partir de données disponibles afin de définir les conditions d'entrée du modèle.

L'agitation a ensuite été calculée par modèle numérique et analysée par nos experts afin de comprendre les phénomènes et d'identifier les zones dépassant les seuils de sécurité.

**2. ANALYSE DES CONDITIONS HYDROMETEOROLOGIQUES**

**2.1. Niveaux d'eau et références altimétriques**

Les niveaux d'eau à Perros Guirec sont rappelés dans le tableau suivant :

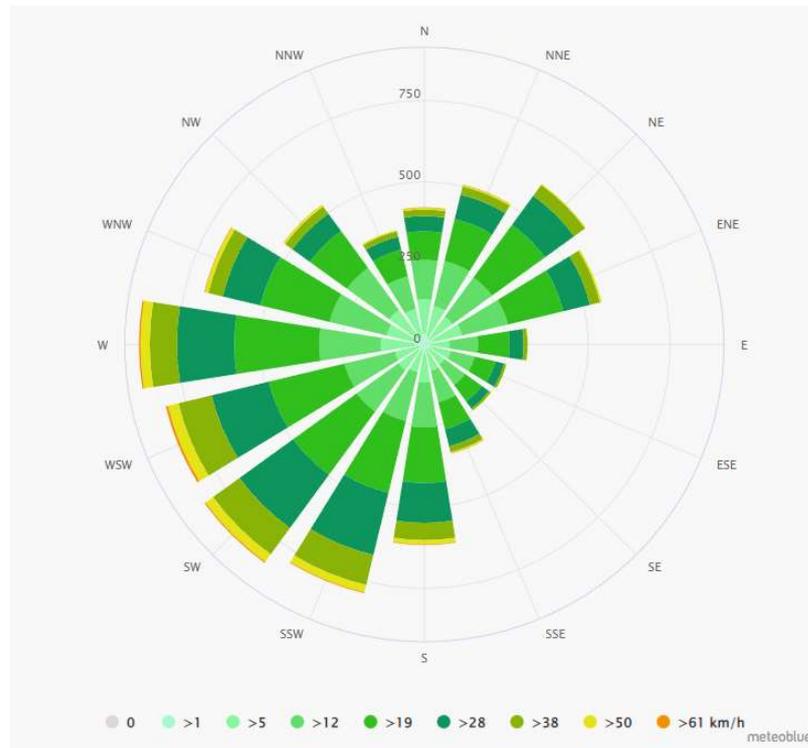
*Tableau 1 : niveaux d'eau en CM à Perros Guirec*

	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA
Perros Guirec	10.40	09.35	07.40	05.52	03.55	01.30	00.13

Le niveau de référence à Perros Guirec est le IGN 69 et est situé à 4.989m au-dessus du niveau des côtes marines.

**2.2. Vents**

La rose de vent issues des données météoBlue illustre les provenances majoritaires ainsi que les vitesses.



*Figure 1 : Rose des vents (source MétéoBlue)*

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port

Deux régimes de vents dominant à Perros :

- Les vents de secteur Ouest à Sud-Ouest sont largement majoritaires,
- Les vents de Nord-Est sont également présents dans une moindre mesure.

Les vents peuvent être assez violents et atteindre des rafales à 140km/h notamment en hiver.

N'ayant pas de données statistiques précises sur les vents, nous avons choisi de retenir les vitesses de vent issues des normes Eurocodes qui sont utilisées pour les dimensionnements des bâtiments et infrastructures, ce qui est cohérent avec des aménagements portuaires potentiels.

Les vitesses de vent données dans les Eurocodes sont des moyennes sur 10min à 10m de hauteur pour des périodes de retour de 50ans.

A ces vitesses, divers coefficients sont associés pour déterminer les vitesses de pointes et les pressions sur les ouvrages à différentes hauteurs d'application.

Ainsi, Perros Guirec est en zone 2 ce qui correspond à une vitesse de base de 26 m/s soit 93.6 km/h.

### 2.3. Houles-clapots

#### 2.3.1. Les houles

Compte tenu de la configuration de la baie qui est relativement bien protégée de par son orientation et la présence des 7 îles et de l'île Tomé, les houles du large peuvent pénétrer dans la baie si elles ont une direction de Nord Est (50°N).

Afin de caractériser les houles du large, nous avons utilisé les données du réseau de bouées CANDHIS géré par le CEREMA.

La bouée la plus représentative de la zone est celle de Lézardrieux.

Cette bouée a 2 ans de données et n'est pas directionnelle. L'analyse statistique ne peut donc permettre de donner des périodes de retour au-delà de 10ans.

NB : nous avons comparé les données de cette bouée à celle des Minquiers la plus proche et dont la durée d'observation est de 7 ans et les résultats sont sensiblement identiques.

L'analyse statistique des hauteurs de houle réalisée à partir de différentes formules de régression statistiques a permis d'établir le tableau et les courbes suivants :

Période de retour	$H_{1/3}$ (mètres)		Int. de Conf. 70% (mètres)	
	GPD	Loi Exp.	GPD	Loi Exp.
5 ans	4,95	5,64	4,59 à 5,06	5,08 à 6,19
10 ans	5,06	6,05	4,63 à 5,18	5,38 à 6,70

Figure 2: hauteur pour différentes période de retour

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port

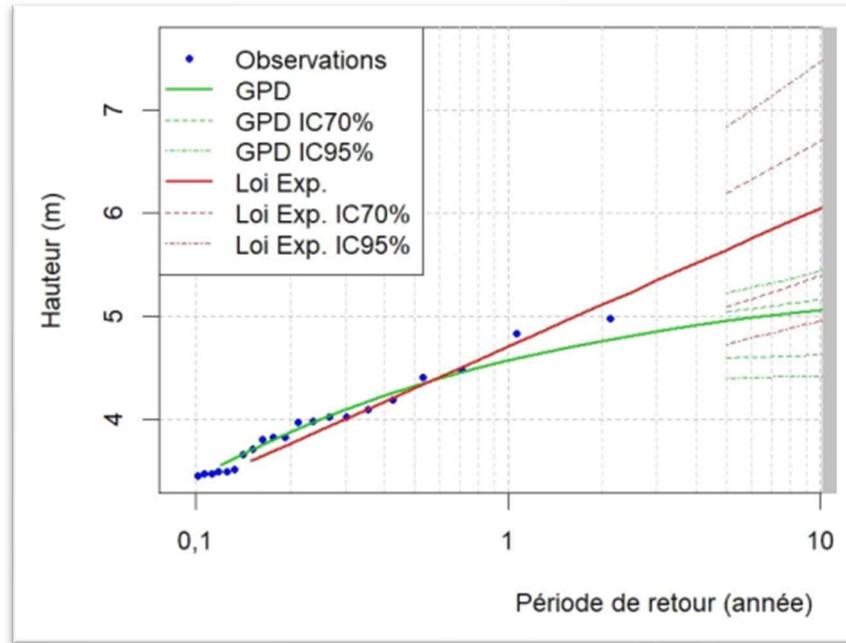


Figure 3 : courbe d'ajustement des hauteurs par période de retour

Ainsi on peut retenir les caractéristiques de houles du large suivantes :

- Houle annuelle : hauteur = 4.8 m période 10s
- Houle décennale : hauteur = 6.1 m période 12s

Les périodes retenues sont issues des corrélogrammes hauteur/période de la bouée et ce sont les valeurs maximales d'occurrence qui sont retenues.

Deux autres caractéristiques de houles dont la fréquence est pluriannuelle ont été retenues compte tenu de leurs occurrences importantes issues des corrélogrammes :

- Hauteur 1.5 m et période 5s
- Hauteur 2.6m et période 7s.

Ces 2 houles sont retenues pour vérifier que des houles, bien que moins énergétiques, ne génèrent pas plus d'agitation de par leur longueur d'onde plus petite.

### 2.3.2. Les clapots

Les vents soufflant sur la baie peuvent lever des clapots importants.

Sur la base des études précédentes nous avons retenu la vitesse de vent donnée par les Eurocodes en tenant compte de coefficients de pondération.

La vitesse retenue pour le calcul du clapot est des 30 m/s (moyenne sur 10min) soit 115km/h.

Compte tenu des trajectoires non prévisibles des vents données dans les Eurocodes, nous avons retenu des hypothèses conservatives dont les directions correspondent aux fetchs, sont les plus importants.

Pour Perros Guirec le tableau suivant reprend les caractéristiques des clapots en fonction des vitesses de vent et des directions :

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

*Tableau 2 : Caractéristiques des clapots pouvant atteindre le port de Mamoudzou*

Direction du vent	Hauteur du clapot	Période du clapot
60 °N	1.46m	4.0s
70°N	1.43m	4.0s
80°N	1.35m	3.9s
90°N	1.34m	3.9s
100°N	1.27m	3.7s

Notons que ces valeurs correspondent à une période de retour de 50ans dans des conditions de marée haute de vive eau.

NB : la méthode de calcul des clapots est empirique et utilise les formules de Donelane.

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

### 3. PRESENTATION DU MODELE

#### 3.1. Présentation du modèle numérique

Le code de calcul qui a été utilisé est REFONDE développé par le CEREMA.

Ce code de calcul aux éléments finis permet de résoudre l'équation de Berkhoff et ainsi représenter les phénomènes de réfraction, diffraction et réflexion responsable de l'agitation portuaire. Le logiciel intègre un mailleur interne qui permet d'affiner la précision en fonction des conditions à modéliser.

Refonde calcule également la dissipation par frottement sur les fonds et par déferlement bathymétrique. Ce code permet de simuler des ouvrages transmissibles de type ponton lourd béton en intégrant des coefficients de transmission et de déphasage.

Enfin, Refonde permet de simuler des houles monochromatiques mais également spectrales, ce qui a été réalisé dans la présente étude.

#### 3.2. Emprise du modèle

L'emprise du modèle est relativement importante afin que les limites soient dans des zones relativement profondes et afin de prendre en compte les effets de réfraction et de déferlement lors de l'approche du port.



L'emprise est donc suffisante pour prendre en considération l'ensemble des phénomènes hydrodynamiques dissipatifs et donc de ne pas surévaluer les hauteurs.

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

### 3.3. Données utilisées

Afin de construire le modèle, deux bathymétries ont été utilisées :

- Bathymétrie SHOM pour la partie hors du port
- Bathymétrie fournie par le port pour la partie à l'intérieur des bassins

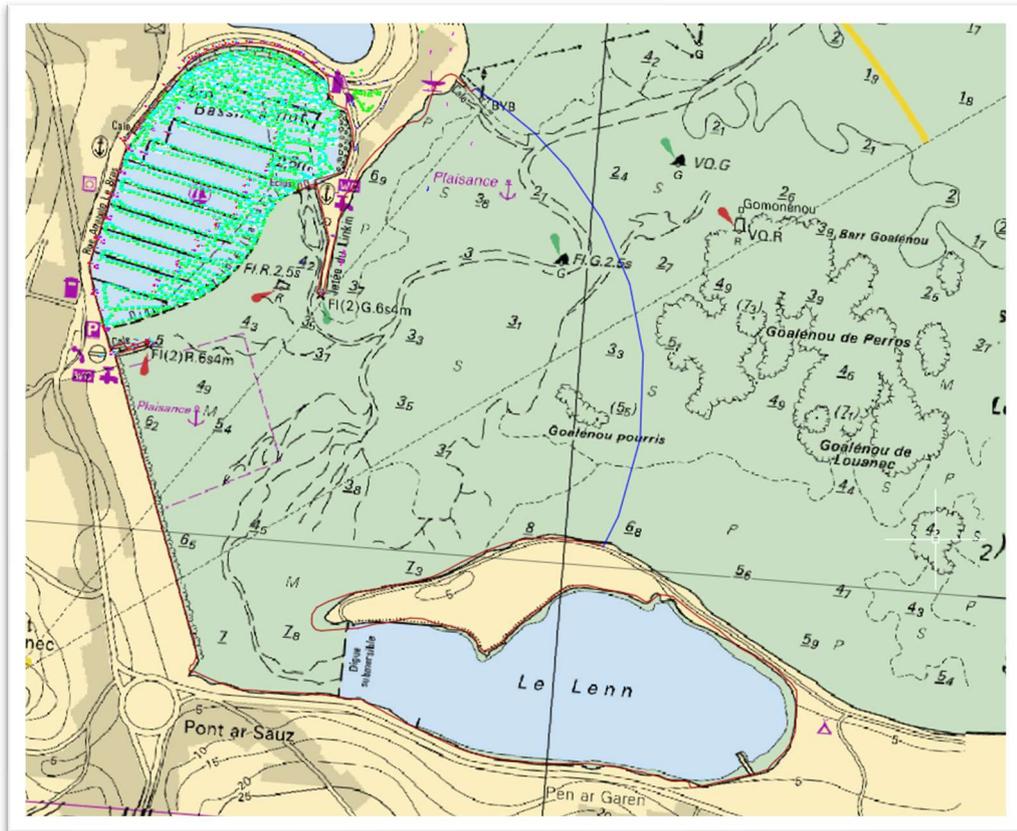


Figure 4 : Illustration de la bathymétrie Shom et des mesures fournies par le port (en vert clair)

### 3.4. Description du projet

L'objectif de l'étude est d'établir les niveaux d'agitation dans le port sur différentes zones afin d'identifier si les niveaux de confort et de sécurité sont remplis.

Les niveaux de confort et de sécurité dépendent des tailles de bateau et des lodges boat et de l'orientation de l'agitation. Compte tenu des niveaux fournis dans la littérature (AIPCN) et par les constructeurs/promoteurs de lodges boat, nous avons retenu les valeurs suivantes :

- Niveau de confort :  $H < 0.3m$
- Niveau de sécurité :  $H < 0.5m$

Le modèle d'agitation Refonde prend en compte les niveaux bathymétriques mais également les ouvrages et leur nature. On peut noter particulièrement :

- Le mur du port permettant de rester à flot
- La porte du port

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

Les digues, quais et cales de mise à l'eau dont la nature induit une modification du coefficient de réflexion

•

## 4. PRESENTATION DES RESULTATS

### 4.1. Tests de sensibilité

Afin de caler le modèle, plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés afin d'estimer l'influence des paramètres de calage sur les résultats.

Ainsi, un des paramètres importants dans le modèle est la méthode de prise en compte du déferlement, et celle qui a été retenue est celle de Munk.

Un test de sensibilité sur le niveau d'eau a également été réalisé.

La comparaison entre les niveaux de marée VE et PHMA soit 9.35m CM et 10.4m CM montre des niveaux d'agitation supérieurs dans le second cas de l'ordre de 0.5m.

**Le niveau d'eau est donc un facteur majeur dans l'agitation portuaire à Perros Guirec.**

### 4.2. Maillage

Le maillage est également un critère important car il permet de modéliser correctement l'ensemble des phénomènes. Afin de modéliser les clapots il est important d'avoir des mailles fines car les longueurs d'onde sont très courtes.

Cependant un maillage trop fin génère des temps de calcul très importants. Nous avons donc réalisé des tests sur différents maillages afin de retenir celui présentant une convergence des résultats pour une taille optimisée.

Le maillage présente donc des tailles de maille ayant une surface maximale de 5m<sup>2</sup>, ce qui amène à plus de 200 000 mailles pour le modèle.

Le maillage est illustré sur la figure suivante :

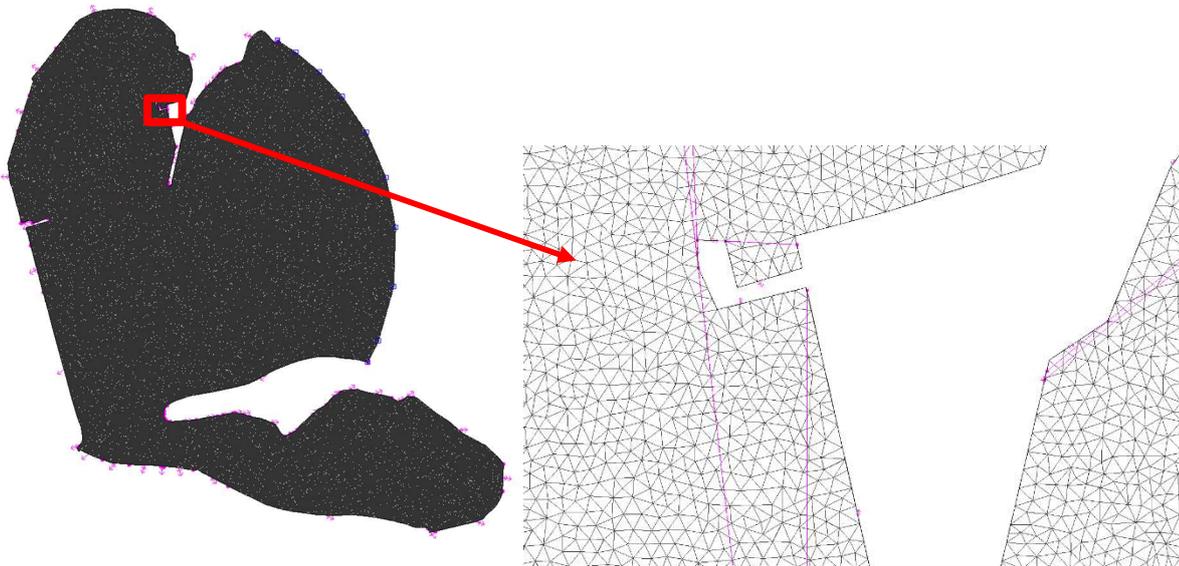


Figure 5 : Présentation du maillage

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port

**4.3. Analyse des résultats d'agitation liée aux houles**

Pour rappel les conditions retenues et qui ont été modélisées sont les suivantes :

Direction	Hauteur	Période	Période de retour
50°N	1.5m	5s	Pluri annuelle
50°N	2.6m	7s	Pluri annuelle
50°N	4.8m	10s	Annuelle
50°N	6.1m	12s	Décennale

Niveau d'eau : +9.35m CM.

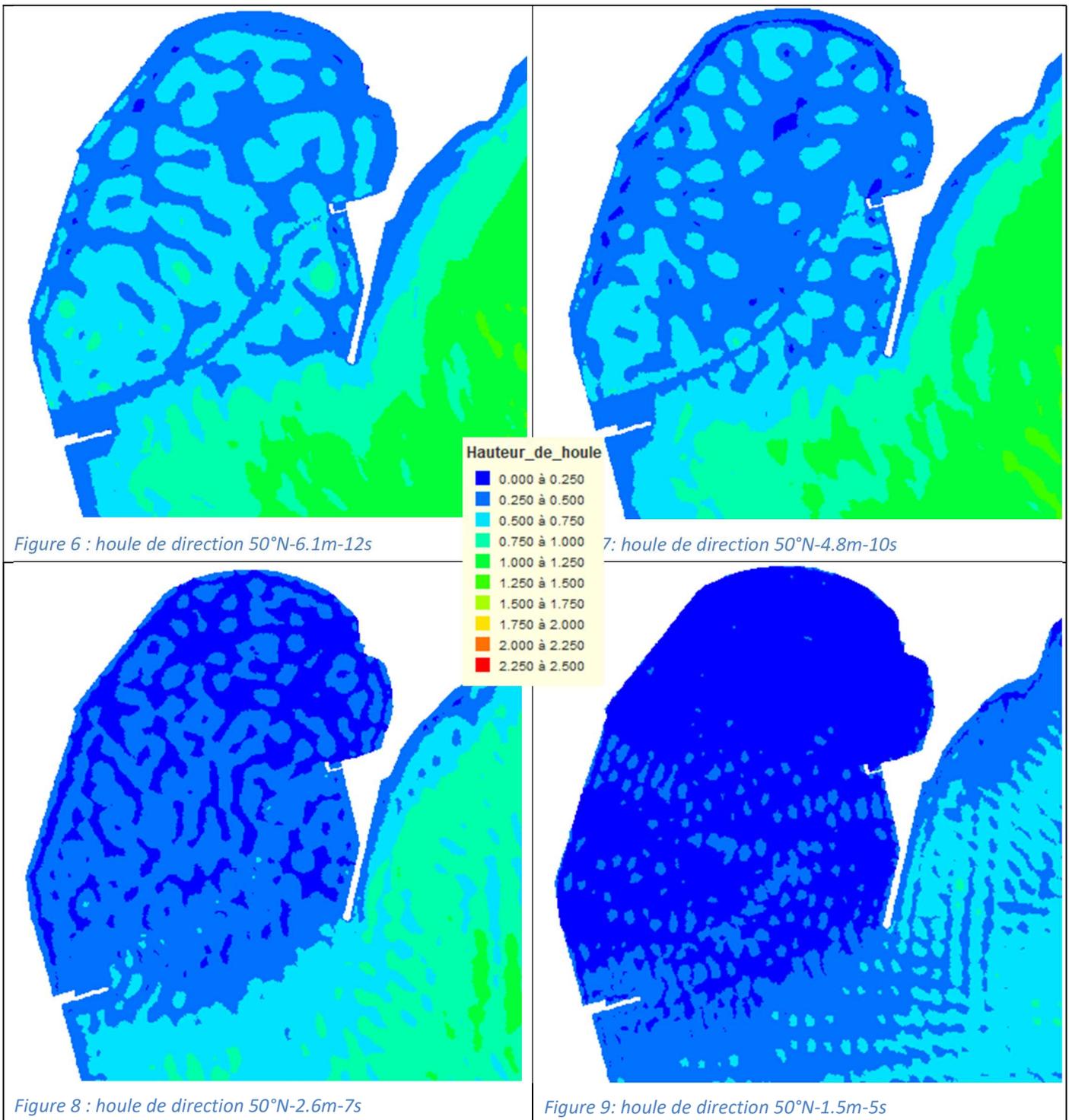
Notons que les données de houle n'étant pas directionnelles elles sont probablement surévaluées car l'on constate sur les bouées à proximité que les plus grosses houles ont des provenances Ouest à Nord-Ouest.

De plus, le fait de simuler une condition de marée de vive eau qui est un phénomène indépendant des tempêtes rend l'occurrence de l'évènement moins fréquent.

NB : ainsi l'on peut estimer (sans le calculer) que l'annuelle avec marée de vive eau de provenance 50°N, correspond davantage à une décennale voire plus.

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port



L'analyse montre que pour les houles fréquentes de 1.5m et 2.6m, l'agitation sur les bassins est inférieure à 0.5m et que le bassin Nord est mieux protégé.

On peut noter un épiphénomène à 0.5 pour la houle 2.6m mais qui n'est pas représentatif de l'agitation moyenne. Les critères de sécurité sont donc assurés mais pas ceux de confort.

Concernant les tempêtes plus importantes, la houle pénètre davantage dans le bassin.

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

---

Pour les houles ayant une période plus grande (annuelle et décennale), les effets de la diffraction sur le musoir induisent que le Nord du bassin est moins bien protégé que pour les plus petites périodes (les houles tournent mieux autour du musoir).

Ainsi, l'agitation moyenne est de l'ordre de 0.75m pour les houles décennales et supérieures à 0.5m pour les annuelles.

Les critères de sécurité ne sont donc pas assurés et de fait ceux de confort non plus.

#### 4.4. Analyse des résultats d'agitation liée aux clapots

Pour rappel les conditions retenues et qui ont été modélisées sont les suivantes :

Direction	Hauteur	Période
60°N	1.5m	4s
70°N	1.5m	4s
80°N	1.4m	4s
90°N	1.4m	4s

Niveau d'eau : +9.35m CM.

A la différence des houles, les clapots étant levés par le vent le niveau d'eau peut être largement influencé par ce dernier.

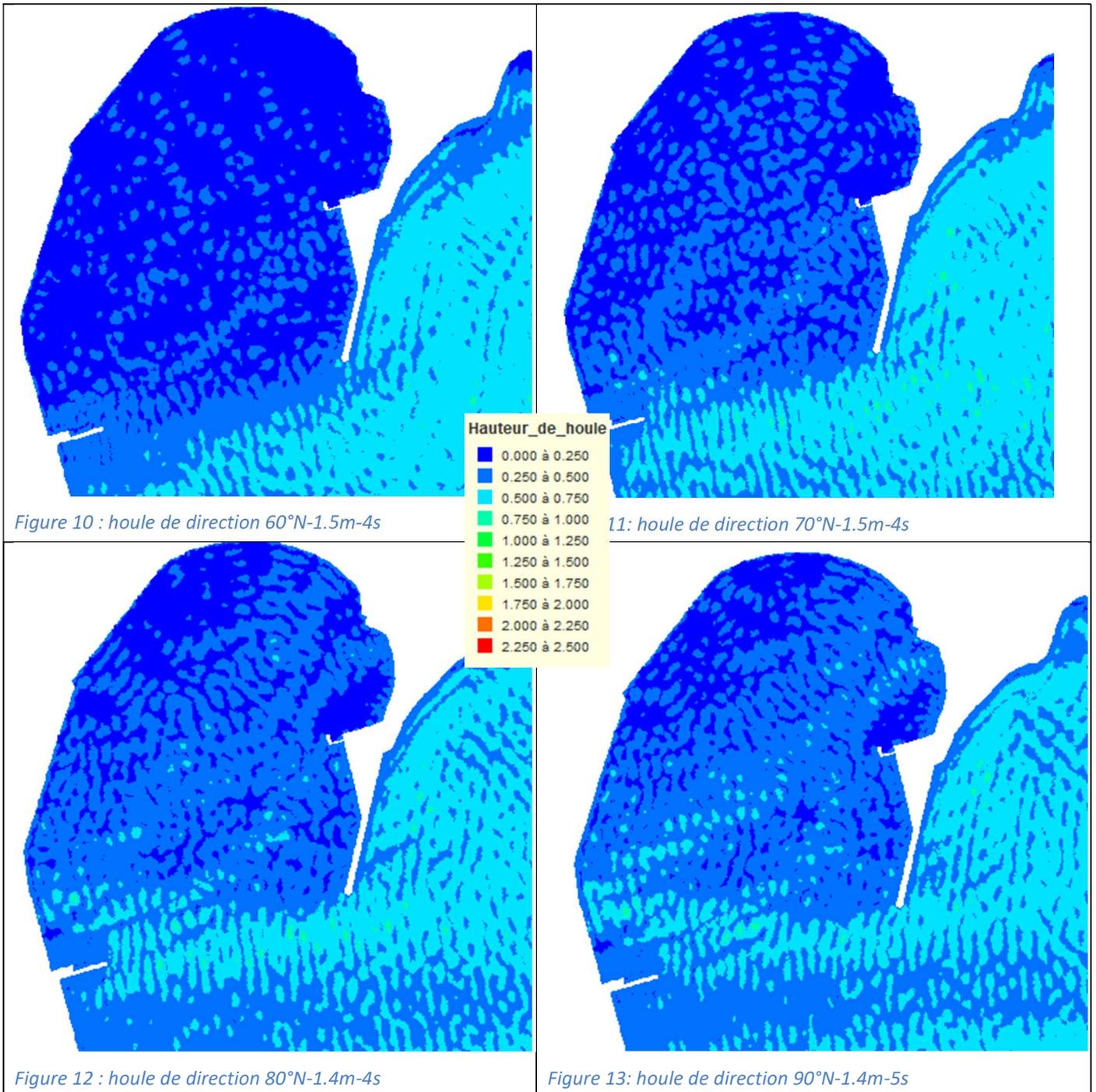
En effet, le setup (surélévation du niveau moyen) lié au vent dans une baie peut être très important.

Ainsi même si la conjonction avec une marée de vive eau rend l'occurrence moins importante, le niveau d'eau pourra être atteint par des marées moyennes couplées à l'effet du vent.

NB : on peut estimer (sans le calculer) que les conditions calculées pour être des cinquantennales le sont avec un niveau à 9.35m CM.

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Port de Perros Guirec  
 Modélisation de l'agitation du port



Pour les clapots de 60 à 70° les agitations dans les bassins sont inférieures à 0.5m par contre les critères de confort ne sont pas assurés au Sud du bassin.

Pour les clapots de 80°N, le bassin Nord respecte les critères de sécurité sans pour autant ceux de confort et le bassin Sud ne respecte pas ceux de sécurité avec des niveau d'agitation pouvant atteindre 0.75m.

Enfin, pour la direction 90°N, le constat est identique avec une agitation moyenne légèrement supérieure que pour la direction 80°.

Port de Perros Guirec  
Modélisation de l'agitation du port

## 5. CONCLUSIONS – RECOMMANDATIONS

Le tableau suivant permet de synthétiser les résultats et les analyses :

Conditions	Période de retour associée (estimée)	Critère de confort (<0.3m)		Critère de sécurité (<0.5m)	
		Bassin Nord	Bassin Sud	Bassin Nord	Bassin Sud
Houle 50°N-6.1m-12s	Décennale (cinquantennale)	Dépassé	Dépassé	Dépassé	Dépassé
Houle 50°N-4.8m-10s	Annuelle (décennale)	Dépassé	Dépassé	Dépassé	Dépassé
Houle 50°N-2.6m-7s	Pluriannuelle	Dépassé	Dépassé	Respecté	Respecté
Houle 50°N-1.5m-5s	Pluriannuelle	Respecté	Dépassé	Respecté	Respecté
Clapot 60°N-1.5m-4s	Cinquantennale	Respecté	Respecté	Respecté	Respecté
Clapot 70°N-1.5m-4s	Cinquantennale	Respecté	Dépassé	Respecté	Respecté
Clapot 80°N-1.4m-4s	Cinquantennale	Dépassé	Dépassé	Respecté	Dépassé
Clapot 90°N-1.4m-4s	Cinquantennale	Dépassé	Dépassé	Respecté	Dépassé

Notons que le modèle ne prend pas compte la présence des pontons flottants et des bateaux qui auront tendance à diminuer les clapots mais pas les houles.

On constate donc que les houles ayant une grande longueur d'onde génèrent le plus d'agitation dans le plan d'eau par des effets de réfraction et diffraction. Cependant les clapots d'Est génèrent également des agitations qui ne permettent pas de respecter les critères de sécurité pour le Sud du bassin.

Globalement, le bassin Nord est mieux protégé que le Sud notamment pour les clapots mais reste trop agité pour les houles et ne peut donc accueillir les lodges boats pour les conditions annuelle et décennales modélisées. Le bassin Nord est plus exposé aux clapots et ne permet pas d'accueillir les lodges pour des conditions cinquantennales.

Il est important de préciser que les données disponibles ne permettent pas de définir précisément les périodes de retour des houles pour les directions susceptibles d'atteindre le port et que les vents ont été pris selon les normes Eurocodes. Les hypothèses sont donc conservatives.

Une remodelisation des conditions hydrométéorologiques à partir de données satellitales globales couplées à une analyse statistique permettraient de définir les périodes de retour des conditions retenues de manière plus précises et ainsi mieux préciser les risques.