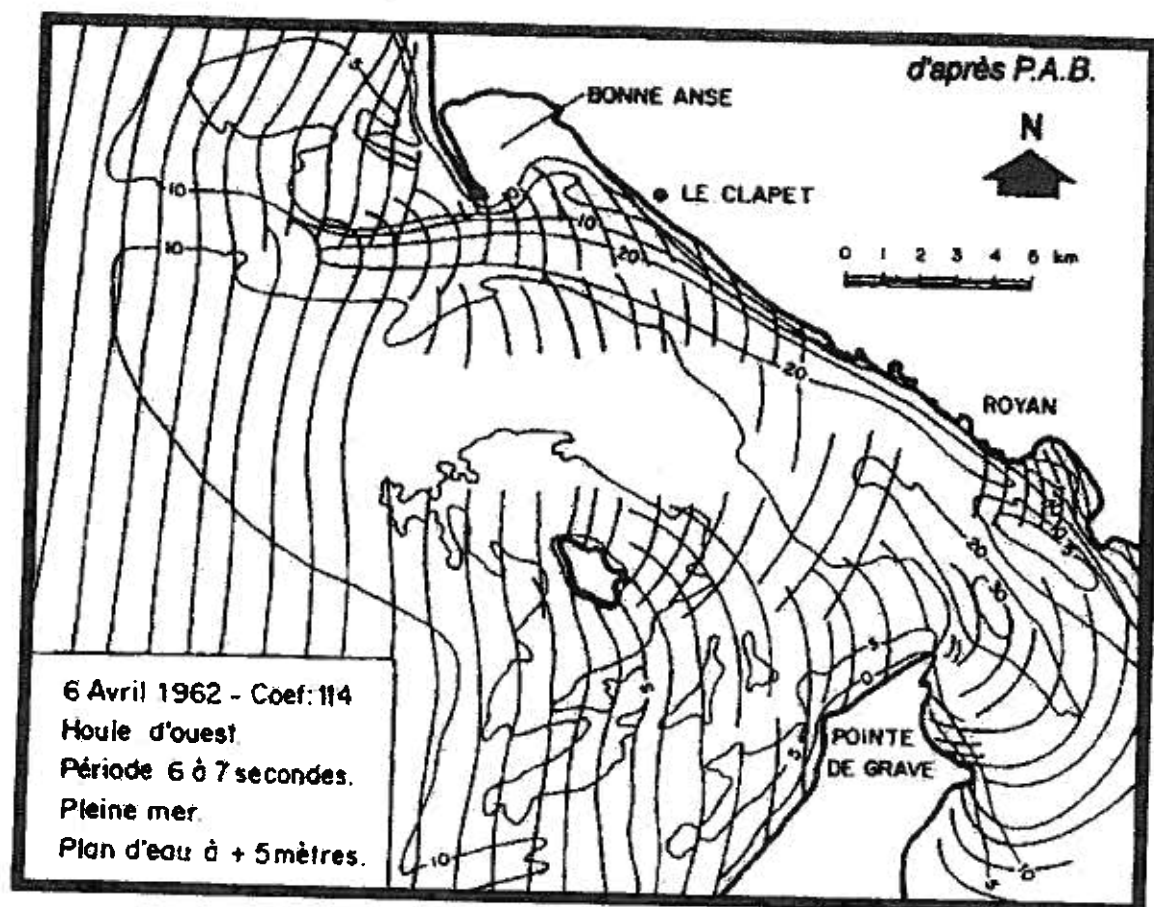
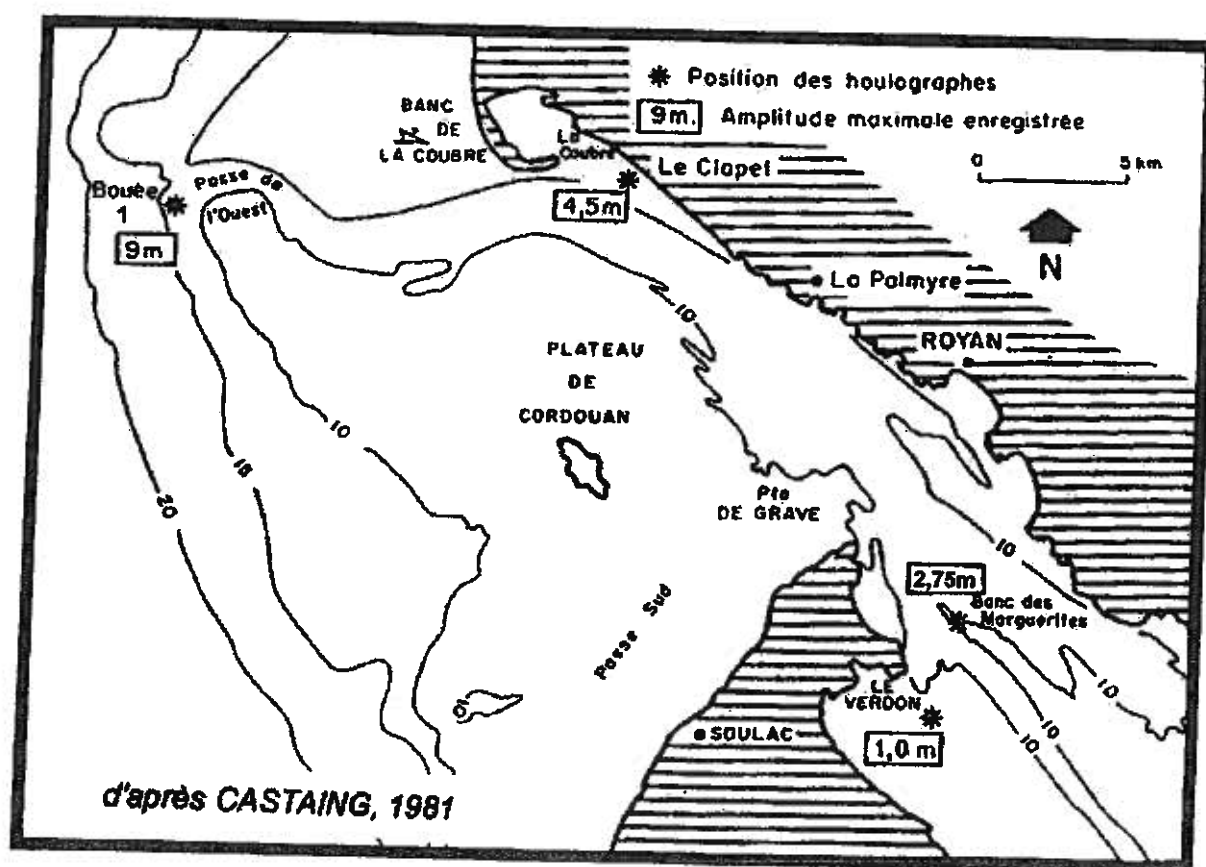


HOULES A L'EMBOUCHURE DE LA GIRONDE

A



B



Agitation du plan d'eau

1 .La houle

Outre la marée, la houle entraîne des mouvements ondulatoires de la mer dont l'étude est fondamentale notamment pour les travaux maritimes et l'exploitation d'ouvrages portuaires.

L'agitation du plan d'eau de l'embouchure de la Gironde provoquée par la propagation des houles océaniques vers les cotes doit être prise en compte en particulier pour la définition des modalités de chenalage des navires et pour l'étude de la dynamique sédimentaire.

Au cours de l'exposé ci-après, sont présentées les caractéristiques de la houle (amplitudes, périodes) pour différentes stations d'observation (entrée passe de l'Ouest, La Coubre, Passe Sud, Le Verdon, entrée de l'estuaire), les modalités de propagation de la houle dans l'embouchure de la Gironde et les courants générés par la houle.

1.1. Caractéristiques de la houle

a) Entrée passe de l'Ouest

Les caractéristiques de la houle au large immédiat de la passe de l'Ouest ont été déterminées suite à des enregistrements réalisés entre 1959 et 1964 puis entre 1974 et 1980 à l'aide de houlographes mis en place par le Port autonome de Bordeaux près de la bouée n°1.

La corrélation entre hauteurs et périodes maximales est donnée sur le tableau ci-après :

CORRELATION HAUTEURS - PERIODES MAXIMALES

T (s)	HAUTEURS MAXIMALES (M)														Total
	0	0.8	1.6	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4	7.2	8	8.8	9.6	10.4	
23								0,06							0,06
22									0,03						0,03
21		0,12								0,04					0,16
20		0,12			0,21					0,04					0,37
19		0,11	0,12		0,02	0,14				0,02					0,41
18		0,25	0,04	0,17	0,37	0,18	0,02		0,02						1,05
17		0,12	0,10	0,15	0,61	0,28	0,06	0,11	0,14			0,02			1,59
16	0,12	0,50	0,42	0,67	0,62	0,48	0,58	0,18	0,18	0,14		0,02	0,02		3,93
15	0,50	1,95	0,81	1,15	1,15	1,14	0,93	0,47	0,52	0,06	0,25				8,93
14	0,75	2,80	2,68	1,73	1,36	1,35	0,67	0,27	0,25	0,25	0,08				12,19
13	1,25	2,72	3,84	3,10	2,73	1,86	1,22	0,45	0,11	0,37		0,12			17,77
12	0,62	2,98	2,88	1,96	1,80	1,08	0,70	0,08	0,50	0,12					12,72
11	1,49	3,82	4,73	2,71	2,14	0,72	0,54	0,31	0,02						16,48
10	0,62	1,90	1,64	1,55	1,08	0,70	0,29	0,08	0,12		0,12				8,10
09	0,62	1,24	1,48	0,50	0,75	0,30	0,09	0,17	0,04						5,19
08	0,74	0,37	0,80	0,56	0,37	0,28	0,02	0,06							3,20
07	0,53	2,54	1,36	0,62	0,30	0,12	0,02								5,49
06	0,12	0,12	0,96	0,02											1,22
05	0,12	0,50	0,37	0,12											1,11
04															
TOTAL	7,48	22,16	22,23	15,01	13,51	8,63	5,14	2,24	1,93	1,04	0,45	0,16	0,02		100

D'après les séquences d'observation, la période de calme ($H_{\max} < 0,25 \text{ m}$) représente 0,5 % du temps soit moins de 2 jours par an.

Pour la période d'observation, on relève en particulier les valeurs suivantes pour les hauteurs [$H_{\max}$; $H_{1/3}$ (hauteur significative : hauteur moyenne du tiers supérieur des hauteurs) ; $\bar{H}$ (hauteur moyenne : moyenne géométrique des amplitudes)] et les périodes maximales pour différentes fréquences :

Fréquence (%)	Hauteurs (m)			Période (s)
	Max	H 1/3	Moy	
1	$\geq 7,6$	$\geq 4,50$	$\geq 3,00$	≥ 18
5	$\geq 6,0$	$\geq 3,55$	$\geq 2,30$	≥ 16
10	$\geq 5,0$	$\geq 2,95$	$\geq 1,95$	≥ 15
25	$\geq 3,7$	$\geq 2,20$	$\geq 1,45$	$\geq 13,5$
50	$\geq 2,50$	$\geq 1,40$	$\geq 0,90$	$\geq 11,5$
75	$\geq 1,45$	$\geq 0,85$	$\geq 0,60$	$\geq 10,5$
90	$\geq 0,90$	$\geq 0,50$	$\geq 0,35$	$\geq 9,5$
95	$\geq 0,50$	$\geq 0,30$	$\geq 0,20$	$\geq 8,5$
99	$\geq 0,30$	$\geq 0,20$	$\geq 0,10$	≥ 7

Les probabilités d'occurrence de fortes hauteurs de houle évaluées après traitement statistique des données relevées à l'entrée de la passe de l'Ouest sont reportées dans le tableau ci-après sur lequel sont indiquées des données analogues établies pour le grand large dans le Golfe de Gascogne par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France.

Probabilité d'occurrence	Entrée passe de l'Ouest		Golfe de Gascogne	
	H max (m)	H 1/3 (m)	H max (m)	H 1/3 (m)
30 jours / an	5,1	3,2	5,7	4,1
5 jours / an	6,5	4,3	7,5	5,5
1 jour / an	8,4	5,8	9,5	6,9
1 jour / 10 ans	11,0	7,2	12,5	9,1
1 jour / 20 ans	11,8	7,6	16,0	10,2
1 jour / 100 ans	13,6	8,4	17,0	11,0

En résumé, on retiendra qu'à l'entrée de la passe de l'Ouest :

- au cours d'une durée équivalente à la moitié de l'année, l'agitation du plan d'eau se traduit par des hauteurs de houle supérieures ou égales à 2,50 m ($H_{\max}$) ; 1,40 m ($H_{1/3}$) et 0,90 ($\bar{H}$),
- pendant un temps d'application équivalent à 1 mois, $H_{\max}$ est $\geq 5,10 \text{ m}$ et $H_{1/3}$ est $\geq 3,20 \text{ m}$,
- les houles annuelles, décennales et centennales se caractérisent respectivement par des hauteurs maximales de 8,4 m ; 11,0 m et 13,6 m et par des hauteurs significatives de 5,8 m ; 7,2 m et 8,4 m.

Pour les différentes hauteurs maximales évoquées ci-avant, les périodes et les longueurs d'onde sont les suivantes :

H max (m)	Période (s)	Longueur d'onde (m)
2,50	10	120
5,10	13	165
8,40	16	210
11,00	18	240
13,60	20	270

On note également qu'à l'entrée de la passe de l'Ouest, les amplitudes sont moins élevées que dans le Golfe de Gascogne par suite d'un début d'amortissement des houles océaniques dans une zone où les fonds se relèvent.

Les périodes sont en général comprises entre 9 et 15 s. En hiver, les périodes longues (12 à 15 s) prédominent ; en été les périodes sont le plus souvent comprises entre 7 et 9 s.

La provenance des houles, déduite notamment d'observations effectuées par le service du pilotage de la Gironde, s'établit comme suit :

- Nord-Ouest : 2,5 %,
- Ouest-Nord-Ouest : 24 %,
- Ouest : 71 %,
- Ouest-Sud-Ouest : 2 %,
- Sud-Ouest à Sud : 0,5 %.

b) La Coubre

Selon les observations effectuées en 1972 par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France, au droit du littoral La Coubre - Saint-Palais, les hauteurs de houle, sont atténuées par rapport à celles relevées au large (à l'entrée de la passe de l'Ouest).

Les moyennes calculées sont les suivantes :

$$H_c \text{ max} = 0,52 H_o \text{ max.} ; \quad \overline{H_c} = 0,38 \overline{H_o}$$

H_o : hauteur à l'entrée de la passe de l'Ouest ;

H_c : hauteur au droit du rivage La Coubre - Saint-Palais.

L'atténuation de la houle dans le secteur de La Coubre résulte d'un amortissement par réfraction sur le fond au cours de sa propagation dans l'embouchure de la Gironde (cf. 5.4.1.2.)

c) Passe Sud

Le mouillage d'une bouée de houle dans la passe Sud au large de Soulac entre le 30 novembre 1983 et le 18 avril 1984 a permis de préciser les caractéristiques de la houle en période hivernale dans ce secteur. L'amplitude maximale (relevée en janvier 1984) est de 5,50 m.

Les fréquences des amplitudes significatives et maximales permettant d'établir les durées d'application de régimes de houle sont les suivantes :

% de temps	H 1/3	H max
5 %	≥ 2,70 m	≥ 4,65 m
20 %	≥ 1,90 m	≥ 3,25 m
50 %	≥ 1,10 m	≥ 1,90 m
25 %	< 0,40 m	< 0,70 m

Pour la période d'observation (hiver 1983 - 1984), on notera que pendant 50 % du temps, la hauteur maximale de la houle est égale ou supérieure à environ 2 m et la hauteur significative est égale ou supérieure à 1,10 m.

L'analyse des fréquences des périodes montre que pendant 50 % du temps les houles ont une période supérieure ou égale à 8,5 s.

La fréquence des périodes supérieures ou égales à 12 s est égale à 10 %.

d) Entrée de l'estuaire

Des enregistrements effectués à l'entrée de l'estuaire de la Gironde, à l'aval du banc des Marguerites entre décembre 1973 et janvier 1975 ont conduit aux résultats suivants (nombre de jours où l'agitation est supérieure à une hauteur donnée) :

	Dec 1973	Janv 1974	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc 1974	Janv 1975	Nb total de jours	%
Nombre de jours d'observation	13	31	21	7	6	31	30	31	25	0	19	26	9	21	270	
Nombre de jours où H est																
≥ 0,5 m	12	31	20	5	4	22	16	11	0	-	17	23	8	20	189	70
≥ 1,0 m	5	26	16	5	0	5	4	0	0	-	7	11	0	15	94	34,8
≥ 1,5 m	4	4	4	2	0	1	0	0	0	-	3	2	0	6	26	9,6
≥ 2,0 m	1	1	0	1	0	0	0	0	0	-	1	0	0	3	7	2,6
≥ 2,5 m	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	0,37
≥ 3,0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	

Il convient de noter que l'agitation mesurée dans ce secteur provient d'une part de la propagation jusqu'à l'entrée de l'estuaire des houles du large et d'autre part de clapots levés par les vents locaux.

Selon l'analyse du régime des vents au Verdon et de la houle au large (vents et houle) qui ont régné au cours de la période d'observation, il a pu être établi que :

- les hauteurs d'agitation supérieures ou égales à environ 1,50 m sont dues essentiellement à la pénétration de la houle à l'aval de l'estuaire (hauteur maximale observée de l'ordre de 2,50 m),
- l'agitation observée de mai à octobre avec des amplitudes supérieures à 1,00 m voire à 1,50 m correspond principalement à des clapots.

Un traitement statistique des données a permis de déterminer les probabilités d'occurrence de fortes hauteurs de houle :

Probabilité d'occurrence	H max (m)	H 1/3 (m)
30 jours / an	1,60	1,00
5 jours / an	2,15	1,35
1 jour / an	2,75	1,70
1 jour / 10 ans	3,50	2,20

e) Port du Verdon

Des mesures d'agitation du plan d'eau du Port du Verdon ont été réalisées par le Port autonome de Bordeaux au droit du terminal conteneurs par la mise en place de houlographes entre mars 1974 et février 1979.

L'agitation du plan d'eau portuaire du Verdon est également dûe soit à la pénétration de la houle soit à des clapots.

Selon une démarche similaire entreprise pour les observations effectuées à l'entrée de l'estuaire (prise en compte du régime des vents au Verdon et de la houle au large), il apparaît que l'agitation la plus marquée est entraînée par des clapots levés notamment par des vents provenant du Sud-Est, origine qui confère au vent un "fetch" important (de l'ordre de 20 à 25 km). Les hauteurs mesurées de clapots s'échelonnent entre 0,50 m et 1,50 m alors que celles de la houle sont comprises en général entre 0,80 m et 1,00 m.

Un traitement statistique des données a permis de définir des hauteurs de houle et de clapot associées à des probabilités d'occurrence :

Probabilité d'occurrence	Houle		Clapot	
	H max (m)	H 1/3 (m)	H max (m)	H 1/3 (m)
30 jours / an	0,50	0,30	0,75	0,45
5 jours / an	0,70	0,45	1,20	0,75
1 jour / an	1,00	0,60	1,50	0,95
1 jour / 10 ans	1,40	0,85	1,90	1,20

1.2. Propagation de la houle dans l'embouchure de la Gironde

Les tracés des crêtes de houle établis d'après des photographies aériennes (**Figure 80/A**) illustrent la propagation de la houle dans l'embouchure de la Gironde depuis le large jusqu'à l'entrée de l'estuaire. La situation présentée est représentative de ce processus en raison de la provenance de la houle (Ouest) et de la cote du plan d'eau alors élevée (+5 m) ce qui favorise la propagation de la houle.

Au cours de cette propagation, la réfraction sur le fond sur les bancs sableux (bancs de La Mauvaise et de La Coubre au Nord du chenal de navigation ; banc de Montrevel au Sud du chenal, banc du Matelier, bancs des Olives, du Chevrier et du Gros Terrier entre Cordouan et le littoral du Médoc, Platin de Grave) et dans les faibles profondeurs autour de l'îlot de Cordouan entraîne un amortissement important de la houle.

Cet amortissement est traduit par exemple par la diminution de la hauteur maximale annuelle (**Figure 80/B**) : environ 9 m à l'entrée de la passe de l'Ouest, 4,50 m dans le secteur de La Coubre, 2,75 m à l'aval du banc des Marguerites et 1,00 m au Verdon.

La propagation de la houle dans l'embouchure de la Gironde s'accompagne également de modification d'orientation des crêtes de houle notamment entre Cordouan et le littoral de Grave et au niveau de la Pointe de Grave. Dans ce dernier secteur, la houle diffractée pénètre dans l'estuaire avec des lignes de crêtes convexes vers l'amont.

On notera également l'incidence des trains de houle sur la côte sauvage et sur le littoral de Grave, incidence à l'origine d'un transport sédimentaire littoral.