



## Modulation des échelles de turbulence sous l'action de la houle

Frédéric Murzyn<sup>1</sup>, Michel Bêlorgey<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctorant, <sup>2</sup> Professeur

M2C - Groupe Mécanique des Fluides

UMR 6143, Université de Caen

### Résumé

Une étude des échelles de turbulence en écoulement non permanent est présentée. On s'intéresse précisément à la turbulence à l'aval d'une grille placée dans un écoulement de houle et courant superposés. Les mesures des corrélations spatiales, réalisées par Vélocimétrie Laser, nous permettent d'estimer l'échelle intégrale de turbulence. Une technique particulière de traitement par phase est développée et appliquée. Elle nous permet de décrire l'évolution de l'échelle intégrale en fonction de la phase de la houle. Les résultats montrent qu'elle varie suivant la phase avec une fréquence double de celle de la houle.

### Abstract

A study of turbulent scales on a non permanent flow is presented. We are particularly interested in grid-generated turbulence under wave-current interaction. Spatial correlations, measured by Laser Velocimetry, provide us a way to estimate integral scale. A singular phasis treatment method is developped and applied. We are also able to describe the evolution of integral scale versus wave phasis. Results show that it is a periodic function which frequency is twice as the waves'one.

### 1. Introduction

Le développement de nouvelles technologies rend possible des recherches sur des écoulements complexes caractérisés par la présence d'une surface libre. Pour d'étudier son effet sur la structure de la turbulence tout en évitant des problèmes de mesures ([1]), nous travaillerons sur un écoulement issu de la superposition de la houle et d'un courant. L'oscillation périodique de l'interface

induit un mouvement orbital des particules en suspension naturellement dans l'eau dont la vitesse moyenne horizontale est positive mais variable dans le temps (1) :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \neq 0 \quad (1)$$

Une procédure de traitement des données est mise au point afin de prendre en compte cette particularité ([2]). Elle repose sur l'enregistrement puis la superposition d'une série de vagues de manière à obtenir une vague moyenne. Cette dernière est ensuite découpée en phases et un traitement par régression linéaire s'applique sur chacune d'elles de façon à dissocier la fluctuation de l'évolution temporelle de la vitesse moyenne.

## **2. Dispositif expérimental**

### **2.1. Le canal à houle et/ou courant**

Les essais sont réalisés dans le canal à houle et/ou courant du laboratoire. Il mesure 16,5 m de long, 0,5 m de large pour une hauteur utile de 0,7 m. Un batteur plan, entraîné par un moteur asynchrone, génère une houle monochromatique tandis que le courant est produit par une pompe hélice. Une conduite en PVC disposée sous le canal permet de travailler en circuit fermé. La profondeur d'eau au repos est  $d=0,35$  m.

### **2.2. La grille**

Pour produire la turbulence, nous plaçons une grille à maille carrée qui occupe toute une section droite du canal. Elle est conçue en respectant le critère fixé par Comte-Bellot ([3]) pour le coefficient de solidité  $\sigma$  (2). Elle est constituée de barreaux carrés d'épaisseur  $d_b=0,006$  m. La taille de la maille est  $M=0,033$  m et  $\sigma = 0,33$ .

$$\sigma = \frac{d_b}{M} \left( 2 - \frac{d_b}{M} \right) \quad (2)$$

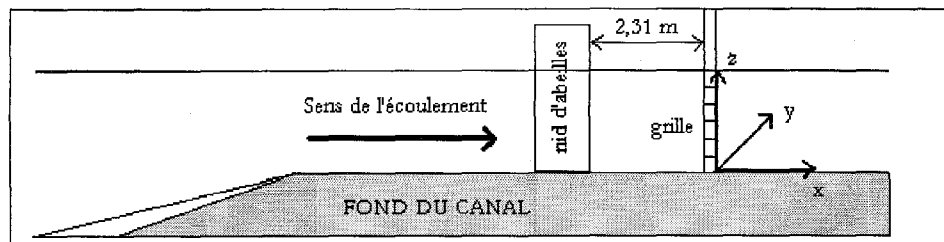


Figure 1. Configuration expérimentale

Table 1. Experimental configuration

## 2.3. L'instrumentation

### 2.3.1. Vélocimétrie Laser et dispositif pour la mesure des corrélations

Les mesures de vitesses sont réalisées par Vélocimétrie Laser (DANTEC). C'est un système de mesure non intrusif, donc non perturbateur pour l'écoulement. Le laser a une puissance de 6,5 W et la focale utilisée est de 0,5 m. Nous pouvons ainsi faire des mesures au centre de la veine d'essais. L'acquisition des données se fait grâce au logiciel BSAFlow. Nous l'utilisons avec un dispositif particulier permettant la mesure des corrélations spatiales. Il est semblable à celui décrit par Belmabrouck et Michard ([4]). Par ce mode opératoire, une inversion des fibres optiques est nécessaire au niveau du FiberFlow dans le but de mesurer la même composante de la vitesse en deux points distincts distants de  $r$ .

### 2.3.2. Sondes de surface libre

Nous utilisons des sondes résistives pour décrire l'évolution temporelle de la surface libre. Elle est enregistrée simultanément à la vitesse pour recalibrer ces grandeurs l'une par rapport à l'autre. Nous choisissons comme origine des temps le passage de l'interface par zéro du front montant.

## 3. Technique d'analyse : traitement par phase

L'acquisition des données se fait sur une durée de 70 secondes correspondante à l'enregistrement d'un nombre de vagues important (de 44 à 54 suivant la période de la houle). Elles sont ensuite superposées les unes aux autres de façon à définir une vague moyenne. Cette dernière est alors découpée en

intervalles de temps égaux, appelé phase. On suppose que sur chaque phase la vitesse est une fonction linéaire du temps. En superposant l'ensemble des points de mesure appartenant à une même phase, on obtient un nuage de points dont la valeur moyenne à chaque instant est définie par une droite de régression linéaire. La fluctuation  $u$  de la vitesse est alors prise comme l'écart de la mesure à cette droite. Cette procédure est appliquée aux mesures issues des deux volumes de mesure distants de  $r$ . Le coefficient de corrélation (3) peut ainsi être déterminé :

$$R(r) = \frac{\overline{u_i(x)u_i(x+r)}}{\sqrt{\overline{u_i^2(x)}}\sqrt{\overline{u_i^2(x+r)}}} \quad (3)$$

La droite passant par les deux volumes de mesure est colinéaire à la direction principale de l'écoulement. L'aménagement de notre système de mesure est tel que ce sont les corrélations longitudinales de la composante verticale de la vitesse que nous mesurons. La détermination de  $R(r)$  est réalisée de la façon suivante : la plage de variations de  $r$  se situe entre 0 et 20 mm. Pour chaque phase, nous mesurons 31 valeurs de  $R$ . Elles nous permettent de décrire la partie initiale de sa décroissance. Son comportement général est obtenu à partir d'un lissage linéaire. L'échelle intégrale  $L_f$  est ensuite obtenue par intégration de l'équation de cette droite de lissage entre 0 et la valeur de  $r$  pour laquelle  $R$  s'annule ([5]).

## 4. Résultats

### 4.1. Configurations testées

Durant nos essais, le courant se propage dans le même sens que la houle. Sa vitesse moyenne est constante ( $\overline{U_c} = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$ ).

La période de la houle est notée  $T$ , son amplitude  $H$ . Le nombre  $n$  et la durée des phases caractéristiques des configurations explorées sont répertoriées dans le tableau 1. Ils sont liés aux caractéristiques de la houle et à la fréquence d'acquisition.

T (s)	H (m)	n	Durée phase
1,28	0,055	16	0,08
1,36	0,05	20	0,06825
1,58	0,0475	20	0,07875

Tableau 1. Conditions expérimentales

Table 1. Experimental conditions

#### 4.2. Evolution de l'échelle intégrale en fonction de la phase de la houle

Les figures 2, 3 et 4 présentent l'évolution de cette échelle intégrale de turbulence ( $L_f$ ) pour les trois périodes de houle. Pour une meilleure lisibilité des courbes, les résultats sont adimensionnés par la dimension M de la maille et présentent l'évolution du rapport  $\frac{L_f}{M}$  en fonction de la phase de la houle. D'autres résultats, non présentés ici, rendent compte de l'influence de l'amplitude de la houle. Les figures 2 à 4 présentent également un profil moyen adimensionné de la surface libre et une loi empirique tirée des résultats de  $L_f$ .

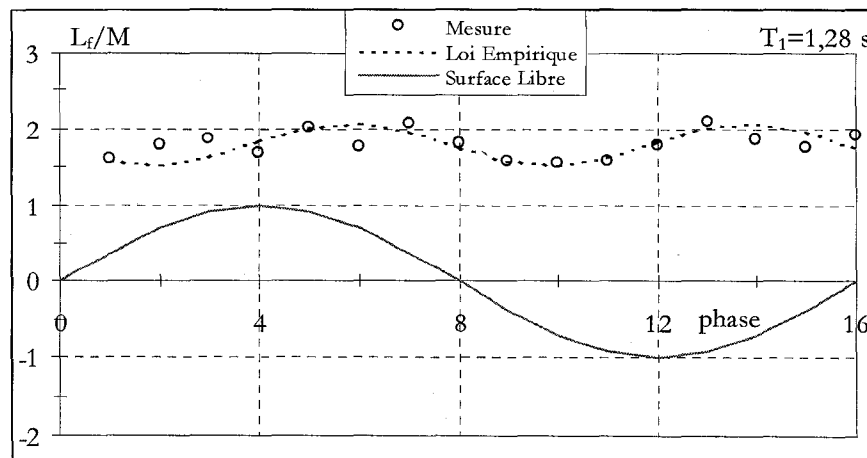


Figure 2. Echelle intégrale en fonction de la phase de la houle pour  $T=1,28$  s

Figure 2. Integral scale versus wave phasis for  $T=1,28$  s

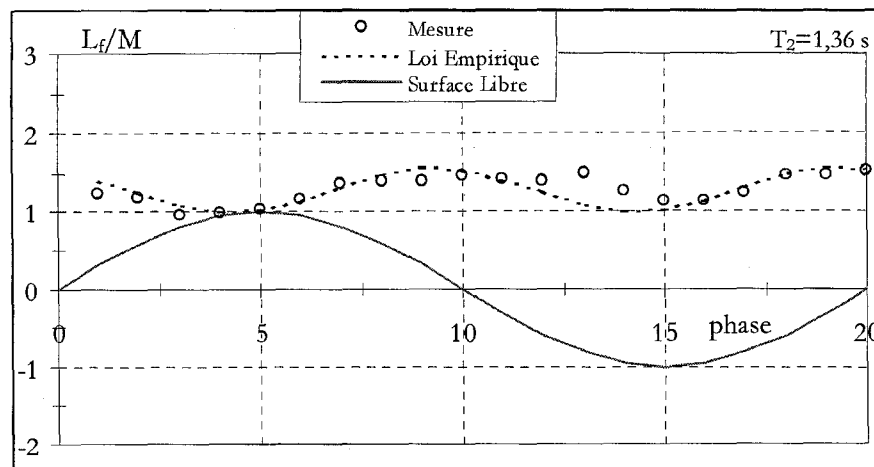


Figure 3. Echelle intégrale en fonction de la phase de la houle pour  $T=1,36$  s

Figure 3. Integral scale versus wave phasis for  $T=1,36$  s

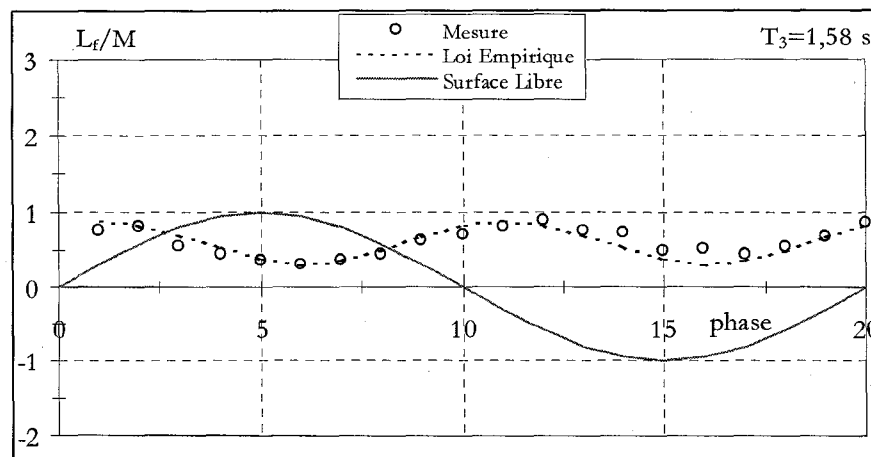


Figure 4. Echelle intégrale en fonction de la phase de la houle pour  $T=1,58$  s

Figure 4. Integral scale versus wave phasis for  $T=1,58$  s

Ces résultats montrent que l'échelle intégrale de turbulence suit une évolution périodique en fonction de la phase de la houle. En moyenne, la période des oscillations est égale à la moitié de celle de la houle. Dans chaque cas, il y a apparition de 2 maxima qui coïncident avec les maxima du module de l'accélération de l'écoulement. Ces résultats, obtenus pour une position  $x/M=17$  en aval de la grille, se retrouvent aussi pour les mesures menées en  $x/M=22$ . On

note également que l'échelle intégrale décroît avec la période de la houle. Par rapport à des travaux antérieurs ([1], [5]), il y a une différence au niveau de la structure de la turbulence. Celle-ci peut s'expliquer soit par la technique de mesure, soit par le fait qu'un courant s'ajoute à la houle. En effet, des problèmes de mesure existent si on ne travaille qu'en présence de la houle (retour de la perturbation sur le volume de mesure). Au contraire, le doublement de période est un comportement déjà mis en lumière par Tcheukam-Toko ([8]) mais qui n'avait pu être plus approfondi. Une même structure est mise en évidence lorsque nous faisons varier  $H$  et gardons  $T$  constante.

## **5. Conclusions**

Ce travail est une étude expérimentale concernant l'évolution de l'échelle intégrale de turbulence dans un écoulement de houle et courant superposés à l'aval d'une grille. Par une technique de traitement particulière reposant sur une superposition et un traitement par phase, nos mesures, réalisées par Vélocimétrie Laser, mettent en évidence un comportement cyclique de cette échelle avec une période égale à la moitié de celle de la houle. Ce résultat se différencie des études précédentes où l'évolution de  $L_f$  en fonction de la phase de la houle n'a jamais été pris en compte.

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du transport particulaire. Ils pourront déboucher sur une meilleure compréhension de l'interaction entre la surface libre, la turbulence et les particules. Des travaux ([6], [7]) montrent qu'elle doit être prise en compte pour traiter ce type de problèmes dans la mesure où les caractéristiques spatio-temporelles de la turbulence et les propriétés physiques des particules ne peuvent être dissociées. Comprendre les mécanismes qui contrôlent le développement des échelles de turbulence peut donc contribuer à cet objectif.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient la société DANTEC pour le prêt du dispositif de mesure des corrélations, leur disponibilité et leurs conseils.

**Références bibliographiques**

- [1] ARSIE A. (1998) - Etude expérimentale des phénomènes turbulents générés par une houle régulière sur un dispositif multi-écrans, Thèse de Doctorat, Université de Caen, 196 pages.
- [2] MARIN F., BELORGEY M. (1993) - Flow regime and eddy structures into a boundary layer generated by the swell above a rippled bed, Proceedings of the Euromech 310, Sediment transport mechanisms in coastal environments and rivers, Le Havre, World Scientific, pp. 231-245.
- [3] COMTE-BELLOT G., CORRSIN S. (1966) - The use of a contraction to improve the isotropy of grid-generated turbulence, Journal of Fluid Mechanics, 25, pp. 657-682.
- [4] BELMABROUCK H., MICHARD M. (1997) - Taylor length scale measurement by LDV, Experiments in Fluids, 25, pp. 69-76.
- [5] PEDERSEN C., DEIGAARD R., SUTHERLAND J. (1998) - Measurements of the vertical correlation in turbulence under broken waves, Coastal Engineering, 35, pp. 231-249.
- [6] BELORGEY M., ARSIE A., CADIERGUE S. (1999) - The importance of turbulence scales in coastal engineering, Proceedings of Hydralab Workshop, Hannover, pp. 87-96.
- [7] DIETLIN F. (1982) - Contribution à l'étude de l'influence de la turbulence sur la vitesse de sédimentation de particules marines, Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, 294 pages.
- [8] TCHEUKAM-TOKO D. (1997) - Etude de la couche limite générée par l'action de la houle et/ou courant sur fond hydrauliquement lisse : application au transport sédimentaire, Thèse de Doctorat, Université du Havre, 206 pages.