

---

# Action d'une structure côtière inclinée sur la houle : description déterministe du déferlement

*The effect of a flat, sloping seashore on incoming waves :  
deterministic description of breaking waves*

Constantinos Moutzouris \*

Docteur-Ingénieur

Clovis Marcou \*\*

Docteur ès-Sciences

---

## Introduction

L'action principale d'une structure côtière inclinée sur une houle qui se propage sur elle du large vers la côte, est le déferlement. Le déferlement est le résultat des déformations qui apparaissent dans le profil de la houle. Elles sont dues à la profondeur d'eau décroissante.

L'action principale de la houle pendant le déferlement se situe surtout au niveau des pressions sur la structure. Ces pressions sont particulièrement élevées dans le cas où un jet d'eau, formé par le déferlement, frappe la structure. Le jet d'eau qui apparaît dans certains types de déferlement, tombe de la crête de la houle sur la structure. Les pressions dues à ce jet d'eau dépendent du trajet parcouru, c'est-à-dire de l'amplitude de la houle au déferlement. Par ailleurs, une couche d'eau sur la structure amortit considérablement les pressions du jet d'eau. En conséquence, les pressions dépendent aussi de la ligne de déferlement.

Le déferlement est un processus stochastique, même dans le cas d'une houle monochromatique en canal de laboratoire. Le caractère stochastique est dû à des paramètres qui ne sont pas contrôlables au cours des essais. Ces paramètres sont surtout liés à l'air emprisonné dans la masse d'eau déferlante. Dans le cas d'un canal aux formes et aux dimensions bien définies, le caractère stochastique du déferlement est moins accentué, surtout en ce qui concerne l'amplitude au déferlement et la ligne de déferlement. Les diagrammes des pressions restent stochastiques dans les valeurs et deviennent déterministes dans leurs caractéristiques générales.

La description déterministe du déferlement (amplitude de la houle au déferlement, ligne de déferlement,

type de déferlement) est nécessaire à la modélisation des caractéristiques générales des variations des pressions. Le génie côtier a aussi besoin de relations déterministes concernant la houle au déferlement. Elles sont nécessaires à l'étude des dimensions des structures dans le cas où celles-ci ne sont pas étudiées sur modèle physique.

L'étude qui suit concerne l'amplitude de la houle au déferlement, la ligne de déferlement et le type de déferlement. Certains de ces résultats ont été obtenus au cours d'une recherche faite à l'Institut de Mécanique de Grenoble.

## Description – Définitions

La houle qui se propage sur une structure côtière inclinée passe d'un écoulement stable à un écoulement instable. La longueur de la zone d'écoulement stable dépend des caractéristiques de la houle au début de la structure : elle augmente quand la profondeur relative augmente et/ou la cambrure diminue.

L'instabilité se manifeste dans le déplacement en avant de la crête de la houle plus rapide que le reste du corps de l'onde. A cause de ce déplacement du sommet, la houle présente une dissymétrie horizontale grandissante. Le front aval devient de plus en plus incliné par rapport à l'horizontale. L'amplitude de la houle augmente rapidement, arrive à une valeur maximale et diminue ensuite encore plus rapidement. La diminution est due à la destruction de la houle, soit par écroulement de son sommet sur son front aval, soit par destruction de sa base, soit par réflexion de la plus grande partie de son énergie et dissipation du reste.

Les installations d'expériences et de mesures utilisés au cours de cette étude sont celles de l'Institut de Mécanique de Grenoble. Une description détaillée des instal-

---

(\*) Democritos University of Thraki, School of Engineering, Xanthi – Greece.

(\*\*) Institut de Mécanique de Grenoble – France.

lations peut être trouvée dans [5]. Le canal à houle de dimensions 23 m × 0,80 m × 0,77 m est fait, fond et parois, de panneaux de glaces. Il contenait de l'eau jusqu'à une hauteur  $h_0$ . Le générateur de houle est constitué d'un mécanisme du type "trois barres" fonctionnant en translation et entraîné par un ensemble groupe Ward-Léonard à régulation électronique au 1/1000. Il crée des houles monochromatiques à l'extrémité amont du canal. Les houles d'amplitude (creux-crête)  $H_0$ , de période  $T$  et de longueur d'onde  $L_0$  se propagent tout d'abord sur le fond horizontal du canal, et ensuite sur une structure plane et inclinée, placée à l'extrémité aval du canal. La structure avait une longueur totale de 4,20 m et était constituée par des plaques de "Lucoflex". L'angle de la structure avec le fond horizontal est  $\alpha$ .

Le début de la structure est placé à l'origine des abscisses  $x = 0$ . L'abscisse de la ligne d'eau au repos sur la structure est  $x_0$ , et  $\gamma_0 (= H_0/L_0)$  et  $h_0/L_0$  sont respectivement, la cambrure initiale et la profondeur relative de la houle dans la partie du canal à fond horizontal.

Des limnimètres automatiques équipés d'un signal néon et d'un enregistreur numérique et deux "wave height meters" du type "TBR-Boersma" ont été utilisés pour l'exploration de la surface libre. Les fluctuations de la surface libre dans une section d'abscisse donnée étaient transmises un enregistreur "Schlumberger OM 4 501".

L'amplitude de la houle a été mesurée et enregistrée tous les 5 cm le long de la structure, et tous les centimètres dans la zone de déferlement.

L'amplitude de la houle au déferlement  $H_d$  est la valeur maximale que l'amplitude de la houle présente au cours de sa propagation sur la structure. L'abscisse à laquelle l'amplitude prend cette valeur est appelée abscisse du déferlement  $x_d$  et la profondeur correspondante  $h_d$ .

Soixante quatorze combinaisons des quatre paramètres  $\alpha$ ,  $h_0$ ,  $H_0$  et  $T$  ont été expérimentées. Les gammes des caractéristiques générales des houles dans la partie à fond horizontal du canal et de la structure étaient les suivantes :  $0.17\% \leq \gamma_0 \leq 4.35\%$ ,  $\alpha = 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 13^\circ, 15^\circ$ ,  $0.138 \leq \frac{h_0}{L_0} \leq 0.623$ .

## Résultats

### Amplitude de la houle au déferlement

— Sur la figure 1, on donne les résultats montrant l'influence de la cambrure  $\gamma_0$  sur le rapport  $H_d/H_0$ . On peut voir généralement que  $H_d/H_0$  diminue quand  $\gamma_0$  augmente. Pour  $\gamma_0 > 3\%$ ,  $H_d/H_0$  se stabilise à une valeur qui dépend de  $h_0/L_0$ , mais qui est toujours comprise entre 1.20 et 1.70. Pour  $\gamma_0 < 1\%$ ,  $H_d/H_0$  prend des valeurs entre 1.8 et 2.4.

— L'influence de  $h_0/L_0$  est aussi nette et se manifeste par une augmentation de  $H_d/H_0$  quand  $h_0/L_0$  diminue.

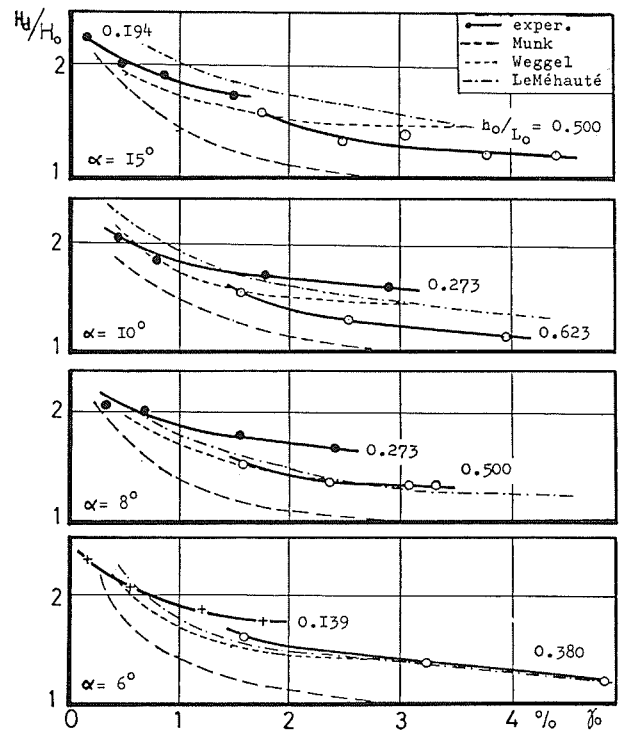


Figure 1 — Amplitude de la houle au déferlement

— Pour les cinq pentes examinées, on n'a pas pu constater une modification nette du rapport  $H_d/H_0$  en fonction de  $\alpha$ . L'influence de la pente ne semble pas aussi nette et certaine qu'Iversen l'affirme [2].

Les résultats expérimentaux de notre étude montrent que  $H_d/H_0$  dépend de  $\gamma_0$  et de  $h_0/L_0$  de la façon suivante (Fig. 2) :

$$\frac{H_d}{H_0} = \beta \gamma_0^\delta \quad (1)$$

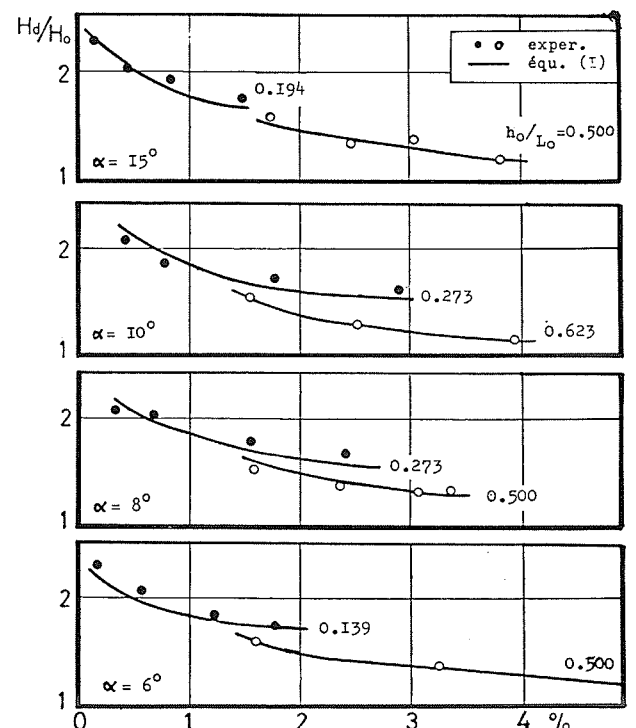


Figure 2 — Amplitude de la houle au déferlement

avec :  $\beta = 1.8$

et 
$$\delta = -0,5 \left( \frac{h_o}{L_o} \right)^{0.7}$$

La relation (1) a la même forme que les relations proposées pour le rapport  $H_d/H_o$  par différents chercheurs. Toutes ces relations ont la forme générale suivante :

$$\frac{H_d}{H_o} = \beta \gamma_o^\delta + \zeta \quad (2)$$

Les coefficients  $\beta$ ,  $\delta$ , et  $\zeta$  ont des valeurs différentes suivant les auteurs :

Auteur	$\beta$	$\delta$	$\zeta$	Remarques
Caplan [4]	0.38	-0.32	0	$\alpha = 1,91^\circ$ , onde longue
Munk [8]	0.30	-0.33	0	onde solitaire
Le Méhauté-Koh [3]	$0.76 (\text{tg} \alpha)^{0.143}$	-0.25	0	$1.14^\circ \leq \alpha \leq 11.31^\circ$ , $0.2\% \leq \gamma_o \leq 9\%$
Le Méhauté-Koh-Hwang [4]		-0.50	0	
Weggel [10]	$(0.01 + 0.5 \text{tg} \alpha)$ $(1 + \text{tg} \alpha - \zeta)$	-0.33	$\frac{D_1 (1 + \text{tg} \alpha) - D_2 (1.71 - 0.18 e^{28 \text{tg} \alpha})}{D_1 - D_2}$ avec : $D_1 = (0.01 + 0.5 \text{tg} \alpha)^{0.33}$ $D_2 = (0.01 - 0.01 e^{-28 \text{tg} \alpha})^{0.33}$	

On constate que dans la plupart des cas  $\zeta = 0$ , que  $\delta < 0$  et qu'aucune relation ne tient compte de l'influence de  $h_o/L_o$  (Fig. 1).

Pour  $\alpha$  et  $h_o/L_o$  constantes,  $xd/x_o$  varie en fonction de  $\gamma_o$  : pour les grandes valeurs de  $\alpha$ , il augmente faiblement avec  $\gamma_o$  et pour les petites valeurs de  $\alpha$ , il diminue quand  $\gamma_o$  augmente.

Pour  $\alpha$  et  $\gamma_o$  constantes,  $xd/x_o$  diminue avec  $h_o/L_o$ .

Pour  $\gamma_o$  et  $h_o/L_o$  constantes,  $xd/x_o$  augmente peu quand  $\alpha$  diminue.

Il est intéressant de noter que pour des angles  $\alpha > 8^\circ$  et une profondeur relative  $h_o/L_o$  constante, le rapport  $xd/x_o$  ne varie pas beaucoup.

Différents auteurs ont supporté une relation entre  $h_d$  et  $H_o$ . Ainsi Suquet [9] a trouvé expérimentalement

qu'il existe une relation linéaire entre  $h_d$  et  $H_o$  pour  $\alpha < 10^\circ$ . Les résultats expérimentaux de la présente étude ont démontré qu'il existe une certaine linéarité entre  $h_d$  et  $H_d$ .

Ligne de déferlement

Dans la figure 3 on présente la courbe d'évolution du rapport  $x_d/x_o$  en fonction de  $\gamma_o$ , paramétrée en  $h_o/L_o$ .

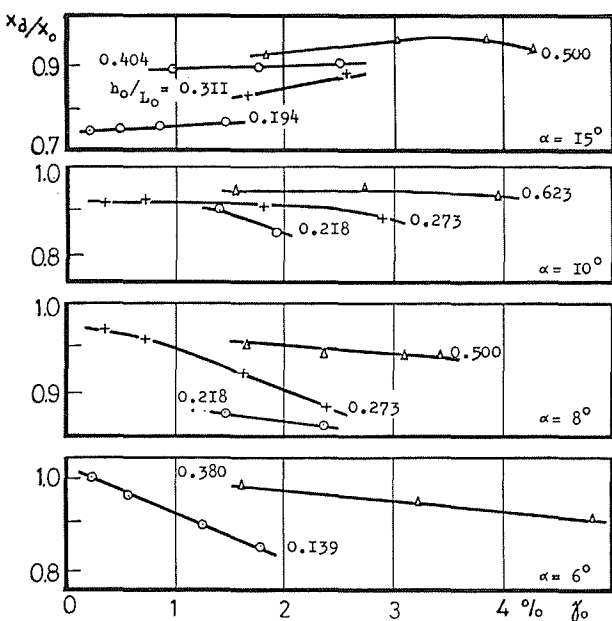


Figure 3 - Ligne de déferlement

Critère de déferlement au sommet du profil

Dans la catégorie des houles déferlantes on a distingué deux types principaux de déferlement :

- Le déferlement au sommet du profil de la houle : la destruction se fait la chute ou la projection en avant du sommet de la houle.
- Le déferlement à la base ou au front aval du profil de la houle.

Des pressions de choc plus ou moins élevées sont développées sur la structure pendant le déferlement, suivant que le déferlement se fait au sommet ou au reste du profil de la houle. Ces pressions sont dues au changement rapide du moment de la masse d'eau déferlante et à la poche d'air emprisonnée dans la masse d'eau au cours du déferlement. Il est alors utile de rechercher un critère à l'aide duquel il serait possible de prévoir si une houle, de caractéristiques données sur une structure de pente donnée, peut se détruire à son sommet ou non. Ce critère apparaît aussi nécessaire que le critère de déferlement proposé dans [7].

Les résultats de la présente étude démontrent que malgré une certaine incertitude quant à la limite entre les deux types de déferlement (au sommet et au reste du profil), ils se distinguent assez nettement en considérant les paramètres suivants :  $\gamma_o, h_o/L_o, \alpha$ . Le déferlement se

déplace de la base vers le commet quand  $\gamma_o$  augmente et/ou  $\alpha$  diminue et/ou  $h_o/L_o$  diminue.

On a tracé la ligne moyenne qui semble être la limite entre les deux types de déferlement mentionnés plus haut (Fig. 4). Elle est représentée par :

$$\gamma_{og} = 0,012 \left( \frac{h_o}{L_o} \right) N \quad (3)$$

$N$  étant un coefficient qui dépend de  $\alpha$  (voir Fig. 5). Pour une cambrure initiale  $\gamma_o > \gamma_{og}$  le déferlement se fera au sommet du profil de la houle.

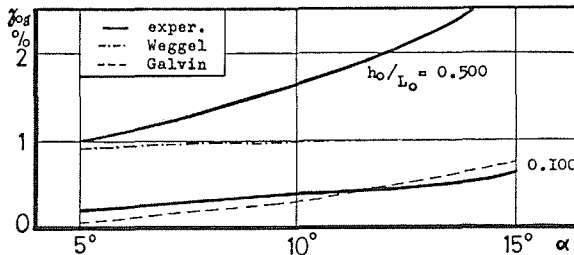


Figure 4 -- Critère de déferlement au sommet

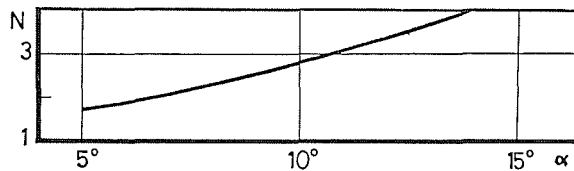


Figure 5 -- Coefficient  $N$

Des relations sur les types de déferlement ont été proposées par des chercheurs américains. Il serait intéressant d'examiner les critères proposés concernant la limite entre le déferlement gonflant d'une part, et les déferlements plongeant et déversant d'autre part ; ce serait :

— d'après Weggel [10]

$$\gamma_g = 0.01 (1 - e^{-28 \text{ tg} \alpha})$$

— d'après Galvin [1]

$$\gamma_g = 0.09 \cdot \text{tg}^2 \alpha$$

Pour une cambrure  $\gamma_o \leq \gamma_g$  le déferlement sera du type gonflant :  $\gamma_g$  correspondrait à  $\gamma_{og}$ .

Les deux critères sont concrétisés dans la figure 4. Ils montrent la même dépendance qualitative  $\gamma_o(\alpha)$  que notre critère expérimental. Il y a un décalage entre ces deux critères d'une part, et le critère de (3), qui pourrait être dû au fait que l'influence de  $h_o/L_o$  a été négligée.

## Références

- [1] GALVIN C.J.Jr. — Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73, No 12, June 15, 1968.
- [2] IVERSEN H.W. — *Laboratory study of breakers*. Nat. Bureau of Standards, Circ. 521, Washington D.C., 1952.
- [3] LE MEHAUTE B., KOH R.C.H. — On the breaking of waves arriving at an angle to the shore. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 5., No. 1, 1967.
- [4] LE MEHAUTE B., KOH R.C.H., HWANG L.S. — A synthesis on wave run-up *Proc. of ASCE, Jour. of Wat. and Harb. Div.*, Vol. 94, No WW1, Feb. 1968.
- [5] MARCOU C. — *Contribution expérimentale à l'étude de la houle complexe de laboratoire*. Thèse pour le titre de Docteur ès Sciences à l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1969.
- [6] MOUTZOURIS C. — *Contribution à l'étude de la propagation, des déformations et du déferlement de la houle sur une plage*. Thèse pour le titre du Docteur-Ingénieur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 1977.
- [7] MOUTZOURIS C. — *Résultats récents sur la zone avant le déferlement d'une structure cotière*. Rapport 1, Groupe Hydrodynamique de l'Institut de Mécanique de Grenoble, 1978.
- [8] MUNK W.H. — The solitary wave theory and its applications to surf problems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 5, 13 May, 1949.
- [9] SUQUET F. — Etude expérimentale du déferlement de la houle. *La Houille Blanche*, Mai-Juin, 1955.
- [10] WEGGEL J.R. — *Maximum breaker height*. Proc. of the XII Conference on Coastal Engineering, Vancouver, 1972.

*C'est à la fin de la rédaction du présent article, alors qu'il était en train de faire une dernière révision, que notre très cher ami Clovis MARCOU est décédé.*

*Avec une très profonde douleur nous lui rendons hommage et nous rappelons sa grande valeur humaine, intellectuelle et scientifique.*

*Que cet article, dernier fruit de notre collaboration et de ses longs travaux de recherche soit IN MEMORIAM de Clovis MARCOU.*

*Constantinos MOUTZOURIS*