Etude de l'absorption de l'énergie de la houle par des structures de porosités variables.

Alexandre Arsié

Doctorant, Laboratoire de Mécanique*, Université de Caen

Michel Bélorgey

Professeur, Laboratoire de Mécanique *, Université de Caen *Groupe de Mécanique des Fluides et Génie Côtier

Résumé

Les interactions houle structures sont mal connues du fait de la complexité des phénomènes. Par conséquent leur optimisation est rendue difficile. Dans le cas des ouvrages de protection des côtes, l'intérêt est souvent porté sur la réduction du coefficient de réflexion. Les travaux que nous présentons ici portent sur l'analyse des caractéristiques de la turbulence et de l'énergie qu'elle dissipe en vue de l'optimisation des structures multicouche en enrochements (ou structure multiécrans). Nos résultats mettent en évidence : des dimensions caractéristiques de perturbations à l'aval qui conditionnent la distance entre les parois mais aussi l'importance du rapport entre les échelles de turbulence et la dimension des enrochements (ou orifices) des différentes couches (ou écrans).

1. Introduction

Les études sur le fonctionnement hydraulique des digues en enrochements, incorporant l'écoulement dans un milieu poreux commencées au début des années soixante dix [1], sont directement liées aux problèmes de réflexion-transmission, qui sont à prendre en compte dans l'environnement côtier. Ces travaux ont débuté à la suite de mesures in-situ de coefficients de transmission importants : 40 % de transmission enregistré par Calhoun [2] sur la digues du port de Monterey en Californie en 1971.

Mais dans la majorité des cas, les recherches réalisées jusqu'à aujourd'hui restent, le plus souvent, des travaux concernant la stabilité des blocs [3] plutôt que l'étude de la dissipation au sein de l'ouvrage.

Pour ces travaux, nous avons modélisé la structure par une succession d'écrans ajourés et en ce qui nous concerne, nous avons abordé l'étude du champ des vitesses et du champ turbulent au voisinage et au sein d'une structure multicouche de manière à analyser les paramètres qui conditionnent la dissipation d'énergie.

2. Dispositif expérimental et traitement des données

Les études ont été réalisées dans le canal à houle du laboratoire. D'une longueur de 23 m sur une largeur de 0,8 m, pour une hauteur de 1 m, ce canal est muni à

l'une de ses extrémités, d'un batteur plan qui génère une houle monochromatique, et à l'autre extrémité d'une plage d'amortissement de type talus incliné. Les conditions de houle expérimentales étaient les suivantes : une période T=1,5 s pour une hauteur d'eau de 0,4 m.

Nous avons modélisé une couche d'enrochements par une structure composée de sphères en polypropylène, le diamètre D des sphères (70 mm) a été choisi par similitude pour correspondre (par équivalence de poids) aux blocs de la carapace d'une digue soumise à des houles de Manche (type port pétrolier d'Antifer). L'agencement des sphères de chaque couche est identique, et un système de fixation adapté permet de faire varier l'écartement entre les couches (figure 1).



Figure 1 - Dispositif expérimental

Du fait du mouvement orbital engendré par la houle, seule une technique non intrusive permet d'accéder au champ des vitesses. Nous avons adapté la Vélocimétrie Doppler Laser (VDL) aux mesures dans la houle, la méthode à été décrite par Bélorgey [4], elle présente de multiples avantages, notamment une excellente résolution spatiale et temporelle pour les écoulements turbulents [5]. Les données brutes correspondent à des mesures de vitesses instantanées sur plusieurs périodes. Le traitement des données comprend plusieurs étapes dont nous donnons ici les principales :

- a- Le signal brut est décomposé en périodes.
- b- Chaque période est découpée en 50 phases.
- c- Les phases de chaque période sont superposées pour obtenir des phases moyennes.

Ainsi il été possible de réaliser un traitement statistique sur chaque phase moyenne. Le logiciel mis au point au laboratoire permet de prendre en compte l'évolution temporelle des vitesses et de calculer les fluctuations en fonction de celle-ci.

Si dans une phase n, nous considérons la valeur instantanée de la composante horizontale de vitesse :

U(**i**, **n**)

n indice de la phase. 1 < i < N (N nombre de données dans la phase) Pour chaque phase nous obtenons :

• Valeur moyenne de la vitesse (définie pour chaque composante U et V)

$$\overline{\mathrm{U}(\mathrm{n})} = \frac{1}{N(n)} \sum_{i=1}^{N(n)} U(i,n)$$

• Energie cinétique

$$Ec = \frac{1}{2} \left(\overline{U(n)}^2 + \overline{V(n)}^2 \right)$$

• Variance (définie pour chaque composante U et V)

$$\overline{u^2} = \frac{1}{N(n)} \sum_{i=1}^{N(n)} [U(i,n) - (A(n) * t(i,n) + B(n))]^2$$

(Avec A, B : coefficients d'une régression linéaire)

• Intensité de turbulence (définie pour chaque composante U et V)

$$\frac{\sqrt{u^2}}{U_{ref}}$$
 (U_{ref} : amplitude maximale des vitesses)

• Energie cinétique turbulente

$$\kappa = \frac{1}{2} \left(\overline{u^2} + \overline{v^2} \right)$$

En ce qui concerne les résultats, les valeurs de l'énergie cinétique et de l'énergie cinétique turbulente seront toutes adimensionnées par une grandeur Ec°, correspondant à l'énergie de la houle non perturbée (sans structure, conditions de houle identiques).

3. Résultats 3.1 Structure monocouche

Dans un premier temps nous avons analysé la nature de l'écoulement au voisinage d'un seul écran, de manière à mettre en évidence des longueurs caractéristiques concernant la dimension de la perturbation à l'aval de la structure, et de définir la sensibilité du phénomène à des variations de paramètres hydrauliques que sont l'agitation devant l'ouvrage et la période. Nos mesures ont été réalisées suivant deux directions, nous présentons ici la position des points de mesures pour les 2 profils :

1- Dans l'axe du jet perpendiculairement à la paroi de sphères sur une distance de deux diamètres : « **Profil 1** ».

2- Tangent à la paroi, transverse au centre d'une maille géométrique perpendiculaire au jet. (* nous n'avons représenté que des demi sphères pour raison de simplicité) : « profil 2 ».



Figure 2 - Profils de mesures

Dans le cas d'une structure monocouche, l'écran composé d'un arrangement régulier de sphères engendre un réseau de jets. Ces jets apparaissent à l'aval lors du passage du sommet, à l'amont lors du passage creux.

Nous avons étudié l'évolution de la vitesse et de l'intensité turbulente en fonction de la phase de la houle. Figure 3, nous représentons ces deux grandeurs (pour la composante horizontale) pour un « *profil 2* » c'est à dire tangent à un plan aval à l'ensemble des sphères. L'abscisse est adimensionnée par le diamètre D des sphères (D correspond à la maille géométrique de la structure),X / D = 0,5 représentant le centre du jet.



Figure 3 - Evolution de la vitesse et de l'intensité turbulente en fonction de la phase (profil 2)

Les résultats montrent ici les caractéristiques classiques d'un jet, notamment les deux pics d'intensité de turbulence de part et d'autre de celui-ci.

Pour mettre en évidence la perturbation à l'aval du dispositif, nous avons étudié l'évolution de l'énergie cinétique et de l'énergie cinétique turbulente dans l'axe d'un jet (*profil 1*). Chaque point des courbes suivantes (figure 4) représentent les énergies moyennes par période et ceci sur une distance de deux diamètres.



Les résultats montrent une forte diminution de l'énergie cinétique globale sur une distance d'un diamètre de sphère D pour ensuite atteindre un seuil vers 1,5 D qui confirme la valeur du coefficient de transmission (environ 70 %). L'énergie cinétique turbulente présente une évolution différente, elle commence par croître pour atteindre un pic à un demi-diamètre puis décroît régulièrement de 0,5 à 2 diamètres.

Les évolutions contraires de 0 à 0,5 diamètre de la paroi (dans l'axe du jet) s'interprètent comme le transfert d'énergie du mouvement moyen au mouvement fluctuant. Le pic d'énergie cinétique turbulente situé à une distance D/2 de la structure correspond donc au maximum de dissipation.



Figure 5b - Agitation 11,5 cm

Figure 5 + : Ec / Ec° × : k / Ec°

Pour examiner la sensibilité de ces résultats à des variations de paramètres hydrauliques, nous avons réalisé des mesures identiques aux précédentes en faisant varier l'agitation devant la structure puis la période.

Les courbes de la figure 5 présentent l'évolution des énergies cinétique et cinétique turbulente pour trois conditions d'agitation : H = 16 cm, 11,5 cm, 4,1 cm. (Fig. 5a, 5b, 5c). L'agitation H étant l'amplitude du clapotis devant la structure.



Figure 5c - Agitation 4 cm

Les courbes ci-dessus montrent que pour différentes conditions d'agitation, les dimensions caractéristiques de la perturbation restent inchangées.

Pour des variations de période, on constate également le même phénomène qui confirme que la diffusion turbulente est plus influencée par les caractéristiques géométriques de la structure que par celles de la houle. De ce fait nous avons principalement exprimé les divers résultats en fonction du diamètre D des sphères qui correspond à la dimension caractéristique de la structure.

3.2 Structure bicouche

Dans un second temps, nous avons analysé la nature de l'écoulement au voisinage d'une structure composée de deux écrans.

Nous avons réalisé des mesures de vitesses (d'une manière analogue à la struture monocouche : profil type 1 et 2) à l'aval du second écran mais aussi à l'intérieur de la structure, c'est à dire entre les deux écrans, et ceci pour différentes distances entre les deux parois.

3.2.1 Influence réciproques des écrans

Avant d'effectuer des mesures pour diverses écartement de parois, nous avons défini une distance entre les écrans à partir de laquelle la seconde couche à l'aval de la première ne subit plus l'influence de celle-ci.

Pour obtenir cette longueur caractéristique de l'influence réciproque des 2 écrans, nous avons réalisé des mesures de vitesses à l'aval de chaque écran dans des zones identiques pour différents écartements.

Les résultats sur l'analogie des profils de vitesse à l'aval de chaque couche montrent qu'au delà d'un écartement de un diamètre, l'interaction entre les deux écrans est fortement réduite [6].

Nous avons donc choisi pour la suite des essais d'étudier la structure bicouche pour des écartements E compris entre 0 et 1 D.

3.2.2 Mesures à l'aval du dispositif

Nous avons analysé l'écoulement turbulent de la même manière que sur la structure simple (*profils 1 et 2*), pour différents écartements : 0, D/8, D/4, D/2, D. Nous présentons ici deux résultats obtenus pour D/8 et D, en effet ces deux courbes sont analogues aux mesures réalisées pour d'autres écartements.



Figure 6 - Evolution de l'énergie sur l'axe d'un jet (+ : Ec / Ec.° × : k / Ec°)

Ces résultats montrent que la longueur caractéristique de décroissance de l'énergie cinétique n'est pas modifiée par rapport à une structure simple, et ceci quel que soit l'écartement choisi entre les deux écrans. La position du pic d'énergie cinétique turbulente situé à 0,5 diamètre reste inchangée également, on constate toutefois une diminution d'amplitude d'environ 40%.

3.2.3 Mesures à l'intérieur de la structure

Compte tenu du faible espace nécessaire au passage des faisceaux laser, il a été possible de réaliser des mesures de vitesse à l'intérieur de la structure. En effet, seule une méthode optique ou ultrasonore était envisageable dans ce cas.

Nous présentons figure 7 l'évolution de l'énergie cinétique et de l'énergie cinétique turbulente pour trois écartements différents : E=0, E=D/2, E=D.

Quelle que soit la distance entre les deux parois, nous avons réalisé les profils de mesures de vitesses (*profil 2*) dans le plan médian situé entre les deux écrans.

Les courbes suivantes présentent l'évolution de l'énergie cinétique et de l'énergie cinétique turbulente sur une maille transverse (*profil 2*). Chaque point représentant la valeur moyenne de l'énergie sur une période de houle.



Figure 7 - Evolution de l'énergie pour un profil transverse (× E=0, + E=D/2, - E=D)

Les résultats montrent que les courbes d'énergie cinétique présentent la forme caractéristique d'un jet qui s'aplatit et diminue en intensité lorsque l'écart entre les deux écrans augmente. L'évolution de l'énergie cinétique turbulente présente une forme qui s'aplatit également lorsque l'on passe d'une distance E=0 à E=D/2.

Nous constatons que pour un écartement E=D/2, l'énergie turbulente est la plus homogène et la plus importante au centre de la structure. Les résultats montrent également que le passage à une distance supérieure (E=D) entre les écrans n'augmente pas ce phénomène mais à tendance à le réduire.

4. Conclusion

Les études réalisées montrent que les dimensions caractéristiques de la perturbation à l'aval de la structure sont relativement indépendantes des caractéristiques de la houle. De ce fait, il convient, pour améliorer la dissipation, que le second écran soit en correspondance avec l'écoulement généré par le premier en particulier, et qu'il s'adapte aux échelles de turbulence de celui-ci.

Une caractérisation de l'écoulement au voisinage d'un écran seul semble alors une première étape indispensable pour optimiser le dispositif global en fonction de la géométrie des vides.

Il est important de souligner également que le positionnement des écrans supplémentaires n'est pas arbitraire et qu'au delà d'une certaine distance, l'interaction mutuelle qui joue un rôle dans la dissipation (homogénéisation du taux de turbulence) diminue fortement.

5. References

[1] Sollit C. K. & Cross R.H. 1972 « Wave transmission through permeable breakwaters » Coastal Engineering, pp.1827-1846.

[2] Calhoun, R.J. 1971 « Field study of wave transmission through a rubble mound breakwater », M.S. Thesis, U.S. Navy postgraduate School.

[3] Ouméraci H. 1984 « Scale effects in coastal hydraulic models. Symposium on scale effects in modelling hydraulic structures, Ed. H. Kobus, International association for hydraulic Research, pp. 7.10-1 - 7.10-7.

[4] Bélorgey M., Le Bas J., Grandjean A. 1989 « Application of Laser Doppler Velocimetry to the study of turbulence generated by swell in the vicinity of walls or obstacles » Coastal Engineering Vol. 13, pp 183-203.

[5] Durst F., Melling A., Whitelaw J. H. 1981 « Principles and practice of Laser Doppler Anemometry » Academic Press 437 pp.

[6] Arsié A., Bélorgey M. 1997 « Optimisation des filtres amortisseurs de houle » 13^{ème} Congrès Français de Mécanique, Poitiers Vol. 2, pp 59-62.