



Déstabilisation turbulente d'un vortex étiré

Thomas Goossens, Jori Ruppert-Felsot, Philippe Petitjeans, Agnès Maurel

► To cite this version:

Thomas Goossens, Jori Ruppert-Felsot, Philippe Petitjeans, Agnès Maurel. Déstabilisation turbulente d'un vortex étiré. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03365580

HAL Id: hal-03365580

<https://hal.science/hal-03365580>

Submitted on 5 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.

Déstabilisation d'un vortex étiré

Thomas Goossens¹, Jori Ruppert-Felsot², Philippe Petitjeans¹ & Agnes Maurel³

¹ Laboratoire de Physique et de Mécanique des Milieux Hétérogènes, ESPCI

² Laboratoire de Météorologie Dynamique, ENS

³ Laboratoire Ondes et Acoustique, ESPCI

^{1,3} 10 rue Vauquelin 75231 Paris Cedex 5 - FRANCE,

² 24 rue Lhomond 75231 Paris Cedex 5 - FRANCE

goossens@pmmh.espci.fr

Résumé :

Le travail présenté ici porte sur l'étude de la déstabilisation d'un vortex soumis à un étirement et évoluant dans un écoulement laminaire. Celle-ci s'appuie sur des méthodes expérimentales (visualisations et anémométrie par images de particules, PIV) utilisant une caméra rapide à haute résolution. Le vortex est généré par une marche creuse et des aspirations latérales sous la marche amplifient l'étirement du tourbillon. La dynamique de l'explosion tourbillonnaire est décrite par des visualisations et des mesures PIV à des fréquences allant jusqu'à 1 kHz. Des instabilités sont observées le long de l'axe du vortex sous la forme d'ondes propagatives. Grâce à la PIV, l'évolution spatio-temporelle de l'ensrophie est analysée ainsi que le comportement topologique de la structure tourbillonnaire. L'objectif est de caractériser la construction temporelle du spectre d'énergie ainsi que les mécanismes qui rentrent en jeu.

Abstract :

This work focuses on the experimental study of the bursting of a stretched vortex. The vortex is initiated by a step in a laminar channel flow and is intensified by axial suction through two holes in the lateral wall of the channel. We use a high resolution, high speed camera to visualize the bursting by dye injection and by PIV measurements at high frequency (up to 1 kHz). We observe the appearance of waves of increasing amplitude along the axis of the vortex. The waves cause the vortex to detach from the lateral suction holes so that it becomes unstable and breaks up. With the use of PIV, we calculate the enstrophy and streamlines to study the spatio-temporal evolution and the topological characteristics of the instabilities of the vortex burst.

Mots-clefs :

vortex ; dynamique spatio-temporelle ; turbulence

1 Introduction

Nous nous intéressons aux filaments de vorticité des écoulements turbulents et plus particulièrement à leur rôle dans la dynamique et dans la construction du spectre d'énergie et d'ensrophie. Nous avons déjà étudié en détail la structure d'un tel vortex dans sa configuration stable et suivant différentes valeurs d'étirement (Cuypers et al. (2003)). Nous avons aussi caractérisé l'évolution temporelle de la décroissance du spectre instantané d'énergie pour des configurations très instables (Cuypers et al. (2004)). Nous avons en particulier montré que le spectre d'énergie évolue au cours du temps entre un comportement en k^{-1} jusqu'à un spectre en k^{-2} : seule la moyenne temporelle sur la durée de l'explosion turbulente engendre une décroissance en $k^{-5/3}$ (Cuypers et al. (2006)). Nous proposons ici d'étudier dans une configuration moins instable, les mécanismes successifs donnant lieu à l'explosion turbulente et à la construction temporelle du spectre d'énergie.

2 Montage expérimental

Un écoulement laminaire est produit dans un canal hydrodynamique dont la zone d'étude comporte une section de 12 cm sur 7 cm et une longueur d'environ 60 cm. Le débit de sortie du canal est noté Q_1 . Une marche creuse amplifie la vorticité initiale contenue dans la couche limite de la paroi inférieure du canal et une aspiration de part et d'autre de la marche crée un étirement et intensifie la vorticité (figure 1). Le débit de cette aspiration est noté Q_2 et est ajusté suivant

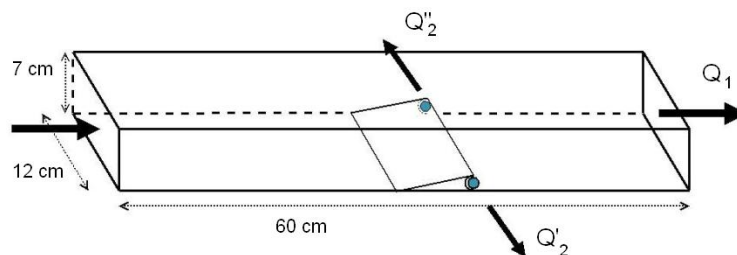
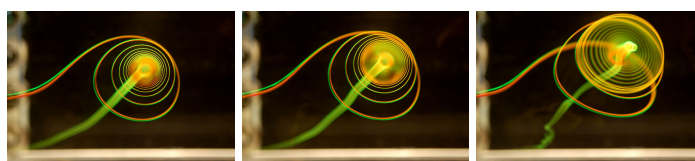
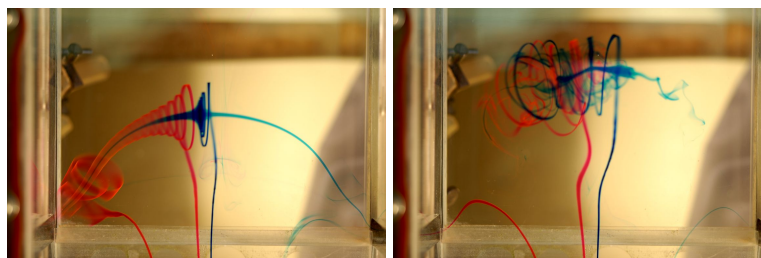


FIG. 1 – Schéma du canal hydrodynamique

l'objectif de l'expérience. Suivant le rapport des débits Q_1/Q_2 , différents régimes d'écoulement ont été constatés. Dans nos expériences, nous avons imposé un débit $Q_1 = 12.5$ l/min et un débit $Q_2 = Q'_2 + Q''_2 = 7.5$ l/min. Les figures 2 (a) et 2 (b) présentent des photographies de la déstabilisation du vortex que l'on cherche à analyser. Celui-ci a des caractéristiques déterminées par la compétition entre les forces d'advection et d'étirement. La figure 2 (b) met en évidence la tri-dimensionalité de la structure tourbillonnaire et l'existence d'écoulement entre les deux aspirations latérales. Après une phase de croissance, le vortex entre alors dans un état de déséquilibre engendrant l'explosion turbulente. Le phénomène de formation puis d'explosion de la structure tourbillonnaire est quasi-périodique. Nous pouvons ainsi réaliser des acquisitions comportant un très grand nombre de formation-explosion. La périodicité permet de recaler à la phase les explosions et d'accéder aux grandeurs statistiques en fonction du temps sur toute la durée de l'explosion.



(a) vues de côté



(b) vues de dessus

FIG. 2 – Formation et déstabilisation du vortex étiré

Des visualisations de lignes d'émissions et des mesures de vitesse par images de particules résolue dans le temps à 2 composantes et à 2 dimensions ont été menées. Une caméra de résolu-

tion de 1632×1200 pixels permettant une vitesse d'enregistrement à cette résolution de 1000 images par seconde échantillonnées sur 8 bits a été utilisée. En complément de la caméra, un laser continu délivrant une puissance de 2W a servi aussi bien pour obtenir des visualisations que pour obtenir des champs de vitesse par PIV. Pour les visualisations, de la rhodamine 6G ($C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$) a été injectée dans l'écoulement. Pour la PIV, des particules Sphericel 110P8 de taille moyenne valant $10 \mu m$ (soit environ 3 pixels) et de densité égale à 1.1 sont des traceurs parfaitement compatibles avec l'écoulement étudié.

3 Résultats

3.1 Visualisations

Des visualisations dans le plan de symétrie du canal, focalisées sur le coeur du vortex (figure 3), et des visualisations où la structure tri-dimensionnelle est analysée (figure 4) ont été obtenues, résultant d'une acquisition d'images à 1kHz sur une durée légèrement supérieure à 3s. Le vortex initial est identifié par les lignes d'émissions qui s'enroulent sur le coeur du vor-

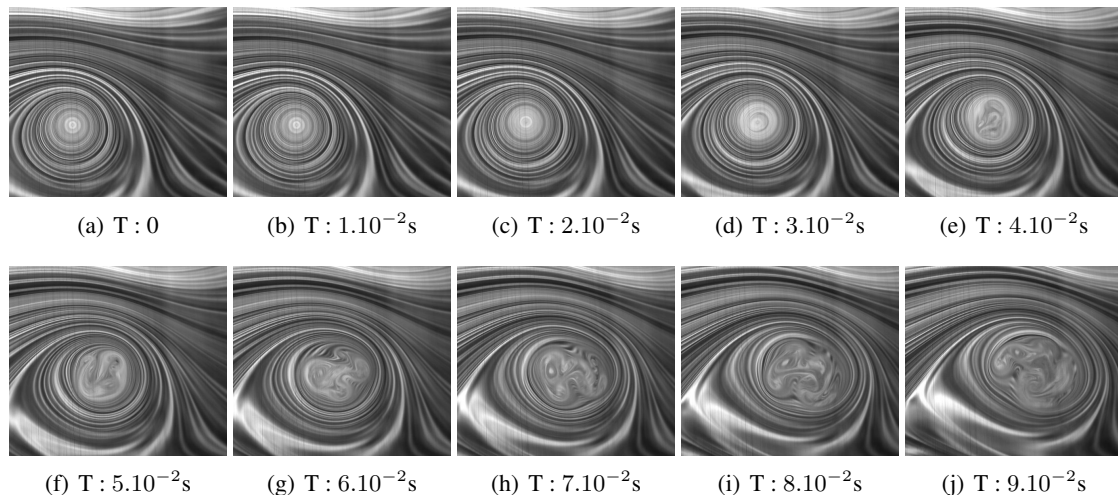


FIG. 3 – Visualisations de la déstabilisation (vue de côté)

tex. La figure 3 (d) met en évidence la déformation du coeur avant l'apparition de nouveaux tourbillons (figure 3 (e)). Ensuite, les instabilités du coeur se propagent dans tout le plan normal à l'étirement jusqu'à la disparition totale du vortex. Les visualisations de la figure 3 soulignent ainsi l'importance de phénomènes physiques très énergétiques se produisant dans l'axe de l'étirement. Des visualisations de toute la zone de formation-explosion ont été faites afin de détecter le processus de déstabilisation sur l'axe de l'étirement (figure 4). L'écoulement s'effectue du bas vers le haut. Du bleu de méthylène dilué est injecté en sortie du convergent du canal hydrodynamique. Le colorant produit une ligne d'émission qui s'enroule autour du vortex. Sur la figure 4 (a) où la structure tourbillonnaire est dans sa phase de formation, la ligne d'émission met en évidence le processus de l'étirement. Sur les figures (b), (c), ... (j), des oscillations apparaissent, se propagent et s'amplifient jusqu'au moment où le vortex n'est plus connecté aux aspirations latérales. La ligne d'émission est advecté en aval et se complexifie illustrant alors l'explosion turbulente.

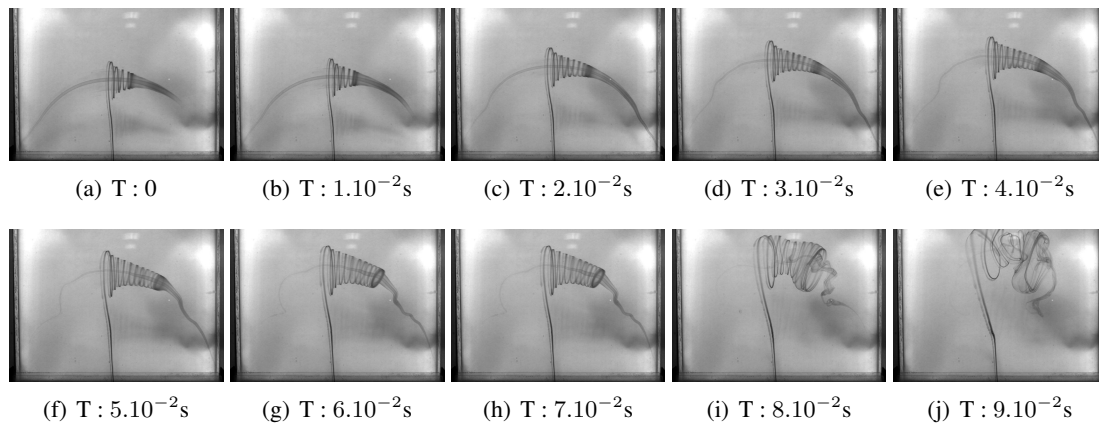


FIG. 4 – Visualisations de la déstabilisation (vue de dessus)

3.2 Anémométrie par images de particules

Le traitement des images a été effectué grâce au logiciel Davis de LaVision. L'algorithme effectue des corrélations croisées adaptatives à quatre itérations. La taille finale des fenêtres d'interrogation est 16×16 pixels (avec un recouvrement de 50%), ce qui porte le nombre de vecteurs à 204×150 sur des champs de $7.4 \text{ cm} \times 5.4 \text{ cm}$. La principale spécificité du traitement est due à l'utilisation d'un laser continu qui nous contraint à fixer le temps entre chaque image d'une paire (δt) à l'inverse de la fréquence d'acquisition. Les champs d'ensrophie et de vorticité présentés ci-dessous résultent d'une acquisition à 250Hz.

La figure 5 présente une séquence de champs de l'ensrophie. Avant l'explosion de la structure tourbillonnaire, le coeur concentre le maximum d'ensrophie. La déstabilisation du vortex engendre une distribution de la vorticité dans le plan normal à l'axe du vortex en forme de spirale avant de se scinder et de former différentes structures tourbillonnaires. La caractérisation de cette turbulence demande une étude topologique. Une première approche consiste à tracer les lignes de courants instantanées et les champs de vorticité (figure 6). Le centre du vortex correspond à un foyer. Celui-ci se déstabilise et plusieurs types de points singuliers émergent (noeud, col). Cependant les lignes de courant dépendent du repère d'observation. En utilisant des critères de détection non locaux et en suivant l'évolution temporelle des points singuliers, l'étude approfondie de la topologie permettra de caractériser la contribution énergétique des différents nouveaux vortex dans le processus de déstabilisation turbulente.

4 Conclusions et perspectives

Nous poursuivons l'étude de la dynamique de la déstabilisation du vortex étiré en se focalisant sur sa dynamique spectrale et sur sa topologie. Nous pourrions alors enrichir notre compréhension de l'organisation des mécanismes d'instabilités et de la construction temporelle du spectre d'énergie.

Références

- Y. Cuypers, A. Maurel, and P. Petitjeans, Phys. Rev. Lett. **91**, 194502 (2003).
- Y. Cuypers, A. Maurel, and P. Petitjeans, J. Turb. **5**, 1 (2004).
- Y. Cuypers, A. Maurel, and P. Petitjeans, J. Turb. **7**, 1 (2006).

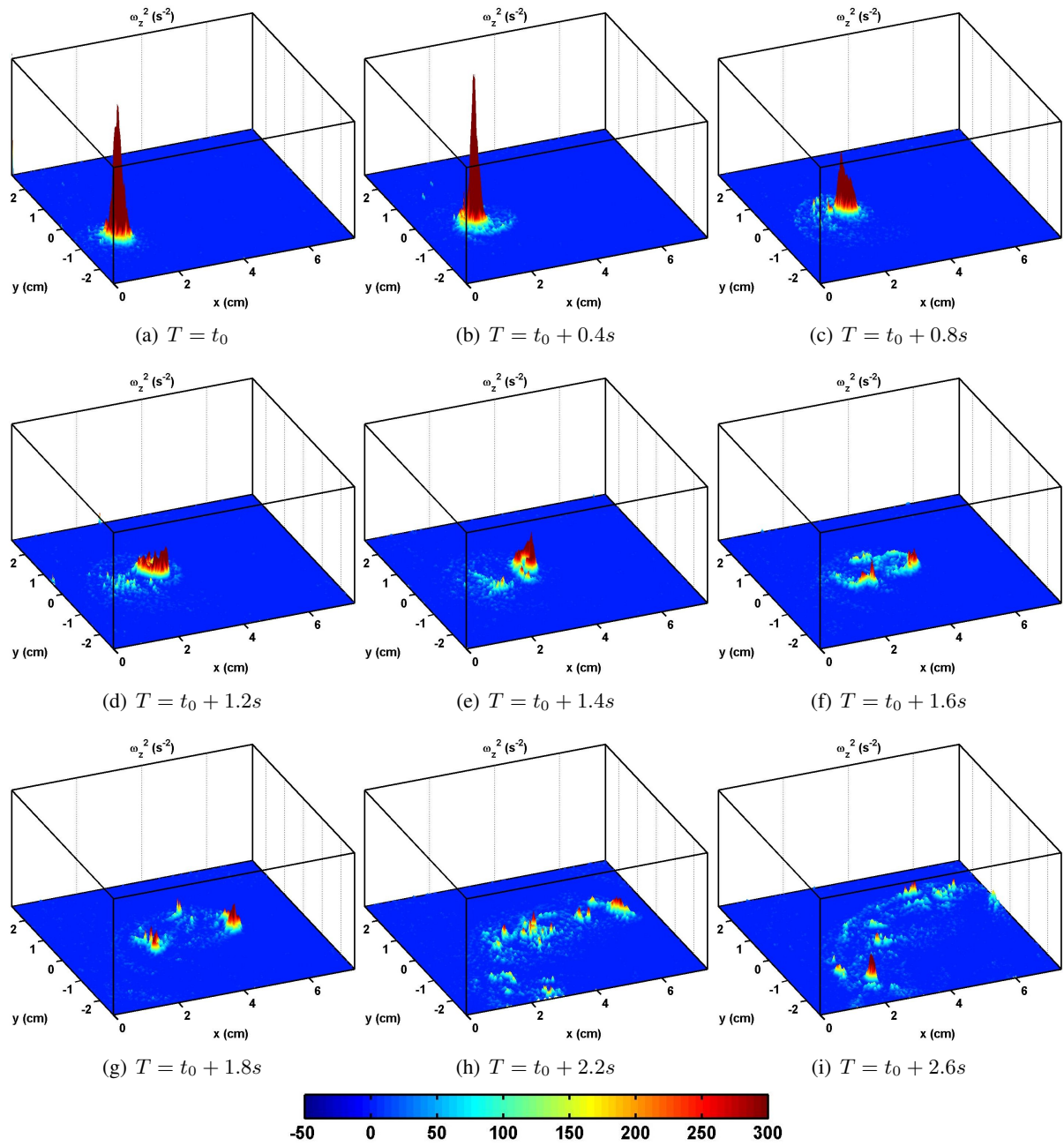


FIG. 5 – Évolution temporelle du champs d'entrophie

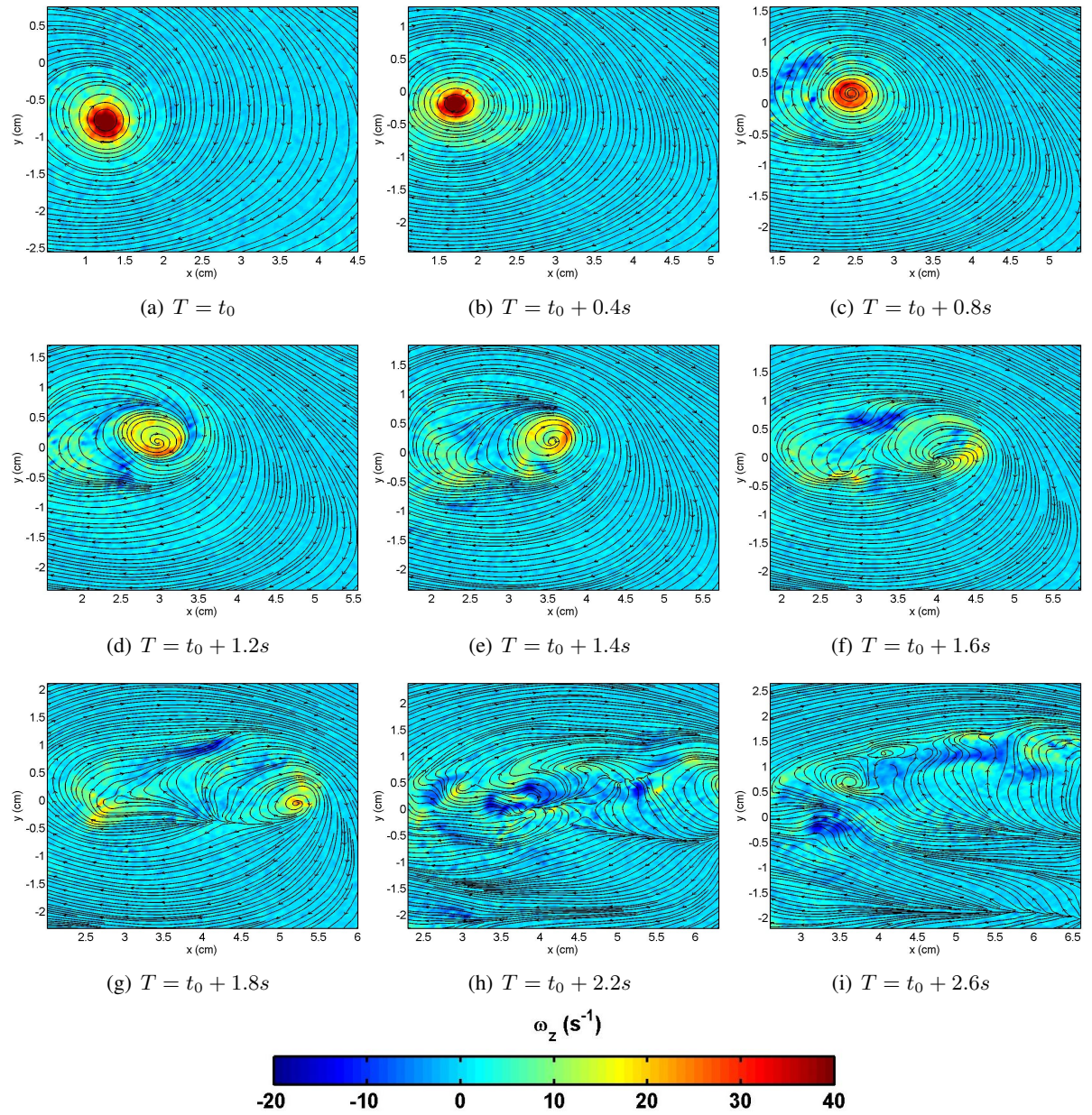


FIG. 6 – Évolution temporelle du champs de vorticité et des lignes de courant