

6.3 Examen des conditions de la conception

Annexe 6.3 Examen des conditions de la conception

1. Examen des lames de projet et du calme (degré d'agitation) de l'intérieur du port

1.1 Prédiction des houles au large

Nous avons effectué une prédiction des houles au large lors du temps normal et anormal en utilisant le modèle de prédiction des houles dit "WAM" généralement utilisé dans le monde et ainsi que la méthode simplifiée de "SMB" (Sverdrup, H.U., W.H.Munk et Bretschneider). Dans la prédiction des houles au large, nous avons utilisées des données météorologiques obtenues auprès de l'organisme météo des Etats-Unis et celles de l'aéroport d'Al Hoceima obtenues auprès de la Direction Météorologique du Royaume du Maroc.

Le tableau 1.1-1 présente le résultat de la prédiction par le modèle de prédiction des houles "WAM". Et le tableau 1.1-2 présente le résultat de la prédiction et les conditions de la prédiction des lames de projet obtenues par la méthode de "SMB". Egalement, dans la figure 1.1-1 est indiqué le résultat d'analyse de statistique des valeurs extrêmes du résultat de la prédiction des houles indiqué dans le tableau 1.1-2. Etant situé en face de la Mer méditerranéenne, le site de Sidi Hsaine ne subit presque pas d'influences des houles atlantiques. L'enquête par interview faite sur place sur les conditions météorologiques nous a permis de penser que la mousson de la péninsule ibérique qui se produit de novembre à mars dans la Méditerranée est une des causes principales des perturbations de la mer. Aussi il y a du vent d'est qui constitue un des facteurs de génération des houles méditerranéens. Nous avons analysé les houles à une hauteur de plus de 2,0m parmi les houles obtenues par la prédiction à la base des données de vents enregistrées à l'aéroport d'Al Hoceima, et ceci par l'analyse de statistique des valeurs extrêmes faite au moyen des fonctions de répartition des valeurs extrêmes (répartition de Weibull et celle de Gumbel) qui sont appliquées généralement pour l'analyse des houles par la statistique des valeurs aux limites. Nous en avons trouvé que l'application de la répartition de Weibull (k=2,00) donne un meilleur résultat, c'est-à-dire un coefficient de relation plus élevé. A la lumière de ce résultat, nous avons obtenu les lames tricennales (probabilité de 30 ans).

Tableau 1.1-1 Résultat de la prédiction des houles lors du temps normal (Modèle de simulation de la prédiction : WAM)

Hauteur de lames (m)	Direction de lames												Total	Fréquence des hauteurs de lames inférieures (%)
	S	SSO-SO	SO-OSO	O	ONO-NO	NO-NNO	N	NNE-NE	NE-ENE	E	ESE-SE	SE-SSE		
0.25m<	0.26	0.18	0.17	0.68	3.49	2.48	3.94	2.20	7.50	1.30	0.47	0.28	22.95	23.0
0.25-0.5m	0.24	0.37	0.49	1.64	6.03	2.43	1.18	1.99	10.45	3.04	0.87	0.23	28.96	51.9
0.5-1.0m	0.26	0.56	0.84	3.73	7.01	1.51	0.33	0.83	10.41	4.48	0.42	0.19	30.57	82.5
1.0-1.5m	0.06	0.23	0.66	2.73	2.47	0.16	0.07	0.16	3.72	1.45	0.03		11.74	94.2
1.5-2.0m	0.04	0.06	0.30	1.20	0.83	0.02	0.03	0.01	1.53	0.39			4.41	98.6
2.0-2.5m		0.01	0.05	0.38	0.27	0.01			0.41	0.02			1.15	99.8
2.5-3.0m		0.01		0.03	0.02				0.14				0.20	100.0
3.0m<				0.01	0.01								0.02	100.0
Total(%)	0.86	1.42	2.51	10.40	20.13	6.61	5.55	5.19	34.16	10.68	1.79	0.70	100.00	

Tableau 1.1-2 Conditions données pour la prédiction des houles par la méthode de SMB et résultat de la prédiction

Date				Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent	Fetch F(km)	Résultat de prédiction	
Année	Mois	Jour	Heure				H(m)	T(s)
2001	1	28	18	24	NW	176.0	5.16	8.47
2000	11	6	12	22	W	125.4	4.55	7.81
2001	11	9	12	21	W	125.4	4.30	7.63
2001	2	28	6	17	WNW	192.5	3.79	7.49
2001	7	20	12	18	NNE	156.2	3.63	7.14
1999	1	1	18	18	W	125.4	3.53	7.03
2001	4	30	12	17	WNW	192.5	3.32	6.86
1999	12	16	12	28	WNW	192.5	3.20	6.97
1999	3	4	12	16	WNW	192.5	3.02	6.58
2001	5	27	18	14	NE	342.1	2.46	5.99
2000	4	7	12	19	E	38.5	2.39	5.39
2001	4	14	12	13	NNE	156.2	2.19	5.68
2000	8	7	18	17	E	38.5	2.09	5.11
2000	2	24	12	18	E	38.5	2.01	4.91

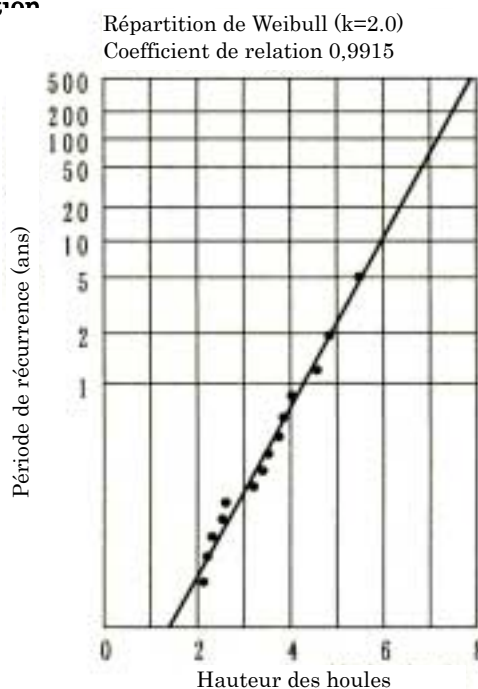


Figure 1.1-1 Résultat de statistique des valeurs aux limites des lames de projet

Le tableau 1.1-3 montre le résultat de l'analyse de statistique des valeurs aux limites. Les lames tricennales obtenues en cas de k=2,00 de la répartition de Weibull donnent H=6,6m. Nous utilisons ces lames comme lame de projet pour les ouvrages portuaires. La période des lames de probabilité est obtenue par la formule suivante, à la base de la pente de la forme moyenne de 14 houles faisant l'objet de l'analyse de statistique des valeurs extrêmes, qui est de 0,0496 (pente).

$$T=(H/(1.56 \times 0.0496))^{1/2} = (6.58/(1.56 \times 0.0496))^{1/2} = 9.2\text{sec}$$

Tableau 1.1-3 Résultat de la statistique des valeurs maximales (Hauteur des lames de probabilité : m)

Type de répartition	Répartition de Gumbul	Répartition de WEIBULL						
		k=0.75	k=0.85	k=1.00	k=1.10	k=1.25	k=1.50	k=2.00
Coefficient de relation	0.9859	0.9152	0.9372	0.9591	0.9690	0.9789	0.9875	0.9915
5 ans	5.66	5.70	5.76	5.78	5.77	5.74	5.67	5.54
10 ans	6.26	6.62	6.60	6.52	6.46	6.37	6.21	5.97
20 ans	6.85	7.59	7.48	7.27	7.15	6.97	6.71	6.36
30 ans	7.20	8.19	8.00	7.71	7.54	7.31	7.00	6.58
50 ans	7.64	8.96	8.67	8.26	8.03	7.74	7.35	6.84
100 ans	8.23	10.05	9.59	9.00	8.70	8.30	7.80	7.18

K de la répartition de Weibull signifie un coefficient de la fonction de répartition. Plus la valeur de k augmente, plus l'angle à l'égard de l'axe horizontal augmente dans la figure 1.1-1. Suivant l'augmentation de la valeur de k, la valeur de probabilité diminue.

1.2. Caractéristiques des houles au large dans la mer peu profonde

En arrivant à une zone peu profonde, les houles au large subissent quelque changement d'amplitude par la réfraction et/ou par la déformation due à la profondeur peu importante. Pour déterminer la coupe des ouvrages portuaires tels que le quai, le revêtement, la digue de protection etc., il est nécessaire d'évaluer l'amplitude des houles à l'arrivée aux ouvrages. Pour ce faire, on utilise généralement une simulation numérique avec laquelle on peut étudier sur les lames de projet d'une manière simplifiée et en un temps court. Voici la méthode que nous avons appliquée pour évaluer l'amplitude des houles.

Nous avons évalué les houles de la zone peu profonde par la formule d'équilibre énergétique (Karlsson, 1969) par laquelle on peut résoudre à la fois la déformation due à la profondeur peu importante et à la réfraction des houles irréguliers à multi directions. Il est à noter que la formule d'équilibre énergétique est conduite sous les conditions suivantes :

- 1) Il n'y a pas de changement de l'état des houles avec le temps.
- 2) La période des composantes de la houle ne change pas.
- 3) Il n'y a pas d'échange d'énergie extérieure.

Par ailleurs, on résout pratiquement la formule en établissant des équations simultanées et en donnant les conditions aux limites.

Les tableaux 1.2-1(1) à (6) présentent le résultat de la prédiction des houles se trouvant au fond de chaque ouvrage portuaire à la base des caractéristiques, telles le coefficient de réfraction, obtenues à partir du résultat du calcul de la déformation des houles pour les lames de projet. Dans la prédiction du volume des houles au front de la digue et des houles de franchissement, nous avons utilisé des figures insérées dans le document "Directives techniques applicables à la construction des ports de pêche" (en version 1999, publiées par l'Association Japonaise des Ports de Pêche sous le contrôle de l'Agence des Pêches du Japon): une figure 2.3-14(e), "Changement de la hauteur des houles" (à la page 54, pente du fond de mer 1/50 du Volume I dudit document) et des figures "Estimation du volume des houles de franchissement" (aux pages 748 à 749, extrapolation en cas de 1/50, du volume II).

Tableau 1.2-1(1) Résultat de la prédiction des houles au front et à la tête du brise-lames du côté ouest (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Coddfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	?(m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,66	4,36	0,033	0,92	0,53	0,06	2,94	0,19
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,72	4,75	0,036	0,84	0,49	0,06	2,93	0,23
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,77	5,08	0,038	0,79	0,46	0,06	2,93	0,26
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,75	4,95	0,037	0,81	0,47	0,06	2,93	0,25
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,82	5,41	0,041	0,74	0,43	0,06	2,92	0,28
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,87	5,74	0,043	0,70	0,40	0,06	2,92	0,31
NE		6,6	9,2	132,0	10	-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,81	5,35	0,040	0,75	0,43	0,06	2,92	0,28
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,89	5,87	0,044	0,68	0,40	0,07	2,92	0,32
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,92	6,07	0,046	0,66	0,38	0,07	2,92	0,33
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,83	5,48	0,041	0,73	0,42	0,07	2,92	0,29
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,90	5,94	0,045	0,67	0,39	0,07	2,92	0,32
						-3,1	0,9	-4,0	1/50	0,93	6,14	0,046	0,65	0,38	0,07	2,92	0,34
															2,94	0,34	

A-82

Tableau 1.2-1(2) Résultat de la prédiction des houles au front et à la tête du brise-lames du côté est (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Coddfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	?(m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,82	5,41	0,041	0,78	0,45	0,06	3,06	0,27
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,86	5,68	0,043	0,74	0,43	0,06	3,06	0,29
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,88	5,81	0,044	0,72	0,42	0,06	3,05	0,30
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,91	6,01	0,045	0,70	0,41	0,06	3,05	0,32
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,94	6,20	0,047	0,68	0,40	0,06	3,05	0,33
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,96	6,34	0,048	0,66	0,39	0,06	3,05	0,34
NE		6,6	9,2	132,0	10	-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,95	6,27	0,047	0,67	0,39	0,06	3,05	0,33
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,97	6,40	0,048	0,66	0,38	0,06	3,05	0,34
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,99	6,53	0,049	0,64	0,38	0,06	3,05	0,35
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,95	6,27	0,047	0,67	0,39	0,06	3,05	0,33
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,96	6,34	0,048	0,66	0,39	0,06	3,05	0,34
						-3,3	0,9	-4,2	1/50	0,97	6,40	0,048	0,66	0,38	0,06	3,05	0,34
															3,06	0,35	

Tableau 1.2-1(3) Résultat de la prédiction des houles au front de la digue anti -sable du côté est (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Codfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho'/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	?(m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,89	5,87	0,044	0,66	0,38	0,07	2,85	0,33
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,89	5,87	0,044	0,66	0,38	0,07	2,85	0,33
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,91	6,01	0,045	0,65	0,38	0,07	2,85	0,34
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,95	6,27	0,047	0,62	0,36	0,07	2,85	0,35
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,96	6,34	0,048	0,62	0,36	0,07	2,85	0,36
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,98	6,47	0,049	0,60	0,35	0,07	2,85	0,37
NE		6,6	9,2	132,0	10	-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,97	6,40	0,048	0,61	0,35	0,07	2,85	0,36
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,98	6,47	0,049	0,60	0,35	0,07	2,85	0,37
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	1,01	6,67	0,050	0,59	0,34	0,07	2,85	0,38
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,94	6,20	0,047	0,63	0,36	0,07	2,85	0,35
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,96	6,34	0,048	0,62	0,36	0,07	2,85	0,36
						-3,0	0,9	-3,9	1/50	0,98	6,47	0,049	0,60	0,35	0,07	2,85	0,37
															2,85	0,38	

Tableau 1.2-1(4) Résultat de la prédiction des houles au front du revêtement anti -lames du côté est (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Codfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho'/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	?(m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,86	5,68	0,043	0,51	0,28	0,08	2,19	0,38
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,87	5,74	0,043	0,51	0,28	0,08	2,19	0,39
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,90	5,94	0,045	0,49	0,27	0,08	2,19	0,40
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,94	6,20	0,047	0,47	0,26	0,08	2,19	0,42
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,96	6,34	0,048	0,46	0,25	0,08	2,19	0,43
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,99	6,53	0,049	0,44	0,25	0,08	2,19	0,44
NE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,97	6,40	0,048	0,45	0,25	0,08	2,19	0,43
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	1,00	6,60	0,050	0,44	0,24	0,08	2,19	0,45
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	1,04	6,86	0,052	0,42	0,24	0,08	2,21	0,47
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,96	6,34	0,048	0,46	0,25	0,08	2,19	0,43
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,99	6,53	0,049	0,44	0,25	0,08	2,19	0,44
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	1,02	6,73	0,051	0,43	0,24	0,08	2,20	0,46
															2,21	0,47	

Tableau 1.2-1(5) Résultat de la prédiction des houles au front du brise -lames du côté ouest (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Codfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho'/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	? (m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,66	4,36	0,033	0,67	0,50	0,06	2,18	0,27
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,72	4,76	0,036	0,61	0,46	0,06	2,19	0,30
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,77	5,08	0,038	0,57	0,43	0,07	2,19	0,33
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,75	4,95	0,037	0,59	0,44	0,07	2,19	0,32
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,82	5,41	0,041	0,54	0,40	0,07	2,19	0,36
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,87	5,74	0,043	0,51	0,38	0,07	2,19	0,39
NE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,81	5,35	0,040	0,54	0,41	0,07	2,19	0,36
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,89	5,87	0,044	0,49	0,37	0,07	2,19	0,40
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,92	6,07	0,046	0,48	0,36	0,07	2,19	0,41
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,83	5,48	0,041	0,53	0,40	0,07	2,19	0,37
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,90	5,94	0,045	0,49	0,37	0,07	2,19	0,40
						-2,0	0,9	-2,9	1/50	0,93	6,14	0,046	0,47	0,36	0,07	2,19	0,41
															2,19	0,41	

A-84

Tableau 1.2-1(6) Résultat de la prédiction des houles au front du brise -lames du côté est (lames de projet)

		Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Niveau des hautes eaux	Profondeur (h)	Pente du fond de mer	Codfficient de réfraction(Kr)	Houles au large converties(Ho')	Ho'/Lo	h/Ho'	H/Ho'	?/Ho'	H1/3(m)	? (m)
		Hauteur des houles	Periode	Lo	Smax												
N		6,6	9,2	132,0	10	-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,89	5,87	0,044	0,58	0,43	0,06	2,52	0,36
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,89	5,87	0,044	0,58	0,43	0,06	2,52	0,36
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,91	6,01	0,045	0,57	0,42	0,06	2,52	0,37
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,95	6,27	0,047	0,54	0,40	0,06	2,52	0,39
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,96	6,34	0,048	0,54	0,40	0,06	2,52	0,39
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,98	6,47	0,049	0,53	0,39	0,06	2,52	0,40
NE		6,6	9,2	132,0	10	-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,97	6,40	0,048	0,53	0,39	0,06	2,52	0,40
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,98	6,47	0,049	0,53	0,39	0,06	2,52	0,40
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	1,01	6,67	0,050	0,51	0,38	0,06	2,52	0,42
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,94	6,20	0,047	0,55	0,41	0,06	2,52	0,38
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,96	6,34	0,048	0,54	0,40	0,06	2,52	0,39
						-2,5	0,9	-3,4	1/50	0,98	6,47	0,049	0,53	0,39	0,06	2,52	0,40
															2,52	0,42	

Tableau 1.2-2 Résultat du calcul du volume des houles de franchissement au revêtement anti -lames du côté est (lames de projet)

	Houles au large				Prof. Au front de l'ouvrage zh+	Pente du fond de mer	Coefficient de refraction	Pente du fond de mer	Houles au large converties (Ho')	Ho'/Lo	Taille de couronne zh+ (m)	Niveau de la mer zh+ (m)	h	hc	h/Ho'	hc/Ho'	q/ (2g(Ho')³)	Volume du franchissement q(m³/mr s)	
	Hauteur des houles	Periode	Lo	S _{max}															
N		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	1/50	0,86	1/50	5,68	0,043	4,00	1,35	3,35	2,65	0,59	0,47	0,00022	0,013
						-2,0	1/50	0,87	1/50	5,74	0,043	4,00	1,35	3,35	2,65	0,58	0,46	0,00026	0,016
						-2,0	1/50	0,90	1/50	5,94	0,045	4,00	1,35	3,35	2,65	0,56	0,45	0,00026	0,017
NNE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	1/50	0,94	1/50	6,20	0,047	4,00	1,35	3,35	2,65	0,54	0,43	0,00027	0,018
						-2,0	1/50	0,96	1/50	6,34	0,048	4,00	1,35	3,35	2,65	0,53	0,42	0,00027	0,019
						-2,0	1/50	0,99	1/50	6,53	0,049	4,00	1,35	3,35	2,65	0,51	0,41	0,00027	0,020
NE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	1/50	0,97	1/50	6,40	0,048	4,00	1,35	3,35	2,65	0,52	0,41	0,00027	0,019
						-2,0	1/50	1,00	1/50	6,60	0,050	4,00	1,35	3,35	2,65	0,51	0,40	0,00027	0,020
						-2,0	1/50	1,04	1/50	6,86	0,052	4,00	1,35	3,35	2,65	0,49	0,39	0,00027	0,021
ENE		6,6	9,2	132,0	10	-2,0	1/50	0,96	1/50	6,34	0,048	4,00	1,35	3,35	2,65	0,53	0,42	0,00027	0,019
						-2,0	1/50	0,99	1/50	6,53	0,049	4,00	1,35	3,35	2,65	0,51	0,41	0,00027	0,020
						-2,0	1/50	1,02	1/50	6,73	0,051	4,00	1,35	3,35	2,65	0,50	0,39	0,00027	0,021
																			0,021

1.3. Le calme (l'état d'agitation) de l'intérieur du port

Lorsqu'on réalise la construction d'un nouveau port ou l'extension d'un port existant, il est généralement question de réaliser un plan d'eau calme dans l'intérieur du port. Le plan d'eau calme signifie une zone où les bateaux peuvent se mouiller et s'amarrer en sécurité et qui ne perturbe pas les activités concernées.

Pour augmenter le degré du calme, il est possible de diminuer les influences des houles se propageant de la bouche au fond de la rade et ceci en resserrant la bouche du port. C'est une des manières sûres. Mais elle a des inconvénients qui concernent le problème d'opérations des bateaux et la difficulté financière de la construction due à l'agrandissement des dimensions des ouvrages portuaires. En fin de compte, il est pratiquement important de concevoir un tracé des ouvrages le plus adéquat en considération de ces problèmes.

Pour l'étude sur le calme de l'intérieur du port, il était habitué d'exécuter les essais de modèle hydraulique. Dans nos jours, on exécute principalement les simulations numériques moins coûteuses et nécessitant moins de temps. De plusieurs méthodes de simulation numérique sont exploitées suivant le développement des théories du calcul et par l'amélioration des fonctions des ordinateurs. A savoir, il y a "la méthode des éléments finis", "la fonction de Green par l'équation de Helmholtz", "l'analyse numérique ondulatoire", etc. Elles sont toutes à l'égard des houles régulières. Pour adopter aux houles irrégulières, il est nécessaire de faire quelques mesures supplémentaires, par exemple la superposition des résultats du calcul etc.

Dans le cadre du présent projet, nous avons appliqué la méthode de "TAKAYAMA" (Takayama, 1981) ayant des avantages qu'on peut facilement calculer le milieu des houles de l'intérieur du port même au cas où la configuration des ouvrages portuaires est compliquée et où les houles à spectres directionnels y entrent.

Pour les vagues de diffraction de la bouche du port et de l'extrémité du quai, nous avons utilisé le coefficient de diffraction obtenu par une solution approximative de la solution de l'analyse de Sommerfeld de la digue semi-éternelle en la développant pour le cas du coefficient de réflexion facultative. Et pour les vagues de réflexion du quai, nous avons utilisé les solutions théoriques des vagues de réflexion par le quai-île.

La répartition des hauteurs des houles dans l'intérieur du port est obtenue par la superposition des énergies de ces deux cas.

1.3.1 Détermination de la hauteur de lames à limite de sortie en mer

(1) Taux de sorties possibles

Nous avons analysé le calme (le degré du calme ou d'agitation) du plan d'eau intérieur du port par rapport à plusieurs formes du port de pêche après avoir déterminé la hauteur de lames à limite de sortie en mer en utilisant le taux de sorties possibles établi suivant les activités de pêcheurs. Concernant le taux de sorties possibles, nous avons défini à la base du résultat de l'enquête par interview aux marins pêcheurs qu'il est le quotient de (nombre de jours par an - nombre de jours de repos) divisé par (nombre de jours par an). A noter que les vendredis, les jours fériés, les jours de non sortie dû à quelque

raison que ce soit et les jours de repos dus à la pleine lune (senneurs) sont compris dans les jours de repos. C'est ainsi que nous avons obtenu que le taux de sorties possibles de barques de pêche artisanale est de 77,5% et celui de senneurs est de 85,5%. (Voir le tableau 1.3.1-1).

Tableau 1.3.1-1 Taux de sorties possibles déterminés par l'enquête

	Nbre de jours par an	Jours fériés etc.	Jours de sortie possible	Jours de repos dû à la pleine lune	Taux de sorties possibles(%) (-)/(- -)×100
Barques	365	58	238	0	77,5 %
Senneurs	365	58	*266	25	85,5 %

(2) Détermination de la hauteur de lames à limite de sortie en mer

Le tableau 1.3.1-2 présente la fréquence des directions de vents établie par la prédiction des lames au large de Sidi Hsaine. Et la figure 1.3.1-1 montre la relation entre les hauteurs de lames obtenues par ledit tableau et les taux de fréquence des hauteurs de lames inférieures par palier.

Suivant le résultat de l'article précédent (1), le taux de sorties possibles des barques de pêche artisanale est de 77,5% et celui des senneurs est de 85,5 %. Il s'ensuit que les hauteurs de lames à limite de sortie en mer sont respectivement de 0,89m et de 1,12m. Par conséquent, nous avons adopté 1,2m comme hauteur de lames à limite de sortie en mer au port de pêche de Sidi Hsaine pour étudier sur le calme de la rade par rapport à la hauteur de lames à limite de sortie en mer, et ceci en choisissant ce qui est plus sévère condition entre 0,89m (barques) et 1,12m (senneurs). (Voir le tableau 1.3.1-3).

Tableau 1.3.1-2 Fréquences des hauteurs de lames inférieures par direction des vents récapitulées suivant le résultat de la prédiction des lames.

Hauteur de lames (m)	Direction de lames												Total	Fréquence des hauteurs de lames inférieures (%)
	S	SSO-SO	SO-OSO	O	ONO-NO	NO-NNO	N	NNE-NE	NE-ENE	E	ESE-SE	SE-SSE		
0.25m<	0.26	0.18	0.17	0.68	3.49	2.48	3.94	2.20	7.50	1.30	0.47	0.28	22.95	23.0
0.25-0.5m	0.24	0.37	0.49	1.64	6.03	2.43	1.18	1.99	10.45	3.04	0.87	0.23	28.96	51.9
0.5-1.0m	0.26	0.56	0.84	3.73	7.01	1.51	0.33	0.83	10.41	4.48	0.42	0.19	30.57	82.5
1.0-1.5m	0.06	0.23	0.66	2.73	2.47	0.16	0.07	0.16	3.72	1.45	0.03		11.74	94.2
1.5-2.0m	0.04	0.06	0.30	1.20	0.83	0.02	0.03	0.01	1.53	0.39			4.41	98.6
2.0-2.5m		0.01	0.05	0.38	0.27	0.01			0.41	0.02			1.15	99.8
2.5-3.0m		0.01		0.03	0.02				0.14				0.20	100.0
3.0m<				0.01	0.01								0.02	100.0
Total(%)	0.86	1.42	2.51	10.40	20.13	6.61	5.55	5.19	34.16	10.68	1.79	0.70	100.00	

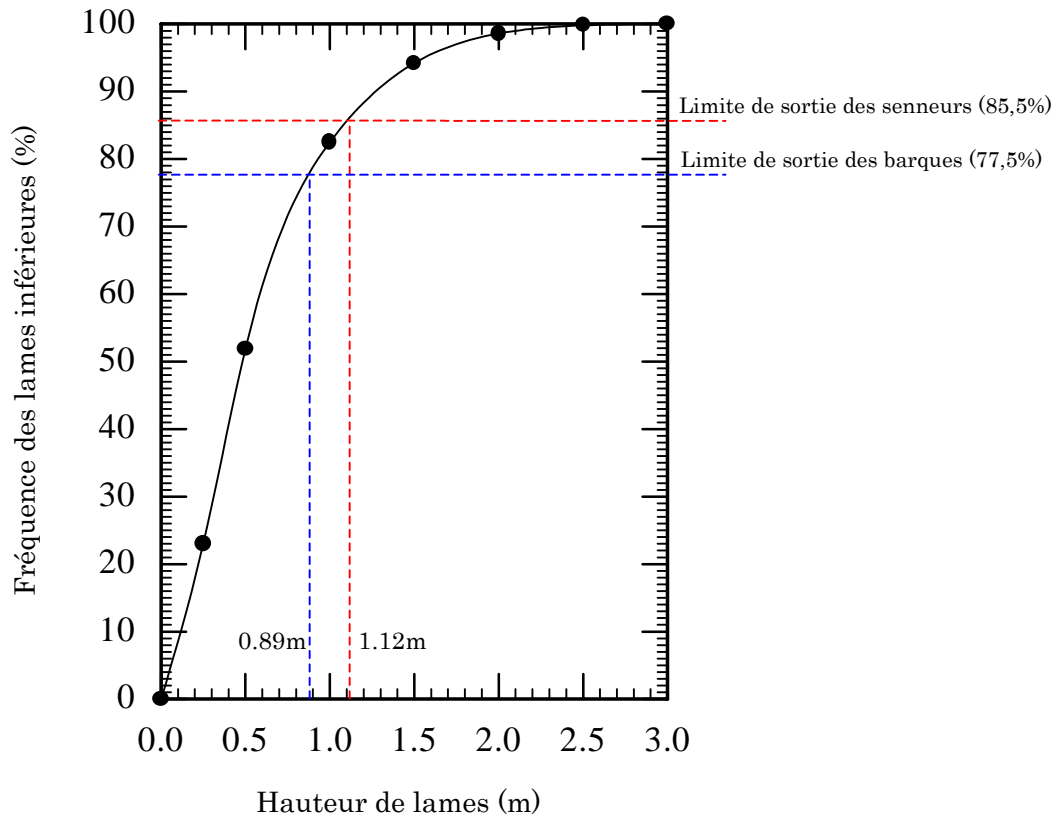


Figure 1.3.1-1 Taux de fréquence des lames inférieures par palier des hauteurs de lames au large de Sidi Hsaine (Résultat de la prédiction des lames)

Tableau 1.3.1-3 Hauteur de lames à limite de sortie par la nature de bateau de pêche

Nature de bateau de pêche	Hauteur de lames (m)	
	Valeur lue sur la figure 1.1.2-1	Hauteur de lames faisant l'objet
Barques de pêche artisanale	0,89m	1,00m
Senneurs	1,12m	1,20m

1.3.2. Etude sur les lames arrivants au port et le calme de la rade

(1) Supposition des lames arrivants au rivage et au front de la bouche du port

En vue de rechercher des lames arrivants à la rade et au rivage voisin, nous avons fait un calcul de déformation de lames en prenant le résultat de la prédiction des lames et la hauteur de lames à limite de sortie comme conditions des lames d'incidence. Dans ce calcul, nous avons pris quelques directions de lames dominantes exerçant des influences les plus grandes sur le site, à savoir N, NNE et ENE. D'autre part, nous utilisons les fréquences des lames d'ouest ou de nord, et de nord ou d'est suivant les relations entre les hauteurs de lames et les fréquences présentés dans les figures 1.3.2-1 et 1.3.2-2.

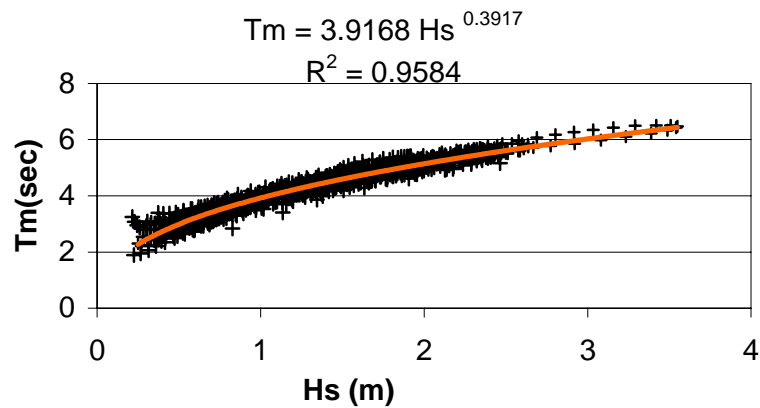


Figure 1.3.2-1 Relation entre les fréquences et les hauteurs des lames attaquant d'ouest ou de nord

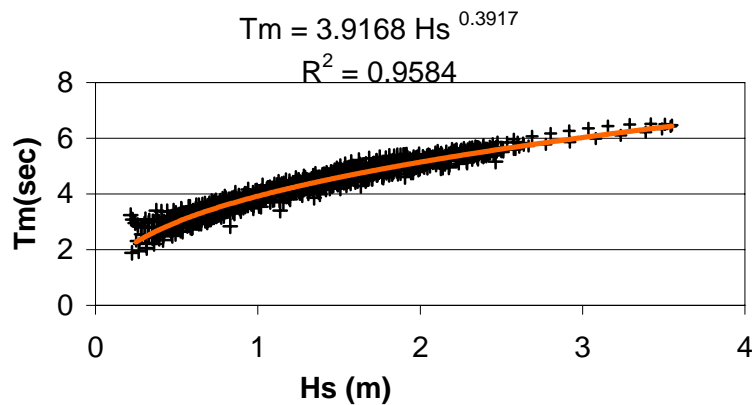


Figure 1.3.2-2 Relation entre les fréquences et les hauteurs des lames attaquant de nord ou d'est

Tableau 1.3.2-1 Conditions des lames dans la prédiction de lames arrivants lors de lames à limite de sortie en mer

Direction de lames	Hauteur de lames $H_{1/3}$	Fréquence $T_{1/3}$	S_{max}
N	1,2m	4,0 sec	10
NNE	1,2m	5,0 sec	25
NE	1,2m	5,0 sec	25

S_{max} : Paramètre indiquant le degré de concentration de directions de lames. En général, on utilise 10 pour la vague ventée, 25 pour la houle ayant une courte distance d'amortissement et 75 pour la houle ayant une longue distance d'amortissement.

(2) Lames arrivant à la bouche du port et au rivage voisin

Les hauteurs et directions des lames arrivant à la bouche du port sont indiquées dans les tableaux 1.3.2-2 et 1.3.2-3. D'ailleurs, les hauteurs de lames au rivage voisin sont indiquées dans le tableau 1.3.2-4. Nous utilisons les valeurs moyennes des hauteurs et directions de lames au front de la bouche du port pour l'étude sur le calme indiquées dans les tableaux 1.3.2-2 et 1.3.2-3.

Tableau 1.3.2-2 Hauteurs des lames arrivant à la bouche du port lors des lames à limite de sortie en mer (Voir la figure 1.3.2-3 pour les points extraits).

Hauteur de lames d'incidence	Hauteurs de lames arrivant (m)					En moyenne
N	0.68	0.70	0.77	0.82	0.86	0.77
NNE	0.89	0.87	0.97	1.02	1.05	0.96
NE	1.03	0.97	1.04	1.07	1.08	1.04

Tableau 1.3.2-3 Directions des lames arrivant à la bouche du port lors des lames à limite de sortie en mer (Voir la figure 1.3.2-3 pour les points extraits).

Hauteur de lames d'incidence	Direction de lames (Angle à partir de N dans le sens des aiguilles d'une montre : degré)					En moyenne
N	62	42	31	26	24	37.0
NNE	68	49	37	33	31	43.6
NE	73	57	47	44	43	52.8

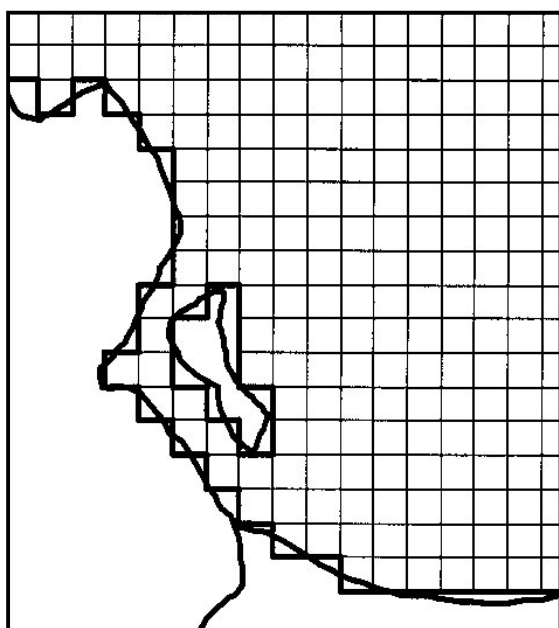


Figure 1.3.2-3 Points de relevé des caractéristiques des houles à la bouche du port

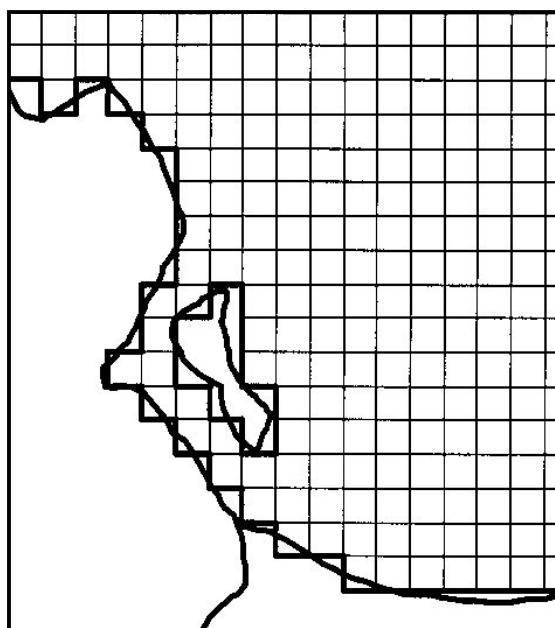


Figure 1.3.2-4 Points de relevé des caractéristiques des houles près de la ligne de rivage

Tableau 1.3.2-4 Directions de lames arrivant au rivage voisin lors de lames à limite de sortie en mer (Voir la figure 1.3.2-4 pour les points extraits)

Direction de lames d'incidence	Hauteurs de lames arrivant (m)								En moyenne
N	0.20	0.36	0.60	0.50	0.47	0.43	0.38	0.40	0.42
NNE	0.25	0.40	0.73	0.58	0.53	0.49	0.45	0.46	0.49
NE	0.28	0.42	0.75	0.59	0.53	0.50	0.45	0.47	0.50

(3) Etude sur le calme du plan d'eau dans le port du projet

Nous avons analysé le degré du calme dans le port, soit avec le brise-lames ouest, soit sans brise-lames ouest avec les conditions présentées dans le tableau 1.3.2-5. Les figures 1.3.2-5 et 1.3.2-6 présentent le résultat du calcul du calme pour chaque cas. En cas où l'on ne construit pas de brise-lames ouest, la hauteur de lames devient plus de 0,3m lors de l'attaque de lames de nord par rapport aux lames d'est de telle façon que l'état du calme a tendance de se détériorer. C'est-à-dire, les ouvrages portuaires ont un point faible à l'égard des lames d'ouest ou de nord. Par contre, en cas où l'on construit un brise-lames ouest, nous pensons qu'il ne se produit pas de circonstances empêchant les activités de débarquement, malgré que le degré du calme soit un peu détérioré lors de l'attaque de lames de nord.

Tableau 1.3.2-5 Condition d'incidence pour le calcul du calme (Caractéristiques de lames au front de la bouche du port)

Direction de lames au large	Hauteur de lames d'incidence à la bouche du port (m)	Fréquence de lames d'incidence à la bouche du port (sec)	Direction de lames d'incidence à la bouche du port (degré)
N	0.77	4.0	37.0
NNE	0.96	5.0	43.6
NE	1.04	5.0	52.8

La direction de lames d'incidence est l'angle à partir de N dans le sens des aiguilles d'une montre.

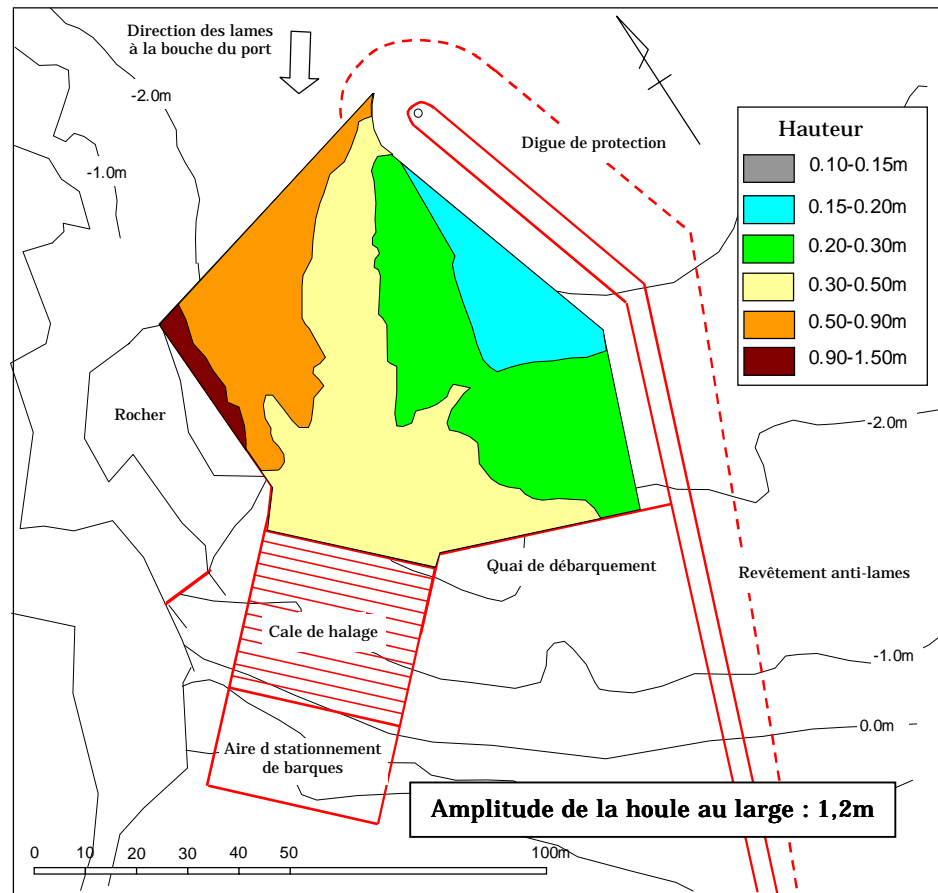


Figure 1.3.2-5(1) synoptique de l'analyse du calme (Sans brise-lames, Direction de la houle du profond=N, Hauteur de lames=0.77m, fréquences=4.0s, Smax=10)

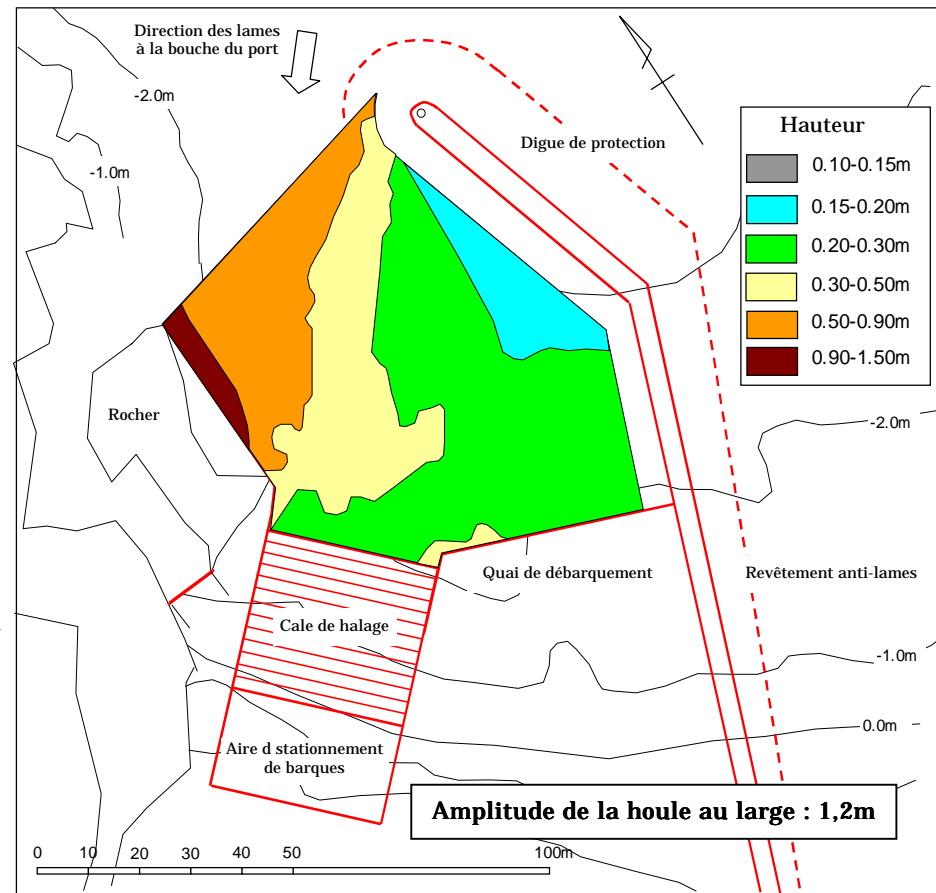


Figure 1.3.2-5(2) synoptique de l'analyse du calme (Sans brise-lames, Direction de la houle du profond=NNE, Hauteur de lames=0.96m, fréquences=5.0s, Smax=25)

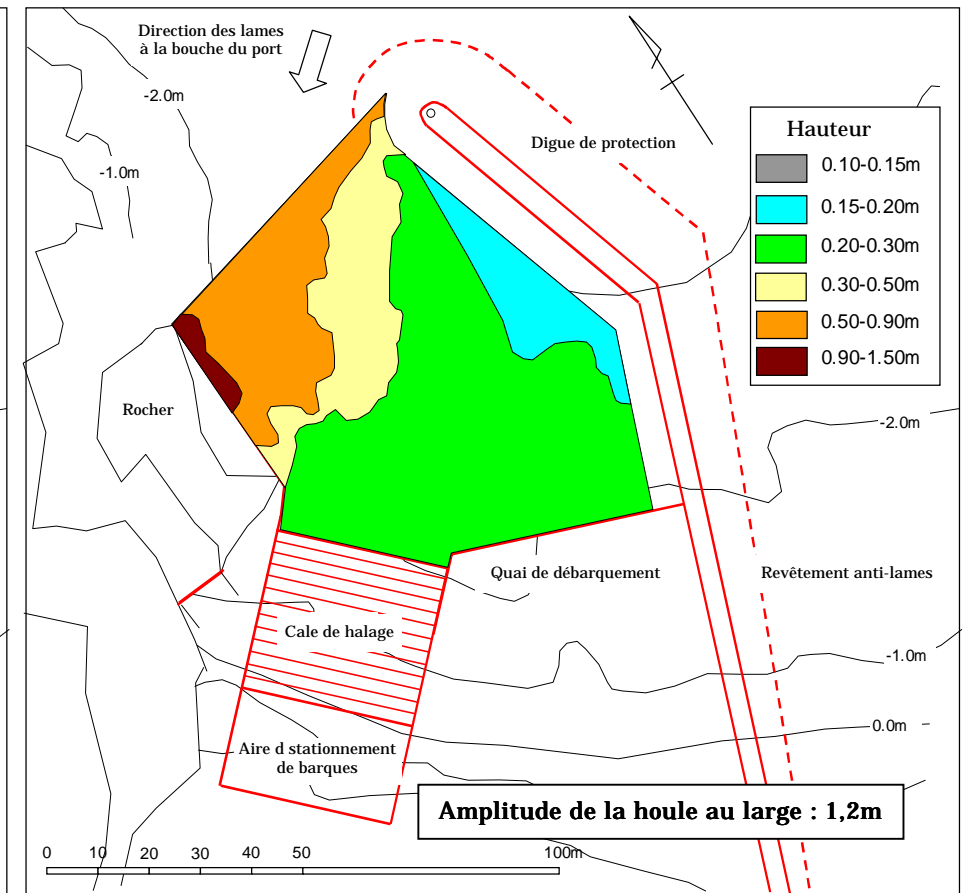


Figure 1.3.2-5(3) synoptique de l'analyse du calme (Sans brise-lames, Direction de la houle du profond=NE, Hauteur de lames=1.04m, fréquences=5.0s, Smax=25)

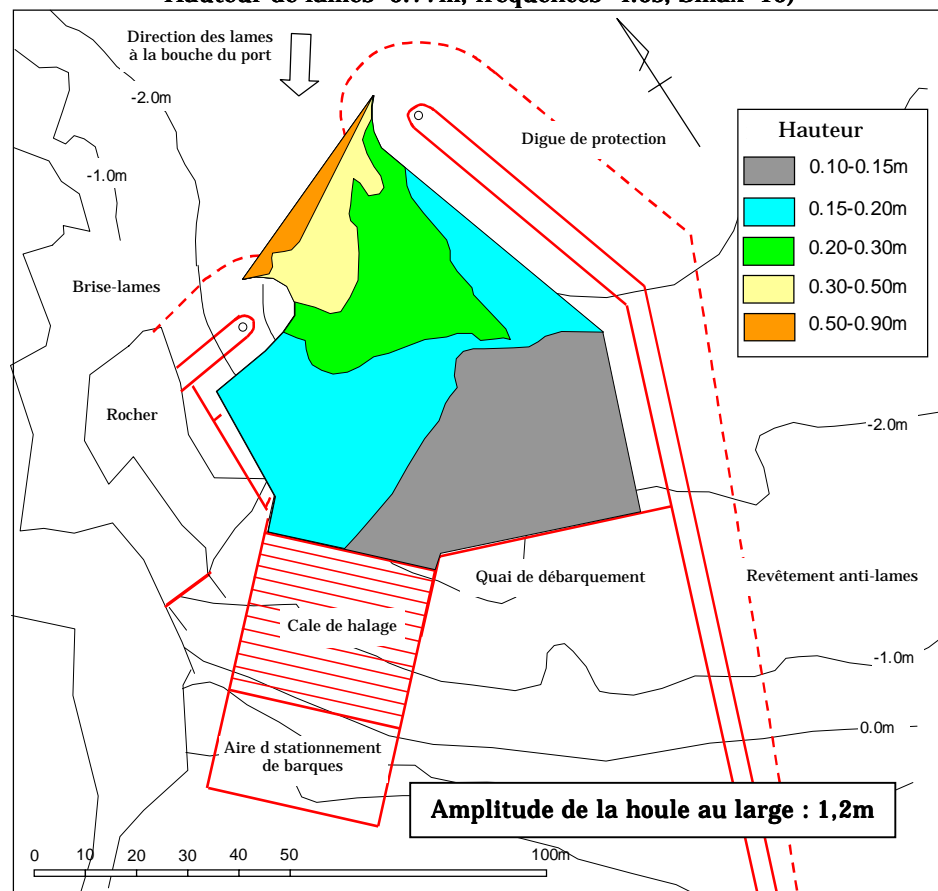


Figure 1.3.2-6(1) synoptique de l'analyse du calme (Brise-lames, Direction de la houle du profond=N, Hauteur de lames=0.77m, fréquences=4.0s, Smax=10)

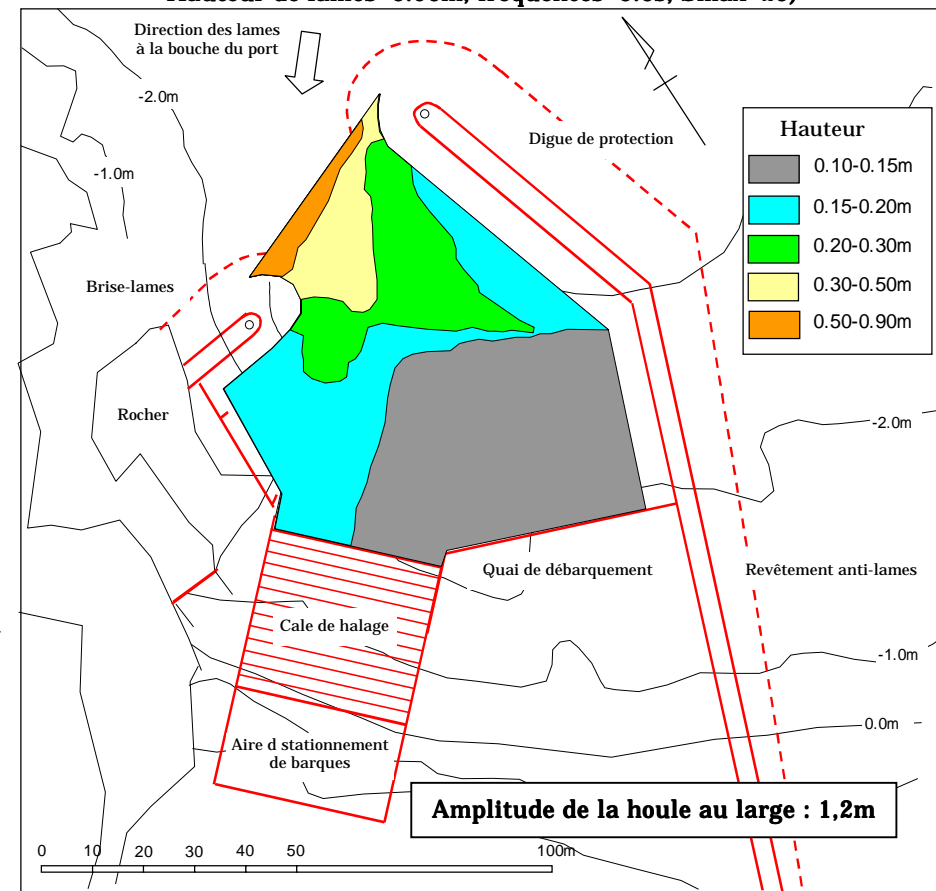


Figure 1.3.2-6(2) synoptique de l'analyse du calme (Brise-lames, Direction de la houle du profond=NNE, Hauteur de lames=0.96m, fréquences=5.0s, Smax=25)

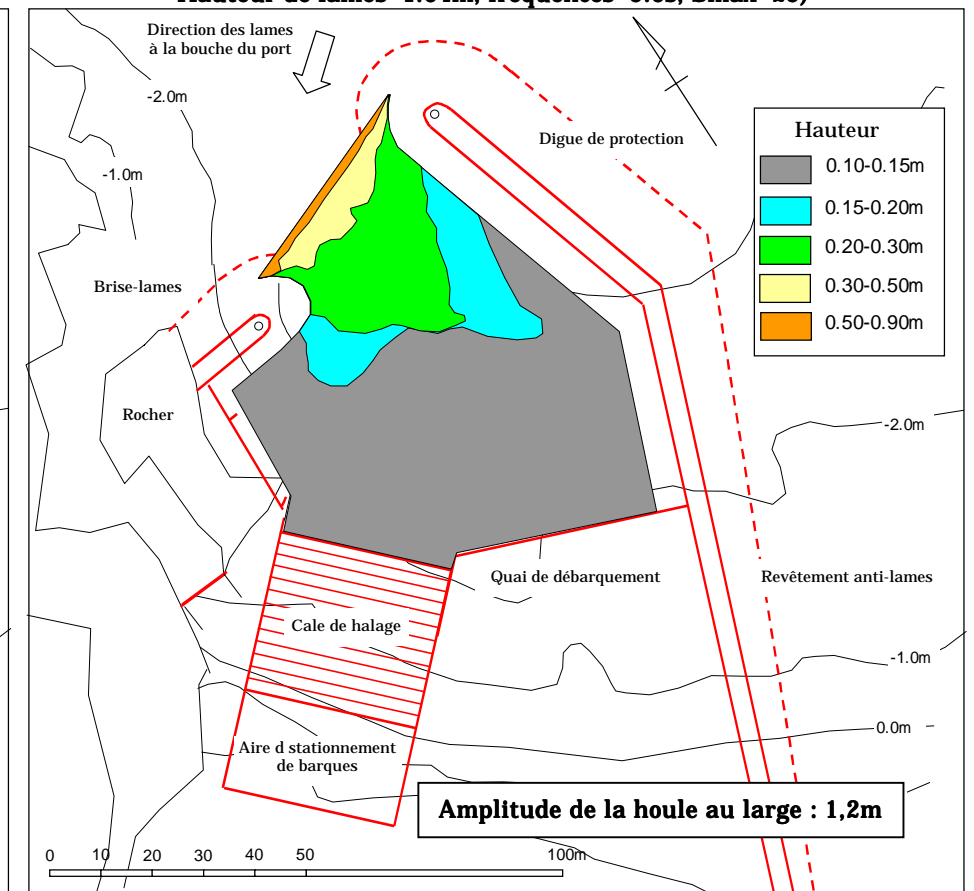


Figure 1.3.2-6(3) synoptique de l'analyse du calme (Brise-lames, Direction de la houle du profond=NE, Hauteur de lames=1.04m, fréquences=5.0s, Smax=25)

1.3.3. Etude sur le calme de l'intérieur du port avec les lames à longue période

Nous avons établi une conception du port à Sidi Hsaine qui sera entouré par les ouvrages portuaires en forme presque close pour diminuer davantage les effets des lames arrivant de l'extérieur du port. Il y a lieu d'examiner les effets néfastes des lames à longue période qui correspond à des périodes propres du port. Car, s'il y a des lames ayant la même longueur de période que celle propre du port, elles se reflètent à maintes reprises dans le port, ce qui provoque des perturbations dans le port. Il est à craindre qu'il se provoque des perturbations par les lames nées en Méditerranée en arrivant au port, si elles ont des composants à longue période ayant la même longueur de période que celle propre du port. Et nous avons calculé la hauteur des lames par les lames à longue période dans le port pour examiner ses effets. Pour ce faire, nous avons adopté la méthode de calcul de l'équation de petite cambrure avec des lames régulières ainsi que la méthode des éléments finis comme méthode de calcul numérique. Nous avons utilisé N (nord) et NE (nord est) comme direction des lames d'incidence. Aussi nous avons choisi une période avec laquelle il se provoque d'importantes perturbations, estimée par le calcul d'essai. Nous avons donc trouvé qu'avec une période de 55 secondes il se produit de grandes différences des hauteurs dans le port grâce à la forme du port.

Nous avons examiné pour les deux cas de la constitution du mur de quai, à savoir, cas de tous les quais avec les côtés droits dans le port, cas des quais ayant la construction de dissipation de vagues (c'est le cas du présent projet). Les figures 1.3.3-1 et 1.3.3-2 présentent respectivement les résultats. Dans le cas de , c'est-à-dire avec les quais de la constitution de dissipation de vagues, le résultat du calcul montre que le phénomène de résonance se traduit par l'agrandissement de la hauteur des lames à longue période qui est environ deux fois plus grande que celle à l'extérieur du port. Si on présume que la hauteur des lames à cette longueur de période est d'environ 10 % de celle des lames au large, il peut se produire des lames de la hauteur d'environ 1,3 m ($6,6\text{m} \times 0,1 \times 2,0 = 1,3\text{m}$) au fond du port en cas de la lame de projet de 6,6m. La hauteur des lames à long période étant de quelques cm sauf lors du gros temps, on peut estimer que la résonance est moins de 10 cm lors de l'utilisation normale du port. D'ailleurs, compte tenu du résultat de cette étude outre le résultat de l'analyse du calme avec les lames à une période de 4 à 5 secondes faite dans l'article 1.3.2, on peut estimer qu'elle sera au maximum d'environ 0,3m.