



**HAL**  
open science

# Contrôle d'un écoulement décollé en aval d'une rampe descendante au moyen de générateurs de vortex solides

Thomas Duriez, Jean-Luc Aider, Eduardo Wesfreid

► **To cite this version:**

Thomas Duriez, Jean-Luc Aider, Eduardo Wesfreid. Contrôle d'un écoulement décollé en aval d'une rampe descendante au moyen de générateurs de vortex solides. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03362533

**HAL Id: hal-03362533**

**<https://hal.science/hal-03362533>**

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.

# Interaction de tourbillons longitudinaux créés par des générateurs de vortex avec une couche limite. Application à un écoulement décollé.

Thomas Duriez, Jean-Luc Aider & Eduardo Wesfreid

Laboratoire Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes  
UMR 7636 CNRS - ESPCI - P6 - P7  
10, rue Vauquelin 75231 Paris Cedex 5

## Résumé :

L'intérêt pour les Générateurs de Vortex (GV) n'a cessé de croître dans de nombreux domaines, sans pour autant qu'il existe de principes généraux afin de déterminer leur performance sur un système donné autre qu'une large étude paramétrique. Nous avons étudié l'interaction entre des GV génériques et une couche limite laminaire dans un canal hydrodynamique au moyen de reconstruction de l'écoulement moyen par PIV. Nous avons mis en évidence l'existence de perturbations harmoniques et non harmoniques de la vitesse longitudinale dans la couche limite, dont le mode zéro qui représente la modification de l'écoulement moyen. Nous isolons des grandeurs que nous pensons pertinentes (longueur d'inversion et taux de croissance du mode 0) afin de quantifier la performance du système de VG dans le cadre du contrôle des écoulements décollés et menons une étude paramétrique afin de déterminer les paramètres les plus performants dans notre canal. Nous appliquons ces paramètres à un écoulement décollé générique (rampe descendante).

## Abstract :

Though strong interest is shown in many domains for the Vortex Generators (VG), no general principle exists in order to determine the effectiveness of the VG in a given configuration without a full parametric study. We have investigated the interaction between generic VGs and a laminar boundary layer in a low speed hydrodynamic tunnel using a reconstruction by PIV of the time averaged velocity field. We have shown the existence of harmonic and non-harmonic perturbations, especially the zeroth mode, which gives the mean modification of the mean flow. We have found that the growth rate of the zeroth mode and the inversion length between mean accelerated and decelerated mean flow are relevant quantities in order to determine the efficiency of the VGs to control the separation of a flow. A parametric study has been driven to determine the most effective parameters in our tunnel and apply them on a generic separated flow.

## Mots-clefs :

Générateurs de vortex ; Mode global ; Contrôle des écoulements

## 1 Introduction

Les Générateurs de Vortex (GVs) sont des actuateurs bien connus à des fins de contrôle des écoulements décollés (Lin (1995), Angele (2003), Beaudoin (2004)) et sont utilisés dans des domaines comme l'aéronautique, l'automobile (Aider (2003), Aider (2005)), les procédés de mélange ou les transferts de chaleur (Ferrouillat *et al.* (2006)) et ce, sous des formes variées (GV solides de diverses formes, jets continus ou pulsés). Si beaucoup de systèmes peuvent créer de la vorticité longitudinale dans la couche limite, l'efficacité du système dépend de nombreux paramètres (géométrie, fréquences spatiales et temporelles, localisation) et leur emploi implique systématiquement une large étude paramétrique qui ne garantit cependant pas que les conditions optimales soient atteintes ni leur portabilité à une autre application aussi proche soit elle. La compréhension de l'interaction entre la vorticité longitudinale crée par l'actionneur et

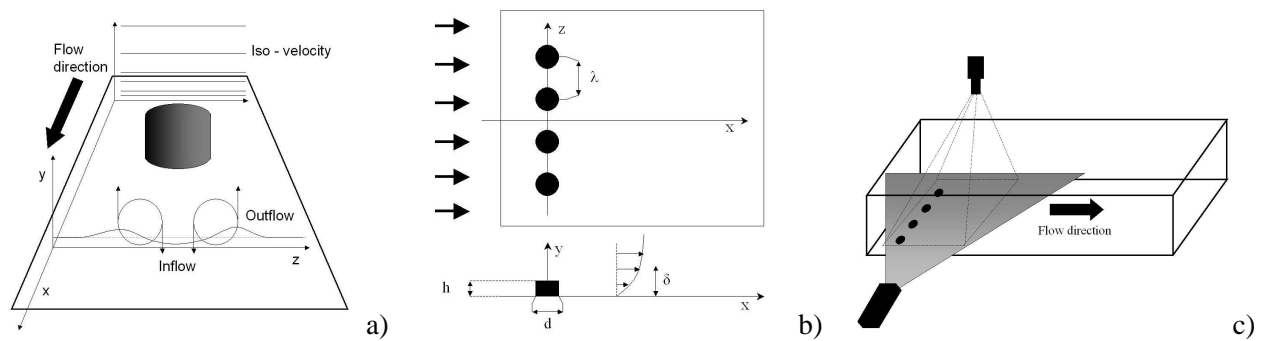


FIG. 1 – Définition des zones d'inflow et d'outflow et modulation de la couche limite sur un GV isolé (a). Montage expérimental et définition des grandeurs (b). Configuration du laser et de la caméra pour la PIV (c).

la couche limite à contrôler doit être approfondie, le mécanisme physique doit être expliqué de façon plus rigoureuse.

Le but de cette étude est d'isoler des paramètres physiques pertinents dont l'observation permet de préfigurer la performance d'un GV donné sur un système donné. Nous avons donc étudié l'interaction de la vorticité longitudinale produite par des GV cylindrique de faible rapport d'aspect pris comme GVs génériques avec une couche limite se développant sur une plaque plane dans un canal hydrodynamique à basse vitesse ( $0 - 20\text{cm.s}^{-1}$ ). Nous reconstruisons la couche limite ainsi modifiée au moyen de plans PIV du champ moyen que nous superposons. La couche limite de base est obtenue en effectuant les mêmes mesures sans GV.

## 2  coulement sur une rangée de générateurs de vortex cylindrique.

L'écoulement produit par un VG cylindrique est un écoulement sur un objet de faible rapport d'aspect posé sur une paroi aspects sont bien connus (Simpson (2001), Rouvreau *et al.* (2005), Baker (1979)). Outre la zone de recirculation attachée au cylindre et à la paroi en val et la zone de mélange crée sur le bord supérieur du cylindre, il se crée en amont un écoulement de jonction à la jonction formée par la face amont du cylindre et la paroi. La couche limite décolle, la vorticité ainsi relâchée dans l'écoulement est étirée selon une ligne en forme de U et donne lieu à la création d'un tourbillon en fer à cheval qui devient en aval deux tourbillons longitudinaux contrarotatifs à l'intérieur de la couche limite. La juxtaposition des GVs crée diverses interactions entre les différentes sources de vorticité longitudinales et modulent la vitesse longitudinale dans la couche limite. C'est cette modulation de la couche limite en aval de la rangée de GV que nous étudions par la suite à l'aide de champs moyen de la vitesse longitudinale. Ceux-ci sont obtenus par reconstruction tridimensionnelle de l'écoulement au moyen de champs PIV bidimensionnels effectué dans des plans parall es à celui de la paroi. Une étude paramétrique a été entreprise en fonction de l'espacement des GV et du nombre de Reynolds basé sur la hauteur des GV. Les dimensions des GV sont de 8mm de diamètre contre 6mm d'épaisseur. L'épaisseur de couche limite est de l'ordre de 10mm.

## 3 Modulation de la couche limite et grandeurs observées.

On peut décomposer l'écoulement moyenné dans le temps en écoulement de base et écoulement perturbé spatialement puis décomposer les perturbations en perturbations harmoniques et non harmoniques selon une méthode de Fourier (Eq. 1). En effectuant la moyenne spatiale

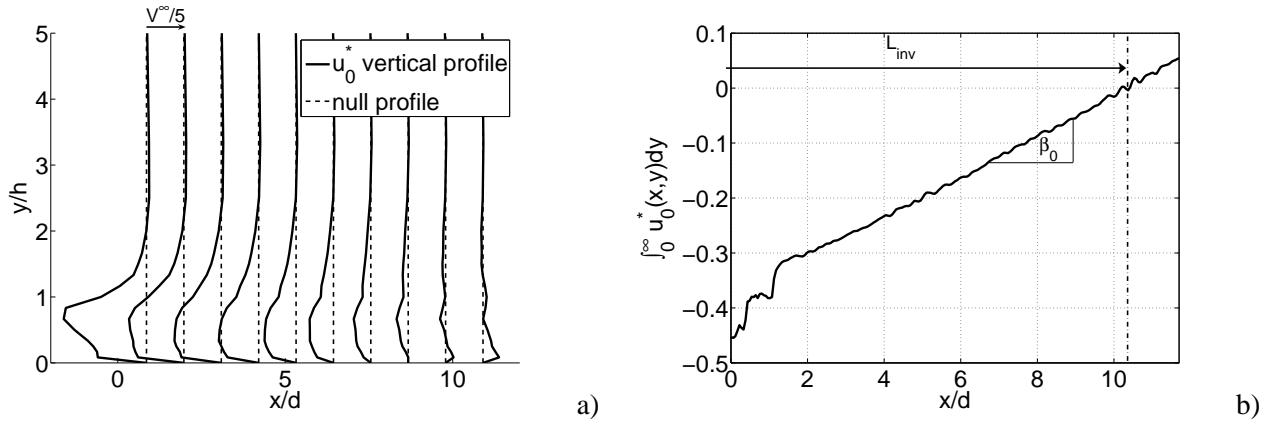


FIG. 2 – Profils successifs du mode zéro dans le cas  $\lambda_0 = 3d$  pour un nombre de Reynolds de 300. On observe l'accélération progressive de la couche limite moyenne (a). Intégrale de ce même mode zéro représentée le long de la direction longitudinale. On peut définir un taux de croissance spatial  $\beta_0$  ainsi que la longueur d'inversion  $L_{inv}$  (b).

(Eq. 2) on peut obtenir la contribution des non linéarités au champ moyen de la vitesse que nous appelons mode zéro (Petitjeans (1996), Zielinska (1995)).

$$U(x, y, z) = U_{base}(x, y, z) + u_1^*(x) \exp(i2\pi z/\lambda_0(x)) + \sum_{k \geq 0, k \neq 1} u_k^*(x, y) \exp\left(i k \frac{2\pi}{\lambda_0(x)} z\right), \quad (1)$$

$$\langle U(x, y) \rangle_z = U_{base}(x, y) + u_0^*(x, y), \quad (2)$$

La modulation harmonique de la couche limite donne naissance à des zones où la couche limite est accélérée (inflow) par l'apport via les vortex d'éléments de fluide des couches supérieures vers les couches inférieures, ainsi que des zones où la couche limite est décélérée (outflow) sous l'effet inverse. Par contre le mode zéro est un mode global qui représente l'accélération ou la décélération moyenne de la couche limite (figure 3.a). On peut quantifier cet effet en intégrant le profil global du mode zéro sur la hauteur (figure 3.b). On peut définir pour l'intégrale, un taux de croissance  $\beta_0$  qui représente la vitesse à laquelle le mode zéro accélère la couche limite moyenne. On peut également définir la longueur d'inversion  $L_{inv}$  à partir de laquelle la couche limite moyenne est accélérée par rapport à la couche limite de base.

#### 4 Etude paramétrique.

Si la structure générale de l'écoulement évolue sensiblement en fonction de l'espacement certaines propriétés restent inchangées. Dans tous les cas on observe une bulle de recirculation dont la taille reste de l'ordre de 3 diamètres. Dans tous les cas on observe également deux types de modulation. La première apparaît avec les zones décélérées dans le sillage direct des GVs sous l'action des zones de recirculation. Cette modulation décroît au bout de quelques diamètres pour laisser place à la nouvelle modulation qui croît avec une accélération dans le sillage direct des GVs sous l'action des tourbillons longitudinaux. On peut déterminer la limite entre les deux régions en déterminant la position où l'énergie contenue dans le mode harmonique s'annule (Figure 3.a).

L'espacement entre les GVs joue sur l'interaction entre les différents sillages. Dans les cas extrêmes on obtient, soit un écoulement qui contourne un obstacle (cas  $\lambda_0 = 2d$ ), soit un écoulement de GV quasi-isolés (cas  $\lambda_0 = 4d$ ) (Figure 3.a). Si on représente la longueur d'inversion

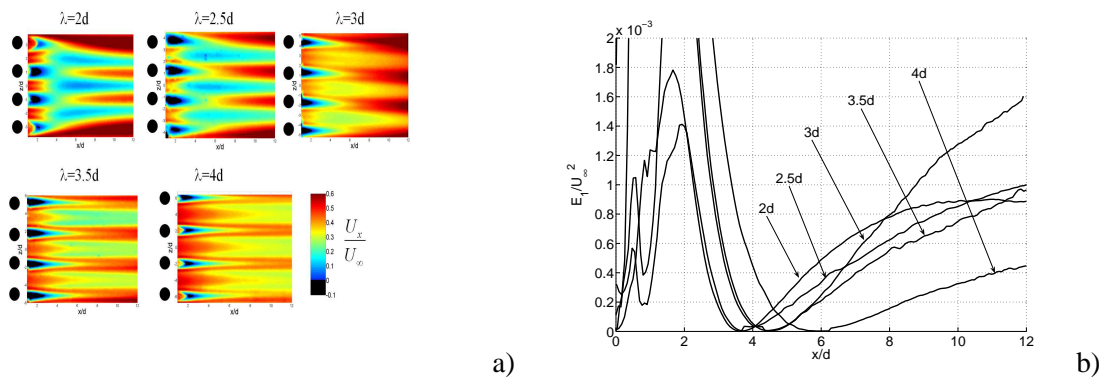


FIG. 3 – Champs de la vitesse longitudinale à mi hauteur des GVs pour un Reynolds de 300. On note l'interaction croissante des sillages en se rapprochant du cas 2d (a). Énergie contenue dans le mode harmonique pour chacun de ces cas (b).

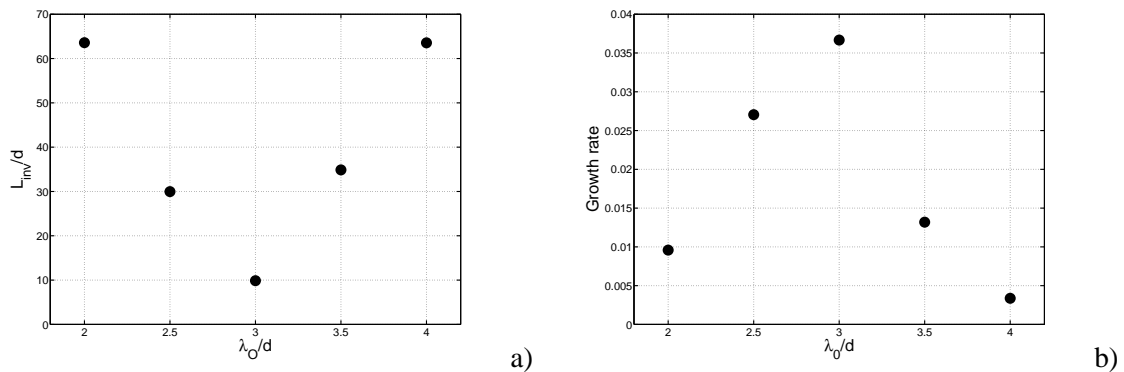


FIG. 4 – Longueur d'inversion en fonction de l'espacement pour le nombre de Reynolds de 300. On observe un minimum autour de la valeur  $\lambda_0 = 3d$  (a). Taux de croissance en fonction de l'espacement pour le nombre de Reynolds de 300. On observe un maximum autour de la valeur  $\lambda_0 = 3d$  (b).

et le taux de croissance en fonction de l'espacement au nombre de Reynolds de 300 (figure 4), on s'aperçoit que le cas 3d est le plus intéressant dans le but d'accélérer la couche limite en moyenne et donc d'augmenter le gradient à la paroi en moyenne lequel pilote la capacité d'une couche limite de résister à un gradient de pression adverse. C'est en effet le cas avec le taux de croissance le plus élevé et la longueur d'inversion la plus faible. C'est donc potentiellement le cas le plus favorable à ce nombre de Reynolds afin de retarder un décollement de la couche limite. Nous pensons que ces deux paramètres sont pertinents dans le cadre de l'application de GV au contrôle d'un décollement.

## 5 Application à un écoulement décollé.

Nous avons testé nos GV sur un écoulement décollé générique qui est constitué d'une rampe descendante préférée à une marche descendante pour ne pas fixer le point de décollement à l'endroit de l'arrêt. Les premiers résultats montrent qu'avec les GV placés dans la configuration a priori la plus favorable (espacement 3d pour un nombre de Reynolds 300 basé sur la hauteur des VG placés à une distance supérieure à la longueur d'inversion) le point de décollement moyen est repoussé de 20% par rapport à sa position initiale à partir du début de

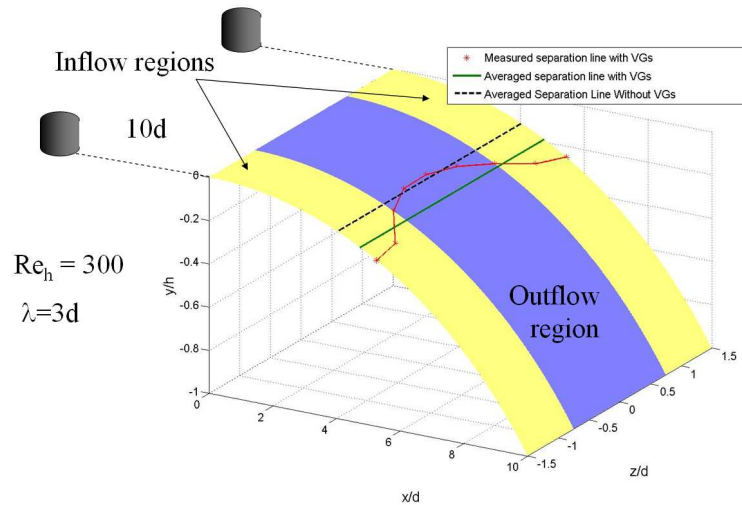


FIG. 5 – Décollement de la couche limite sur la rampe descendante. La ligne droite pointillée marque la ligne de décollement moyenne de l'écoulement de base, la ligne droite continue celle de l'écoulement avec GV. La ligne ondulée marque la ligne de décollement local avec GV. On note que le délai de décollement en zone inflow est plus important que l'avance de décollement en zone outflow.

la rampe (Figure 5). Ceci correspond à une modulation spatiale de la ligne de décollement : le décollement est repoussé dans les zones d'inflow mais avancé dans les zones outflow. C'est la compétition entre les zones d'inflow et d'outflow qui détermine la performance du système. Le fait que le décollement soit en moyenne repoussée est cohérent avec le fait que les générateurs de vortex se trouvent à une distance supérieure à la longueur d'inversion.

## 6 Conclusions.

Nous avons mis en évidence l'existence d'un mode zéro produit par les non linéarités des tourbillons longitudinaux contrarotatifs derrière une rangée de générateurs de vortex. Ce mode zéro est à l'origine d'une accélération ou d'une décélération globale de la couche limite. L'étude de ce mode zéro permet de tirer des grandeurs telles son taux de croissance et la longueur d'inversion. Ces paramètres paraissent pertinents dans le cadre de la prévision des performances de générateurs de vortex donné sur un écoulement décollé.

## Références

Baker, C.J 1979 The laminar horseshoe vortex. *J. Fluid Mech.* **95** 347-367

Simpson, R.L 2001 Junction Flows. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **33** 415-443

Rouvreau, S., David, L., Calluaud, D., Joulain, P. 2005 Laminar junction flow at low Reynolds number : influence of the upstream region on the comparison between experiments and calculations. *C.R. Mecanique* **333** 265-272

- Lin, J.C 2002 Review of research on low-profile vortex generators to control boundary-layer separation. *Progress in Aerospace Sciences* **38** 389-420
- Aider, J-L, Beaudoin, J-F, Wesfreid, J.E 2005 Drag Reduction of a 3D Bluff Body Using Vortex Generators. *4th Conference on Bluff body wakes and vortex induced vibrations, June 21st-24th, Santorini, Greece*
- Beaudoin, J.F, Aider, J.L, Wesfreid, J.E 2004 Horseshoe vortex nucleation. *Vortex dynamics and field interactions (Euromech 448), 6-10 September, Paris, France*
- Aider, J.L, Lasserre, J.J, Herbert, V. 2003 Générateurs de vortex (ou BVG pour Blade Vortex Generator) pour réduire la traînée et la portance d'une automobile. *French patent number FR 03.05923 and European patent number EP 04.29001*
- Angele, K. 2003 Experimental studies of turbulent boundary layer separation and control. *PhD Thesis, Royal Institut of Technology, Stockholm*
- Petitjeans, P., Wesfreid, J.E 1996 Spatial evolution of Görtler instability in a curved duct of high curvature. *AIAA Journal* **34** 1793-1800
- Zielinska, B.J.A, Wesfreid, J.E 1995 On the spatial structure of global modes in wake flow. *Phys. Fluids* **7** 1418-1424
- Ferrouilat, S., Tochon, P., Garnier, C., Peerhossaini, H. 2006 Intensification of heat-transfer and mixing in multifunctional heat exchangers by artificially generated streamwise vorticity. *Appl. Thermal Eng.* **26** 1820-1829