

Dynamique non linéaire de vortex hélicoïdaux

Ivan Delbende¹, Maurice Rossi² & Can Selçuk¹

¹ Sorbonne Université, LIMSI-CNRS, rue John von Neumann, 91405 Orsay Cedex

² CNRS, ∂ 'Alembert-Sorbonne Université, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

delbende@limsi.fr

Le sillage proche des turbines et des hélices (éoliennes, hélicoptères, hélices navales, etc.) est dominé par un ensemble de vortex hélicoïdaux. Nous étudions ici à la fois la structure de cet écoulement et la dynamique des instabilités qui s'y développent, en régime linéaire et non linéaire. Pour ce faire, nous utilisons des codes dédiés aux écoulements hélicoïdaux et à leurs instabilités temporelles. Les écoulements de base sont d'abord obtenus comme des solutions quasi-stationnaires des équations de Navier–Stokes en symétrie hélicoïdale, pour deux ou trois vortex. Le mode d'instabilité dominant est extrait grâce à une DNS linéarisée au voisinage de cette solution. Il s'agit d'un mode de déplacement qui généralise l'instabilité d'appariement dans les couches de mélange, et qui a été décrit dans le cadre non visqueux hélicoïdal par Okulov & Sørensen [1]. Nous montrons que ce mode est instable en-dessous d'un pas hélicoïdal critique qui dépend du nombre de vortex, de leur taille de cœur et du nombre de Reynolds.

En régime non linéaire, ce mode induit une séquence de dépassements, saute-monton et fusion entre vortex hélicoïdaux. Un modèle analytique a été créé pour rendre compte de cette dynamique riche et complexe, en particulier du phénomène de dépassements successifs, que nous montrons exister aussi pour des anneaux tourbillonnaires dans certaines conditions.

L'écoulement de base étant invariant le long de lignes hélicoïdales, il existe des modes plus généraux qui brisent la symétrie hélicoïdale, et présentent une longueur d'onde selon l'axe. Le code numérique permet ainsi de trouver

- (i) des modes de grande longueur d'onde (de type Crow) qui généralisent les modes obtenus par Widnall [2] et Gupta & Loewy [3]. Ces résultats sont en très bon accord avec des expériences récentes [4], et sont nouveaux pour les pas hélicoïdaux difficiles d'accès expérimentalement ;
- (ii) des modes de courte longueur d'onde qui émergent par les processus d'instabilité elliptique [5] et d'instabilité de courbure [6], probablement responsables de la destruction de ces sillages.

Références

1. V.L. OKULOV & J.N. SØRENSEN, Stability of helical tip vortices in a rotor far wake, *J. Fluid Mech.*, **576**, 1–25 (2007).
2. S.E. WIDNALL, The stability of a helical vortex filament, *J. Fluid Mech.*, **54**, 641–663 (1972).
3. B.P. GUPTA & R.G. LOEWY, Theoretical analysis of the aerodynamic stability of multiple, interdigitated helical vortices, *AIAA J.*, **12**(10), 1381–1387 (1974).
4. H.U. QUARANTA, H. BOLNOT & TH. LEWEKE, Long-wave instability of a helical vortex, *J. Fluid Mech.*, **780**, 687–716 (2015).
5. F.J. BLANCO-RODRÍGUEZ & S. LE DIZÈS, Elliptic instability of a curved Batchelor vortex, *J. Fluid Mech.*, **804**, 224–247 (2016).
6. F.J. BLANCO-RODRÍGUEZ & S. LE DIZÈS, Curvature instability of a curved Batchelor vortex, *J. Fluid Mech.*, **814**, 397–415 (2017).