

## Étude de l'éclatement tourbillonnaire dans les sillages des avions de transport.

Olivier THOMAS (DAFE)

Directeur de thèse : Pierre Sagaut (UPMC/IJLRDA)  
Encadrants Onera : Laurent Jacquin & Denis Sipp (DAFE)

Des observations expérimentales ont montré que des tourbillons de sillage peuvent « éclater » dans certaines conditions de vol [1]. Ce phénomène d'instabilité est de nature non-linéaire et reste encore mal compris. Les difficultés rencontrées à la catapulte B20 de l'Onera Lille au cours du projet européen AWIATOR ont redonné de l'actualité à ce sujet car les études menées dans cette installation expérimentale montrent de manière très reproductible que le tourbillon de bout d'aile d'une maquette d'A340 éclate soudainement [11]. De plus, ce travail de thèse s'inscrit en partie dans le contexte du programme européen FAR-Wake. Dans ce cadre, notre objectif est la modélisation du mécanisme observé à la catapulte B20 pour une meilleure compréhension physique de l'origine des effets de bords (« end-effects » / « start effects ») et de l'éclatement tourbillonnaire (« vortex bursting »).

Ce phénomène est problématique pour les mesures in situ : plus précisément, il est pathologique pour la caractérisation des sillages tourbillonnaires en champ lointain, qui est le principal objectif des essais réalisés au B20 pour les avions de transport. Il semblerait que cet éclatement soit intimement lié à la propagation le long du tourbillon et la focalisation en un certain point d'ondes d'inertie de forte amplitude [3]. Sipp [5] et Fabre [6, 7 & 8] ont abondamment étudié les perturbations de faible amplitude linéaire du tourbillon de Lamb-Oseen par la théorie de la stabilité linéaire. Ainsi, les modes de vibration (aussi appelés ondes d'inertie ou ondes de Kelvin) du tourbillon de Lamb-Oseen sont stables ou amortis et ne font que se propager le long du tourbillon sans le déstructurer. Moet [2] a montré à l'aide d'un calcul numérique (LES) que des perturbations de grande amplitude peuvent effectivement se propager le long du tourbillon et la rencontre de deux ondes de pression se propageant en sens opposés peut provoquer un éclatement tourbillonnaire qui déstructure fortement le champ moyen. Une meilleure compréhension des mécanismes physiques est nécessaire pour une expertise approfondie des essais du B20, d'autant plus que cette étude [2] s'est concentrée sur des perturbations axisymétriques.

Dans le cadre de cette thèse, l'outil numérique est le code de calcul FLUDILES développé à l'Onera et utilisé exclusivement en DNS dans nos simulations. Le phénomène d'éclatement est modélisé en superposant diverses perturbations localisées en forme de « paquets d'ondes » (représentant des dynamiques physiques complexes) à un tourbillon de Lamb-Oseen, solution de base des équations de Navier-Stokes. Nous nous limitons aux perturbations axisymétrique, hélicoïdale et en double hélice car la littérature montre que les modes de nombres azimutaux supérieurs ( $|m| > 2$ ) sont très fortement amortis.

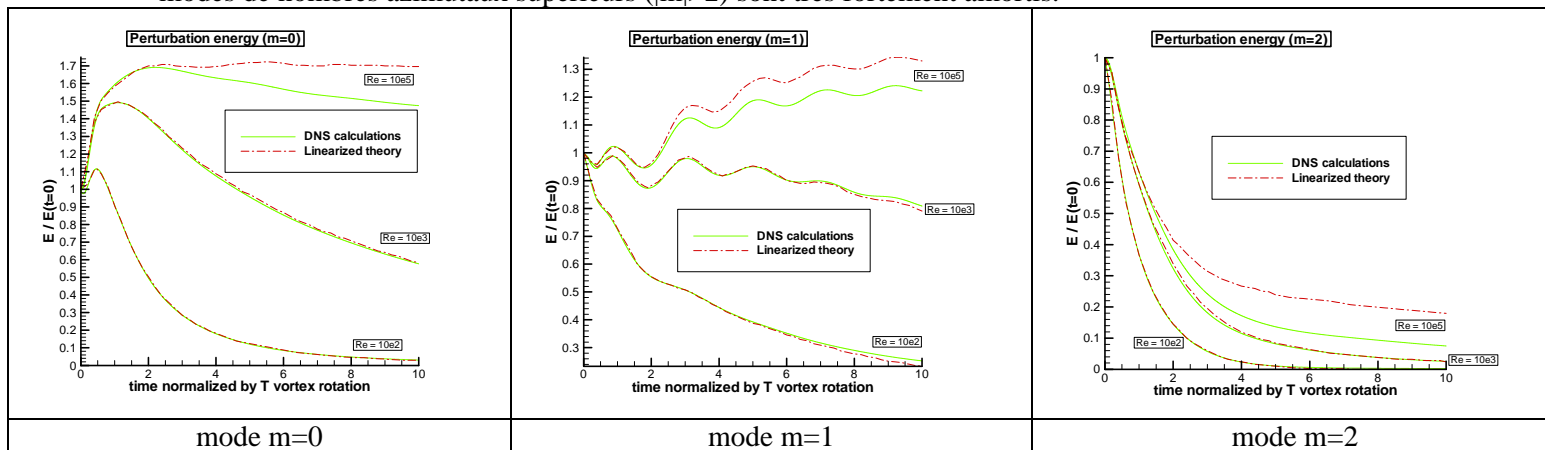


Figure 1 : validation du code DNS sur la théorie de stabilité linéaire.

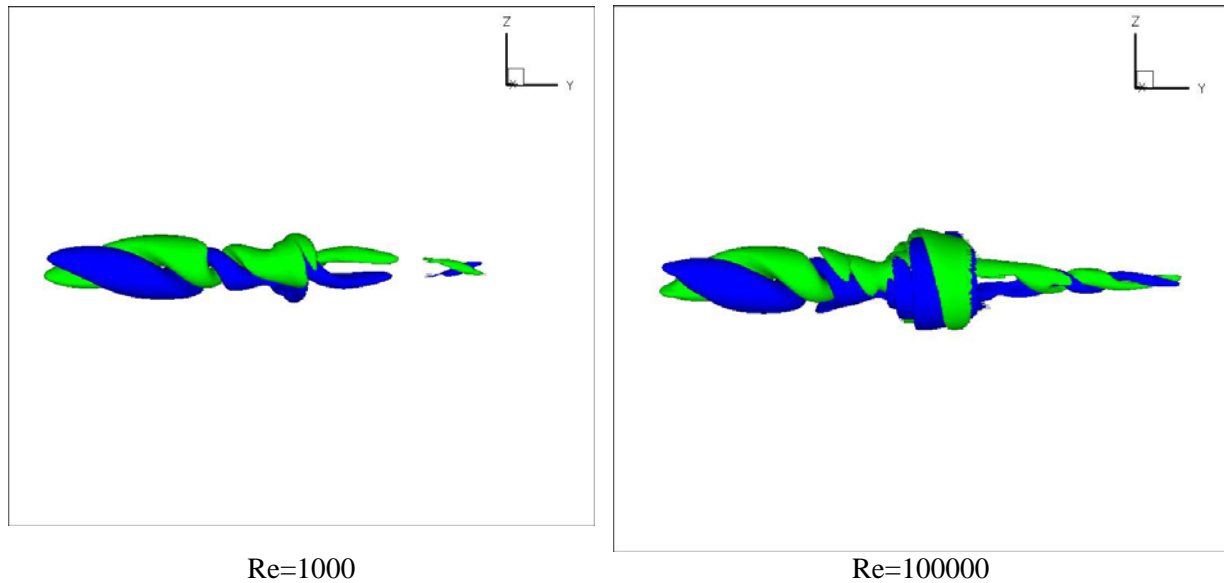


Figure 2 : effets de la viscosité sur la dynamique linéaire de la perturbation  $m=1$ .  
Isosurfaces de perturbation de vorticité axiale à  $T=5$  (calculs DNS).

Les effets des non linéarités [12] ont été examinés sur les perturbations  $m=0$  et  $m=1$  (les seules qui se propagent effectivement le long du tourbillon), avec un niveau de perturbation de 50% par rapport au champ de base. Les calculs DNS en régime non linéaire ont mis en évidence une dynamique nettement plus complexe et d'évolution plus rapide, dues notamment à la création de structures axisymétriques par interaction non linéaire. Une bifurcation physique entre les deux régimes (linéaire et non linéaire), pilotée par une interaction au second ordre entre champ de base et perturbation, pourrait expliquer l'éclatement tourbillonnaire observé au B20. Ce mécanisme échapperait de facto aux théories linéarisées qui se limitent au premier ordre et ne peut être détectable que par une résolution complète des équations de Navier-Stokes (la DNS).

#### Références bibliographiques :

- [1] E. Coustols, *Review on end-effects*, synthèse FAR-Wake, 2005.
- [2] H. Moet, F. Laporte, G. Chevalier & T. Poinso, *Wave propagation in vortices and vortex bursting*, Physics of Fluids, vol. 17, 2005.
- [3] P.R. Spalart, *Airplane trailing vortices*, Annual Review Journal of Fluid Mechanics, 1998.
- [4] T.B. Benjamin, *Theory of the vortex breakdown*, Journal of Fluid Mechanics, vol. 14, 1962.
- [5] D. Sipp, *Instabilités dans les écoulements tourbillonnaires*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique, Palaiseau, 1999.
- [6] D. Fabre, *Instabilités et instationnarités dans les tourbillons : application aux sillages d'avions*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, 2002.
- [7] D. Fabre & L. Jacquin, *Viscous instabilities in trailing vortices at large swirl numbers*, Journal of Fluid Mechanics, vol. 500, 2004.
- [8] D. Fabre, D. Sipp & L. Jacquin, *Kelvin waves and the singular modes of the Lamb-Oseen vortex*, Journal of Fluid Mechanics, vol. 551, 2006.
- [9] F. Renac, *Contrôle expérimental de l'écoulement tourbillonnaire sur une aile delta*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, 2004.
- [10] B. Leclaire, *Etude théorique et expérimentale d'un écoulement tournant dans une conduite*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique, Palaiseau, 2006.
- [11] S. Benyounes & V. Chong, *Etude des instabilités de sillage d'un avion de transport*, Stage U.V.S.Q. – DAFE, 2007.
- [12] O. Thomas, D. Sipp, L. Jacquin, D. Fabre & P. Sagaut, *Etude de l'éclatement tourbillonnaire dans les sillages des avions de transport*, 18<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 2007.