



**HAL**  
open science

## Dynamique d'un dipole tourbillonnaire en eau peu profonde

Laurent Lacaze, Pierre Brancher, Frédéric Y Moulin

► **To cite this version:**

Laurent Lacaze, Pierre Brancher, Frédéric Y Moulin. Dynamique d'un dipole tourbillonnaire en eau peu profonde. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. ⟨hal-03362193⟩

**HAL Id: hal-03362193**

**<https://hal.science/hal-03362193v1>**

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.



HAL Authorization

# Dynamique d'un dipôle tourbillonnaire en eau peu profonde.

Laurent Lacaze, Pierre Brancher & Frédéric Moulin

*Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse  
Allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse  
Laurent.Lacaze@bristol.ac.uk*

## Résumé :

*Nous présentons des résultats expérimentaux préliminaires obtenus lors de l'étude d'un dipôle tourbillonnaire en eau peu profonde. En particulier, la formation d'un tourbillon transverse secondaire se positionnant à l'avant de la structure dipolaire est mise en évidence. Enfin, nous identifions le processus de formation de ce tourbillon secondaire lié à l'étirement de la vorticité contenue dans la couche limite développée lors du déplacement du dipôle.*

## Abstract :

*Preliminary experimental results on the dynamics of a dipolar vortex structure are presented. In particular, the appearance of a spanwise vortex at the front of the dipole is observed and analyzed. We show that the generation of this secondary vortex is due to the stretching of the boundary layer vorticity induced by the dipole advection at the rigid bottom.*

## Mots-clefs :

## Dipole, tourbillons

### 1 Introduction

Les dipôles tourbillonnaires sont des structures hydrodynamiques composées de deux tourbillons contra-rotatifs en interaction. Des dipôles quasi-2D (ou *pancakes*) sont souvent observ es en géophysique, en particulier dans les estuaires (Fujiwara *et al.*, 1994) ou les courants littoraux (Smith & Largier, 1995). Dans ces configurations, la prédiction de l'impact environnemental li e au transport de polluants ou de sédiments par ces structures hydrodynamiques devient alors un enjeu majeur. Dans le cas des courants littoraux, le transport de sédiments peut se traduire par une déformation du fond sableux et donc un changement régulier de la topographie du fond marin. Des études expérimentales en laboratoire ont mis en évidence la formation de dipôles quasi-2D par l'impulsion d'un jet dans un fluide stratifi e (Fl or *et al.*, 1995) ou dans une faible épaisseur d'eau homogène (Sous *et al.*, 2004). Dans ce dernier cas, on observe la formation d'un tourbillon transverse à l'avant du dipôle. L'objectif du travail pr esent e ici est de caractériser cet écoulement au moyen d'un dispositif expérimental inspir e de ceux utilis es pour l'étude de stabilité des dipôles tourbillonnaires de grand rapport d'aspect (Leweke & Williamson, 1998). Ce dispositif permet de contrôler l'intensité du dipôle mais également de s'affranchir des problèmes d'asymétrie rencontr es dans les études précédentes.

### 2 Dispositif expérimental

Les expériences ont  e réalisées dans une nappe d'eau de hauteur  $H = 2.5$  cm contenue dans une cuve de base rectangulaire et horizontale (fig. 1). Le dipôle tourbillonnaire est cr e e par

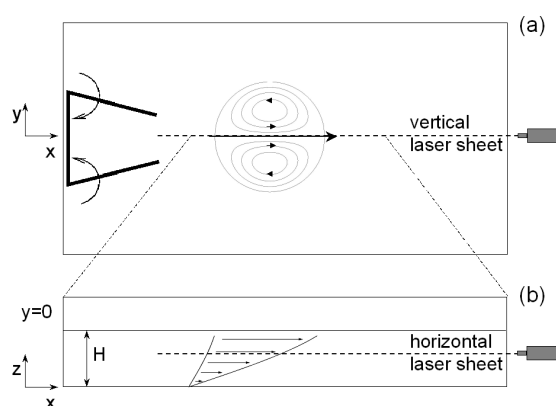


FIG. 1 – Dispositif expérimental : coupes horizontale (a) et verticale (b).

la mise en rotation de deux pales verticales perpendiculairement à la surface libre de la nappe d'eau. Ce type de dispositif expérimental utilisé dans de nombreuses études est en particulier décrit par Billant & Chomaz (2000). La vitesse de rotation des pales décroît linéairement pour diminuer les effets induits (tourbillons secondaires) lors de leur arrêt. L'intensité des tourbillons est contrôlée par le temps de fermeture des pales  $T$ . Des visualisations par colorant et des mesures du champ de vitesse par PIV ont été réalisées dans deux plans : un plan horizontal proche de la surface libre permettant d'observer la structure bidimensionnelle du dipôle tourbillonnaire et un plan vertical confondu avec le plan de symétrie du dipôle tourbillonnaire.

### 3 Résultats expérimentaux

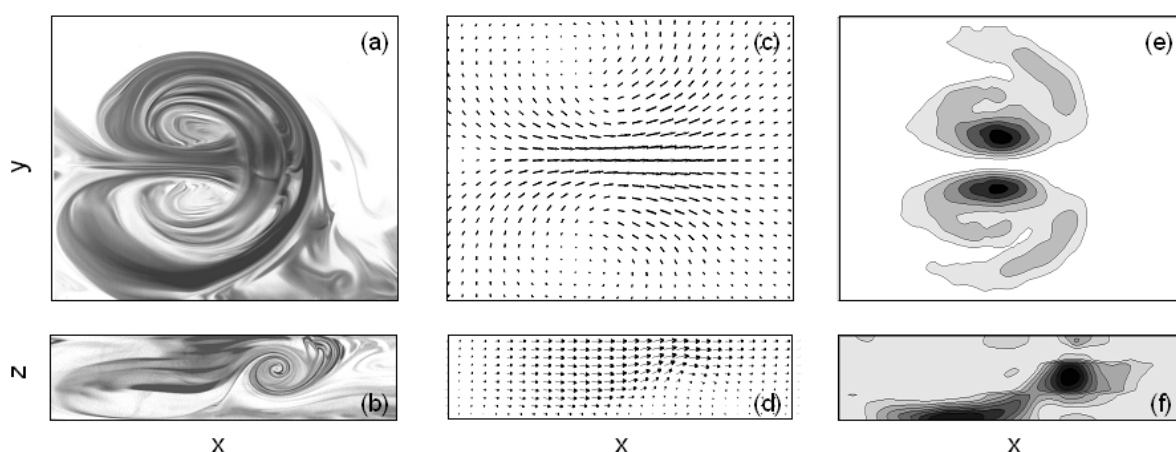


FIG. 2 – Observations de l'écoulement dans les plans horizontal et vertical (cf fig. 1). (a, b) : visualisations par colorant ; (c, d) : champs de vitesse obtenus par PIV ; (e, f) : champs de vorticité associés.

La figure 2 présente une visualisation par colorant (a, b), les champs de vitesse (c, d) et les champs de vorticité correspondants (e, f) dans les deux plans pour un même instant. Dans cette expérience, le temps de fermeture des pales est  $T = 10$  s et chaque image correspond à un temps

$t = T + 12$  s. On observe clairement la formation d'une structure tourbillonnaire dont l'axe de rotation est horizontal (figs. 2b, d, f). Il semblerait que ce tourbillon secondaire s'enroule en fer à cheval autour du dipôle tourbillonnaire. Ces visualisations ne permettant pas de confirmer définitivement cette hypothèse, des études sur la structure tridimensionnelle de l'écoulement par colorant et par PIV-3D vont être réalisées prochainement.

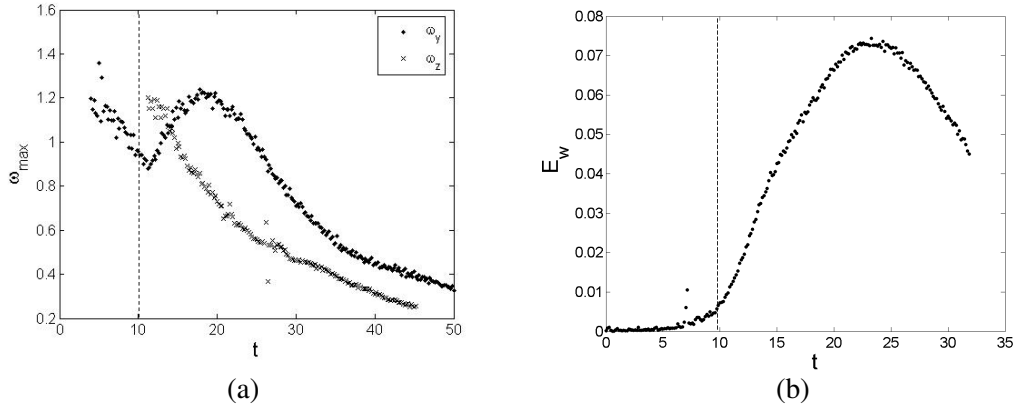


FIG. 3 – Maximum de vorticité  $\omega_z$  dans le plan horizontal et  $\omega_y$  dans le plan vertical (a). Énergie cinétique verticale dans le plan vertical (b). Ces deux graphes correspondent à un temps de fermeture  $T = 10$  s.

Pour quantifier l'intensité de la structure tourbillonnaire secondaire, nous avons tracé sur un même graphe le maximum des vorticités verticale  $\omega_z$  et horizontale  $\omega_y$  (fig. 3a).  $\omega_z$  est la valeur absolue de la vorticité des deux tourbillons horizontaux formant le dipôle. Cette quantité, maximale lorsque le dipôle est formé (pour un temps  $t$  de l'ordre  $T$ ) diminue au cours du temps par dissipation visqueuse de la structure dipolaire. En revanche, nous pouvons observer que la vorticité horizontale  $\omega_y$  (combinaison de la vorticité de couche limite et du tourbillon transverse) augmente au cours du temps pour atteindre un maximum 10 s après la fin de la formation du dipôle. Pour  $t > T + 10$  s,  $\omega_y$  décroît par dissipation sur un temps caractéristique de l'ordre de celui lié à la dissipation du dipôle.

Nous pouvons également estimer l'énergie des mouvements verticaux induits par cette structure tourbillonnaire pouvant être à l'origine du transport de sédiments dans le cas d'un fond sableux. Sur la figure 3 (b) est représentée la fonction représentative de cette énergie verticale  $E_z$  en fonction du temps, avec  $E_z = \int u_z^2 dS$ . On constate que cette fonction atteint également un maximum pour un temps de l'ordre  $T + 10$  s.

L'interprétation qualitative de la formation de ce dipôle peut être expliquée par une simple analyse de l'équation de la vorticité horizontale  $\omega_y$ . L'évolution temporelle de  $\omega_y$  aux temps courts peut s'exprimer en coordonnées cartésiennes :

$$\frac{\partial \omega_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial \omega_y}{\partial x} = \omega_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + \nu \nabla^2 \omega_y \quad \text{pour } t \text{ petit.} \quad (1)$$

Dans l'équation (1), le dipôle tourbillonnaire est considéré comme bidimensionnel et représenté par un champ de vitesse  $(u_x, u_y)$  dans le plan  $(x, y)$ .  $E_z$  étant très faible pour des temps courts (cf fig. 3b), cette hypothèse de bidimensionnalité peut être admise. De plus l'équation (1) étant écrite dans le plan de symétrie, on a alors  $u_y = 0$ , et le terme  $\partial u_y / \partial y$  apparaît alors dans cette équation comme terme d'étirement de la vorticité si celui-ci est positif. Ce système se comporte donc comme le modèle de Burgers. La vorticité associée à la couche limite générée sur le fond par le déplacement du dipôle (fig. 4) est étirée et concentrée par le terme  $\partial u_y / \partial y$  à l'origine de la formation d'un tourbillon transverse dont l'intensité augmente jusqu'à atteindre un équilibre

avec le terme de diffusion visqueuse. Le terme d'étirement  $\partial u_y / \partial y$  est tracé sur la figure 4. On constate que le maximum d'étirement se trouve en effet à l'avant du dipôle. Cet étirement va donc privilégier la position du tourbillon transverse à l'avant du dipôle.

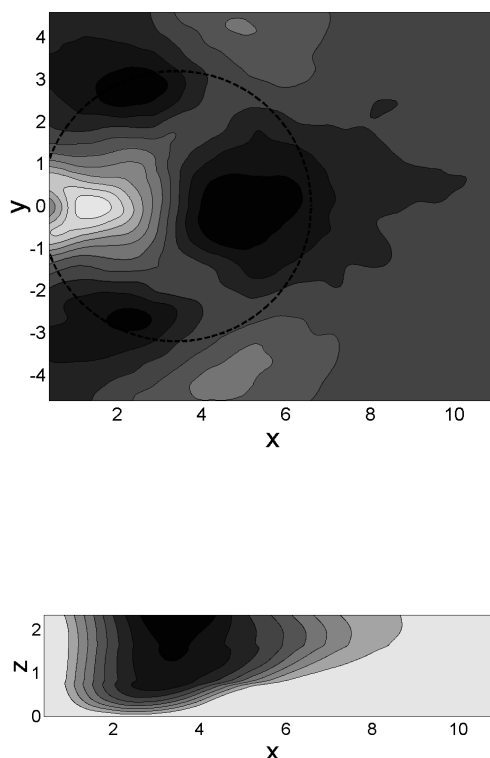


FIG. 4 – Haut : champ  $\partial u_y / \partial y$  induit par la structure bidimensionnelle du dipôle, le noir correspondant à un maximum d'étirement et le blanc à un maximum de compression. Bas : iso-contours de la vitesse horizontale  $u_x$  dans le plan vertical avant la formation du tourbillon transverse. On observe la structure de couche limite développée par le déplacement du dipôle sur le fond solide. Cette couche limite est à l'origine de la vorticité  $\omega_y$  qui sera ensuite  tir e par le dipôle.

#### 4 Conclusions

Dans cette étude, nous avons mis en évidence l'influence d'un fond solide dans la dynamique d'un dipôle tourbillonnaire en eau peu profonde. En effet, la condition de non adhérence sur ce fond est à l'origine de la vorticité horizontale qui se focalisera par étirement d  au dipôle en un tourbillon transverse.

Une première analyse qualitative et quantitative de ce tourbillon secondaire a été pr sent e. Des études futures permettront une étude quantitative de ce phénomène dans un espace des paramètres plus large. Une caractérisation de la structure 3D de cet écoulement est également envisag e. L'influence de ce type d'écoulement dans les applications géophysiques, en particulier son impact environnemental, est également à étudier dans le cas de transport de polluants et de sédiments.

## Références

- Billant, P., Chomaz, J.-M. 2000 Experimental evidence for a new instability of a vertical columnar vortex pair in a strongly stratified fluid. *J. Fluid Mech.* **418** 167-188
- Flór, J. B., van Heijst, G. J. F., Delfos, R. 1995 Decay of dipolar vortex structures in a stratified fluid. *Phys. Fluids* **7** 374-383
- Fujiwara, T., Nakata, H., Nakatsuji, K. 1994 Tidal-jet and vortex-pair driving of the residual circulation in a tidal estuary. *Cont. Shelf Res.* **14** 1025-1038
- Lamb, H. 1932 *Hydrodynamics, 6th ed.*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Leweke, T., Williamson, C. H. K. 1998 Cooperative elliptic instability of a vortex pair. *J. Fluid Mech.* **360** 85-119
- Sous, D., Bonneton, N., Sommeria, J. 2004 Turbulent vortex dipoles in a shallow water layer. *Phys. Fluids* **16** 2886-2898
- Smith, J. A., Largier, J. L. 1995 Observations of nearshore circulations : rip currents. *J. Geophys. Res.* **100** 10967-10975