



Commune de Ste Maxime

Boulevard des Mimosas
83120 SAINTE MAXIME

Note de calcul : justification technique ponton lourd plage de la Nartelle

Septembre 2018 – Indice D



DIAGNOSTIC DU LITTORAL DE SAINTE MAXIME PUIS ETUDE ET PRODUCTION D'UN PROJET D'AMENAGEMENT DU LITTORAL

Maîtrise d'œuvre			
Mandataire		Cotraitants	
Bureau d'études ICTP 90 avenue Notre Dame 06700 ST-LAURENT DU VAR 	Lotissement Attaoufik Zénith II. Sidi Maarouf 20001 CASABLANCA - Maroc 	SARL Allain CHAUVET 4 rue Joseph Quaranta 83990 ST-TROPEZ 	
Sous-traitants			
SCUBA Marine 	SEMANTIC 	Rémy MATTIOLI – Architecte DPLG 	SDP Conseils 
N° 16/02 – NDC Ponton lourd Nartelle – Indice D			

SOMMAIRE

1. Préambule	3
2. Rappel des conditions hydrodynamiques	3
2.1 Climatologie de houle	3
2.2 Niveaux d'eau	4
3. Efforts sur pieux	5
3.1 Description de la formule	5
3.2 Application au site de la Nartelle	6
4. Calculs de hauteur de platelage du ponton	7
4.1 Méthodologie	7
4.2 Résultats	7
5. Synthèse et recommandations	9
6. Références bibliographiques	9

TABLES DES FIGURES ET TABLEAUXFigures

<i>Figure 1 : Houle centennale de secteur Est [090°N ; Hs large : 6,64m ; Tp : 10,8s ; niveau d'eau : +1,2m IGN69]- ICTP, 2017</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2 : Principe d'efforts de houle sur un pieu fiché au fond de l'eau (CETMEF, 1986)</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3 : Coupe type transversale du ponton lourd central prévu Plage de la Nartelle</i>	<i>6</i>

Tableaux

<i>Tableau 1: Résultats du modèle d'approche sur le secteur de la Nartelle nord (ICTP, 2017)</i>	<i>3</i>
<i>Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes (CETMEF, 2013)</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 3 : Récapitulatif des efforts sur pieux (Formule de Morison) pour des conditions variables de houle (anticipées en saison d'exploitation) et de diamètre de pieux</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 4 : Evaluation de la hauteur du platelage de la ponton (dimensionnement pour dégâts minimum)</i>	<i>8</i>

1. PREAMBULE

Dans le cadre du projet d'aménagement de la plage de la Nartelle, l'implantation d'un ponton lourd destiné à l'embarquement/débarquement de navettes est prévu. Du fait de son orientation plein Est, la plage de la Nartelle est sujette à des conditions hydrodynamiques relativement élevées et le ponton sera soumis à des efforts de houle importants.

Les paragraphes ci-dessous présentent les éléments suivants qui seront utilisés dans la phase PRO :

- Résumé des conditions de houle au droit de la zone d'implantation du futur ponton
- Détermination de la hauteur théorique de platelage (recommandations)
- Détermination des efforts hydrodynamiques (efforts de la houle sur les pieux)

Les calculs ci-dessous présentent une méthodologie et les calculs pour la hauteur de la partie la plus basse du platelage du ponton et reprend des éléments des rapports de modélisation et d'avant-projet (ICTP, 2017). Les calculs sont réalisés pour des niveaux d'eau extrêmes (surcote) ainsi que conditions de houle pour une période de retour trentennale.

2. RAPPEL DES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

2.1 Climatologie de houle

Les conditions de houle pour les secteurs directionnels du NNE au SSE ainsi que différentes périodes de retour ont été déterminées dans une phase antérieure du projet (ICTP, 2017), et sont reprises dans le Tableau 1: Résultats du modèle d'approche sur le secteur de la Nartelle nord (ICTP, 2017)

. Le rapport AVP a mis en avant :

- Le secteur le plus pénalisant est le secteur Est (090°N) ;
- Les valeurs de houle à la côte varient entre 2,0m et 3,8m pour des conditions annuelles et cinquantennale, respectivement. Les valeurs de houle trentennale (**T30**) extrapolées retournent une valeur de $H_s \text{ côte} = 3,4\text{m}$.

La propagation d'une houle centennale d'Est, illustrée dans la Figure 1 montre clairement que la houle impacte le secteur de la Nartelle avec faible amortissement.

Incidence	Période de retour	H_s, large [m]	T_p, large [s]	H_s, côte [m]	T_p, côte [s]	C_a [-]	θ - Angle d'incidence [°N]	Z [IGN69]
Est (090°N)	1 an	2,7	7,2	2,0	7,2	0,75	88	-5,9m
	10 ans	4,4	8,7	3,1	8,7	0,70	86	-5,9m
	30 ans*	5,2	9,4	3,4	9,4	0,70	86	-5,9m
	50 ans	6,0	10,1	3,8	10,1	0,64	85	-5,9m
	100 ans	6,6	10,8	4,2	10,8	0,63	85	-5,9m

Tableau 1: Résultats du modèle d'approche sur le secteur de la Nartelle nord (ICTP, 2017)

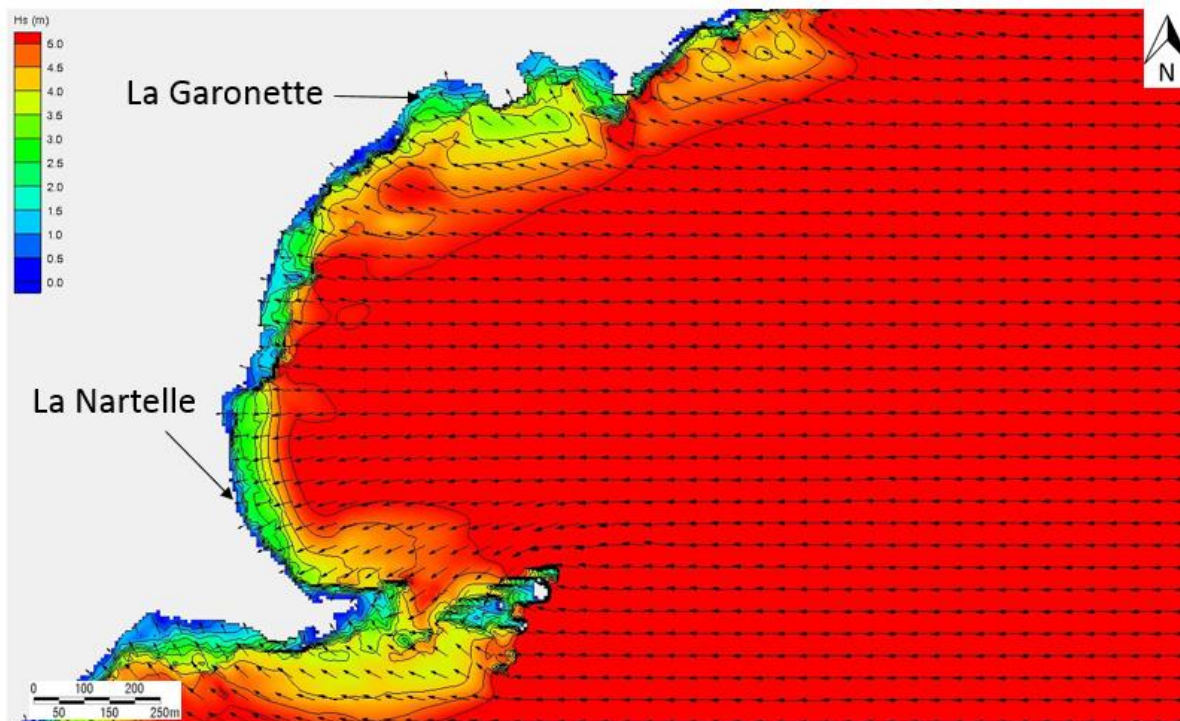


Figure 1 : Houle centennale de secteur Est [090°N ; H_s large : 6,64m ; T_p : 10,8s ; niveau d'eau : +1,2m IGN69]- ICTP, 2017

2.2 Niveaux d'eau

Le dimensionnement de la hauteur du ponton prendra en compte un niveau extrême correspondant à une période de retour trentennale.

Période de retour	Niveau d'eau (m, IGN69)
1 an	0.6
10 ans	0.8
30 ans	0,9
50 ans	1.0
100 ans	1.2

Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes (CETMEF, 2013)

3. EFFORTS SUR PIEUX

3.1 Description de la formule

Les efforts sur les pieux ont été à l'origine déterminés à l'aide de la formule classique de Morison (1950), qui calcule les forces de trainée et d'inertie. De nombreuses recherches ont porté sur ce sujet mais le plus souvent dans le but de dimensionner les plateformes pétrolières et donc le problème n'est pas le même car elles sont situées en eau profonde et le diamètre des pieux est beaucoup plus important. D'une manière générale, les efforts sur des pieux sont illustrés dans la Figure 2.

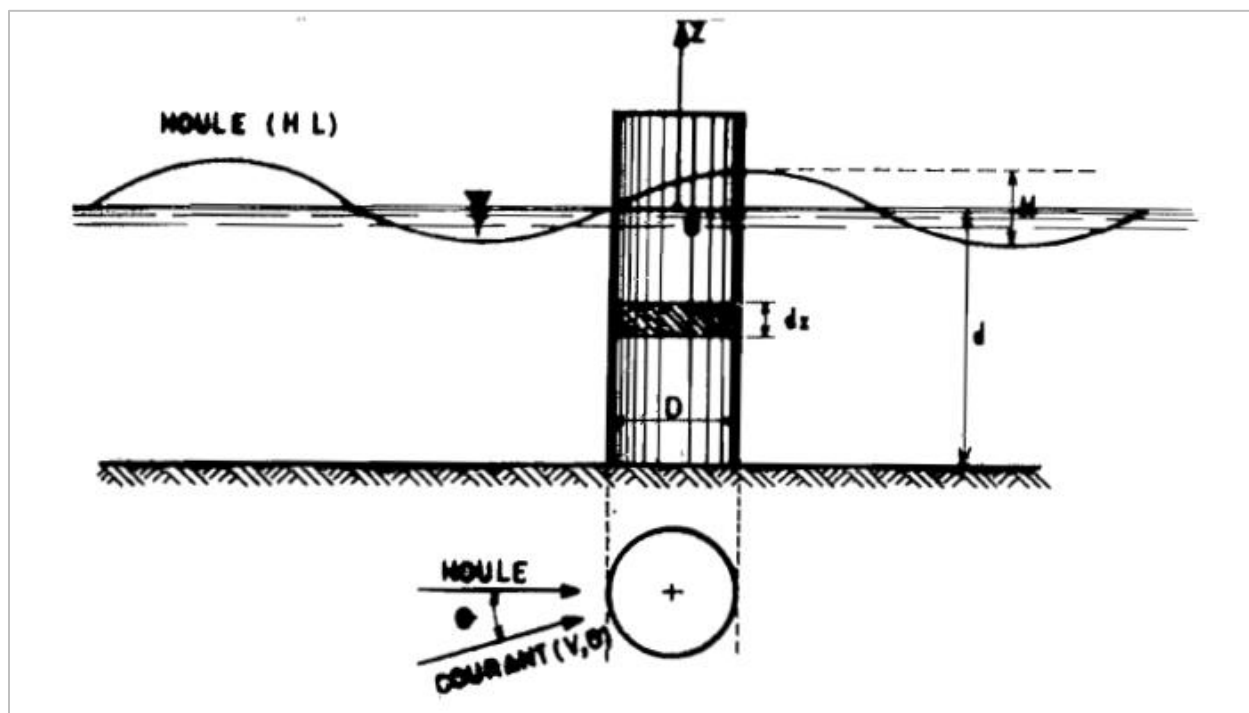


Figure 2 : Principe d'efforts de houle sur un pieu fiché au fond de l'eau (CETMEF, 1986)

La formule de Morison est décrite ci-dessous :

$$F(t) = F_D \cos^2 \omega t + F_I \sin \omega t = F_I [A \cos^2 \omega t - \sin \omega t]$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho g D H^2 K_D$$

$$F_I = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_I$$

Où K_D et K_I sont des coefficients ne dépendant que de la profondeur relative k_d

$$K_D = \frac{1}{8} \left(1 + \frac{2 k d}{\text{sh } k d} \right)$$

$$K_T = \frac{1}{2} \text{th } k d$$

3.2 Application au site de la Nartelle

Initialement, le projet consiste à mettre en place un ponton à l'année (voir Figure 3).

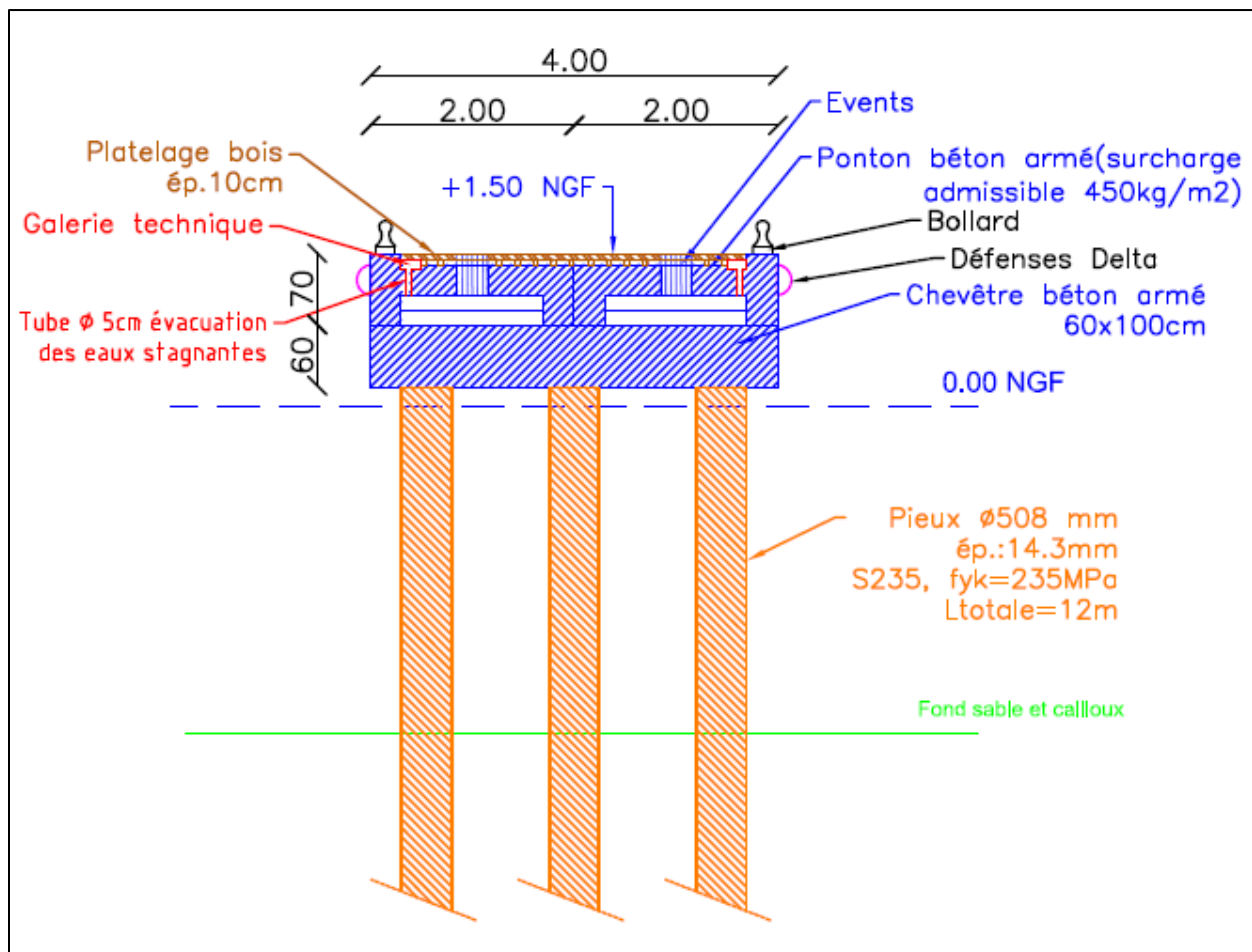


Figure 3 : Coupe type transversale du ponton lourd central prévu Plage de la Nartelle

Pour les calculs d'efforts sur les pieux, il est important de déterminer si la houle est déferlante ou non ; dans le cas d'une période de retour annuelle ($H_s = 2,0\text{m}$) la houle n'aura pas déferlé au droit du Ponton – dans des fonds d'environ -3m NGF. Une sensibilité aux conditions de houle (T1 et T30) ainsi qu'à l'épaisseur des pieux ($-0,5\text{m}$ et $0,6\text{m}$) est réalisée.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Calculs selon la théorie de houle linéaire et non-linéaire ;
- Action du courant non prise en compte ;
- Pieux de grand diamètre ($D=0,5\text{m}$ à $0,6\text{m}$) ;
- Houle non-déferlante.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 3. Les valeurs de force totale (trainée + inertie) varient entre **3 et 17 KN**. D'une manière générale, les efforts calculés par la méthode non linéaire sont plus élevés que ceux calculés avec la méthode linéaire. Plus les conditions de houle sont énergétiques (période et hauteur plus élevées), plus les efforts augmentent. Les efforts sont également plus importants pour des pieux plus épais.

Tableau 3 : Récapitulatif des efforts sur pieux (Formule de Morison) pour des conditions variables de houle (anticipées en saison d'exploitation) et de diamètre de pieux

	T1 ($H_s=2m$; $T_p=7,2s$)		T30 ($H_s= 3,4m$; $T_p=9,4s$)	
Diamètre Pieux (m)	0,5	0,6	0,5	0,6
Force Tot. Linéaire (KN)	2,7	3,4	7,1	8,7
Force Tot. Non linéaire (KN)	3,7	4,6	13,1	16,7

4. CALCULS DE HAUTEUR DE PLATELAGE DU PONTON

4.1 Méthodologie

Pour dimensionner la hauteur minimum du platelage du ponton, l'élévation maximale de la surface libre pour une période de retour donnée doit être déterminée. Cette dernière est basée sur :

- Les niveaux d'eau incluant la surcote. Les valeurs issues du guide du CETMEF (2013) sont utilisés ;
- La hauteur de houle maximum (H_{max}) pour les conditions de période de retour cinquantennale ; H_{max} étant calculée de manière conservatrice en multipliant la hauteur de houle par deux (Goda, 2010) ;
- La non-linéarité des vagues. La crête des vagues non-linéaires est plus haute que le creux. La hauteur maximale est donc multipliée par un facteur de 0,6 afin d'obtenir une hauteur de crête au-dessus de la surface libre. Il s'agit d'une hypothèse conservatrice. Dans un stade futur, ces valeurs pourront être affinées en appliquant la théorie de houle linéaire.

Afin d'éviter des forces d'impact (impact de houle) le platelage, l'élévation de celui-ci doit être situé au minimum au-dessus du niveau d'eau de dimensionnement ajoutée à la hauteur de crête de houle de dimensionnement. De plus, il est fréquent dans le domaine du génie maritime de rajouter un « air gap » de 1 à 1,5m (facteur de sécurité). Etant donné que la valeur H_{max} (hypothèse conservatrice) a été choisie, nous ne rajouterons pas de facteur de sécurité supplémentaire.

4.2 Résultats

Les résultats du calcul de la hauteur du platelage pour le ponton (pour limiter les efforts sur le platelage) pour la direction la plus pénalisante (houle d'Est) sont présentés dans le Tableau 4).

Pour les conditions trentennales, la valeur de hauteur significative de houle est de 3,4m. La hauteur maximale est donc $2 \times 3,4m = 6,8m$ (Goda, 2010). La valeur de hauteur de crête correspondante est de $0,6 \times 6,8 = 4,1m$. Donc pour éviter les impacts de houle sur le platelage, celui-ci devrait être situé à environ $1,0m \text{ NGF} + 4,1m = 5,1m \text{ NGF}$.

Dans le cas où l'on veuille éviter les impacts de houle, la hauteur du platelage minimale devra être d'environ **+5,1 m NGF**

Tableau 4 : Evaluation de la hauteur du platelage de la ponton (dimensionnement pour dégâts minimum)

Période de retour (années)	Incidence [°N]	Niveau d'eau [m NGF]	H_{max} [m]	Hauteur platelage [m NGF]
T1	090	+0,6	4,0	3,0
T10	090	+0,8	6,2	4,5
T10	090	+0,9	6,8	5,1
T50	090	+1,0	7,6	5,6

Ce calcul n'est valable que dans le cas où l'on ne souhaiterait aucun effort de houle en sous-surface du ponton qui représenterait plus une jetée. Or cet ouvrage est destiné à accueillir des débarquements ponctuels de bateaux, uniquement par beau temps (conditions favorables). Pour ce faire, il est donc nécessaire que ce dernier soit à une hauteur suffisamment basse pour permettre le débarquement de passagers depuis le bateau. Sachant cela, la hauteur devrait se situer vers +1,50m NGF.

Ce niveau bas du ponton impliquerait plusieurs contraintes :

- a) Lors de tempêtes (plus ou moins importantes), le ponton serait soumis à la houle voire submergé. Son utilisation sera alors très dangereuse (interdiction d'accès à prévoir).
- b) De plus, Les violentes tempêtes engendreraient de fortes sous-pression (1,1 à 2t/m²) qui pourraient alors endommager le ponton si ce dernier présente une structure légère (de type aluminium avec platelage bois).
En effet, certaines lattes du platelage bois pourraient être emportés lors de gros coups de mer et nécessiteraient un entretien/réparation important.
La mise en place de caillebotis à la place du platelage pourrait être envisagée pour réduire encore la sous-pression et les surfaces soumises aux vagues. Cependant l'esthétique serait modifiée les caillebotis devront être réalisés de façon à prévoir des trous/fentes de 2cm maximum d'espacement (réglementation IOP). Leur utilisation reste moins confortable (talons, pieds nus déconseillés).
Ainsi, compte-tenu de ces éléments, il est préconisé que l'appontement soit constitué en béton armé plus résistant dans lequel sera intégré un platelage bois le tout posé sur des pieux fichés dans le sol sableux.
- c) Les structures de type kiosque (guichet) devront être évitées afin de ne pas générer d'effort supplémentaire. L'ensemble du ponton devra être le plus ouvert pour permettre au maximum le passage d'eau et diminuer les efforts de pressions sur celui-ci.

5. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre du dimensionnement du ponton lourd de la Nartelle, il est important de rappeler les conditions de houle en fonction de la période de retour, de déterminer les efforts sur les pieux ainsi que déterminer une hauteur de platelage du ponton qui empêcherait les forces d'impact.

Pour les **houles d'incidence Est (090°N)**, secteur le plus pénalisant, les hauteurs de houle varient entre **2,0m (T1)** et **3,4m (T30)** au droit du futur ouvrage.

Les efforts sur pieux ont été déterminés à l'aide de la formule de Morison. Dans le cas d'une tempête avec période de retour annuelle (T1) correspondant à une houle au droit du ponton d'environ 2,0m, les efforts varient entre **3 et 5KN** environ en fonction du diamètre des piles (0,5 ou 0,6m) et entre **7 et 17KN** dans le cas d'une tempête avec période de retour trentennale (T30). Etant donné les efforts ci-dessus, les pieux métalliques envisagés seront stables durant une tempête.

De plus ce qui est important de vérifier est la tenue du ponton vis-à-vis de la sous-pression due à la houle : par exemple, pour un ponton à la côte +1,5m NGF avec une surcote annuelle du niveau d'eau de 0,6m et une houle de 2,0m, les sous-pressions s'élèveraient à, au moins 1,1 tonne. Une structure légère (aluminium et platelage bois) ne serait pas adaptée dans ce cas. Une structure de type ponton en béton armé serait plus résistante. Afin d'habiller esthétiquement le ponton, un platelage bois pourra être intégré dans le béton et sa tenue sera alors assurée.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CETMEF, 2013. Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines.

Goda, 2010. Random Seas and Design of Maritime Structures 3rd edition. World Scientific.

Goda, 2010. Random Seas and Design of Maritime Structures 3rd edition. World Scientific.

McConnell K., Allsop W. & Cruickshank I. (2004). Piers, Jetties and Related Structures Exposed to Waves: Guidelines for Hydraulic Loadings. Thomas Telford.

Morison, J. R., O'Brien, M. P., Johnson, J. W., Schaaf, S. A. 1950. The force exerted by surface waves on piles. Petroleum Transactions, American Institute of Mining Engineers, 189: 149–154, doi:10.2118/950149-G.

ICTP, 2017. Diagnostic du littoral de Sainte Maxime puis étude et production d'un projet d'aménagement du littoral : Rapport d'Avant-Projet / Tous Secteurs – Indice A.