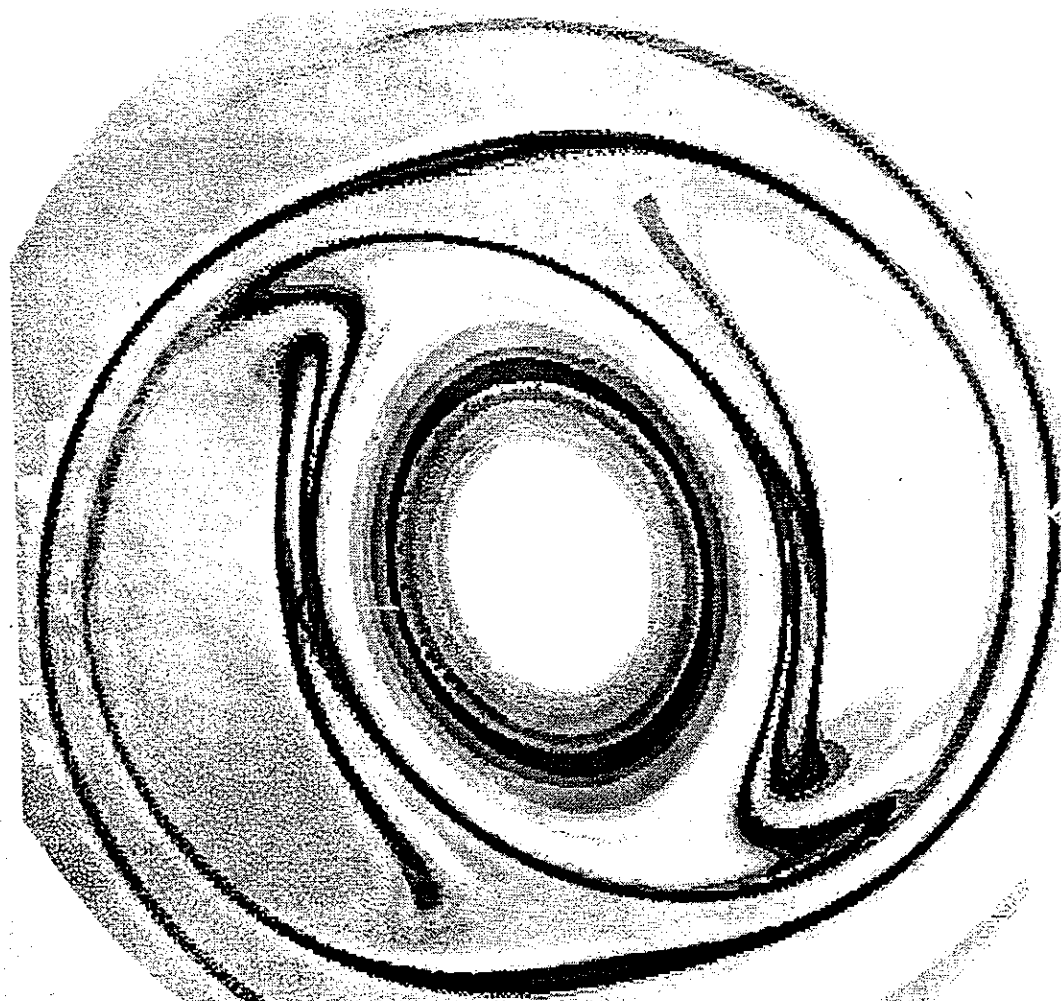


Modèles fluides et représentations en tourbillons

Lundi 15 et Mardi 16 Mai 2000

Conservatoire National des Arts et Métiers
292 rue Saint-Martin Paris 3^e



*avec le soutien du Conservatoire National des Arts et Métiers,
du laboratoire « Applications Scientifiques du Calcul Intensif » et de la
Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles*

Modèles fluides et représentations en tourbillons

lundi 15 et mardi 16 mai 2000
Conservatoire National des Arts et Métiers
Amphi A, 292 rue Saint Martin, Paris 3^e

**Avec le soutien du Conservatoire National des Arts et Métiers,
du laboratoire "Applications Scientifiques du Calcul Intensif"
et de la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles.**

Le but de ces journées est de faire le point sur les nouvelles formulations des équations de Navier Stokes incluant le tourbillon, tant du point de vue théorique que des applications potentielles. Elles sont destinées à favoriser les échanges scientifiques entre mécaniciens, industriels et mathématiciens appliqués. Les thèmes abordés incluent les mécanismes de création du tourbillon, les instabilités, l'interaction choc-couche limite, le tourbillon en fluide compressible et en fluide réactif, l'aérodynamique externe, l'acoustique, le choix d'une discrétisation eulérienne vs lagrangienne, la comparaison entre les formulations vitesse-pression et tourbillon-vitesse-pression, les analogies avec l'électromagnétisme, les conditions aux limites.

Organisation : Mohamed AMARA (Université de Pau)
Georges-Henri COTTET (Université J. Fourier, Grenoble)
François DUBOIS (CNAM et ASCI, Paris)
Pierre-Arnaud RAVIART (Ecole Polytechnique).

Programme

Lundi 15 mai matin

09h00-09h15 Accueil
09h15-09h30 Introduction Roger OHAYON

Présidence : Bertrand MERCIER (CEA Saclay)

09h30-10h00 Christine BERNARDI (CNRS, U. Paris 6)
Encore plus de pression dans la discrétisation par éléments finis du problème de Stokes.

10h00-10h30 Vivette GIRAULT (U. Paris 6)
Conditions inf-sup discrètes locales.

10h30-11h00 Abderrahmane BENDALI (INSA et CERFACS, Toulouse)
Problèmes aux limites en variables rapides dans l'homogénéisation de la diffraction par des surfaces fortement oscillantes

11h00-11h30 Pause

Présidence : Geneviève COMTE-BELLOT (Ecole Centrale de Lyon)

11h30-12h00 Yves ACHDOU (CNRS et ASCI, Orsay)
Equations intégrales pour le tourbillon.

12h00-12h30 Laurent JACQUIN (ONERA Meudon)
Stabilité et turbulence dans les sillages tourbillonnaires d'avions.

12h30-13h00 Xavier de SAINT VICTOR (ONERA Toulouse)
Génération de tourbillon

13h00-14h30 Repas

Lundi 15 mai après-midi

Présidence : Patrick LASCAUX (CEA Bruyères)

14h30-15h00 Daniel JUVE (Ecole Centrale de Lyon)
Simulations numériques en aéroacoustique.

15h00-15h30 Serge HUBERSON (U. Le Havre)
Aéroacoustique des écoulements tourbillonnaires.

15h30-16h00 Olivier DAUBE (CNRS, LIMSI Orsay)
Une méthode de projection pour la formulation vitesse-tourbillon : applications à la simulation directe et des grandes échelles d'écoulements visqueux instationnaires.

16h00-16h30 Pause

Mardi 16 mai matin

09h00-09h30 Jean-Christophe ROBINET (ONERA Toulouse)
Instabilités et réponse d'une onde de choc

09h30-10h00 Petros KOUMOUTSAKOS (ETH Zurich)
Development and applications of a vorticity creation algorithm.

10h00-10h30 Xavier CARTON (IFREMER Brest)
Vorticité potentielle et dynamique des tourbillons géophysiques

10h30-11h00 Pause

Présidence : Eric CHAPUT (Aeromatra Airbus, Toulouse)

11h00-11h30 Michel SUNYACH ou Jean-Christophe BERA (Ecole
Centrale de Lyon)
Contrôle par jet pulsé de l'écoulement dans un divergent court à grand angle.

11h30-12h00 Jean-Luc GUERMOND (CNRS, LIMSI et ASCI, Orsay)
(i) Approximation ψ - ω explicite en 2D.
(ii) Quelques résultats pour u - ω en 2D (d'après RUAS et al).

12h00-12h30 Michel SALAÛN (CNAM Paris)
Formulation tourbillon-vitesse-pression pour le problème de Stokes.

12h30-14h30 Repas

Mardi 16 mai après-midi

14h30-15h00 Mohamed AMARA (U. Pau)
Méthodes mixtes pour les équations de Navier-Stokes tridimensionnelles

15h00-15h30 François DUBOIS (ASCI et CNAM Paris)
Du tourbillon au champ de vitesse

15h30-16h00 Georges-Henri COTTET (U. J. Fourier, Grenoble)
Limites et possibilités des méthodes particulières pour la simulation d'écoulements
incompressibles 3D

16h00-16h30 Pause

17h00-18h00 Visite du musée du CNAM.

Résumés des contributions

Y. ACHDOU

ASCI, Orsay

Equations intégrales pour le tourbillon.

M. AMARA, H. BARUCQ, M. DULOUE

Université de Pau et des pays de l'Adour.

Laboratoire de Mathématiques Appliquées ERS2055, Université de Pau, 64000 Pau

Méthodes mixtes pour les équations de Navier-Stokes tridimensionnelles.

On s'intéresse à la résolution des équations de Navier-Stokes tridimensionnelles en formulation fonction courant-tourbillon. Cette approche pour l'opérateur linéaire de Stokes nécessite l'introduction d'espaces fonctionnels particuliers. L'approximation conforme par éléments finis utilise des éléments de Nédélec. L'analyse de ce schéma montre la nécessité d'introduire une stabilisation pour assurer une convergence inconditionnelle de la méthode. L'ordre de convergence est alors suffisant sur l'opérateur de Stokes pour une extension de la méthode aux équations de Navier-Stokes. On utilise une variante du théorème des fonctions implicites pour démontrer ce résultat.

A. BENDALI

MIP-INSA et CERFACS, Toulouse

Problèmes aux limites en variables rapides dans l'homogénéisation de la diffraction par des surfaces fortement oscillantes.

Le but de l'exposé sera de montrer comment les techniques de développements asymptotiques raccordés permettent d'obtenir de façon systématique les correcteurs de couche limite et les procédés d'homogénéisation pour la diffraction des ondes électromagnétiques par des surfaces conductrices fortement oscillantes introduits par Y. Achdou. Nous présentons d'abord dans un cadre très élémentaire la technique des développements asymptotiques raccordés telle qu'elle a été développée par l'école russe (A. Vasil'eva et al.) et qui peut s'interpréter comme la construction de correcteurs, et nous montrons ses liens avec les développements dits de couche limite tels qu'ils apparaissent chez E. Sanchez-Palencia par exemple. Nous adaptons cette technique pour écrire des développements asymptotiques pour les solutions des problèmes de diffraction par des surfaces fortement oscillantes dans le cas 2D et 3D pour bien mettre en évidence la différence de nature entre les deux situations. Nous montrons aussi comment le cadre fonctionnel usuel permettant d'étudier la diffraction par un obstacle borné peut être adapté pour étudier les problèmes aux limites dans les variables rapides liés à la construction du développement asymptotique.

C. BERNARDI

CNRS, Université Paris 6

Laboratoire d'Analyse Numérique

Encore plus de pression dans la discrétisation par éléments finis du problème de Stokes

Pour le problème de Stokes dans un ouvert borné bi- ou tridimensionnel, on propose une discrétisation par un nouvel élément fini mixte, qui utilise une approximation non conforme de la vitesse et une approximation plus riche de la pression. On prouve que les espaces discrets de vitesse et de pression sont compatibles, au sens qu'ils vérifient une condition inf-sup de Babushka et Brezzi. On en déduit des majorations d'erreur ainsi qu'un algorithme de résolution du problème discret.

X. CARTON

IFREMER, Brest

Vorticité potentielle et dynamique des tourbillons géophysiques

Le concept de vorticité potentielle est central en dynamique des tourbillons atmosphériques et océaniques car il associe en un scalaire les 3 propriétés essentielles de ce type d'écoulement: la vorticité relative horizontale du tourbillon, la vorticité planétaire et l'homogénéité des colonnes fluides piégées dans la structure. Cette association est possible car la dynamique des tourbillons géophysiques de moyenne et grande échelles est fortement contrainte dans la plan horizontal par la rotation planétaire et la stratification ambiante. Après avoir revu quelques aspects théoriques de la vorticité potentielle (notion de tourbillon isolé, stationnaire ou stable), nous verrons comment la connaissance de cette quantité permet d'anticiper ou de caractériser la dynamique des tourbillons géophysiques (stabilité et déplacement). Quelques problèmes récents de modélisation numérique (eulérien vs lagrangien) seront également rapidement abordés.

G.H. COTTET

Université Joseph Fourier, Grenoble.

Limites et possibilités des méthodes particulières pour la simulation d'écoulements incompressibles 3D.

On passera en revue un certain nombre d'ingrédients qui font des méthodes particulières un outil viable pour la simulation d'écoulements complexes. Des comparaisons systématiques, en terme de précision et de coût, avec des méthodes d'ordre élevé permettent de dégager une classe d'applications où ces méthodes peuvent être profitablement utilisées.

F. DUBOIS et F. RAPETTI

CNAM, Saint Cyr l'Ecole et ASCI, Orsay

Du tourbillon au champ de vitesse.

On se propose d'utiliser les éléments d'arêtes de Nédélec pour le calcul numérique d'un champ de vitesse tridimensionnel à divergence exactement nulle dans un ouvert borné pour lequel le tourbillon à l'intérieur et le flux de masse sur la frontière sont des fonctions données. On rappelle dans un premier temps les résultats connus dans le cas où le domaine est simplement connexe avec un maillage formé de tétraèdres. Ce résultat est étendu dans deux directions, par l'emploi d'éléments finis à support géométrique hexaédrique conformes dans l'espace $H(\text{rot})$ d'une part, et à des domaines non simplement connexes d'autre part.

V. GIRAULT

Université Paris 6, Laboratoire d'Analyse Numérique

Conditions inf-sup discrètes locales.

Pour résoudre numériquement le problème de Navier-Stokes avec des conditions de Dirichlet non homogènes sur le bord ou d'autres modèles non linéaires de fluides, on a besoin d'un opérateur d'approximation, à divergence discrète nulle, qui vérifie des bonnes estimations dans des normes autres que H^1 et dont le support est concentré autour du support de la fonction qu'on veut approcher. La condition inf-sup discrète usuelle n'est pas adaptée à cette situation; on a besoin d'une condition inf-sup locale. On donne un exemple d'une telle condition.

J.L. GUERMOND et L. QUARTAPELLE

LIMSI et ASCI, Orsay

(i) Approximation ψ - ω explicite en 2D.

(ii) Quelques résultats pour u - ω en 2D (d'après RUAS et al).

S. HUBERSON

Université du Havre

Aéroacoustique des écoulements tourbillonnaires.

L'objectif de cette communication est de présenter quelques applications récentes des méthodes particulières à des problèmes d'aéroacoustique. La prédiction de la production de bruit et de sa propagation dans un écoulement turbulent sont des problèmes encore trop complexes pour être traités directement. La conception de modèle doit s'appuyer sur une bonne compréhension de la relation bruit/ tourbillon. Cela pose en particulier des problèmes de conservation de la cohésion des structures tourbillonnaires et de la mise en œuvre de conditions aux limites transparentes. Les méthodes particulières semblent en mesure de résoudre ces problèmes. Nous présentons d'abord le modèle particulière que nous utilisons avec quelques développements sur les formulations en vitesse de diffusion bien adaptées à la modélisation d'écoulements externes. On s'intéressera ensuite aux applications à

différents exemples, soit académiques, soit dans le domaine dit des écoulements industriels complexes.

L. JACQUIN, D. SIPP, D. FABRE, F. COPPENS.

ONERA Meudon

Stabilité et turbulence dans les sillages tourbillonnaires d'avions.

On présente une revue sur les propriétés instationnaires des tourbillons de sillage qui se développent à l'aval des ailes portantes. On s'appuyant sur des résultats de mesures réalisées derrière une maquette en soufflerie, on propose des éléments d'interprétation des observations, basés sur la théorie de la stabilité linéaire et sur des considérations sur la turbulence développée.

D. JUVE, C. BAILLY, C. BOGEY, X. GLOERFELT.

Ecole Centrale de Lyon

Centre Acoustique, LMFA, UMR 5509

Simulations numériques en aéroacoustique.

Après une rapide exposition des enjeux et difficultés de la simulation numérique du bruit créé par les écoulements, on présente plusieurs cas, de géométries simples, pour lesquels le champ acoustique a pu être déterminé directement (c'est-à-dire sans modélisation acoustique telle que l'analogie de Lighthill) à partir de la résolution des équations de Navier-Stokes instationnaires et compressibles. Le premier exemple concerne le bruit émis par une cavité sous l'action d'un écoulement rasant de type couche limite. La simulation directe de l'écoulement (DNS), en deux dimensions, donne accès simultanément au champ de vorticité de l'écoulement et au champ acoustique rayonné. Les deux modes typiques observés expérimentalement (mode de sillage et mode de cisaillement) sont bien décrits par le calcul. La DNS étant limitée à l'étude d'écoulements à faible nombre de Reynolds, une approche potentiellement plus efficace consiste à résoudre seulement les grandes structures de l'écoulement et à modéliser les plus petites (LES). On montre d'abord le résultat de cette approche pour le rayonnement dû à l'appariement de tourbillons dans une couche de mélange bidimensionnelle ; on met en particulier en évidence le caractère "quadripôle tournant" de la source acoustique. Enfin le cas d'un jet circulaire est traité en trois dimensions ($Mach=0.9$; $Reynolds=65000$) ; la confrontation des niveaux et de la directivité calculés est en excellent accord avec les résultats expérimentaux.

Bogey C., Bailly C., Juvé D. (1999), Calcul direct du rayonnement acoustique d'une couche de mélange par macrosimulation, C. R. Acad. Sci. Paris, t. 327, Série IIb, 1029-1034.

Bogey C., Bailly C., Juvé D., (2000), Numerical simulation of the sound generated by vortex pairing in a mixing layer, à paraître dans AIAA Journal.

Bogey C., (2000), Calcul direct du bruit aérodynamique et validation de modèles acoustiques hybrides, thèse de Doctorat ECL-2011.

Gloerfelt X., Bailly C., Juvé D. (2000), Simulation numérique directe du bruit rayonné par une cavité excitée par un écoulement, 5ème Congrès Français d'Acoustique, Lausanne, 3-6 septembre.

P. KOUMOUTSAKOS

ETH, Zurich

Development and applications of a vorticity creation algorithm.

J.C. ROBINET et G. CASALIS.

ONERA, Toulouse

Instabilités et réponse d'une onde de choc

La stabilité d'une onde de choc est d'un intérêt considérable tant d'un point de vue fondamental que pratique ; que ce soit en un milieu homogène infini ou en confiné plusieurs études y ont été consacrées depuis plus de 50 ans. Ainsi, dans les années 40 à 60 L. Landau, Dyakov et Erpenbeck puis plus récemment par Swan et Fowles se sont intéressés à ce difficile problème. Cette présentation porte sur la stabilité et la réponse d'une onde de choc à une perturbation linéaire en écoulement transsonique et supersonique. Nous nous intéresserons notamment à des perturbations particulières sous la forme de mode de Jordan. Cette analyse permettra d'étudier des phénomènes comme le phénomène numérique du carbuncle ou celui de l'oscillation de choc dans une tuyère ou sur un profil d'aile.

X. de SAINT VICTOR

ONERA, Toulouse

Dynamique des sillages tourbillonnaires.

Le projet de recherches fédérateur "Dynamique des Sillages Tourbillonnaires" est né en Janvier 1997. Son objectif principal consistait alors à créer à l'ONERA un pôle de compétences dans un domaine qui semblait devoir prendre de l'importance en raison des problèmes liés à l'encombrement aéroportuaire et au projet de construction d'un avion très gros porteur. On a effectivement constaté depuis un véritable engouement international pour les recherches sur ce sujet. Dans le cadre de ce projet, on s'est assigné plusieurs tâches : la compréhension du phénomène physique, la modélisation de ce phénomène, le développement de méthodes de mesure, le traitement de problèmes particuliers tels que l'interaction des tourbillons avec le sol, leur appariement, l'interaction jet-sillage et son impact sur l'environnement, la recherche de procédés de réduction ou de destruction du phénomène. Ces différents thèmes ont été abordés tant de façon théorique et numérique qu'expérimentalement. Les principaux résultats obtenus sont brièvement rapportés ici.

M. SALAÜN, S. SALMON et F. DUBOIS

CNAM, Paris.

Formulation tourbillon-vitesse-pression pour le problème de Stokes.

M. SUNYACH et J.C. BERA

Ecole Centrale de Lyon

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique

GDR CNRS 1186, 36, avenue Guy de Collongue BP 163, 69131 Ecully.

Contrôle par jet pulsé de l'écoulement dans un divergent court à grand angle.

Un système de contrôle par jets synthétiques pariétaux a été mis en œuvre sur un divergent bidimensionnel brusque dans lequel l'écoulement se comporte comme un jet dissymétrique. Pour un niveau d'énergie de contrôle voisin de 5% exercé de chaque côté du jet, l'augmentation de la section débitante atteint 50%. La structure de l'écoulement contrôlé est alors dominée par des modes qui exercent une action globale et génèrent des zones d'entraînement privilégiées très près de la buse. A ce mécanisme s'ajoute un effet de vectorisation qui élargit encore la zone de mélange du côté bas vers lequel le jet non manipulé avait une inclinaison naturelle de 5°. Ces deux mécanismes sont mis en évidence par l'étude des effets du contrôle exercé unilatéralement sur chaque côté du jet. Le contrôle bilatéral résulte de la superposition des deux mécanismes : Il est presque neutre pour ce qui concerne l'effet de vectorisation, alors que la largeur globale du jet s'accroît sous l'effet du mécanisme modal. L'examen des champs de vitesse moyenne et de la vorticitée instantanée montre que le mécanisme du contrôle repose, comme dans le cas des écoulements externes, sur l'excitation des structures naturelles par les tourbillons engendrés par les jets pulsés.

TA PHUOC Loc, F. BERTAGNOLIO, O. DAUBE, R. LARDAT

LIMSI-CNRS, UPR-3251, Orsay

Une méthode de projection pour la formulation vitesse-tourbillon : applications à la simulation directe et des grandes échelles d'écoulements visqueux instationnaires.

La prédiction d'un écoulement visqueux incompressible peut être obtenue à partir de la résolution des équations de Navier Stokes écrites en formulation vitesse-pression ou en formulation vitesse-tourbillon. Jusqu'à maintenant c'est la formulation primitive vitesse-pression qui est la plus utilisée. Ceci est dû essentiellement aux nombres d'équations à résoudre, quatre pour les variables vitesse pression et six pour les variables vitesse tourbillon. Malgré cet handicap à priori, des recherches ont été effectuées en France et à l'étranger dans le but d'une part d'améliorer les performances des méthodes numériques mises en jeu et d'autre part de diminuer le nombre d'équations à résoudre en modifiant la forme de l'écriture des équations. Ces efforts sont liés aux avantages attendus de la formulation vitesse-tourbillon : 1 - séparation entre les problèmes dynamique et cinématique, 2 - accès direct au rotationnel qui est une quantité générique de la turbulence, 3 - couplage facile avec les méthodes particulières, 4 - établissement aisé de conditions aux limites transparentes. Dans ce colloque on présentera les différentes méthodes développées au LIMSI pour résoudre les équations de Navier Stokes utilisant le couple de variables vitesse-tourbillon, en particulier la dernière version qui est aussi performante en temps de calcul que celles traitant le couple de variables vitesse-pression. Elle est basée sur la décomposition de Helmholtz de la

vitesse en une composante rotationnelle et une composante irrotationnelle dans le traitement du problème cinématique div-rot. On donnera les résultats des applications de cette méthode aux problèmes de la mécanique des fluides. On distinguera pour ces applications les écoulements de paroi des écoulements libres. On présentera le cas du développement spatial d'une couche de mélange 3D et celui de l'écoulement autour d'un obstacle. Lorsque les nombres de Reynolds sont faibles les résultats de simulation directe seront présentés. Dans les cas turbulents à nombres de Reynolds élevés, un modèle de sous maille adaptatif dédié à la formulation vitesse-tourbillon est proposé et la simulation des grandes échelles sera utilisée. Pour la plupart des cas étudiés, une attention particulière a été portée sur les validations et les comparaisons calcul expérience.

(29 septembre 2000).