

9^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

10 - 11 - 12 MARS 2003

POITIERS - FUTUROSCOPE

**CARACTERISATION TECHNIQUE DU VELOCIMETRE DOPPLER VECTOR ET
APPLICATIONS A LA MESURE DE HOULE**

***TECHNICAL CHARACTERISATION OF THE DOPPLER VELOCIMETER VECTOR AND
APPLICATIONS FOR SWELL MEASUREMENT***

A. MEURET^a, D. DREVARD^a, J. PIAZZOLA^b ET V. REY^a

^a LSEET, Université de Toulon et du Var BP 132 83956 La Garde Cedex , anne.meuret@lseet.univ-tln.fr,

tel : 04 94 14 28 51, fax : 04 94 14 24 17

^b LEPI, Université de Toulon et du Var, ISITV BP 56 83162 La Valette Cedex

Résumé

L'objet de l'étude présentée est l'analyse des performances d'un vélocimètre Doppler, le Vector, capable de mesurer simultanément les trois composantes de la vitesse dans le but d'étudier les phénomènes à haute et basse fréquence, aussi bien en laboratoire que pour des phénomènes *in situ*. Une première série de mesures dans un canal hydraulique a permis la caractérisation technique de l'appareil à partir de l'étude de l'influence d'un certain nombre de paramètres, tels que la fréquence et le volume d'échantillonnage, l'intervalle de vitesse, sur la qualité des données. On a pu mettre de ce fait en évidence les limitations de l'appareil grâce à une analyse spécifique des erreurs de mesure. Une autre série de mesures effectuée en bassin à houle a permis de monter l'intérêt et les capacités du Vector pour la mesure de houle.

Abstract

The performance of an acoustic Doppler velocimeter, the Vector, which has capacities to measure high and low frequency phenomena in laboratory and field experiments and to determine simultaneously the three velocity components, is evaluated in this paper. A first series of test, in an open channel flume, permits to obtain a technical characterization of the instrument with the study of the influence of certain parameters (sample frequency and volume, nominal velocity range...) on data quality and these limitations due to the measured errors. An other series of tests, in a wave basin, show an application of its capacities for swell measurements.

1- Introduction

En zone côtière, l'hydrodynamique est fortement influencée par des processus d'interactions spécifiques liés essentiellement à la présence de zones d'interface représentées par la surface et le fond de la mer, ainsi que la bordure littorale. En particulier, la configuration des côtes va avoir une grande influence sur le champ de vent et le développement des vagues. La turbulence générée à l'interface air-mer et au fond est aussi un processus primordial dans les applications littorales. La connaissance de l'ensemble de ces phénomènes est donc nécessaire pour mieux comprendre la dynamique de la houle en zone côtière et par conséquent, pour résoudre les problèmes concernant l'aménagement des zones littorales, l'ensablement des ports, la stabilité des plages... Un certain nombre d'appareils de mesure sont utilisés pour l'ensemble de ces applications, mais peu d'instruments possèdent des capacités de mesure équivalentes en laboratoire et en mer. En effet, les mesures *in situ* requièrent une bonne résolution spatio-temporelle, ainsi qu'une facilité de mise en place et d'utilisation. Les résultats présentés concernent les performances du vélocimètre Doppler Vector (Nortek industrie), utilisé pour la détermination des trois composantes de la vitesse locale du fluide. Le Vector est un appareil de type ADV qui permet l'étude des phénomènes à haute et basse fréquence, aussi bien en laboratoire que pour des phénomènes *in situ* (Kraus *et al.*, 1994; George, 1996; Voulgaris and Trowbridge, 1998). Dans une première partie, nous proposons la description et la caractérisation du Vector à partir d'une étude menée en canal à houle, avant de consacrer la deuxième partie à un exemple d'utilisation de l'appareil pour la mesure de la houle en bassin d'essai.

2- Description du Vector

Le Vector est un système de mesure basé sur le changement de fréquence Doppler capable de mesurer simultanément les trois composantes de la vitesse. Il est constitué de deux parties : la tête de mesure et le corps, un cylindre de 6 cm de diamètre et 44.8 cm de long (Fig. 1). Ce dernier contient le module électronique, la batterie et les différents capteurs : pression, température et position (roulis, tangage, pilonnement). Les mesures de vitesse sont effectuées par un système acoustique Doppler de type bistatique c'est à dire constitué d'un émetteur et de trois récepteurs séparés. Ce système émet de courtes pulsations acoustiques à une fréquence de 6 MHz qui sont réfléchies par les particules en suspension de diamètre compris entre 8 et 10 μm (sédiment fin, petits organismes, phytoplancton...), situées dans le volume

d'échantillonnage (Zedel *et al.*, 1996). En effet, la variation de fréquence est proportionnelle à la vitesse des particules, elle-même considérée égale à la vitesse de l'écoulement. Le volume d'échantillonnage est situé à 15.7 cm de l'émetteur dans le but de minimiser les interférences et est défini par l'intersection des axes émetteur et récepteurs. Ce volume fictif possède une forme cylindrique de hauteur variable (5 à 20 mm) et de diamètre 15 mm. Sa taille, c'est à dire sa hauteur, est relative à la longueur de transmission et à l'épaisseur de la fenêtre de réception (Lohrmann *et al.*, 1994). Le système n'est pas influencé par la turbidité de l'eau et ne nécessite pas de calibration. La géométrie des récepteurs qui forment un angle de 30° avec l'axe émetteur améliore la précision selon l'axe z puisque la direction de celui-ci est parallèle à l'axe émetteur. Le domaine de vitesse (NVR) peut être choisi par l'utilisateur. La fréquence d'échantillonnage des différents capteurs est de 1 Hz sauf pour le capteur de pression qui a la même fréquence d'échantillonnage que les composantes de vitesse.

3- Caractérisation technique

La caractérisation technique de l'appareil a été réalisée par l'intermédiaire d'une étude des capacités de mesure de l'appareil pour un écoulement connu. Ceci a permis de mettre en évidence une configuration optimale de mesure et de quantifier les incertitudes. Ce travail a été conduit dans le canal à houle de l'ISITV (Institut des Sciences de l'Ingénieur, Université de Toulon et du Var) pour un écoulement à vitesse uniforme.

Le canal hydraulique de l'ISITV est un système de circulation fermé qui est assurée par une pompe d'alimentation. Il possède une structure en acier et inclut le réservoir, la pompe d'alimentation et le réseau de tuyaux. Ses dimensions sont : 14 m de long, 30 cm de large et 30 cm de profondeur. Le débit se règle par une vanne manuelle et l'extrémité du canal se termine par un plafond déversant d'où l'eau retombe dans le réservoir principal. De par sa configuration, ce plafond déversant est toujours dénoyé et assure une indispensable rupture hydraulique en sortie du canal. Dans cette partie, le canal est utilisé en configuration courant pour faciliter les mesures de vitesse. La tête de mesure est située à l'intérieur du canal dans le but d'obtenir les trois composantes de la vitesse ; chaque série de mesures a une durée de 2 minutes c'est à dire une durée suffisante pour obtenir une estimation correcte de la vitesse moyenne. La vitesse moyenne de l'écoulement est choisie à peu près constante (21 cm.s^{-1}), elle peut être modifiée en ajustant les positions du plafond déversant et de la vanne manuelle qui gère le débit. Plusieurs situations ont été testées : la position de la tête de mesure et

l'influence de plusieurs configurations de l'appareil, elles sont regroupées dans le Tableau I. Les mesures présentées dans ce papier ont été effectuées en avril 2002 d'après le dispositif expérimental représenté sur la figure 2. Toutes les données exploitées ont une bonne corrélation (> 80 %) et un bon rapport signal sur bruit (> 30 dB).

Tableau I : Liste des configurations du Vector utilisées pour chaque série de tests

	f_e (Hz)	NVR ($m.s^{-1}$)	v_e (mm)	Position tête de mesures
Effets de bords	8	0.3	14.9	horizontale
f_e	1 - 64	0.3	14.9	horizontale
NVR	8	0.01 - 7	14.9	horizontale
v_e	16	0.3	5 - 20	horizontale et verticale
Profil de vitesse	16	0.3	5-10-14.9-20	horizontale et verticale

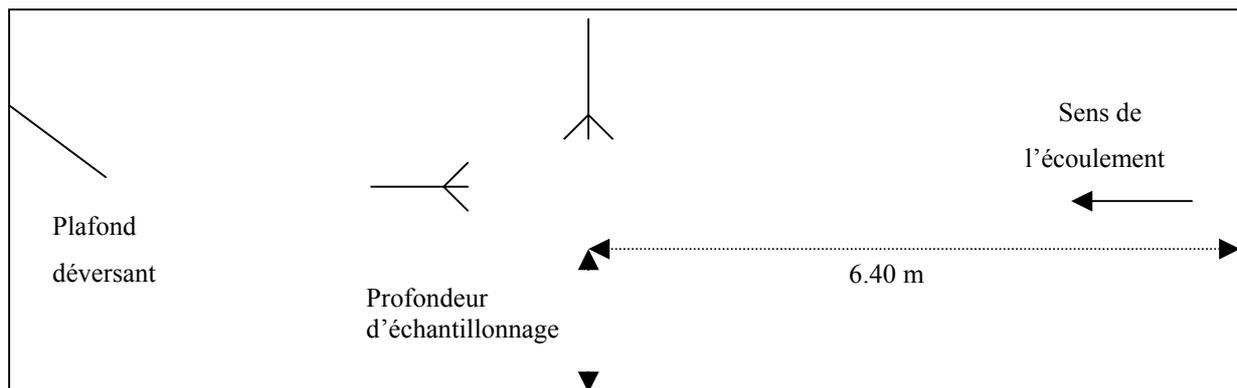


Figure 2 : Dispositif expérimental utilisé pour les mesures de vitesse dans le canal hydraulique

Tout d'abord, il était nécessaire d'étudier l'existence d'effets de bord pouvant influencer les mesures. Pour cela, nous avons fait varier l'angle de la tête de mesure en fonction de la direction de l'écoulement. Cinq positions ont été testées, choisies en fonction de la direction de la tête X : 0 (correspondant à la verticale), 60, 90, 120 et 180°. Les vitesses sont mesurées dans le système de coordonnées (xyz) du Vector, puis transformées dans un système fixe de coordonnées, lié au canal (XYZ) :

$$v_x = \cos \theta . u - \sin \theta . v$$

$$v_y = \sin \theta . u + \cos \theta . v$$

$$v_z = w$$

où v_i représentent les composantes de la vitesse dans le référentiel (XYZ) lié au canal et (u , v , w) les composantes de la vitesse mesurées par le Vector. Une comparaison des distributions de vitesses est effectuée en fonction de l'angle de la tête de mesure (Fig. 3). En théorie, les distributions ne dépendent pas de l'angle et donc de la position de la tête de mesure. En effet, même si on peut observer une légère variation sur les vitesses, celle-ci reste inférieure à l'incertitude nominale donnée par le fabricant (1 cm.s^{-1}). On pourra donc négliger les effets de bords dans le canal.

Fréquence d'échantillonnage

La fréquence d'échantillonnage peut varier de 1 à 64 Hz. Pour la série de mesures présentée dans ce papier, la corrélation est proche de 100 % et le rapport signal sur bruit est supérieur à 42 dB. Sur la figure 4 sont représentées les distributions des vitesses en fonction de la fréquence d'échantillonnage. Nous pouvons remarquer que le pic principal se situe toujours entre 20 et 25 cm.s^{-1} . Cependant, on note l'apparition d'un certain nombre de pics de moindre amplitude à partir d'environ 2 Hz qui correspondent probablement à la saturation du signal temporel et qui peuvent être supprimés en filtrant le signal. La figure 5 représente les écart-types calculés pour les mesures de vitesse longitudinale et le pourcentage de données non saturées en fonction de la fréquence d'échantillonnage. Les données sont considérées correctes lorsque le pourcentage des données non saturées est supérieur à 80 %. Cette saturation du signal est confirmée par l'augmentation de l'écart-type des vitesses avec la fréquence d'échantillonnage (Fig. 5). En effet, les données filtrées ont un écart-type inférieur à 1.3 cm.s^{-1} alors que pour les données non filtrées, l'écart-type se situe autour de 5 cm.s^{-1} pour une fréquence d'échantillonnage de 32 Hz. Une fréquence d'échantillonnage choisie inférieure à 32 Hz n'influe donc pas sur la qualité des mesures. Cependant, la fréquence d'échantillonnage doit être choisie au vue de la période caractéristique des phénomènes étudiés qui varie suivant l'intensité de la turbulence et les caractéristiques de la houle (Voulgaris et Trowbridge, 1998). Dans certains cas, une fréquence d'échantillonnage trop faible peut être pénalisante. Cependant, une valeur de 8 ou 16 Hz peut être considérée comme correcte pour la plupart des cas d'étude.

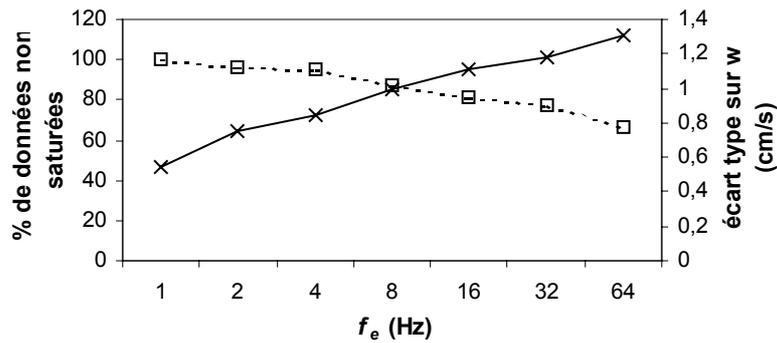


Figure 5 : Variation des écart-types sur les vitesses longitudinales mesurées (en trait plein) et du pourcentage de données non saturées (en pointillé) en fonction de la fréquence d'échantillonnage.

Domaine de vitesse (NVR)

Le domaine de vitesse est choisi par l'utilisateur entre 0.01 et 7 m.s^{-1} et correspond à la vitesse maximum mesurée. L'influence du domaine de vitesses est étudiée par le biais des distributions des vitesses et des erreurs sur les mesures. La corrélation est supérieure à 90 % et le rapport signal sur bruit à 44 dB pour ces mesures. Sur la figure 6 sont représentées les distributions de vitesse en fonction du domaine de vitesse (par la suite appelé NVR). On peut remarquer la présence de deux pics. Le premier pic est situé entre 0 et 5 cm.s^{-1} , il correspond aux vitesses obtenues pour un NVR de 0.01 et 0.1 m.s^{-1} . La vitesse moyenne de l'écoulement étant d'environ 23 cm.s^{-1} , on considère les valeurs de ce pic comme aberrantes. Le second pic, qui représente la majorité des vitesses obtenues à partir d'un domaine de vitesse supérieur ou égal à 0.3 m.s^{-1} , se situe entre 20 et 25 cm.s^{-1} . En effet, d'autres séries de mesures ainsi que les conseils d'utilisation de Nortek (*Nortek Operations Manuel*) ont montré que le NVR doit toujours être supérieur à la vitesse mesurée de l'écoulement. Ceci est confirmé par la figure 7 sur laquelle sont représentés les écart-types sur les vitesses et le pourcentage des données non saturées en fonction du NVR. L'écart-type est de 0.75 cm.s^{-1} pour les NVR de 0.3 m.s^{-1} et 1 m.s^{-1} puis, à partir de 1 m.s^{-1} , il augmente régulièrement pour atteindre 1.04 cm.s^{-1} pour un NVR de 7 m.s^{-1} . Cette analyse permet donc de remarquer que la saturation du signal n'est pas l'unique source d'erreurs.

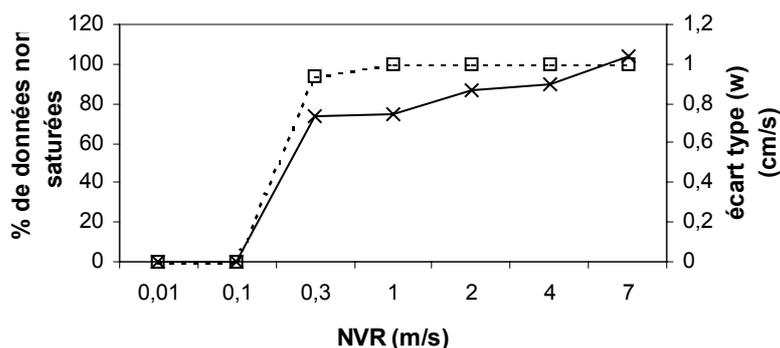


Figure 7 : Variation des écart-types sur les vitesses longitudinales mesurées (en trait plein) et du pourcentage de données non saturées (en pointillé) en fonction du domaine de vitesse (NVR).

Volume d'échantillonnage

Plusieurs séries de mesures ont été effectuées dans le but de connaître l'influence du volume d'échantillonnage et de la position de la tête de mesure sur la qualité des mesures de vitesse, ces deux paramètres étant liés. Si la hauteur du cylindre fictif d'échantillonnage, que l'on appellera simplement le volume d'échantillonnage, se situe dans la direction de l'écoulement, la variation de ce volume d'intégration peut modifier les mesures de vitesse. S'il se situe transversalement à cette direction, les mesures de vitesse sont invariantes en fonction du volume d'échantillonnage. On voit donc que l'influence du volume d'échantillonnage varie suivant la position de la tête de mesure par rapport à la direction de l'écoulement. Ce volume d'échantillonnage peut varier de 5 à 20 mm selon la longueur de transmission et l'épaisseur de la fenêtre de transmission. Nous étudierons tout d'abord les mesures obtenues avec la tête de mesure en position horizontale puis, un profil de vitesse a été effectué à l'aide des deux positions : la position horizontale pour les mesures à partir de la surface libre jusqu'à $z/h = 0.25$ et la position verticale pour les mesures proches de la couche limite. Ce profil a été effectué pour quatre volumes d'échantillonnage différents (5, 10, 14.9 et 20 mm) et douze profondeurs d'échantillonnage entre 0.8 et 12.6 cm. Pour toutes les mesures, nous avons obtenu de bons coefficients de corrélation ($> 99\%$ pour la position horizontale et $> 89\%$ pour la position verticale) et des rapports signal sur bruit corrects (> 35 dB pour la position horizontale et > 25 dB pour la position verticale). Les vitesses ont été moyennées sur 60 minutes.

Tout d'abord, nous étudierons les mesures obtenues avec la tête de mesure en position horizontale avec trois différentes profondeurs : 2, 5 et 10 cm. Pour les trois séries de mesures,

le niveau de saturation est équivalent puisque nous avons environ 2 % de mesures saturées. La saturation du signal temporel n'est donc pas lié au volume d'échantillonnage (Fig. 8). De plus, nous avons pu remarquer que les vitesses longitudinales moyennées sont constantes en fonction de la profondeur (entre 21.4 et 21.8 cm.s^{-1} pour 5 et 10 cm de profondeur et entre 15.6 et 16.9 cm.s^{-1} pour 2 cm de profondeur). Cependant, les écart-types augmentent quand on se rapproche du fond (Fig. 8) ce qui nous amène à faire l'hypothèse d'un profil de vitesse logarithmique. C'est cette hypothèse que l'on a voulu démontrer ensuite à l'aide des deux positions de la tête de mesure. Pour les mesures effectuées en position horizontale, les vitesses moyennes ne dépendent ni du volume d'échantillonnage, ni de la profondeur. Pour comparaison, nous avons effectué des mesures avec la position verticale. Ceci a permis de remarquer que les données sont très peu saturées (moins de 1 %). De plus, bien que les vitesses longitudinales moyennées soient équivalentes à celles en position horizontale (entre 20.6 et 21.8 cm.s^{-1} en position verticale et entre 21.4 et 21.8 cm.s^{-1} en position horizontale), les écart-types sont supérieurs dans cette position (Fig. 8).

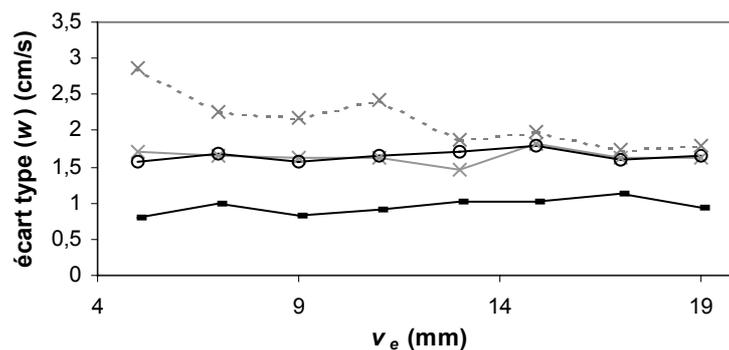


Figure 8 : Variation des écart-types sur les vitesses longitudinales mesurées en fonction du volume d'échantillonnage. Les tirets représentent les écart-types en position horizontale pour une profondeur d'échantillonnage de 2 cm, les croix une profondeur de 5 cm et les cercles une profondeur de 10 cm. Les pointillés gris représentent les écart-types avec la position verticale pour une profondeur d'échantillonnage de 5 cm.

Sur la figure 9 est représenté un exemple de profil vertical des vitesses longitudinales ($v_e = 14.9$ mm). On peut remarquer que les vitesses mesurées moyennées diminuent lorsque l'on se situe à une valeur du rapport z/h proche de 0.1 comme l'ont observé Nezu et Rodi (1986) ainsi que Lhermitte et Lemmin (1994). Ceci est attribué à l'effet de moyenne sur le gradient de vitesse lorsque l'on mesure au voisinage de la couche limite. On peut donc noter une bonne performance de mesure du Vector dans des zones très proches de la couche limite. De plus, quelle que soit la profondeur de mesures, on observe une diminution de l'écart-type en fonction du volume d'échantillonnage. Pour les mesures situées dans la couche limite, on

obtient des erreurs inférieures à 1.5 cm.s^{-1} pour des volumes d'échantillonnage supérieur à 14.9 mm . Pour des écoulements à faible gradient de vitesse, on choisira donc un volume d'échantillonnage le plus grand possible c'est à dire 20 mm et pour des écoulements à fort gradient de vitesse, on choisira un volume d'échantillonnage plus petit.

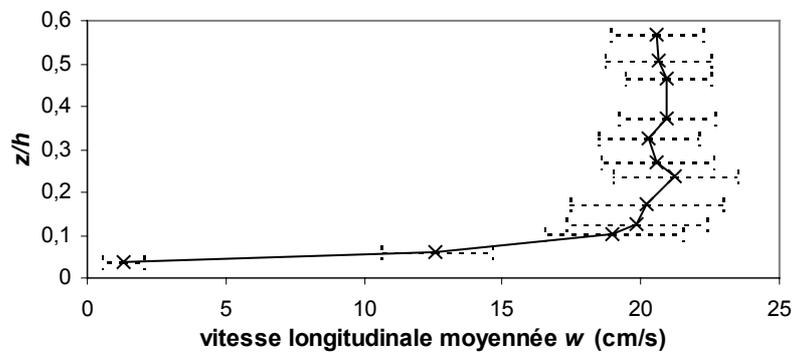


Figure 9 : Profil de vitesse longitudinale obtenu à l'aide des deux positions de la tête de mesure du Vector pour différentes profondeurs (entre 12.6 et 0.8 cm)

4- Mesure de houle en bassin

Le but de cette seconde partie est de caractériser les capacités du système complet du Vector pour la mesure des paramètres de houle. Une série de mesures a donc été mise en place dans le bassin à houle de l'ISITV dont les dimensions sont 10 m de long, 2.70 m de large et 1.10 de profondeur. Pour comparaison, des mesures ont simultanément été effectuées à l'aide de sondes à houle. Les mesures ont été effectuées en mai 2002 avec ensemencement de sable ; toutes les données exploitées ont une bonne corrélation ($> 95 \%$) et un bon rapport signal sur bruit ($>30 \text{ dB}$).

Dans cette partie, les données utilisées concernent l'ensemble des capteurs disponibles pour le Vector, c'est à dire les trois composantes de la vitesses u , v , w et la pression p . Le but est de retrouver à partir de ces données les grandeurs caractéristiques de la houle, soit son amplitude a et sa fréquence f . Pour cela, on a donc utilisé le modèle de Stokes au 1^{er} ordre ou modèle d'Airy, dans l'hypothèse de houles progressives. Les paramètres u , v , w et p peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$u = |u| e^{i\varphi_u}$$

$$v = |v| e^{i\varphi_v}$$

$$p = |p| e^{i\varphi_p}$$

On peut obtenir par transformation de Fourier la fréquence f de chaque paramètre (u , w et p) et leur amplitude correspondante $|u|$, $|w|$ et $|p|$ puis, en déduire le paramètre a . On peut définir a en fonction des amplitudes $|u|$, $|w|$ ou $|p|$. Par exemple à partir de $|u|$, on a :

$$a = \frac{|u|}{\omega} \frac{\sinh(kh)}{\cosh[k(z+h)]}.$$

Les paramètres de configuration du Vector sont choisis afin d'optimiser les mesures (cf. 3) c'est à dire une fréquence d'échantillonnage de 32 Hz, un domaine de vitesse de 0.3 m.s⁻¹ et un volume d'échantillonnage de 14.9 mm. Le corps du Vector est posé sur le fond du bassin, le capteur de pression se trouve donc à 1.06 m de profondeur et la tête de mesure est située de telle manière que le volume d'échantillonnage se trouve à 31.7 cm de profondeur. Les composantes de la vitesse représentent un repère orthonormé avec u dans le sens de l'écoulement et w vers le haut. Pour comparaison, des sondes à houle ont été disposées au centre du bassin. Une sonde est située dans le prolongement du Vector, la seconde 27 cm en amont et la troisième 1.06m en amont.

1^{er} cas : profondeur infinie

Ce premier exemple correspond à un cas de profondeur infinie. Les caractéristiques de la houle imposées par le batteur sont une fréquence f de 1.1 Hz, une longueur d'onde λ de 1.29 m et une amplitude a de 0.03 m. Dans ce cas, les particules fluides décrivent un cercle donc la demi amplitude de la vitesse u est à peu près égale à la demi amplitude de la vitesse w . Par le calcul de la transformée de Fourier de ces signaux, on obtient une fréquence de pic de 1.102 Hz pour les composantes de vitesse u et w (Fig. 10). Par contre le capteur de pression posé sur le fond ne permet d'observer les mouvements de la surface libre. Pour les observer, la distance maximale entre la surface libre et le capteur de pression doit être inférieure ou égale à $\lambda/2$. Les résultats obtenus par le Vector sont comparés à ceux des sondes à houle où la transformée de Fourier donne directement la fréquence et l'amplitude de l'onde de surface. Ces résultats sont regroupés dans le tableau II. On remarque une assez bonne corrélation entre les différentes valeurs obtenues et les paramètres imposés. De plus, on peut noter l'apparition de pics harmoniques $2f$ et $3f$ pour la déformée η et la pression p alors que sur les spectres de vitesse, seule la fréquence fondamentale f est représentée (Fig. 10).

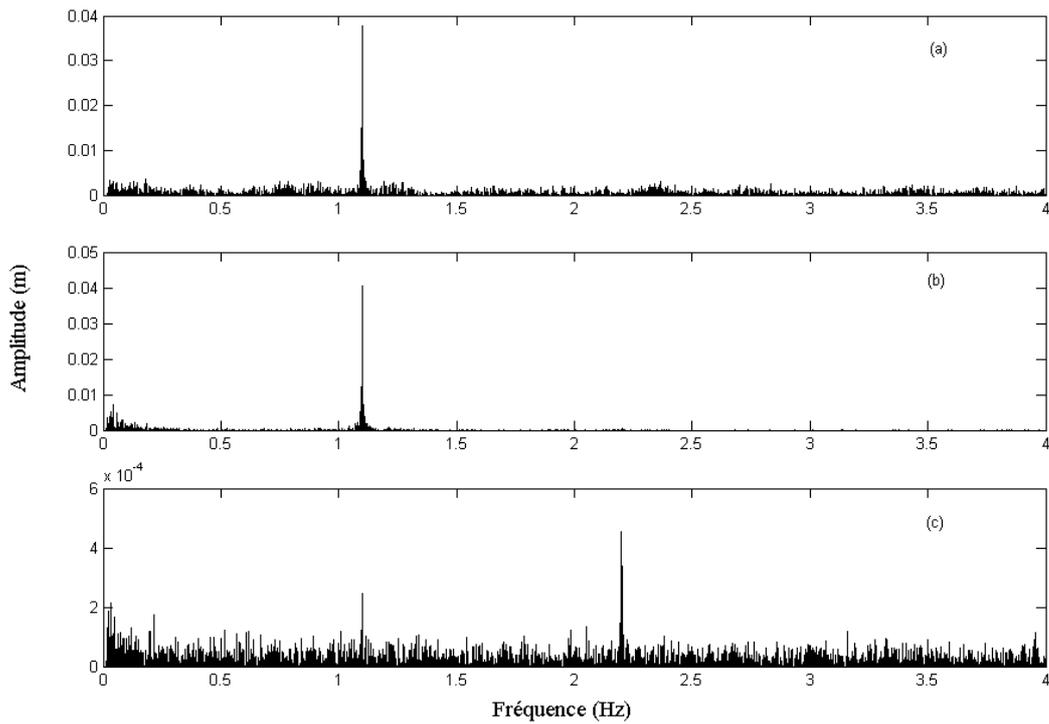


Figure 10 : Transformée de Fourier des paramètres u (a), w (b) et p (c) en fonction de la fréquence (Hz)

Tableau II : Comparaison des paramètres de houle imposés par le batteur et mesurés par le Vector w et la sonde à houle 2

	Fréquence (Hz)	Amplitude (m)
Batteur	1.1	0.03
Vector (w)	1.102	0.0254
Sonde à houle (2)	1.1017	0.0214

2nd cas : profondeur intermédiaire

Cet exemple est obtenu avec les caractéristiques de houle imposées au batteur suivantes : une fréquence f de 0.5 Hz, une longueur d'onde λ de 5.3 m et une amplitude a de 0.03 m. Dans ce cas les particules ne décrivent plus un cercle mais une ellipse de grand axe dans le sens de l'écoulement ; la demi amplitude de la vitesse u est donc bien supérieure à la demi amplitude de w . De la même manière que ci-dessus, on calcule la transformée de Fourier de chaque paramètre et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III pour comparaison. Dans ce cas, on peut aussi observer une assez bonne corrélation entre les différentes valeurs obtenues et les paramètres imposés. Cependant, on peut remarquer un pic

secondaire situé à une fréquence $2f$ pour la vitesse w (Fig. 11) ainsi que les harmoniques $2f$ et $3f$ pour la déformée de la surface libre η pour les signaux obtenus à l'aide des sondes à houle.

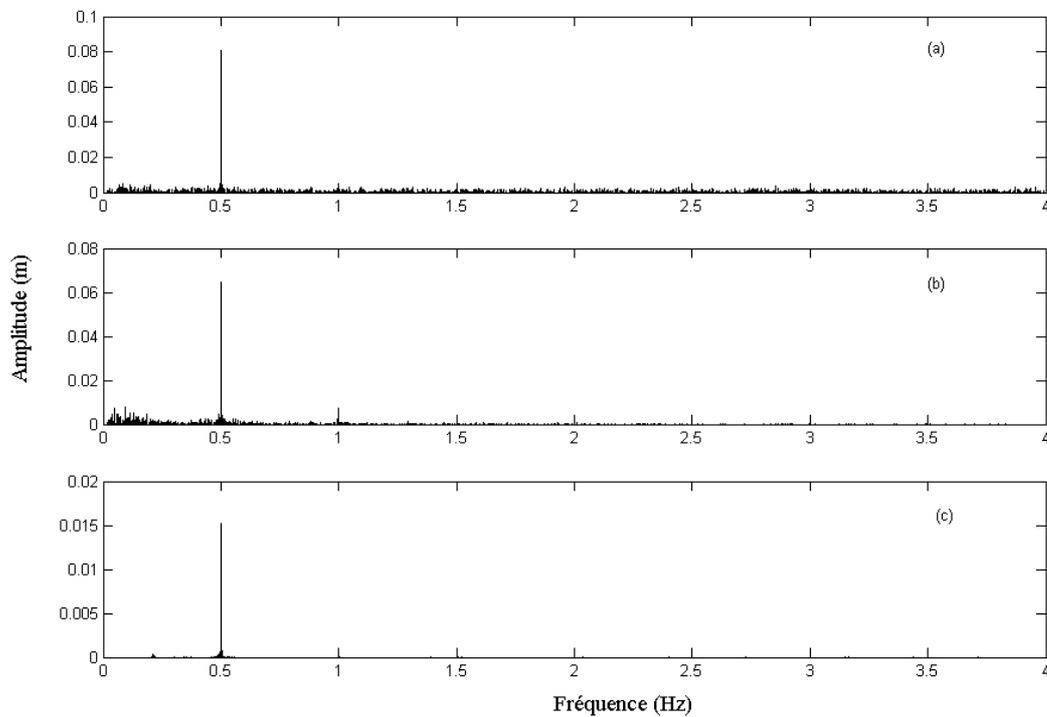


Figure 11 : Transformée de Fourier des paramètres u (a), w (b) et p (c) en fonction de la fréquence (Hz)

Tableau III : Comparaison des paramètres de houle imposés par le batteur et mesurés par le Vector w et la sonde à houle 2

	Fréquence (Hz)	Amplitude (m)
Batteur	0.5	0.03
Vector (w)	0.5	0.0333
Sonde à houle (2)	0.5	0.0281

Pour tenter d'améliorer la corrélation entre les valeurs a de l'amplitude de la houle obtenues avec le Vector, nous avons ensuite considéré une onde partiellement stationnaire. Les résultats montrent en effet une meilleure corrélation entre les paramètres obtenus avec le Vector et la houle imposée par le batteur : l'amplitude de l'onde incidente est 0.0311 m au lieu de 0.033 comme calculé sans tenir compte de la réflexion (Tableau III) et l'amplitude de l'onde réfléchie 0.0028 m.

5- Conclusions

Les résultats exposés dans ce papier avaient pour objectif principal d'étudier les performances d'un appareil de type ADV, le Vector (Nortek industrie), pour la détermination

des trois composantes de la vitesse de courant, aussi bien en laboratoire qu'*in situ*. La caractérisation technique a permis de configurer l'appareil pour une utilisation optimale à l'étude des caractéristiques de la houle. Deux conditions de profondeur ont été testées. Une comparaison avec des sondes a été mise en place qui a montré que les paramètres de la houle sont correctement estimés. Cependant, l'étude présentée s'est limitée à l'analyse en théorie linéaire de la houle. Pour la zone côtière, il est nécessaire d'utiliser une approche non linéaire. Cette étude est actuellement en cours et les résultats obtenus seront comparés à ceux obtenus par une méthode statistique. De plus, la caractérisation technique de l'appareil a été complétée récemment en canal hydraulique par des mesures de vitesse dans le sillage d'un cylindre, dont les résultats sont aussi en cours de traitement.

Références

George R., 1996. A review of acoustic Doppler velocimeter (ADV) tests and deployments. Proc. Workshop on Microstructure Sensors in the Ocean. Mt Hood, OR, Office of Naval Research : 116-120

Kraus N.C., Lohrmann A., Cabrera R., 1994. New Acoustic Meter for measuring 3D laboratory flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 120, n° 3 : 406-413

Lhermitte R., Lemmin U., 1994. Open-channel flow and turbulence measurement by high resolution Doppler sonar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 11 : 1295-1308

Lohrmann A., Cabrera R., Kraus N.C., 1994. Acoustic Doppler Velocimeter for laboratory use. *Proc. of Fundamentals and advancements in hydraulic measurements and experimentation* : 351-366

Nezu I., Rodi W., 1986. Open-channel flow measurements with a laser doppler anemometer. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112, n° 5 :335-355

Nortek AS, 2000. Vector Operations Manuel

Voulgaris G., Trowbridge J.H., 1998. Evaluation of the Acoustic Doppler Velocimeter for turbulence measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15 : 272-289

Zedel L., Hay A.E., Lohrmann A., 1996. Performance of a single beam pulse-to-pulse coherent Doppler profiler. *IEEE Journal Ocean Engineering*, 21 : 290-299



Figure 1 : Photo du Vector

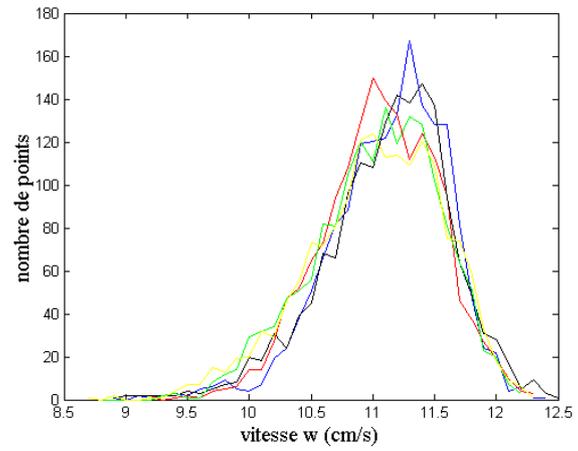


Figure 3 : Distributions des vitesses mesurées en fonction de l'angle de la tête de mesures (bleu : tête X à 0°, rouge : 60°, noir : 90°, vert : 120°, jaune : 180°)

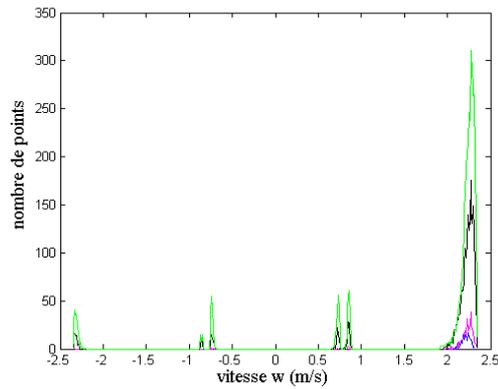


Figure 4 : Distributions des vitesses mesurées en fonction de la fréquence d'échantillonnage (bleu : 1 Hz, rose : 2 Hz, noir : 8 Hz, vert : 16 Hz)

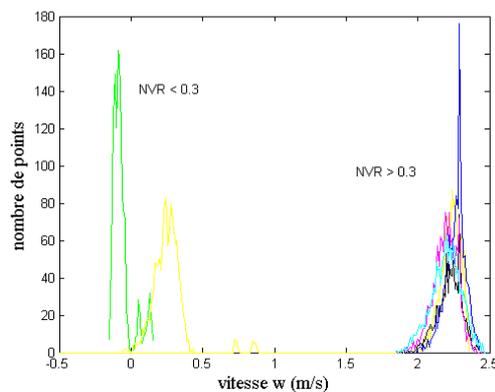


Figure 6 : Distributions des vitesses mesurées en fonction du domaine de vitesses en m/s