



**HAL**  
open science

# Couplage vent-vagues en présence d'un groupe focalisant : Application à l'étude des Vagues Extrêmes

Laurent Grare, Jean-Paul Giovanangeli

## ► To cite this version:

Laurent Grare, Jean-Paul Giovanangeli. Couplage vent-vagues en présence d'un groupe focalisant : Application à l'étude des Vagues Extrêmes. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03361692

**HAL Id: hal-03361692**

**<https://hal.science/hal-03361692v1>**

Submitted on 1 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Couplage vent-vagues en présence d'un groupe focalisant : Application à l'étude des Vagues Extrêmes

Laurent GRARE et Jean-Paul GIOVANANGELI

CNRS/Aix-Marseille Université  
Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre  
Equipe Interactions Océan-Atmosphère  
Parc Scientifique et Technologique de Luminy – Case 903  
163 avenue de Luminy – 13288 Marseille Cedex 09  
[grare@irphe.univ-mrs.fr](mailto:grare@irphe.univ-mrs.fr)    [giovanangeli@irphe.univ-mrs.fr](mailto:giovanangeli@irphe.univ-mrs.fr)

### Résumé :

*Cette étude concerne l'effet du vent sur la génération et l'évolution des vagues extrêmes. Elle s'appuie sur une série d'expériences conduites dans la grande soufflerie air-eau de l'IRPHE à Luminy. Les résultats montrent que le vent a un effet important sur l'évolution d'un groupe de vagues focalisant conduisant à l'apparition d'une vague extrême. Les mécanismes de couplage entre la couche limite aérienne et le groupe sont étudiés sur la base d'une analyse en ondelette entre les séries temporelles donnant les variations de l'interface air-eau et les fluctuations de vitesse et de pression statique dans l'air. Un dispositif expérimental original de détection du décollement de l'air à la crête des vagues a permis de montrer que le maintien de la vague extrême au cours de sa propagation en présence de vent est vraisemblablement dû à un processus de décollement.*

### Abstract :

*This study concerns the effect of wind-wave coupling on the generation and evolution of focusing wave groups responsible of freak wave events at the air-sea interface. A complete series of experiments have been conducted in the large air-sea interaction facility of IRPHE. The coupling mechanisms between the air-sea interface and the air flow have been studied by means of the cross-wavelet analysis of the time series of the water surface deflections, the velocity and pressure fluctuations in air flow. An original experimental set-up has been developed. It allowed to show that an air flow separation mechanism is responsible of the sustain of the freak wave on longer periods of time.*

### Mots-clefs :

**Vagues extrêmes ; Effet du vent ; Décollement**

### 1 Introduction

Les vagues extrêmes (Rogue waves ou Freak waves) sont des vagues géantes qui apparaissent soudainement à la surface des océans. Elles sont imprévisibles et sont responsables d'un nombre important de dommages subis par les navires ou les plate-formes pétrolières et qui ont été répertoriés par Mallory (1974) et Lawton (2001). Divers mécanismes physiques responsables de la génération de ces vagues ont été proposés : focalisation géométrique de champs de vagues, focalisation spatiale, interactions vague-courant, instabilités modulationnelles, collisions de solitons etc... (voir par exemple l'article de synthèse de Kharif et Pelinovsky (2003)).

Une étude récente a mis en évidence l'effet du vent sur la génération et l'évolution spatio-temporelle de ces vagues (Touboul et al (2006), Kharif et al (2007)). Afin de préciser les mécanismes de couplage entre la couche limite aérienne et un groupe de vagues focalisant, une série complète d'expériences a été conduite dans la grande soufflerie de simulation des interactions air-mer de l'IRPHE. Un dispositif expérimental complet a été mis en œuvre afin de déterminer la structure fine de la couche limite turbulente avant, pendant et après la génération d'une vague extrême générée au moyen d'un groupe de vagues focalisant. Les résultats expérimentaux obtenus montrent que le mécanisme de décollement de l'air qui apparaît simultanément à l'aval de la vague extrême joue un rôle déterminant. Ce processus est en accord avec la théorie de Jeffreys (1925 et 1926) et avec les résultats d'une simulation numérique faite par Touboul et al (2006).

## 2 Dispositifs et conditions expérimentales

La **figure 1** donne une représentation schématique de la grande soufflerie air-eau. Elle est principalement constituée d'une soufflerie en boucle fermée surmontant un canal de 40 m de long, 1 m de profondeur et 2.6 m de largeur. La veine d'air située au-dessus de la surface de l'eau est longue de 40 m, large de 2.6 m et haute de 1.6 m. La vitesse de l'air peut être ajustée entre 0 m/s et 14 m/s. Un générateur de houle programmable installé sous la plage amont permet de générer des vagues régulières ou aléatoires dans une bande de fréquences comprises entre 0.5 Hz et 2 Hz. Un chariot mobile situé dans la veine d'expériences permet de disposer diverses sondes à différentes distances  $X$  (appelées fetch) du point de raccordement amont entre l'écoulement d'air et l'eau et à différentes hauteurs au-dessus de l'interface air-eau.

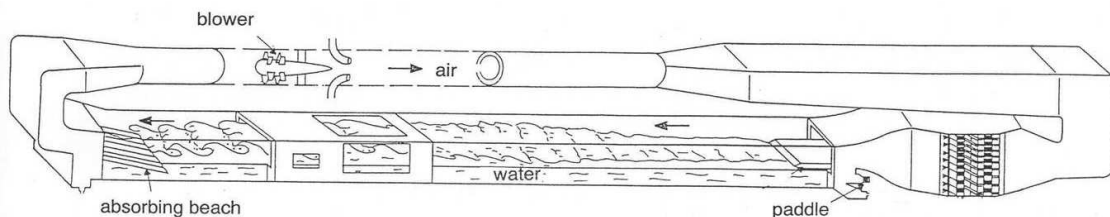


Figure 1 : Vue schématique de la soufflerie air-eau

Les élévations instantanées de l'interface par rapport au niveau de l'eau au repos ont été mesurées à l'aide de trois sondes capacitives. Une était positionnée au fetch fixe de 1 m et les deux autres ont été disposées sur le chariot mobile afin de mesurer l'évolution spatiale et temporelle de l'élévation de l'interface à différents fetches  $X$ . Les fluctuations turbulentes horizontale  $u'$  et verticale  $w'$  du vecteur vitesse dans l'air ont été mesurées à l'aide d'une sonde à fil chaud en  $X$ . Les fluctuations de pression statique ont été déterminées à l'aide d'une méthode combinant la mesure de la pression totale et la pression dynamique mesurée au fil en  $X$ . Le fil en  $X$  et la sonde de pression ont été également disposés sur le chariot mobile à proximité immédiate des deux sondes à vagues. Le groupe de vagues focalisant a été généré à l'aide du batteur à houle piloté par un signal analogique dont la fréquence variait dans le temps entre 1.3 Hz pour la première vague créée à 0.8 Hz pour la dernière. Les expériences ont été réalisées pour des vitesses de vent  $U$  de 0 m/s, 4 m/s, 6 m/s et 8 m/s.

Afin de détecter le décollement de l'air à l'aval d'une vague, une méthode originale a été développée. Elle consiste à disposer un fil chaud à une distance de 1 mm en aval d'un fil froid qui mesure la température de l'air (**Figure 2**). Le fil chaud a pour rôle de créer un sillage chauffé à 180 °C. Si un décollement avec courant de retour apparaît, le sillage chauffé est dirigé vers l'amont et une fluctuation de tension positive caractéristique d'une augmentation de

température apparaît sur le signal fourni par l'électronique du fil froid. Divers tests ont démontré l'efficacité de la méthode (voir Garat (1995), Giovanangeli et al (1999)). En outre, le dispositif détecteur de décollement a été installé sur un système électromécanique 'suiveur à vagues' qui permet de maintenir à chaque instant et à une valeur constante choisie sa hauteur par rapport au niveau instantané de l'interface. Cette technique permet d'explorer des zones de l'écoulement d'air situées à proximité immédiate de la surface et notamment dans le creux des vagues.

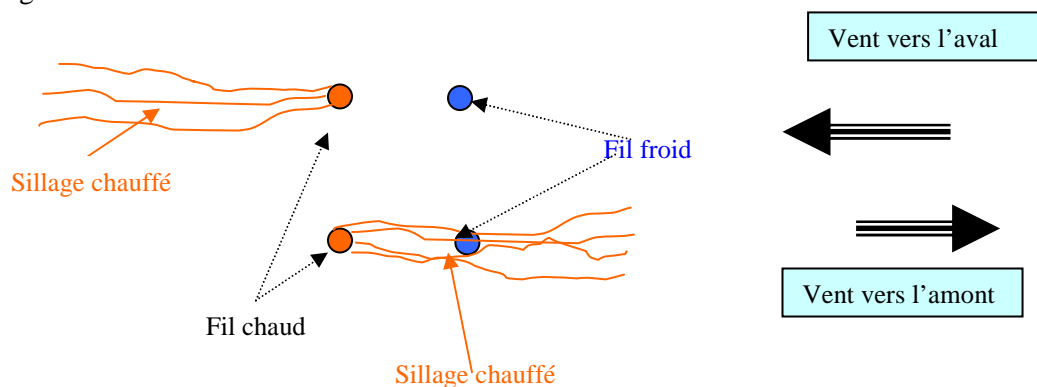


Figure 2 : Principe de fonctionnement de la sonde à décollement

### 3 Résultat

#### 3.1 Cinématique et dynamique du groupe focalisant

La **figure 3** présente les variations temporelles de l'interface air-eau mesurées à différents fetches pour un vent  $U$  de 6 m/s. Pour la clarté, chaque courbe est décalée de 10 cm en ordonnée. La **figure 4** présente le coefficient d'amplification  $A(X,U) = H_{\max}(X,U)/H_{\text{ref}}$  où  $H_{\max}(X,U)$  est la hauteur maximale crête-creux d'une vague dans le groupe au fetch  $X$  et pour un vent  $U$  et  $H_{\text{ref}}$  est la hauteur du train d'amplitude crête-creux uniforme déterminée au fetch fixe  $X = 1$  m. Pour toutes les vitesses de vent choisies, cette hauteur  $H_{\text{ref}}$  était égale à une valeur constante de 6.13 cm.

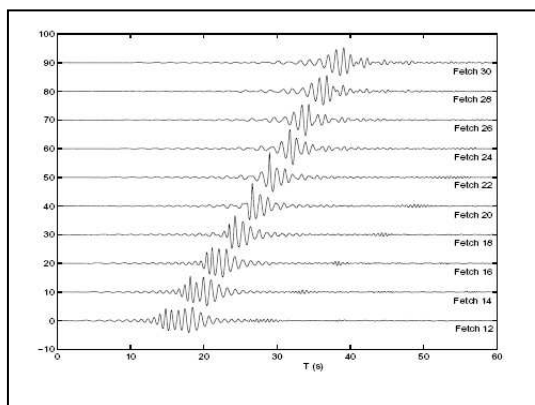


Figure 3

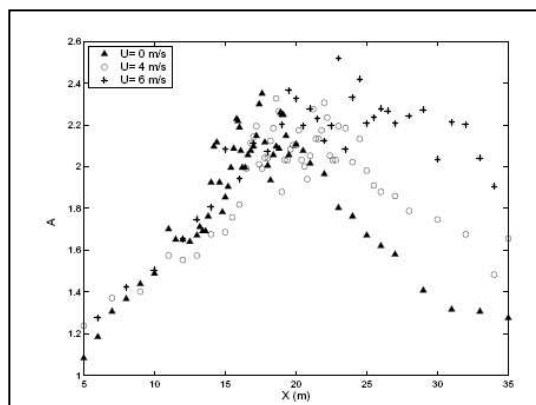


Figure 4

La **figure 4** met en évidence l'effet du vent sur la génération et l'évolution de la vague extrême : le vent amplifie légèrement l'amplitude de la vague, déplace vers l'aval le point de focalisation et maintient la vague extrême sur une plus grande distance en faisant apparaître une dissymétrie

sur la courbe  $A(X,U)$  entre la phase de focalisation et la phase de défocalisation. Ces effets sont d'autant plus importants que la vitesse du vent est élevée.

### 3.2 Couplage entre le vent et le groupe focalisant

La **figure 5** présente au fetch de 20 m, à une hauteur de 13 cm par rapport au niveau de l'eau au repos et pour un vent de 6 m/s les évolutions simultanées temporelles de l'interface air-eau et des corrélations entre  $u'$  et  $w'$ , entre les fluctuations de pression dans l'air  $p'$  et la pente longitudinale  $\eta_x$  de l'interface, et entre  $p'$  et la dérivée temporelle de l'interface (courbe en pointillés).

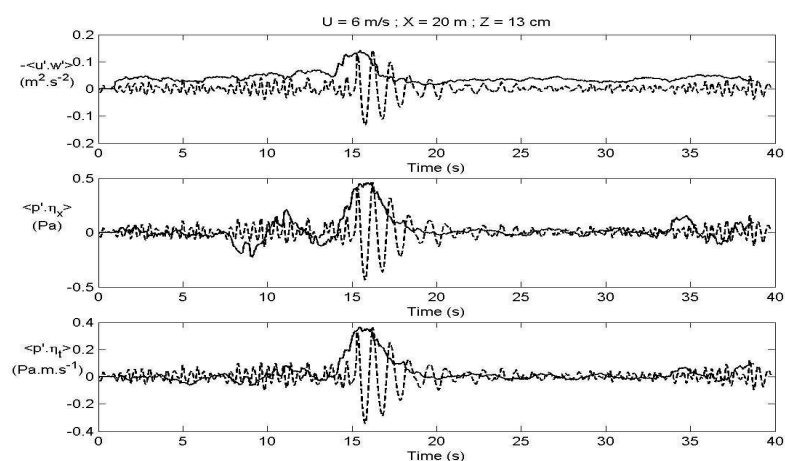


Figure 5

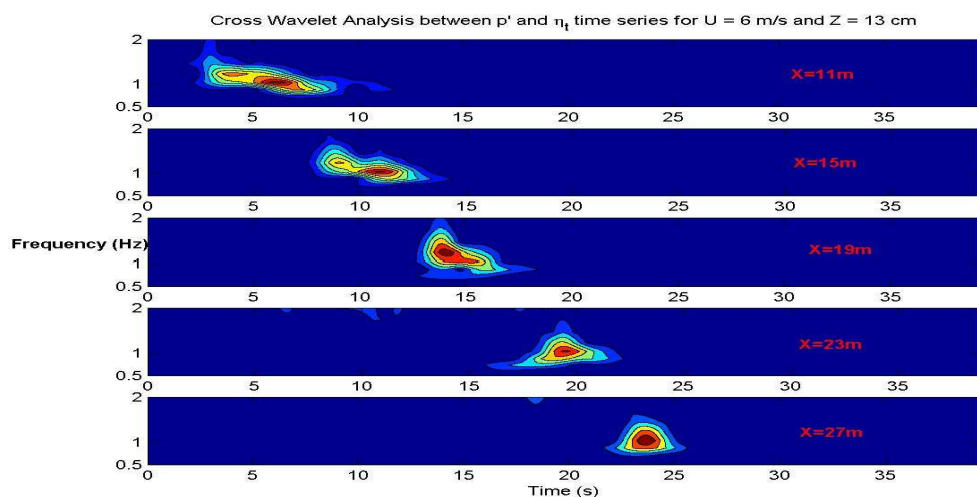


Figure 6

Chaque corrélation est déterminée sur une fenêtre glissante de durée égale à 2 secondes. Chacune d'elle représente le flux de quantité de mouvement de l'air à l'eau, la traînée de forme et le flux d'énergie fourni du vent aux vagues. La **figure 6** donne pour différents fetches les résultats de l'analyse en ondelettes croisées entre  $p'$  et  $\eta_x$ . Il a été montré (Kharif et al (2007)) que le maximum de transfert d'énergie du vent aux vagues se déplace à la vitesse de groupe du groupe focalisant.

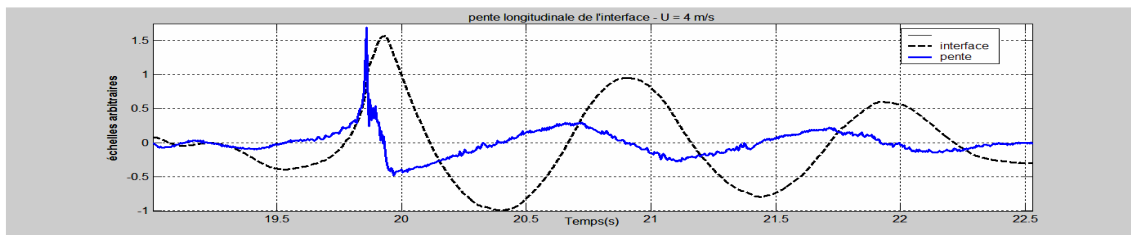


Figure 7 a

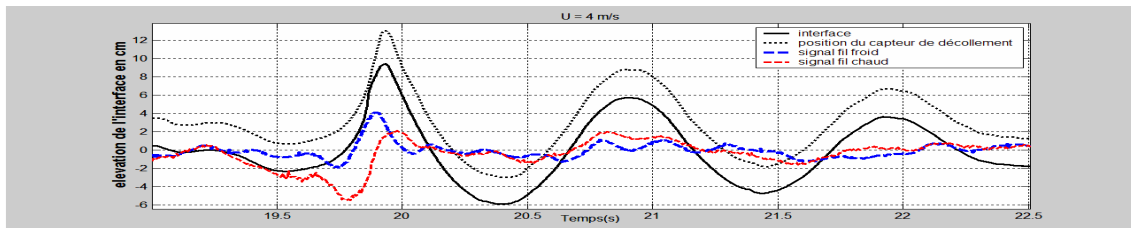


Figure 7 b

La **figure 7a** présente les variations temporelles de la hauteur et de la pente longitudinale locale de l'interface air-eau pour un vent de 4 m/s. La **figure 7b** donne, aux mêmes instants, les variations de l'interface, de l'altitude du capteur de décollement maintenue approximativement constante et égale à 3 cm environ par rapport à l'élévation de l'interface, la fluctuation de vitesse du vent mesurée au fil chaud et la tension instantanée fournie par le fil froid. On observe clairement sur cette figure que tant que la pente locale de la vague est inférieure à une valeur critique voisine de 0.4, l'écoulement de l'air est dirigé vers l'aval. Par contre, dès que la pente locale des vagues est supérieure à cette valeur critique, on observe une diminution significative de la vitesse du vent à l'aval de la vague de forte pente et un courant de retour dirigé vers l'amont. Ce résultat montre qu'un décollement de l'écoulement d'air apparaît à la crête de la vague extrême avec génération d'une zone de recirculation. Il est en accord avec des observations PIV faite par Reul et al (1999) dans la soufflerie maquette de l'irphe et qui ont montré clairement la formation d'un vortex à l'aval d'une vague de forte pente en phase de déferlement comme indiqué sur la **figure 8**. Ce résultat expérimental justifie totalement le concept physique du couplage vent-vague au moment de la génération de la vague extrême par un mécanisme de décollement et qui est introduit dans la simulation numérique faite par Kharif et al (2007)

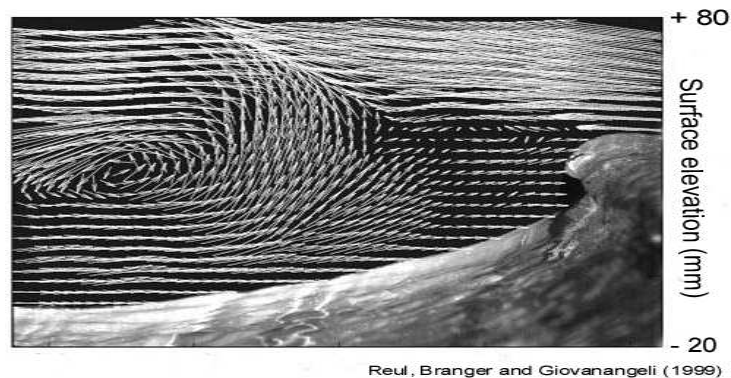


Figure 8 : Champ de vitesse instantané mesuré par PIV à l'aval d'une vague en phase de déferlement (le vent hors couche limite est dirigé de droite à gauche)

## 4 Conclusions

L'ensemble des résultats expérimentaux présentés mettent en évidence un mécanisme de couplage important entre la couche limite aérienne et les mouvements de l'interface lors de la génération d'une vague extrême. Ce processus est attribué à un décollement de l'air en aval de la vague extrême dès que la pente longitudinale locale de l'interface air-eau dépasse une valeur critique et induit une augmentation importante du transfert d'énergie et de quantité de mouvement du vent à la vague considérée. Ce mécanisme physique a été introduit par ailleurs dans une modélisation numérique dont les résultats ont permis de montrer que le maintien d'une vague extrême en présence de vent semble bien dû à un décollement de l'air en phase avec l'apparition d'une valeur seuil de la pente locale de l'interface et ceci même pour des vents faibles.

## Références

- Mallory, J.K. 1974 Abnormal waves on the South-East Africa, *Int. Hydrog. Rev.* 51, 89-129
- Lawton, G. 2001 Monsters of the deep (the perfect wave), *New Scientist* 170 (2297), 28-32
- Kharif, C., Pelinovsky, E. 2003 Physical mechanisms of the rogue wave phenomenon, *Eur. J. Mech. B Fluids* 22, 603-634
- Touboul, J., Giovanangeli, J.P., Kharif, C., Pelinovsky, E. 2006 Freak waves under the action of wind: experiments and simulation. *Eur. J. Mech. B Fluids* 25, 662-676
- Kharif, C., Giovanangeli, J.P., Touboul, J., Grare, L., Pelinovsky, E. 2007 Influence of wind on extreme wave events: Experimental and numerical approaches. En révision à *J. Fluid. Mech.*
- Jeffreys, H. 1925 On the formation of water waves by wind. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A* 107, 189-206
- Jeffreys, H. 1926 On the formation of water waves by wind. *Proc. Roy. Soc. London Ser. A* 110, 241-247
- Garat, M. H. 1995 Etude expérimentale du décollement de l'air à la crête des vagues et de ses effets sur les flux de quantité de mouvement. Thèse de Doctorat
- Giovanangeli, J. P., Reul, N., Garat, M. H., Branger, H. 1999 Some aspects of wind-wave coupling at high winds: An experimental study. In 'Wind Over Wave Coupling'
- Reul, N., Branger, H., Giovanangeli, J. P. 1999 Air flow separation over unsteady breaking waves. *Phys. Fluids* 11, 1959-1961