



**HAL**  
open science

## DYNAMIQUE INSTATIONNAIRE DE L'ÉCOULEMENT A L'AVAL D'UNE RIDE

Souria Hamidouche, Damien Calluau, Gérard Pineau, Alain Texier

► **To cite this version:**

Souria Hamidouche, Damien Calluau, Gérard Pineau, Alain Texier. DYNAMIQUE INSTATIONNAIRE DE L'ÉCOULEMENT A L'AVAL D'UNE RIDE. Congrès Français de Visualisation et de Traitement d'Images en Mécanique des Fluides, Nov 2011, Lille, France. hal-03154037

**HAL Id: hal-03154037**

**<https://hal.science/hal-03154037>**

Submitted on 26 Feb 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.

# DYNAMIQUE INSTATIONNAIRE DE L'ÉCOULEMENT A L'AVAL D'UNE RIDE

Souria HAMIDOUCHE <sup>a\*</sup>, Damien CALLAUD <sup>a</sup>, Gérard PINEAU <sup>a</sup>, Alain TEXIER <sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Institut Pprime, UPR 3346, CNRS, Université de Poitiers, Ensm, Département Fluides, Thermique, Combustion, SP2MI, Téléport 2, bv Marie et Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

\*[souria.hamidouche@univ-poitiers.fr](mailto:souria.hamidouche@univ-poitiers.fr)

---

## Résumé

L'écoulement moyen d'un fluide à l'aval d'une ride a été examiné pour un nombre de Reynolds allant de 125 à 700, basé sur la hauteur de la ride. A Reynolds 600, l'écoulement instationnaire a été étudié en détail. Plusieurs mesures par vélocimétrie par imagerie de particules et des visualisations ont été effectuées afin d'identifier les différentes structures tourbillonnaires autour d'une ride « solitaire ». Dans ce papier, les tourbillons ont été suivis de point de leurs formations jusqu'à leurs expulsions à l'aval de la ride. Les résultats montrent des variations temporelles de vorticités importantes et une diminution de la longueur de la zone de recirculation en fonction du nombre de Reynolds.

## Abstract

Mean flow over a dune was investigated at Reynolds number, based on dune height, between 125 and 700. At Reynolds 600, details study of the instationary flow were conducted. Measurements with two component Particules Image Velocimetry and flow visualization, are performed to acquire and obtain a detailed knowledge of the flow over a single fixed dune. In this paper, vortices structures evolution is depicted from the beginning of their formation near the trough dune til their vanishing above the leeside of the dune. Results exhibit an important evolution of opposite sign of instantaneous vorticity and diminution in length of the recirculation region.

## Mots clés

Ride/Visualisation/Vélocimétrie par imagerie de particules/Ecoulement/Tourbillon.

## 1. Introduction

L'étude de la topologie, la formation et la dynamique des rides dans les estuaires et les rivières sont des sujets de préoccupations actuelles pour les scientifiques, car le comportement de l'écoulement et les profils de vitesses changent à l'aval de ces formes morphologiques. En conséquence, une étude détaillée des caractéristiques de l'écoulement (structures tourbillonnaires, distribution de vitesse et vorticité)   l'aval des formes morphologiques est nécessaire afin de prédire les évolutions du transport de sédiments des rivières. Dans ce cadre, de nombreux travaux ont été réalisés que ce soit par le biais d'expériences en laboratoire sur des maquettes de ride fixes ou sur des fonds mobiles. Les premières études, Darwin [1883], Ayrton [1910], Bagnold [1946] rapportent des observations de tourbillons autour de rides et une classification des différentes formes de ces dernières en fonction de la nature de l'écoulement existant ( coulement permanent ou oscillant). Ces travaux définissent, entre autre, les quatre principales régions de l'écoulement générées par la présence de ride, figure 1 : (S) le point de séparation de l'écoulement situé sur la crête de la ride, ( $Z_r$ ) une zone de recirculation définie par une ligne de séparation ( $L_s$ ) reliant le point de séparation (S) et le point de rattachement de l'écoulement (R).

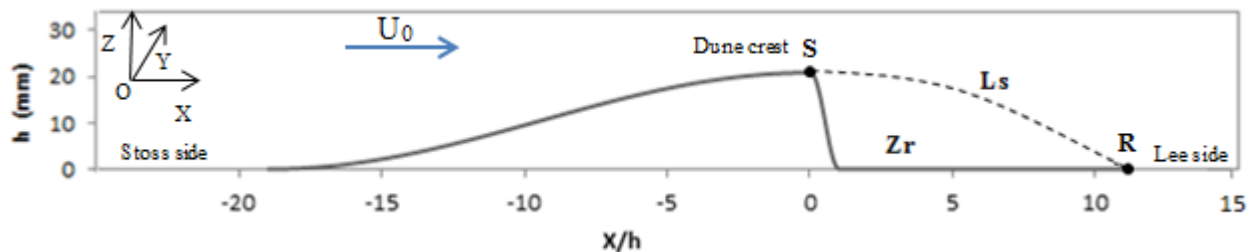


Fig.1. Schématisation des principales régions de l'écoulement généré à l'aval d'une ride, d'après Bagnold [1946].

Plus récemment, « Ojha et Mazumder [2008] », « Nakagawa et Nezu [1987] » se sont focalisée sur l'étude des caractéristiques moyennes et turbulentes de l'écoulement afin d'identifier leurs impact sur la forme sédimentaire. L'analyse de la dynamique instationnaire de l'écoulement, d'un point de vue statistique, générée à l'aval de rides ou dunes, qui joue un rôle primordial sur le transport sédimentaire a été effectué par « Kadota et Nezu [1999] », « Stoesser et al. [2008] », « Hyun et al. [2003], Best [2005] ».

Nos travaux s'inscrivent dans la complémentarité de ces études et ont pour finalité de définir l'impact de la dynamique tourbillonnaire sur le transport de sédiment au-dessus de formes géomorphologiques. En particulier, l'accent est mis sur l'étude de l'influence du nombre de Reynolds sur la formation et l'évolution des structures tourbillonnaires instationnaires à l'aval d'une ride fixe.

## 2. Méthodes expérimentales

Le dispositif expérimental utilisé est une veine hydrodynamique de section 16 cm x 16 cm, utilisable sur une gamme de vitesse de quelques centimètres par seconde à 5 cm.s<sup>-1</sup> (fig.2). Les dimensions caractéristiques de la ride « solitaire » fixe utilisées sont sa hauteur,  $h = 20$  mm, et sa

longueur de 585 mm. Son profil est défini par la fonction trigonométrique suivante, « Kadota et Nezu [1999] » :

$$h(x) = 10\left\{\sin\left(\pi\left(2x + \frac{1}{2}\right)\right) + 1\right\} \quad (1)$$

$$\text{où} \quad X = 20 x'/38 \quad \text{pour} \quad -0.95 \geq x' \geq 0.0 \quad (2)$$

$$X = 10 x' - 9 \quad \text{pour} \quad 0.0 \geq x' \geq 0.05 \quad (3)$$

Pour toutes les expériences, un repère orthonormé direct R (O/x,y,z) est associé à la maquette (fig. 1). Son origine O est située dans le plan de symétrie de la maquette, au niveau du fond (la base de la ride) à la verticale de la crête de la ride. L'axe (Ox) suit la direction de l'écoulement extérieure  $U_0$ . L'axe (Oy) est la direction selon l'envergure de la ride. L'axe (Oz) est dirigé selon l'amplitude. Afin de maintenir une cohérence lors des comparaisons entre les différents cas étudiés, les coordonnées suivant (Ox), (Oy) et (Oz) et les vitesses sont adimensionnées, respectivement, par la hauteur h de la ride, et de la vitesse uniforme extérieure  $U_0$ .

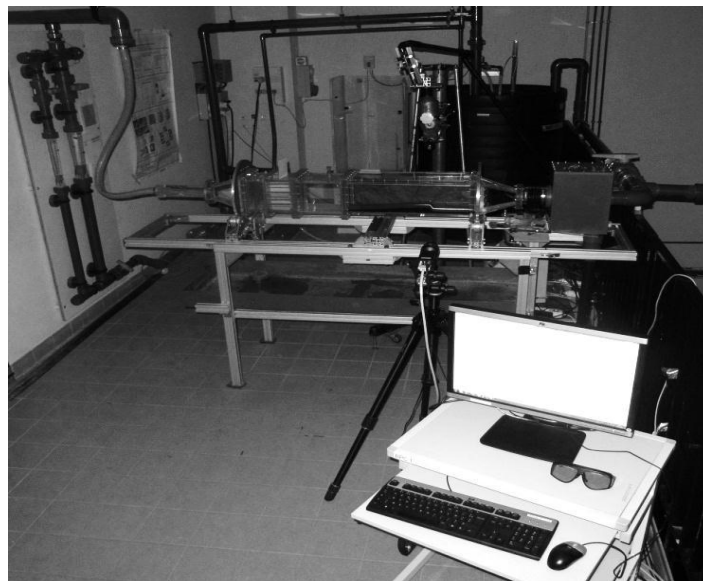


Fig.2. Veine hydrodynamique.

Dans nos expériences le fond de la ride adapté est fixe et la gamme de variation de Reynolds calculé à partir de la hauteur h et de  $U_0$  (de  $Re = 125$  à  $Re = 700$ ). La vitesse uniforme  $U_0$  est petite, permettant une visualisation fine de l'écoulement instationnaire avec une grande résolution temporelle et ainsi une caractérisation précise des évolutions spatiales et temporelles des tourbillons générés. Les visualisations et mesures de vitesses ont été réalisées dans différents plans de l'écoulement. L'ensemencement de l'écoulement s'effectue au moyen de particules solides. Les visualisations de l'écoulement sont enregistrées par un appareil photographique Nikon D1 ou par une caméra CCD de résolution 1200 x 1600. Les mesures des champs de vitesses ont été effectuées par Vélocimétrie par Imagerie de Particules (PIV). Les images acquises ont été analysées par le logiciel « Dynamique Studio » (Dantec), qui assure, l'acquisition en synchronisant l'illumination laser et la prise d'images. Les champs de vitesse ont été obtenus par une analyse PIV multi-passes sur des fenêtres d'interrogations variant de 128 x 128 pixels à 16 x 16 pixels.

La fréquence d'acquisition a été adaptée en fonction du nombre de Reynolds (les différentes fréquences d'acquisition sont : 4, 8, 10, 14, 14 Hz qui correspondent, respectivement, aux nombres de Reynolds suivants : 125, 300, 500, 600 et 700). La base de données conséquente ainsi acquise nous permet d'avoir accès au minimum à 1024 champs instantanés de vitesse pour chacun des nombres de Reynolds étudiés.

### 3. Étude de l'écoulement

#### 3.1 Écoulement moyen

La figure 3, présente les isocontours de la norme de la vitesse moyenne adimensionnée  $\|(U, V)\| = \sqrt{U^2 + V^2}$  caractérisant les écoulements pour des nombres de Reynolds variant de 125 à 700. Pour un nombre de Reynolds inférieur à 300, aucune zone de recirculation n'est notée.

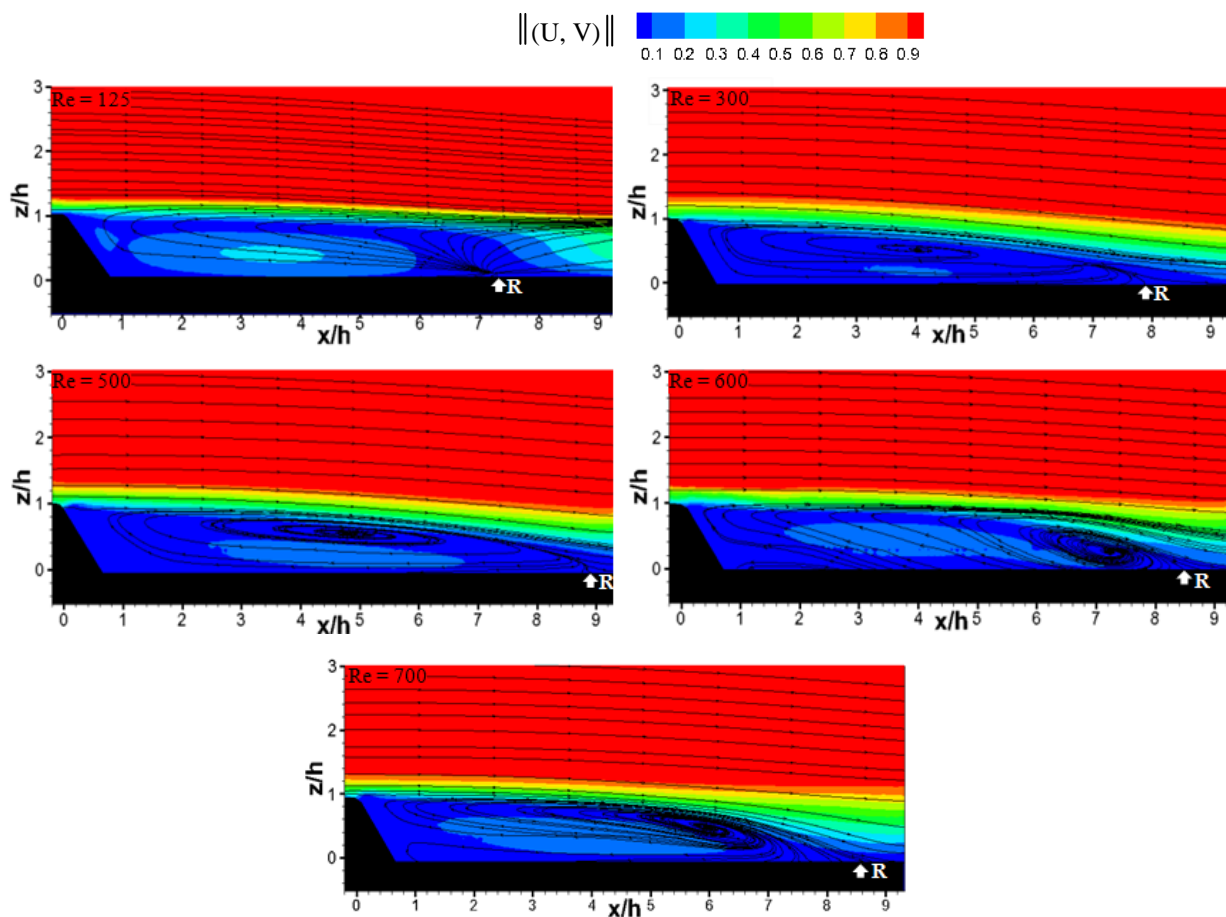


Fig.3. Représentation bidimensionnelle des normes des vitesses de l'écoulement moyen à l'aval d'une ride, dans le plan de symétrie de la ride [plan  $Oxz$  et  $y/h = 0$ ].

A Reynolds 125, les expériences montrent que la présence de la ride génère un écoulement cisailé sans génération de zone de recirculation à l'aval de l'obstacle (fig. 3). Les caractéristiques classiques de l'écoulement moyen, défini en figure 1, sont obtenues pour les écoulements définis par un nombre de Reynolds supérieur à 300. L'effet de la ride sur l'écoulement se manifeste par

la présence : d'une zone de recirculation à l'aval de cette dernière, d'une ligne de séparation caractérisée par un fort cisaillement et d'un point de rattachement dont la position varie en fonction du nombre de Reynolds. Le nombre de tourbillons, la position des centres tourbillonnaires et la taille de la « bulle de recirculation » évoluent en fonction du nombre de Reynolds. La figure 4, montre la position du point de rattachement (R) à l'aval de la ride en fonction du nombre de Reynolds. En accord avec la littérature, celui-ci diminue quand le nombre de Reynolds augmente. D'après « Nakagawa et Nezu, [1987] », le point de rattachement devient constant à Reynolds 6000.

A Reynolds 600, l'intensité turbulente moyenne est très importante, caractérisant ainsi les régions de forts gradients de vitesse et les tourbillons. Il est à noter que cette intensité est maximum dans des zones à fort cisaillement (fig. 5).

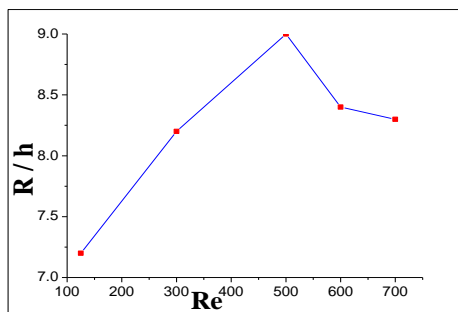


Fig.4. Le point de rattachement (R) en fonction du nombre de Reynolds (Re).

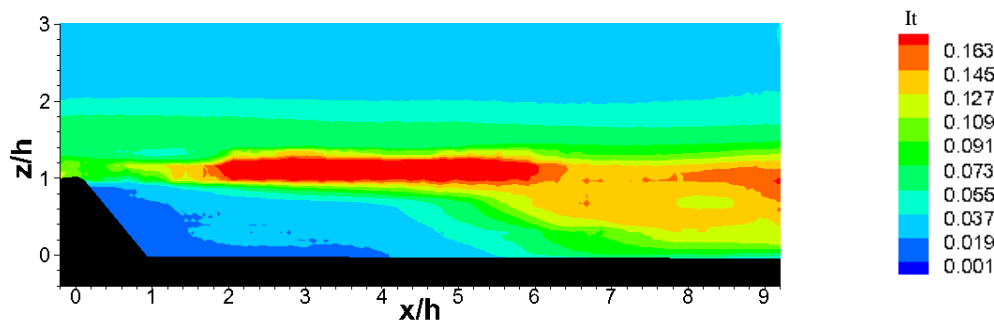


Fig.5. Représentation bidimensionnelle de l'intensité turbulente moyenne (It) à Reynolds 600, à l'aval d'une ride, dans le plan de symétrie de la ride [plan Oxz et y/h = 0].

### 3.2 Caractéristiques instationnaires de l'écoulement à Reynolds 600

Pour l'écoulement instationnaire, un seul Reynolds représentatif de l'écoulement autour d'une ride [Re = 600] sera étudié, dont la vitesse extérieure est estimée à 0.03 m/s. Une fois l'écoulement imposé, la zone de recirculation prend naissance au pied de la ride (fig. 6), exhibant deux à trois tourbillons. L'écoulement généré est bidimensionnel, composé de différentes structures tourbillonnaires. Deux modes de mécanisme tourbillonnaire sont décelable, un premier mode se caractérise par : l'absence de coalescence (fig.6-a, b, c, d), l'apparition d'un nouveau tourbillon qui engendre l'expulsion du tourbillon préformé vers la face aval et la croissance des diamètres des tourbillons, ils dépassent même la hauteur de la ride (fig.6-a, b, c). Un second mode, caractérisé par la fusion de deux tourbillons, dont la taille est moins importante (fig.6-f, g). Après la coalescence, les deux tourbillons, ont assez d'énergie pour pouvoir s'évacuer (fig.6-h).

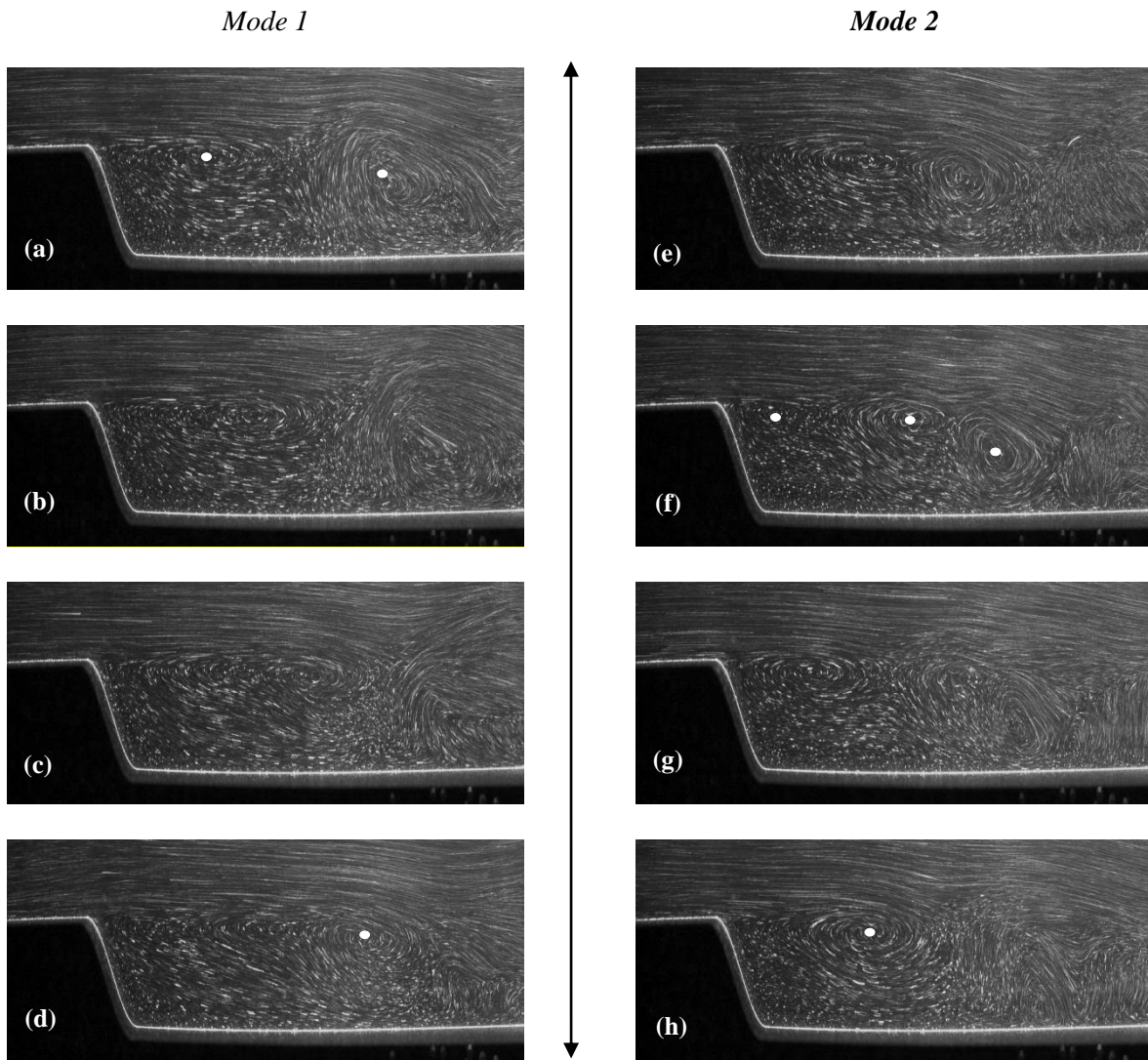


Fig.6. Images successives de l'écoulement à Reynolds 600, dans le plan de symétrie de la ride [Plan  $Oxz$  et  $y/h = 0$ ].

Afin de mettre en évidence la dynamique tourbillonnaire à l'aval de la ride et de caractériser les zones de formation des tourbillons, une cartographie de la vorticité est présentée sur la figure 7. Nous pouvons noter la présence de trois tourbillons instantanés en forme ovale inclinée, dont la structure tourbillonnaire est différente et régulière entre les tourbillons, en fonction du temps. Les zones de cisaillement et les zones rotationnelles sont mises en exergue par les valeurs de la vorticité. Les champs instantanés de vorticité montrent une activité tourbillonnaire importante : (1) expulsion d'un tourbillon à  $t_0 + 1065$  ms. (2) coalescence entre deux tourbillons à  $t_0 + 3266$  ms. (3) réduction de la taille des tourbillons au moment de leurs évacuation (lignes blanches sur la figure 7). Au niveau de la paroi à l'aval de la crête, il est observé que la vorticité est quasi nulle. Les vorticités négatives sont plus élevées que les vorticités positives, caractérisant ainsi un courant de retour intense. Il est à noter que les structures tourbillonnaires au pied de la ride ne

sont identifiables, par les champs de vitesses qu'à partir de  $x/h = 5$ . La position du point de rattachement, varie en abscisse et en altitude et sa localisation sur certaines images est souvent délicate. Enfin, La zone de recirculation est caractérisée par des tourbillons dont les vecteurs vitesses rencontrent la paroi -au niveau du point de rattachement- la zone où ce phénomène se produit est sans aucun doute le siège d'une érosion importante où l'interaction écoulement-sédiment est primordial, à l'aval d'une ride.

#### 4. Conclusion

Nous avons présenté les écoulements moyens pour des nombre de Reynolds variant de 125 à 700 et en détaille le nombre de Reynolds 600. L'écoulement instationnaire est détaillé, autour d'une ride fixe « solitaire » bidimensionnelle. Cette étude statique a mis en évidence trois zones caractéristiques [zone de cisaillement, zone de recirculation, zone supérieur à la ride dans laquelle la vitesse de l'écoulement est invariante]. En phase instationnaire, à Reynolds 600, les structures tourbillonnaires à l'aval de la ride sont visualisées et localisés dans la zone de recirculation, qui est composée de deux à trois tourbillons en évolution permanente. L'évolution de l'écoulement au-dessus d'une ride « solitaire » est similaire à celle derrière une marche décrite par « Nakagawa et Nezu [1987] » et « Honji [1974] ». Une étude plus approfondie des mécanismes d'interaction entre les particules sédimentaires et l'écoulement sera effectué sur un écoulement tridimensionnel [ride 3D], afin de comprendre au mieux l'activité tourbillonnaire autour d'une ride et son impact sur le transport sédimentaire.

#### 5. Références

- Ayrton H., [1910] *The origin and the growth of ripple-mark*, Proc.Roy.Soc.London A, Vol.84, p.285-310.
- Bagnold R.A., [1941] *The physics of blown sand and desert dunes*, Chapman and hall, Methuen, London, 1941.
- Best J., [2005] *The fluid dynamics of river dunes: A review and some future research directions*, J. Geophysical Research, Vol.110, p.1-21.
- Darwin G.H., [1883] *On the formation of ripple-mark in sand*, Proc.Roy.Soc.London A, Series A, Vol.36, p.18-43.
- Honji H., [1974] *The starting flow down a step*, J. Fluid Mechanics, Vol.69, n°2, p.229-240.
- Hyun B.S., Balachandar R., Yu K., Patel V.C., [2003] *Assessment of PIV to measure mean velocity and turbulence in open-channel flow*, Experiments in Fluids, Vol. 35, p.262-267.
- Kadota A., Nezu I., [1999] *Three-dimensional structure of space-time correlation on coherent vortices generated behind dune crest*, J. Hydraulic Research, Vol. 37, n°1, p.59-80.
- Nakagawa H., Nezu I., [1987] *Experimental investigation on turbulent structure of backward-facing step flow in an open channel*, J. Hydraulic Research, Vol.25, n°1, p.67-88.
- Ojha S. P., Mazumder B.S., [2008] *Turbulence characteristics of flow region over a series of 2-D dune shaped structures*, Advanced in Water Research, Vol. 31, p.561–576.
- Stoesser T., Asce M., Braun C., Garcia-Villalba M., Rodi W., [2008] *Turbulence structures in flow over two-dimensional dunes*, J. Hydraulic Engineering, Vol. 134, p.42-55.



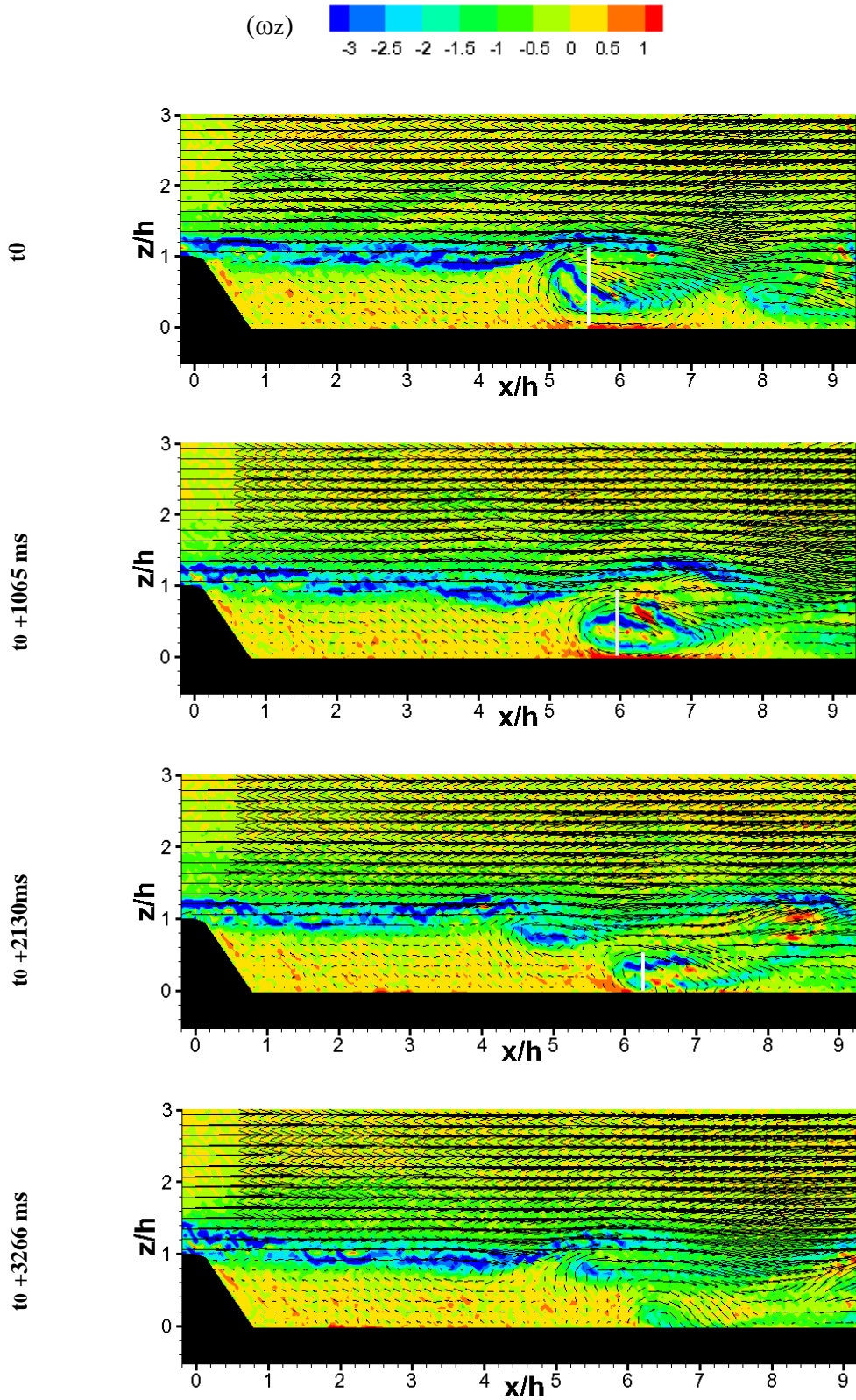


Fig. 7. Champs instantanés de vitesses et isocontours de la composante moyenne de la vorticité, obtenues par PIV 2D-2C dans plan de symétrie de la ride [plan  $Oxz$  ;  $y/h = 0$ ].