

7^e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

MARSEILLE - 8, 9, 10 MARS 1999

Mesure de l'accélération Lagrangienne à la surface de la crête d'une vague déferlante

BONMARIN P.*, DUCHEMIN L.*, KJELDSSEN S.P.**

* IRPHE, Lab. IOA, 163 Av.de Luminy - Case 903 -13288 Marseille Cedex 9

Tel. 04 91 82 80 09 - Fax. 04 91 41 96 20 - e-mail: bonmarin@pollux.irphe.univ-mrs.fr

** The Norwegian Maritime Academy

Ladehammervein 6, 7004 Trondheim, Norway - email: peter.kjeldsen@martek.no

Résumé

Les résultats d'une expérience préliminaire destinée à mesurer l'accélération Lagrangienne à la surface d'une crête déferlante de type « plongeant » sont présentés.

Les mesures sont effectuées à partir de l'analyse du mouvement de traceurs flottants.

Des accélérations pouvant atteindre 1.5 g ont été mesurées. Les mesures apparaissent en assez bon accord avec les prévisions numériques.

Des caractéristiques géométriques et cinématiques d'une crête déferlante de type plongeant sont également présentées.

Summary

The results of a preliminary experiment focussed on the measurement of the Lagrangian acceleration at the surface of a plunging crest are displayed.

The measurements are made by analysing the motion of floating tracers.

Accelerations up to 1.5 g have been measured. The measurements show a relative good agreement with the numerical simulations.

Geometrical and kinematical characteristics of a plunging crest are also presented.

Introduction

Il est aujourd'hui bien établi que le déferlement des ondes de surface est un phénomène qui joue un rôle important dans de nombreux domaines tels que la climatologie, à travers les échanges thermiques et de masse entre l'océan et l'atmosphère, les activités offshore et côtières, à travers l'action sur les structures, l'environnement, à travers les pollutions et le transport des sédiments, etc...

La connaissance du phénomène progresse régulièrement notamment grâce au développement des modèles numériques. Malgré ces progrès, cette connaissance reste imparfaite, notamment au niveau des mécanismes, de la structure et de la dynamique.

Des expériences sont nécessaires non seulement pour valider les modèles, mais aussi pour mettre en évidence les paramètres qui peuvent jouer un rôle important dans l'apparition et dans le développement du phénomène.

Il est par ailleurs démontré (Longuet-Higgins 1986) que les caractéristiques des vagues de forte cambrure peuvent différer notablement suivant qu'elles résultent de mesures « Eulériennes » ou « Lagrangiennes ».

L'objectif du présent travail est précisément d'apporter une contribution à l'étude de la dynamique des vagues déferlantes, par l'intermédiaire de mesures Lagrangiennes.

Il faut souligner que les expériences qui ont été réalisées sont des expériences préliminaires destinées à tester la faisabilité d'une procédure de mesure Lagrangienne, et que par conséquent les résultats obtenus doivent être considérés eux aussi comme préliminaires.

Expériences

Les expériences ont été effectuées dans la grande soufflerie air/eau de l'IRPHE dans des conditions d'eau profonde.

Elles ont consisté à déposer des flotteurs sur la surface de la nappe d'eau, et à enregistrer sur bande vidéo le déplacement de ces flotteurs au passage de crêtes déferlantes de type plongeant. Le déferlement était provoqué par la concentration de l'énergie d'un groupe d'ondes au droit de la section de mesures.

10 expériences dénommées A11, A12, A13, A15, A16,... A21 ont été réalisées.

Les mesures ont été effectuées par application de la méthode de chronophotographie étalée sur film (Figure 1).

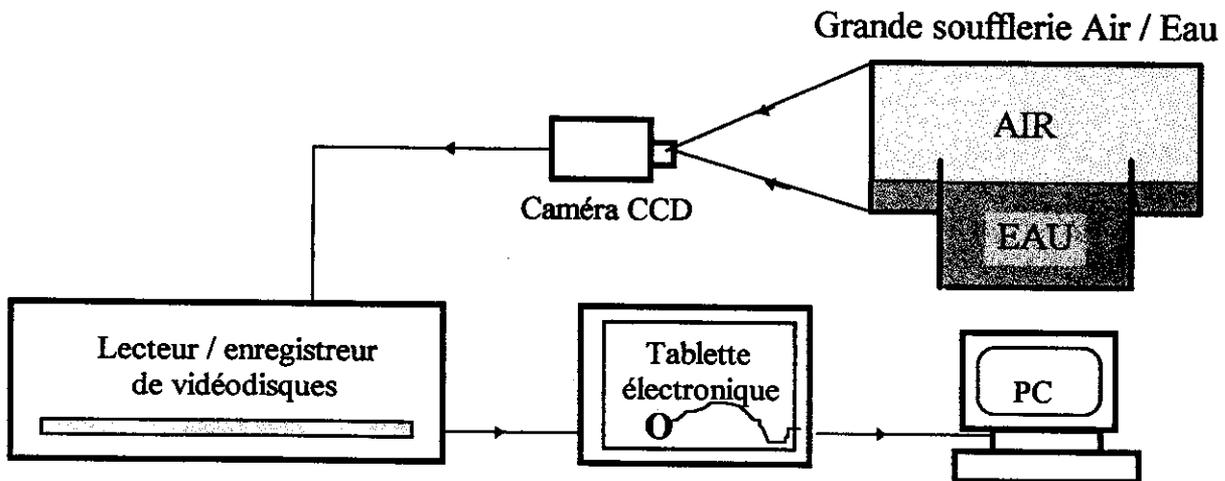


Figure 1. Schéma du dispositif d'acquisition et d'analyse des images.

Le comportement des flotteurs par rapport à celui des particules fluides a été tout d'abord testé. Pour cela, la trajectoire d'un flotteur au passage d'une onde symétrique a été comparée à celle d'une particule fluide telle que prédite par la théorie du second ordre.

La figure 2 montre l'accord satisfaisant entre les deux trajectoires, prouvant ainsi que les flotteurs utilisés peuvent être assimilés, au moins en première approximation, aux particules fluides.

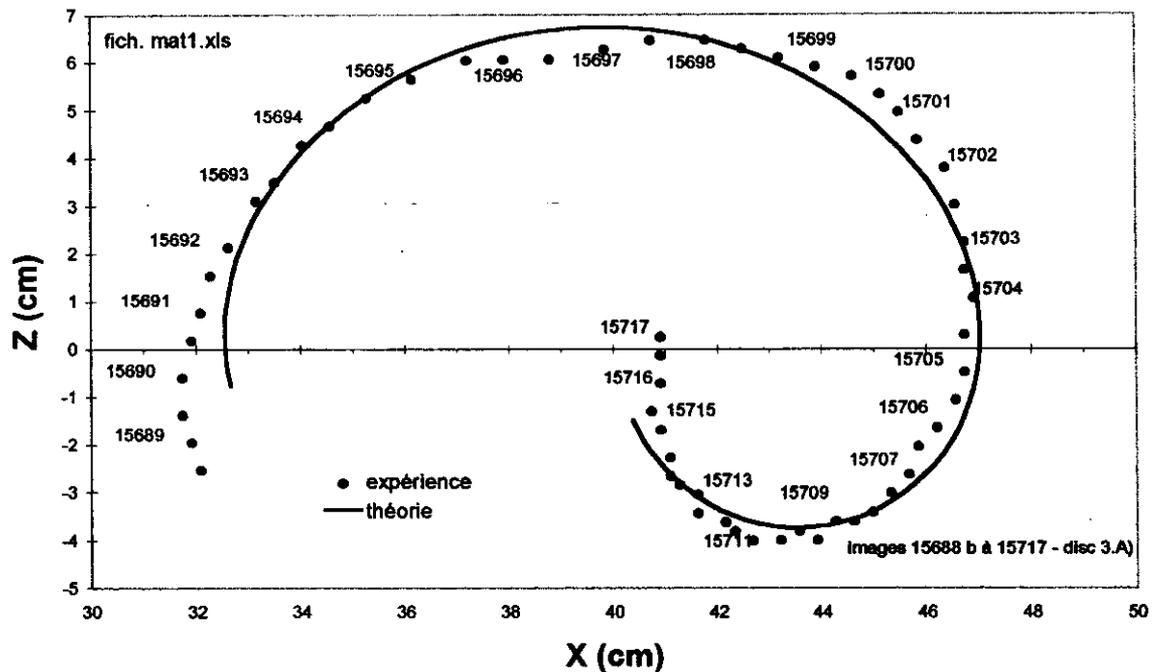


Figure 2. Trajectoire d'un flotteur au passage d'une crête symétrique non déferlante: comparaison théorie/expérience. (images 15688 b à 15717 - disc 3.A).

Résultats

La figure 3 montre la trajectoire type d'un flotteur soumis à l'action d'une crête plongeante, et celle d'un flotteur évoluant sur une crête symétrique non déferlante.

La forme de la trajectoire sur crête symétrique non déferlante est conforme aux prévisions théoriques et fait apparaître une différence significative avec celle sur crête déferlante.

L'analyse des enregistrements vidéo image par image a permis de reconstituer la trajectoire des flotteurs, en particulier leurs déplacements horizontal et vertical à partir desquels ont été calculées, par dérivations successives, les vitesses et les accélérations.

Les dix essais ayant conduit à des résultats similaires, seul ceux relatifs à l'essai A 15 sont montrés ci après en raison de leur nature particulièrement typique.

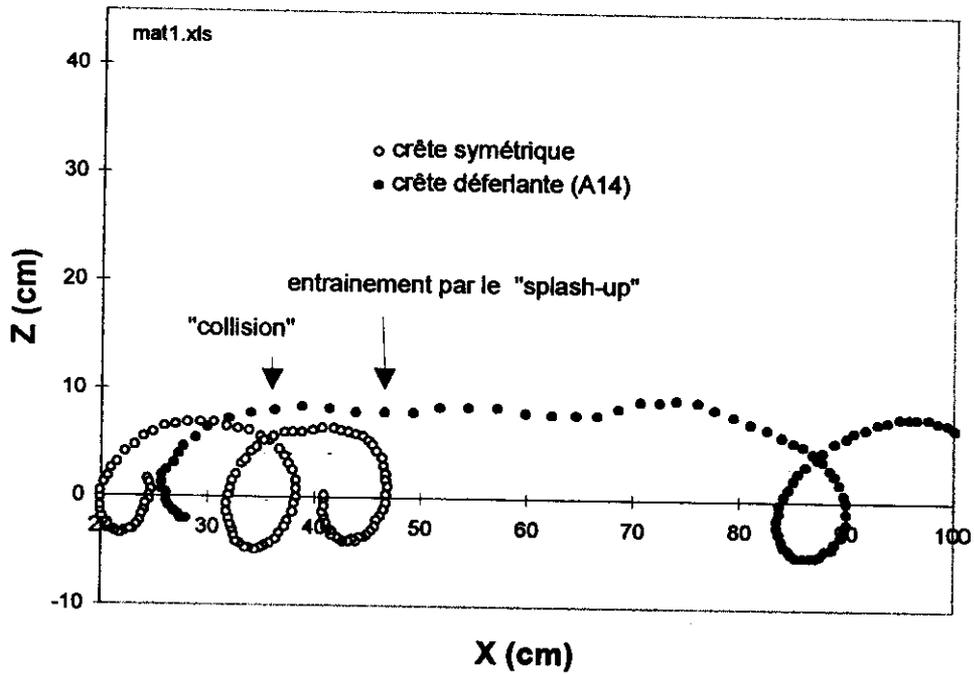


Figure 3. Trajectoire d'un flotteur au passage d'une crête déferlante.

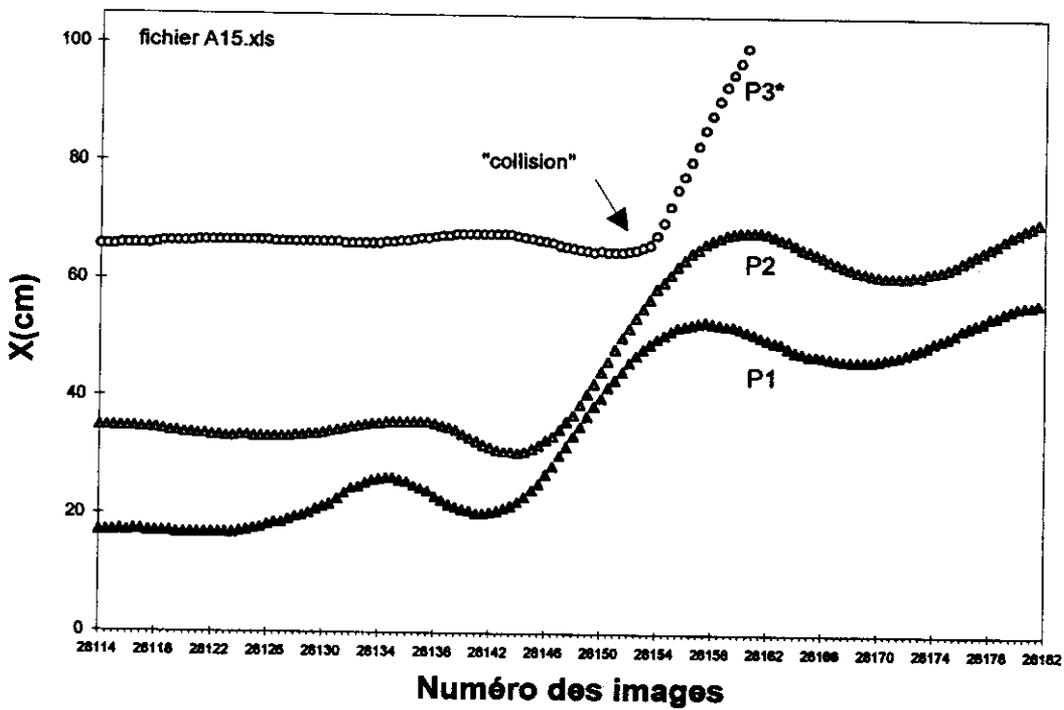


Figure 4. Déplacement horizontal de flotteurs.
(P1 et P2 échappent au déferlement, P3* est entraîné par le déferlement)

Les figures 4 et 5 montrent respectivement le déplacement horizontal et la vitesse horizontale de trois flotteurs dont deux échappent « de justesse » au déferlement.

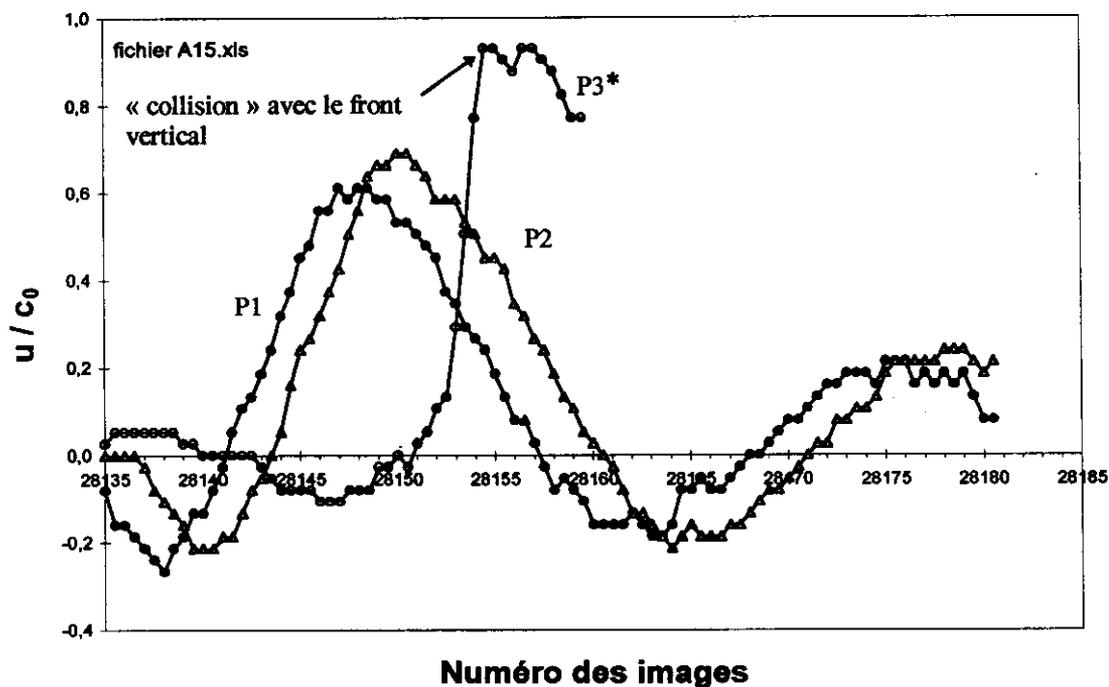


Figure 5. Vitesse horizontale des flotteurs (les flotteurs P1 et P2 échappent au déferlement).

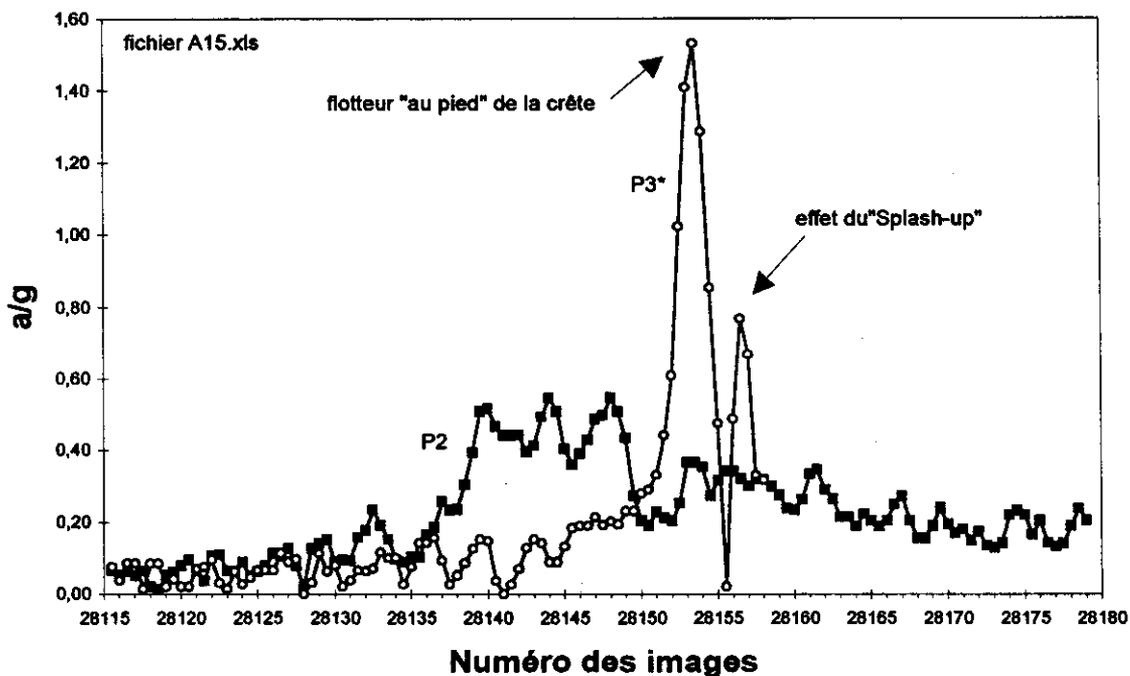


Figure 6. Accélération des flotteurs (P2 échappe au déferlement).

La figure 6 montre l'accélération totale subie par le flotteur entraîné par le déferlement et par un flotteur échappant à ce dernier.

Nous avons mesuré des accélérations maximales comprises entre 0,9 g et 1,5 g, cette dernière valeur correspondant à l'essai n° A15, quand les flotteurs étaient situés au pied de la lame déversante en formation. Il faut toutefois noter que la taille relativement importante des flotteurs (15 mm), et le pas de temps relativement long (20 ms), n'ont pas permis de mesures sous la lame déversante là où les simulations numériques prévoient des valeurs maximales.

Les valeurs mesurées sont en assez bon accord avec celles prévues par la simulation numérique de Duchemin (1999), simulation qui reprend le modèle de Vinje et Brevig (1980) en y introduisant la tension superficielle (Figure 7).

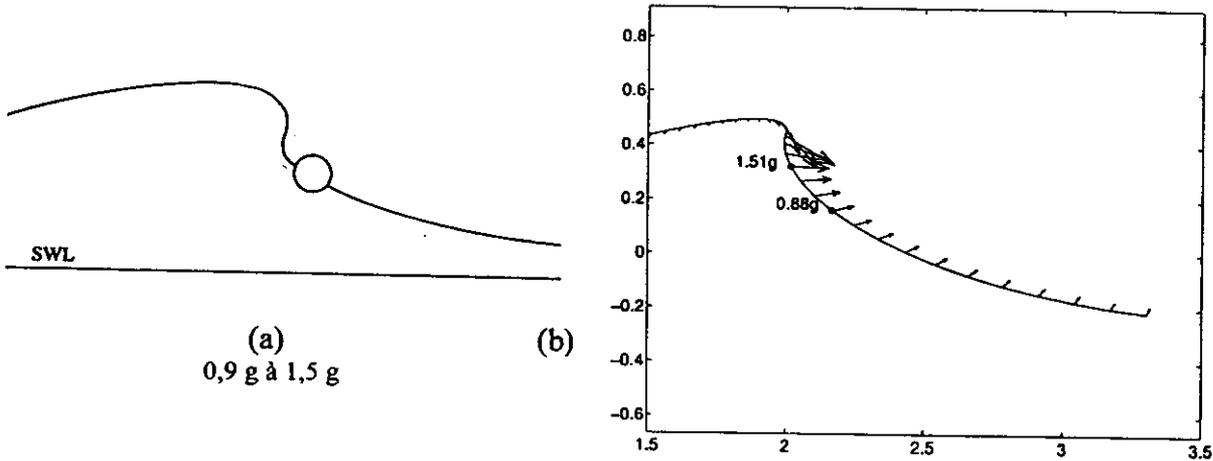


Figure 7. Comparaison expérience/modèle numérique.

(a) présentes mesures; (b) Duchemin (1999)

L'obtention de séries chronologiques d'images de la houle permet la mesure instantanée ainsi que l'évolution de la forme et de la cinématique des crêtes au voisinage du déferlement. Cette mesure s'inscrit dans la perspective d'une recherche de liaisons entre l'accélération Lagrangienne et des caractéristiques géométriques et/ou cinématiques des crêtes.

En ce qui concerne la forme, les quatre paramètres définis par Kjeldsen et Myrhaug (1978): dissymétrie horizontale (μ) et verticale (λ), pente de la face amont (ϵ) et aval (δ), ont été utilisés pour quantifier le profil des crêtes. Les présentes mesures ont notamment confirmé la dissymétrie de la crête au point de déferlement (Tableau I).

Paramètre	Kjeldsen et Myrhaug 1978	Bonmarin 1989	Présentes mesures (moy)
μ_b	0.84 - 0.95	0.62 - 0.93	0.81
ϵ_b	0.32 - 0.78	0.29 - 0.85	0.41
δ_b	0.26 - 0.39	0.20 - 0.42	0.23
λ_b	0.90 - 2.18	0.78 - 3.09	1.85

Tableau I. Paramètres de forme au point de déferlement.

Il a été aussi confirmé que l'élévation de la crête, c'est à dire la distance verticale entre le sommet de la vague et le niveau de l'eau initialement au repos, croît avant le déferlement, passe par un maximum au point de déferlement puis décroît (cf. figure 8).

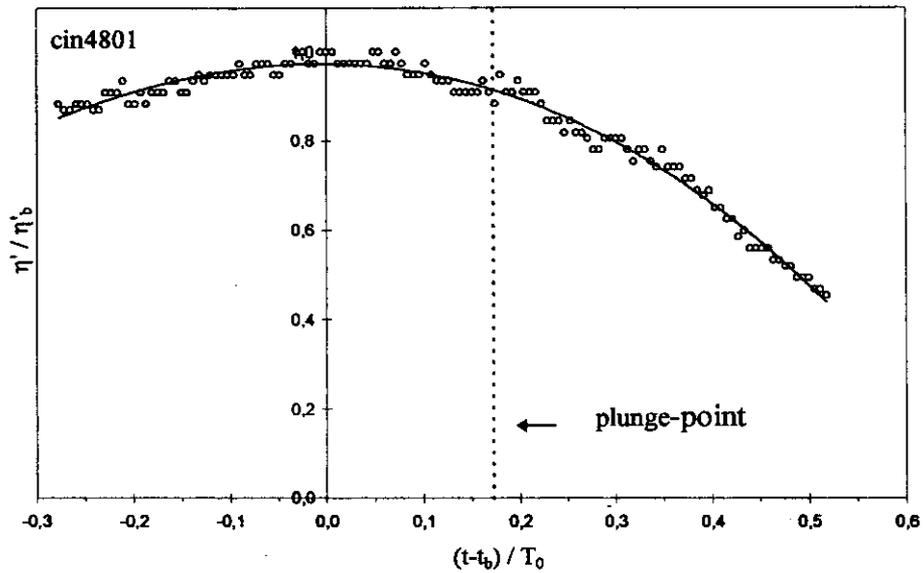


Figure 8. Élévation de la crête en profondeur infinie.

Dans le cas du déferlement sur un fond de profondeur décroissante (plage), il semble que l'élévation maximale soit atteinte un peu plus tard (cf. figure 9).

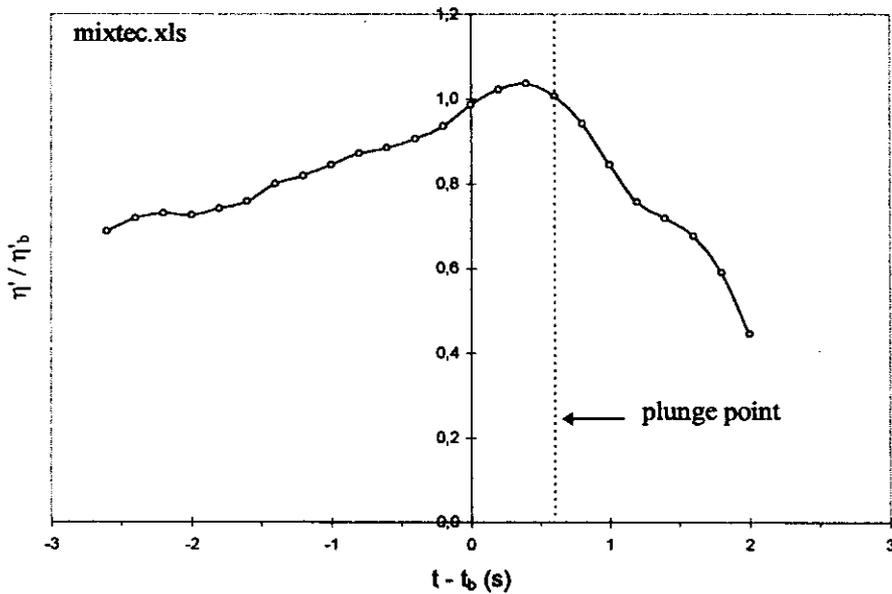


Figure 9. Élévation de la crête sur une plage.

En ce qui concerne la cinématique de la crête, les mesures ont notamment montré que la célérité de cette dernière décroît après l'apparition du déferlement (Figure 10).

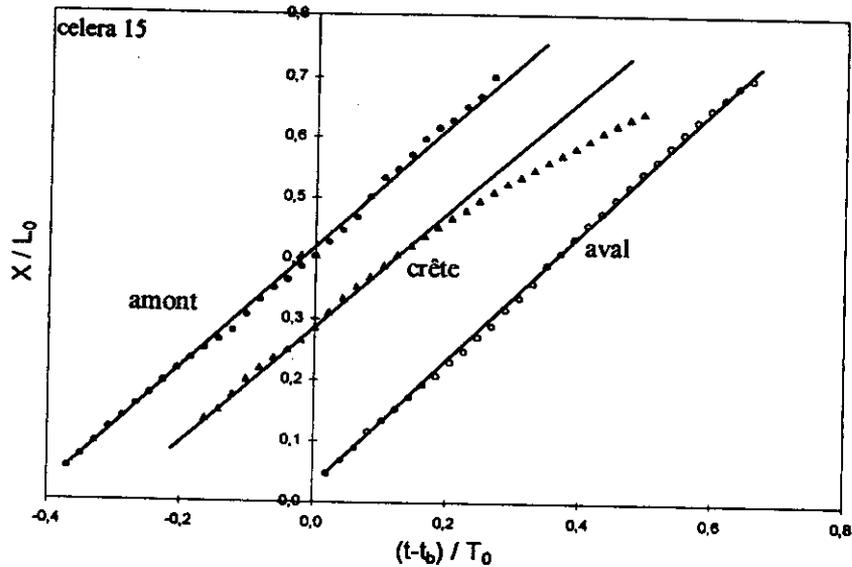


Figure 10. Déplacement horizontal de la crête et des « zero cross-point ».

Il peut être noté que la célérité des points intersection entre le profil de la crête et le niveau de l'eau initialement au repos pris comme référence, (« zero cross-point »), n'est pas modifiée par le déferlement, montrant ainsi que ce dernier est un phénomène « local » intéressant essentiellement la crête.

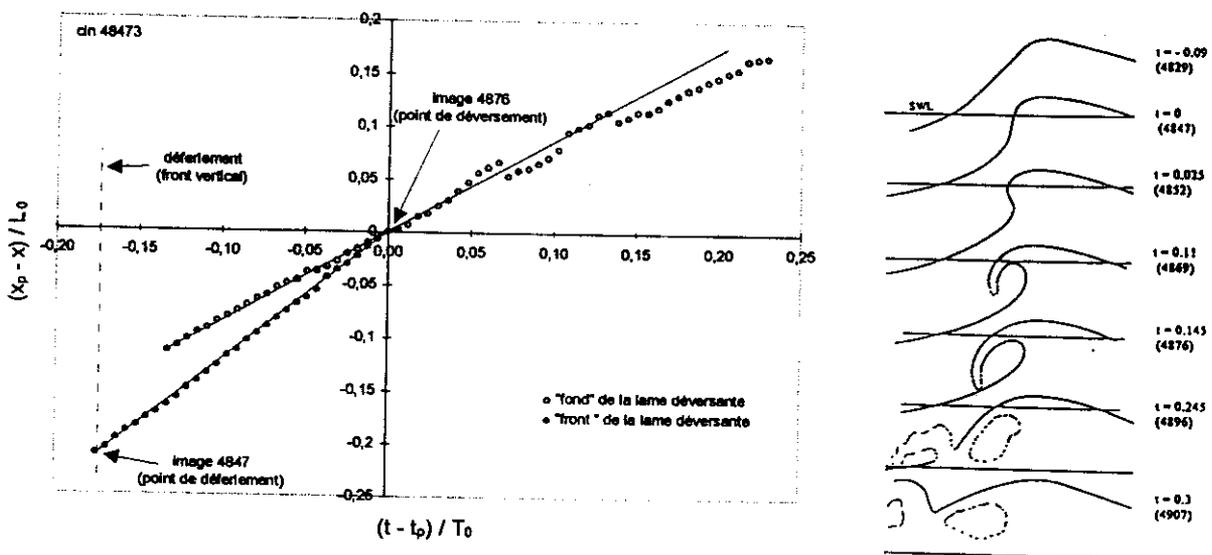


Figure 11. Progression de la lame déversante.

Il a été enfin montré que le front amont de la lame déversante ainsi que le front du « fond » de cette lame (partie verticale de la crête située sous la lame déversante), se propagent avec une célérité constante jusqu'au point de déferlement (Figure 11), le front de la lame progressant plus rapidement.

Conclusions

La faisabilité de mesures Lagrangiennes à la surface de crêtes déferlantes, par mise en oeuvre d'une technique de « chronophotographie étalée sur film », a été globalement démontrée.

Des résultats préliminaires concernant la vitesse et l'accélération de flotteurs suivant fidèlement les mouvements de l'interface et soumis à l'action d'un déferlement plongeant ont été obtenus: des accélérations atteignant 1.5 g ont été mesurées. Ces valeurs sont en bon accord avec les prévisions numériques.

La visualisation sous forme d'images chronologiques du profil de la houle a permis de confirmer la dissymétrie d'une crête « plongeante » ainsi que l'accroissement de sa hauteur à l'approche du déferlement. Elle a également permis de montrer que la célérité du front amont de la lame déversante est constante.

La présente méthode ne peut évidemment prétendre concurrencer la PIV ou la PTV, elle peut par contre leur être considérée comme complémentaire en ce sens qu'elle permet des mesures à la surface même. Elle présente aussi l'avantage de pouvoir utiliser relativement aisément un champ d'observation étendu (plusieurs mètres).

Perspectives

L'accroissement de la précision des mesures est un des prochains objectifs: il suppose l'utilisation de flotteurs de plus petite taille et plus légers, ainsi qu'une réduction du pas de temps.

Un autre objectif est l'automatisation du dépouillement des images en vue de mesures à caractère statistique.

L'expérience réalisée pourrait être adaptée à l'étude du comportement en condition de mer extrême, de corps flottants tels que bouées dérivantes, petites embarcations, etc...

Bibliographie

- Bonmarin, P., 1989 Geometric properties of deep-water breaking waves. *J. Fluid Mech.* 209, 405.
- Kjeldsen, S.P. & Myrhaug, D. 1978 Kinematics and dynamics of breaking waves. Rep. STF 60 A78100, Ships in Rough Seas, Part 4. Norv. Hydrodynamic Lab., Trondheim.
- Longuet-Higgins, M. S., 1986 Eulerian and Lagrangian aspects of surface waves. *J. Fluid Mech.* 173, 683.
- Vinje, T. & Brevig, P., 1980 Breaking waves on water of finite depth. A numerical study. Ship Res. Inst. of Norway, Rep. R 111- 81.

