

Abstracts

Tourbillons dans le sillage de sphères : interactions sphère-sphère et sphère-surface (solide ou libre)

**T. Leweke, L. Schouveiler, IRPHE, CNRS ;
M. C. Thompson, K. Hourigan, Monash University**

Nous présentons des résultats expérimentaux et numériques concernant le sillage d'une sphère à faible nombre de Reynolds dans deux configurations : deux sphères placées l'une à côté de l'autre, et une sphère s'approchant d'une surface plane.

Dans le premier cas, nous étudions le sillage périodique couplé de deux sphères placées dans un écoulement uniforme. Différents régimes d'interaction sont observés, en fonction de la distance de séparation entre les sphères. Pour des sphères en contact, un sillage unique est trouvé. A des séparations très faibles, les simulations numériques montrent une interaction forte, avec un sillage combiné déplacé latéralement par rapport au plan central entre les sphères. En augmentant la distance légèrement (1,5 à 2 diamètres entre les centres), la symétrie par rapport à ce plan est retrouvée ; les sillages restent couplés, et un déversement tourbillonnaire en opposition de phase a lieu. Pour des distances intermédiaires (2 à 3 diamètres), des sillages couplés en phase sont observés dans l'étude expérimentale, tandis que la simulation ne montre pas de relation de phase préférentielle. Pour des séparations au delà de 3 diamètres, les deux sillages sont indépendants. Nous présenterons également les variations du nombre de Reynolds critique et des fréquences du sillage en fonction de la distance de séparation.

Dans la deuxième étude, la dynamique tourbillonnaire associée à l'impacte d'une sphère sur une surface solide ou libre est analysée. Dans cette étude, le sillage de la sphère au moment de l'impacte est toujours axisymétrique et prend la forme d'un anneau de vorticité. Après l'impacte, cet anneau dépasse la sphère et interagit avec la couche limite sur l'avant de la sphère et sur la paroi, toutes deux de vorticité opposée, ce qui résulte en un système de plusieurs anneaux instationnaires. L'écoulement reste axisymétrique aux faibles vitesses de la sphère ; à vitesse plus élevée une instabilité tri-dimensionnelle est observée sur un des anneaux de vorticité secondaires. Les paramètres de l'écoulement sont : le nombre de Reynolds du mouvement de la sphère, la distance à la paroi où la sphère s'arrête, la distance parcourue, la nature de la surface (solide ou libre), et la présence ou non d'un rebond. Nous montrerons des visualisations pour illustrer ces différents cas, ainsi que des résultats quantitatifs préliminaires de cette étude toujours en cours actuellement.

Instabilité zigzag d'une paire de tourbillons en milieu stratifié **Paul Billant, LADHYX**

En milieu stratifié, une paire de tourbillons verticaux contrarotatifs est sujette à une instabilité, dite " zigzag ", très différente des instabilités observées en fluide homogène : les fameuses instabilités de Crow et elliptique. Cette instabilité zigzag découpe la paire de tourbillons en fines couches horizontales et constitue ainsi un mécanisme permettant d'expliquer la structure en couches de la turbulence pancake. De plus, ses caractéristiques sont génériques, notamment l'épaisseur des couches est proportionnelle à U/N où U est l'échelle de vitesse horizontale et N la fréquence de Brunt-Väisälä. Une interprétation inédite du mécanisme physique de l'instabilité zigzag en termes de modes lents de Kelvin sera également présentée.

Instabilités des anticyclones en fluide stratifié tournant

En milieu stratifié tournant, les instabilités 3D d'une paire de tourbillons verticaux contrarotatifs présentent une forte dissymétrie entre les tourbillons anticyclonique et cyclonique. Ainsi, deux instabilités se développent uniquement sur le tourbillon anticyclonique : une instabilité centrifuge axi-symétrique et une nouvelle instabilité oscillante asymétrique. Nous montrerons que cette instabilité asymétrique est aussi de nature centrifuge.

L'explosion d'un tourbillon comme source de turbulence
Yannis Cuypers †, Agnès Maurel ‡, Philippe Petitjeans †
(†Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes)
‡Laboratoire d'Ondes et Acoustique
Ecole supérieure de Physique et Chimie Industrielles
(ESPCI) 10 rue Vauquelin, 75005 Paris

On étudie expérimentalement l'explosion d'un tourbillon comme source de turbulence. Dans notre configuration expérimentale, le tourbillon évolue d'un état laminaire vers un état turbulent en un temps fini. Le tourbillon est isolé, de sorte que la turbulence observée est le résultat de la seule explosion du tourbillon. Les principales caractéristiques du vortex turbulent sont en accord avec celles du modèle de vortex spiralé de Lundgren. On montre notamment que la décroissance en $-5/3$ du spectre du signal de vitesse est le résultat d'une moyenne temporelle des spectres instantanées sur le temps de vie du tourbillon. Les spectres instantanées évoluant d'une valeur proche de -1 au début de l'explosion vers une valeur proche de -2 à la fin de l'explosion

Instabilités de l'écoulement de la marche descendante.
Olivier Cadot (LHMP-ESPCI)

On étudie expérimentalement le scénario de transition vers la turbulence d'une couche limite décollée pour des nombres de Reynolds compris entre 10 et 3000. Notamment, on analyse la topologie tri-dimensionnelle de la zone décollée au moyen d'une PIV et de techniques de visualisation. Nous observons pour la première fois une instabilité tri-dimensionnelle stationnaire dont l'origine serait liée aux effets de courbure des lignes de courants.

Contrôle de l'éclatement tourbillonnaire.
F. Gallaire, J.-M. Chomaz et P. Huerre. LADHYX

L'éclatement tourbillonnaire est un phénomène rencontré dans les tourbillons possédant à la fois une composante de vitesse azimutale et une composante de vitesse axiale. Nous montrons que l'éclatement tourbillonnaire ne résulte pas d'un mécanisme local d'instabilité mais qu'il met en jeu la globalité de l'écoulement et en particulier les conditions aux limites amont et aval. Le fluide n'amplifie pas les perturbations, mais joue simplement le rôle d'un guide d'ondes, les conditions aux limites se chargeant de fournir l'énergie nécessaire à l'instabilité.

Nous en déduisons une stratégie de contrôle actif capable d'étouffer l'instabilité d'éclatement au delà de son seuil d'apparition en utilisant un actionneur situé au bord amont de l'écoulement. Deux approches de contrôle optimal sont proposées, l'une plus systématique faisant appel à l'optimisation sous contraintes par méthode adjointe, l'autre à une réduction de la dynamique dans un sous-espace de dimension finie et à la théorie du contrôle optimal des systèmes de dimension finie. La méthode réduite s'avère efficace pour retarder l'éclatement tourbillonnaire même lorsque l'état fluide n'est connu que partiellement et apparaît ainsi comme un excellent candidat pour une implementation expérimentale.

Instabilité elliptique d'un tourbillon avec jet axial Laurent Lacaze & Stéphane Le Dizès, IRPHE

L'instabilité elliptique d'un vortex contraint par un champ de déformation est bien connue depuis les travaux de Tsai & Widnall [1] et Bayly [2]. Cette instabilité permet d'expliquer la transition tridimensionnelle de nombreux écoulements cisailés comme le sillage derrière un cylindre ou la couche de mélange. Jusqu'à présent, cette instabilité n'a été modélisée que dans le cas de vortex sans jet axial. Nous nous proposons, dans cette étude, d'étendre l'analyse à des vortex avec jet axial. Cette extension est nécessaire pour décrire les instabilités de paires de vortex générés par une aile, ou bien l'éclatement tourbillonnaire en turbulence.

Nous utilisons une approche globale où l'instabilité elliptique est décrite comme un phénomène de résonance de deux modes normaux avec le champ de cisaillement. Plusieurs profils de vorticités, incluant celui de Rankine et celui de Batchelor, sont considérés. Nous montrons que, si la vortacité n'est pas concentrée dans un domaine fini, l'addition de jet axial complique sérieusement l'analyse : de nombreux modes résonants possèdent une structure spatiale avec une couche critique.

Cette couche critique augmente l'atténuation visqueuse des modes normaux. Nous pensons que cet effet devient suffisamment important pour des forts écoulements axiaux pour supprimer l'instabilité elliptique.

Références

- [1] Tsai, C.-Y. & Widnall, S.E. 1976 The stability of short waves on a straight vortex filament in a weak externally imposed strain field. *J. Fluid Mech.* **73**, 721–735.
- [2] Bayly, B.J. 1986 Three-dimensional instability of elliptical flow. *Phys. Rev. Lett.* **57**, 2160–2163.

Dynamique linéaire d'un tourbillon de Lamb–Oseen David Fabre & Laurent Jacquin

ONERA, Dept. d'Aérodynamique Fondamentale et Expérimentale
8, rue des Vertugadins, 92190 Meudon

On considère les propriétés de stabilité du tourbillon de Lamb–Oseen. Le problème est étudié du point de vue des modes propres (ondes de Kelvin) et du point de vue du problème aux valeurs initiales. Les résultats sont comparés au cas d'un modèle moins réaliste mais mieux connu, le tourbillon de Rankine, et des différences importantes sont observées. On montre que seules les perturbations axisymétriques et certains types de perturbations hélicoïdales peuvent se propager sous forme de paquets d'ondes. Au contraire, des perturbations elliptiques ou de forme plus générale sont rapidement amorties par filamentation.

Transition dans les écoulements de Couette plan et cylindrique Laurette S. Tuckerman, LIMSI-CNRS

Il existe une forte analogie entre les écoulements de Taylor-Couette (cylindrique) et de Couette plan. Le moteur des deux écoulements est le mouvement différentiel de leurs frontières : la rotation de deux cylindres concentriques dans le cas de Taylor-Couette et la translation de deux plans parallèles dans le cas de Couette plan. Pourtant, le comportement et la compréhension de ces deux écoulements sont très différents. Dans l'écoulement de Taylor-Couette, la théorie et les expériences sont en accord sur l'existence d'une série de transitions supercritiques brisant progressivement les symétries et menant d'un écoulement homogène et laminaire, à travers de motifs de plus en plus compliqués, à la turbulence. En revanche, dans l'écoulement de Couette plan, les expériences et les simulations numériques mènent subitement à la turbulence, bien que la stabilité linéaire de l'écoulement laminaire soit démontrée mathématiquement, et les explications de la transition restent diverses et controversées.

Un courant de recherche récent a exploité l'analogie des deux écoulements. Des écoulements connus dans la configuration de Taylor-Couette, tels que les rouleaux et la turbulence en bandes, ont été retrouvés expérimentalement et numériquement dans l'écoulement de Couette plan. Par ailleurs, la croissance transitoire, un des phénomènes théoriques mis en avant pour expliquer la transition vers la turbulence dans l'écoulement de Couette plan, a été calculé pour l'écoulement de Taylor Couette.

Les modes visqueux instables des tourbillons S. Le Dizès (IRPHE) & D. Fabre (IMFT)

Malgré le nombre important de travaux, le diagramme de stabilité du tourbillon de Batchelor (ou q -vortex) pour de grands nombres de Reynolds n'est toujours pas connu. Dans cette étude, nous montrons l'existence de nouveaux modes d'instabilité visqueux qui s'apparentent à ceux que l'on peut rencontrer dans les couches limites. Une analyse asymptotique pour de grands nombres de Reynolds est réalisée afin d'obtenir une expression explicite de la fréquence de ces modes. Les courbes de stabilité marginale sont également déterminées par l'analyse. L'ensemble des résultats est ensuite comparé avec succès aux résultats numériques. Une des conclusions importantes de l'étude est que le nombre de Swirl critique du tourbillon de Batchelor au dessus duquel le tourbillon devient stable tend vers l'infini lorsque le nombre de Reynolds tend vers l'infini.

Interaction de deux tourbillons corotatifs : fusion et instabilité elliptique P. Meunier, IRPHE

Nous présenterons des résultats expérimentaux sur l'interaction de deux tourbillons corotatifs parallèles, créés dans l'eau par le mouvement impulsif de deux plaques planes, et analysés au moyen de visualisations au colorant et de Visualisation par Images de Particules (PIV). Cet écoulement écoule est intéressant car il est présent en turbulence 3D et 2D, ainsi que dans les couches de mélange et les sillages d'avions.

Aux faibles nombres de Reynolds, les tourbillons restent bidimensionnels et laminaires et fusionnent en un unique vortex en trois étapes : (1) la croissance visqueuse des cœurs jusqu'à une taille critique égale à 24 % de la distance de séparation, (2) la fusion convective, et (3) l'axisymétrisation du vortex final, dont le carré de la taille du cœur vaut deux fois le carré de la taille des vortex initiaux. Un modèle, basé sur le moment angulaire des filaments, sera introduit. Il prédit une déstabilisation du système de deux vortex et une chute brutale de la distance de séparation, lorsque la taille du cœur dépasse une valeur critique, en accord avec les résultats expérimentaux.

Aux nombres de Reynolds élevés, il apparaît une instabilité tridimensionnelle, liée à l'instabilité elliptique des cœurs des vortex, créant l'ondulation des cœurs des vortex à l'intérieur d'un tube de courant invariant. Le taux de croissance et la largeur de la bande de longueurs d'onde sont en très bon accord avec les prédictions théoriques. La fusion apparaît pour des tailles de cœur plus faibles, et donnent lieu à un vortex final plus turbulent et plus gros qu'en l'absence de l'instabilité tridimensionnelle.

Asymmetries des allées tourbillonnaires de Von-Karman dans les écoulements géophysiques :

I-Tourbillons intenses et instabilités inertielles.

Alexandre Stegner, LMD-ENS

Les nuages permettent souvent de détecter les allées tourbillons atmosphériques dans le sillage

d'une île montagneuse isolé. A la différence de l'allée de Von-Karman bi-dimensionnelle la dynamique de ces allées de tourbillons de petite échelle, présent dans l'atmosphère, dépend fortement de la stratification verticale et de la rotation terrestre. Ces effets peuvent induire une déstabilisation sélective des tourbillons anticycloniques. En effet, l'instabilité inertielle (également appelé instabilité centrifuge) induit une déstabilisation tri-dimensionnelle des structures anticycloniques lorsque la vorticité relative devient plus grande, en norme, que la vorticité planétaire (i.e. le paramètre de Coriolis local). Cependant, à l'aide d'expériences de laboratoire, nous avons montré que c'est un type particulier d'instabilité qui est responsable de l'asymétrie cyclone-anticyclone de l'allée de Von-Karman en fluide tournant. Une série d'expérience ont été effectuées pour étudier le sillage d'un cylindre dans un fluide tournant barotrope pour des Reynolds de l'ordre de 150 et des nombre de Rossby de l'ordre de l'unité. Nous avons montré que la structure verticale des modes instables est caractéristique d'une instabilité de type elliptique. De plus, à la différence de l'instabilité centrifuge, il existe une forte dépendance de la longueur d'onde en fonction du nombre de Rossby.

Advection chaotique dans des écoulements tourbillonnaires à deux ou quatre cellules : mélangeur MHD et goutte oscillante.

J.R. Angilella & J.P. Brancher

LEMETA, 2 av. de la Forêt de Haye, 54504 Vandœuvre-les-Nancy

Nous étudions analytiquement et numériquement le transport de traceurs, à grand nombre de Peclet, dans un mélangeur MagnétoHydroDynamique ainsi qu'à l'intérieur d'une goutte tombant à vitesse constante dans un fluide au repos. Ces écoulements sont laminaires, stationnaires, et présentent des cellules de recirculation que l'on peut modéliser simplement. Nous supposons de plus que le champ des vitesses de ces écoulements est soumis à une rotation solide autour d'un axe fixe. L'angle de cette rotation est supposé varier périodiquement avec le temps, ce qui rend le champ de vitesse périodique en temps. Une étude du transport chaotique de traceurs, dans la limite des oscillations de faible amplitude, est menée par la méthode Melnikov. Elle met en évidence une bifurcation hétérocline et un transport chaotique, quelle que soit la fréquence de l'oscillation. Dans le cas du mélangeur MHD la fréquence donnant un mélange optimal, prédite par l'analyse de Melnikov, est en bon accord avec celle calculée numériquement dans de précédents travaux. Dans le cas de la goutte, les sections de Poincaré au voisinage des points elliptiques et hyperboliques sont obtenues analytiquement dans le cas où la rotation est de faible amplitude, et numériquement dans le cas général. En particulier, on observe que la goutte peut être rapidement contaminée par des traceurs distribués initialement à sa périphérie.

Étude numérique de l'interaction 1 :2 entre modes stationnaires dans l'écoulement de von Kármán

C. Nore, L. S. Tuckerman, O. Daube et S. Xin
LIMSI Orsay-LMEE Evry

L'écoulement produit dans une cavité cylindrique par l'entraînement de deux disques en rotation a été le sujet d'études théoriques, expérimentales et numériques exhaustives depuis Batchelor (1951) et a été baptisé écoulement de von Kármán par Zandbergen et Dijkstra (1987). Parmi ces écoulements, celui engendré par deux disques en contra-rotation avec une paroi latérale immobile a permis d'atteindre des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^7 , voisins des expériences de turbulence de grille. Or, la route vers le chaos de cet écoulement turbulent n'a pas été précédemment étudiée.

Nous avons choisi le rapport d'aspect tel que la hauteur du cylindre soit égale au diamètre. Le paramètre de bifurcation est alors le nombre de Reynolds Re construit avec la vitesse de rotation des disques, leur rayon et la viscosité cinématique du fluide. Nous avons d'abord réalisé une étude de la stabilité linéaire de l'état de base axisymétrique afin de déterminer les valeurs critiques du nombre de

Reynolds pour la bifurcation primaire. Nous avons calculé les états stables successivement rencontrés par l'écoulement en fonction de Re : des états stationnaires correspondant au mode azimutal $m = 1$ (dénotés M), des ondes tournantes (TW), des cycles hétéroclines (Het) et des états stationnaires correspondant à $m = 2$ (P). Les états M , TW , P correspondent respectivement à une solution à un tourbillon, à une solution tournante à une vitesse de précession dépendant de Re et à une solution à deux tourbillons. Les solutions les plus exotiques de ce système sont les ondes tournantes et les cycles hétéroclines. Ces derniers correspondent dans notre cas à une oscillation périodique entre deux états $m = 2$ reliés par une rotation de $\pi/2$.

- [1] Batchelor G.K. 1951, Q. J. Mech. Appl. Math. **4**, 29–41.
- [2] Zandbergen P. J. & Dijkstra D. 1987, Ann. Rev. Fluid Mech. **19**, 465–491.
- [3] Armbruster D., Guckenheimer J. & Holmes P. 1988, Physica D **29**, 257–282.
- [4] Nore C., Tuckerman L.S., Daube O. & Xin S. 2003, *J. Fluid Mech.* **477**, 51–88.

Sur la nature d'oscillations auto-induites dans des couches limites décollées.

Matthieu Marquillie (Labo Dieudonne, Nice)

La stabilité d'un écoulement de couche limite décollée à l'arrière d'une bosse montée sur une plaque plane est simulée numériquement. À partir d'un nombre de Reynolds critique, des oscillations auto-induites à basses fréquences apparaissent dans la partie amont de la zone de recirculation, suivies d'un lâcher de tourbillons apériodiques en aval. Cette instabilité apparaît en l'absence de perturbations extérieures pour un écoulement convectivement instable et il est montré qu'elle est la conséquence de la rupture d'une zone de recirculation trop allongée. Supprimant cette instabilité structurelle à l'aide d'une seconde bosse qui réaccélère l'écoulement dans la partie aval de la zone de recirculation, des états stationnaires sont calculés pour des nombres de Reynolds croissants, jusqu'à obtenir une région locale absolument instable à l'intérieur de la zone de recirculation. L'instabilité globale qui en résulte se manifeste par des oscillations non linéaires saturées ayant une fréquence bien définie. Il a été alors possible de vérifier des critères de sélection de fréquences pour l'écoulement décollé, de tels critères ayant été développés ces dernières années pour des écoulements ouverts faiblement non parallèles et notamment des sillages. Ce travail a permis d'identifier deux mécanismes d'instabilité globale dans une couche limite décollée : un premier qui est lié au seuil de l'allongement de la zone de recirculation et un deuxième, à des nombres de Reynolds plus élevés, qui s'interprète en termes d'instabilités absolues locales.

L'instabilité elliptique dans un fluide stratifié tournant et ses conséquences sur la formation de feuillets

Stéphane Leblanc (Univ. Toulon)

Dans un fluide homogène en référentiel galiléen, un tourbillon plan à lignes de courant elliptiques est instable tridimensionnellement. Dès que le repère est en rotation autour d'un axe aligné avec celui du tourbillon, cette instabilité persiste en général, sauf au voisinage de la vorticité absolue nulle, c'est à dire quand l'écoulement est irrotationnel (ou presque) vis à vis du repère fixe. Quand le fluide est de plus stratifié linéairement dans la direction de l'axe du tourbillon, les régimes d'instabilité sont profondément modifiés. Nous présenterons une description des instabilités en fonction des différents paramètres, et montrerons comment ces résultats peuvent être utilisés pour construire un mécanisme de formation de feuillets quasi-bidimensionnels dans un fluide stratifié. Le lien avec les lois d'échelles proposées par P. Billant et J.-M. Chomaz sera également discuté.

Dynamique linéaire et non linéaire du tourbillon de Batchelor soumis à étirement axial Ivan Delbende, LIMSI

La présence d'un écoulement axial le long d'une structure cohérente tourbillonnaire modifie radicalement ses propriétés d'instabilité, ce qui pourrait être à l'origine de sa destruction observée expérimentalement (Cadot et al. 1995, Petitjeans et al. 1998, ...) Dans une première partie, nous montrons comment un champ de déformation axiale imposé par l'écoulement extérieur à grande échelle est susceptible d'exciter l'instabilité tridimensionnelle d'une structure cohérente, modélisée par un tourbillon de Batchelor initialement stable. En invoquant une approche quasi-statique, on interprète l'instabilité qui se développe comme celle d'un tourbillon de Batchelor dont le taux de rotation varie sous l'effet du champ de déformation et qui devient instable. Ce mécanisme est corroboré par simulation numérique directe des équations de Navier-Stokes en variables de Lundgren, linéarisées au voisinage du tourbillon de Batchelor comprimé puis étiré. On observe alors la formation de tourbillons multiples hélicoïdaux. Dans une seconde partie, nous passons en revue la dynamique non linéaire de ces tourbillons multiples issus de l'instabilité primaire, ici en l'absence de champ de déformation. Par simulation numérique directe, nous mettons qualitativement en évidence des régimes différents - dipoloïde, monopoloïde ou restabilisant - suivant le taux de rotation du tourbillon primaire et le nombre de Reynolds.

Coalescence de tourbillons et croissance de l'entropie Yves Pomeau, LPS-ENS)

La théorie cinétique de Boltzmann montre bien qu'il n'y a pas d'opposition entre systèmes conservatifs et systèmes irréversibles dès lors qu'un grand nombre de degrés de liberté sont en présence. Le cas de l'hydrodynamique est particulièrement intéressant de ce point de vue, puisque les équations dynamiques décrivent justement un système à une infinité de degrés de liberté. Je montrerai qu'une conséquence de cette remarque est que les vortex de même signe coalescent pour "accroître" l'entropie dans un sens bien défini. Je tenterai de relier cette remarque aux observations numériques et à diverses lois d'échelles.

Hyères et sa région

Sous son premier nom d'Olbia, Hyères est un des lieux qui ont la plus longue existence historique sur notre territoire (Géographie de Strabon). Cette région a une histoire passionnante, liée à une géographie exceptionnelle. Je tâcherai de montrer tout ça en me basant en partie sur ce qu'on peut voir de Porquerolles.

Stabilité d'un vortex étiré : le cas du Vortex de Burgers.

Maurice Rossi
LMM, CNRS-Université de Paris VI,
et P.Schmid

Department of Applied Mathematics, University of Washington

Le Vortex de Burgers est une des rares solutions classiques des équations de Navier-Stokes. Cet écoulement correspond à un filament de vortécité soumis à un étirement axial uniforme. Paradoxalement la stabilité linéaire de cette solution n'a pas été étudiée dans le cas général tri-dimensionnel. On

présentera une telle étude. À l’aide d’une série de transformation, on a été capable de relier la stabilité de ce vortex étiré à un système très proche de celui décrivant les perturbations du vortex de Lamb-Oseen. Ce dernier dépend explicitement du temps par diffusion visqueuse de l’état de base mais aussi par le biais d’un coefficient qui est fonction de l’étirement. On étudie ce problème instationnaire par une méthode adjointe : on obtient ainsi les maxima des taux d’amplification des perturbations transitoires. Par la suite, on montre en quoi ce point de vue résout le problème de la stabilité asymptotique du Vortex de Burgers.

La question des singularités à temps fini des équations d’Euler 3D pour les fluides incompressibles

Denisse Sciamarella (LIMSI Orsay), Yves Pomeau (LPS-ENS)

La question des singularités à temps fini des équations d’Euler pour les fluides incompressibles à trois dimensions d’espace se trouve au coeur de la turbulence réelle, puisqu’il est bien possible, sinon probable, qu’elle soit reliée à la formation de structures de vorticité filamenteaire dans les fluides turbulents réels.   partir d’expériences numériques, plusieurs indices de l’existence de singularités à temps fini ont été trouvés [Pumir et Siggia, 1990, Phys. Fluids A 2, 220 ; Kerr, 1992, Phys. Fluids A 5, 7]. Néanmoins, ces simulations ne permettent pas de donner une réponse définitive au problème parce que l’explosion de ces solutions pourrait être produit par le numérique, sans être forcément une propriété des solutions en elles-mêmes. Nous considérons une version transformée des équations du mouvement proposée par Yves Pomeau en 1996, dont une solution régulière, mais non triviale, représenterait dans la réalité une singularité à temps fini pour les équations originales.

Instabilité secondaire et croissance transitoire dans les sillages

Jean-Marc Chomaz, Stéphanie Julien and Sabine Ortiz

LadHyX, CNRS-Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

We extend the work of Sutherland & Peltier (1994) and investigate numerically the three-dimensional (3D) secondary stability of a wake forming behind a thin flat plate. The primary flow is a Kármán vortex street numerically computed from the two-dimensional (2D) even instability of a parallel wake based on the Bickley velocity profile. Considering the symmetries of the von Kármán Street, the 3D modes are classified into two families, whether symmetric or antisymmetric. For each family, we determine the leading eigenmodes using a Krylov method. The growth rate curves show that both the most unstable symmetric and antisymmetric modes are stationary and present a maximum of amplification for a wavelength of the order of the primary vortex spacing. The maximum growth rate, corresponding wavelength and cutoff wavelength are well predicted by the elliptic instability of the vortex core. The eigenmode structure of the most unstable wavenumber is centered in the core and is typical of the elliptic instability. The hyperbolic instability of the braid region gives a growth rate five times larger and a cutoff two times higher than the ones computed. As recently discussed for mixing layers by Caulfield & Kerswell (2000), this is not surprising since the hyperbolic instability applies for an unbounded hyperbolic flow. When the region of hyperbolic flow is bounded, intense transient growth is generated, but when time goes to infinity, the instability becomes small or even dies out. Finally, good qualitative and quantitative agreement is found with the experiments previously done by Julien, Lasheras & Chomaz (2003) on the secondary instability in the wake of a flat plate for the symmetry selection, the most amplified wavenumber and growth rate.

Instabilités d’une paire de tourbillon corotatifs

Pantxika Otheguy, LADHYX

On étudie numériquement, théoriquement et expérimentalement les instabilités tridimensionnelles d'une paire de tourbillons corotatifs en milieu stratifié. Les premiers résultats ont permis de mettre en évidence deux types d'instabilités en fonction du niveau de stratification.

En milieu faiblement stratifié, on observe une instabilité elliptique qui présente deux modes instables (un mode symétrique, un mode antisymétrique). Les résultats obtenus seront comparés à ceux de Le Dizès et Laporte (2002).

En milieu fortement stratifié ($Fh < 2$) une instabilité différente apparaît présentant un seul mode antisymétrique instable. On étudiera les caractéristiques physiques de cette instabilité de phase de type "zig-zag".

Dynamique de la fusion bidimensionnelle Christophe Josserand & Maurice Rossi, LMM-UPMC

Nous étudierons les différents régimes dynamiques se succédant durant la fusion de deux tourbillons co-rotatifs. Nous chercherons notamment à caractériser ces régimes dans le référentiel tournant avec les vortex. Durant la phase de fusion convective on observe la formation d'une spirale tourbillonnaire provenant de la diffusion de la vorticité dans la zone de recirculation. En séparant l'influence de cette vorticité de l'écoulement principal, on note que le champ de vitesse induit sur la pair de tourbillons conduit à leur rapprochement. Finalement nous proposerons une explication qualitative de la présence d'une seconde phase diffusive aux grands nombres de Reynolds.

Instabilités elliptiques en géométrie cylindrique et sphérique C. Eloy, L. Lacaze, S. Le Dizès & P. Le Gal, IRPHE

Le sujet de cette recherche est l'analyse des instabilités d'un écoulement de rotation soumis à une contrainte non-axisymétrique. Ces instabilités sont connues sous le nom d'instabilité elliptique [1] ou plus généralement multipolaire et est due à la résonance d'ondes de Kelvin de l'écoulement de base. Elles interviennent dans de nombreux domaines de la mécanique des fluides car elles sont souvent la cause de la transition vers un régime désordonné tri-dimensionnel des écoulements tourbillonnaires. Le montage expérimental, similaire à celui de Malkus [3], est constitué d'un cylindre circulaire transparent et élastique qui tourne autour de son axe. Sur la paroi de ce cylindre, deux ou trois rouleaux peuvent être positionnés parallèlement à l'axe de rotation de manière à déformer la surface souple et à donner au cylindre une section droite de forme elliptique ou triangulaire. Ce montage a permis l'étude des différents régimes d'instabilités [2] ou différents modes peuvent apparaître. La figure 1 présente deux de ces modes qui peuvent selon le nombre de Reynolds, soit saturer dans un régime stationnaire soit exploser et entrer alors dans un cycle intermittent : instabilité-explosion du tourbillon-relaminarisation.

Une variante de l'expérience précédente en géométrie sphérique est aujourd'hui en cours. Cette configuration suscite un grand intérêt en géophysique car elle modélise le noyau liquide d'une planète déformé par l'attraction gravitationnelle exercée par une lune ou un soleil[4]. Un mode dit de « spin-over » a été observé et son taux de croissance ainsi que sa saturation non linéaire ont été mesurés. La figure 2 montre ce mode avec la structure de l'écoulement en forme de S. Un régime intermittent a également été découvert très récemment.

[1] R. T. Pierrehumbert, Phys. Rev. Lett. 57, 2157 (1986); B. J. Bayly, Phys. Rev. Lett. 57, 2160 (1986). [2] C. Eloy, P. Le Gal and S. Le Dizès, Phys. Rev. Lett. 85, 3400 (2000). [3] W. V. R. Malkus, Geophys. Astrophys. Fluid. Dyn. 48, 123 (1989). [4] K. Aldridge et al., Phys. Earth Planet Int. 103, 365 (1997).