



Résumé horaire

18	09 :30	Olivier Fourure	Accueil sur le campus SUPAERO et présentation de l'ISAE
18	09 :55	Manuel Samuelides	Présentation du programme du séminaire
18	10 :00	<u>David Mimoun</u>	Mécanique céleste, projet élèves
18	10 :30	<u>David Mimoun</u>	Visite du CNES: Centre de contrôle du ravitailleur spatial (ATV), Gestion des débris spatiaux
18			Repas au restaurant de l'ISAE (espace aménagé)
18	14 :00	Caroline Bérard	Présentation des innovations pédagogiques de la formation SUPAERO
18	14 :30	Christian Joachim	Etats semi-classiques : mouvement et molécules-machines
18	15 :30	<u>Christian Colongo</u>	Dynamique du vol et visite du CAS: simulateur de vol
18	17 :30	Yves Charnet	Les yeux dans la couleur (visite de la fondation Bemberg)
18			Repas magique
19	09 :00	Yves Gourinat, Didier Bellet	Mécanique analytique: De Newton à Lagrange et Hamilton
19	10 :00	Manuel Samuelides	Stratégies en mouvement: la théorie des jeux permet d'anticiper
19	11 :00	<u>Emmanuel Zenou</u>	Perception et action : la robotique, visite du DMIA
19			Repas au restaurant de l'ISAE (espace aménagé)
19	14 :00	Caroline Bérard	Contrôle des systèmes mécaniques
19	14 :40	<u>Jean-Marc Alliot</u>	Algorithmes génétiques et application à l'optimisation des réseaux de transport et à la résolution des conflits
19	16 :00	Olivier Thual	L'assimilation de données pour la prévision
19	18 :00	Yves Gourinat	Visite des ruines romaines de l'Institut catholique, concert d'orgue
19			Retour à ISAE pour dîner, représentation théâtrale élèves
20	09 :00	Yves Gourinat	Du diagnostic structural à la dynamique des systèmes vivants
20	10 :20	Grégoire Casalis	Les modèles de stabilité des écoulements
20	11 :40	Manuel Samuelides	Table ronde métiers
20			Repas au restaurant de l'ISAE (espace aménagé)
20	14 :00	Christian Huynh	Présentation de la formation ENSICA
20	14 :30	<u>Laurent Dairaine</u>	Outils numériques pour l'enseignement, présentation du site "Soutien ISAE aux TIPE"
20	15 :00	Manuel Samuelides	Table ronde et discussion: Bilan et amélioration du séminaire (UPS, UPSTI)
20	15 :30		<i>Cloture du séminaire, transport vers gare et aéroport</i>



Ouverture thématique, 18 mai , 10:00

De la mécanique céleste aux systèmes spatiaux

Par David Mimoun, professeur associé à l'ISAE,

(david.mimoun@isae.fr)

Pendant très longtemps , les astronomes ont cherché à retrouver dans les mouvements des corps du Système Solaire les périodicités qui leur permettaient de faire des prédictions (pour les dates des éclipses par exemple). Jusqu'à très récemment (XX^e siècle !) le mouvement des planètes dans le Système Solaire était considéré comme le modèle même de régularité. On restait dans le modèle du "Cosmos" des Grecs , qui suppose régularité et prédictibilité, par opposition au "Chaos".

Il n'en est rien . Les résultats de ces dernières années montrent au contraire que le mouvement des planètes lui-même est imprédictible (non pas du fait de l'accumulation des erreurs numériques, mais intrinsèquement) et qu'il est impossible de prévoir son évolution au delà de 100 millions d'années environ , ce qui est très court , comparé aux 4,6 milliards d'années d'existence du Système Solaire . Deux exemples d'applications modernes de la mécanique céleste seront ainsi donnés : un modèle de couplage spin-orbite, qui explique simplement pourquoi la Lune présente toujours la même face à la Terre, et qui permet d'expliquer également le caractère chaotique de la rotation sur lui-même d'Hyperion, satellite de Saturne, ainsi qu'un exemple de mission spatiale, qui utilise les progrès récents du problème à trois corps restreint. Ce court exposé sera suivi d'une visite du Centre Spatial de Toulouse.

(Petite) Bibliographie

- [1] Carl D. Murray and Stanley F. Dermott : Solar System Dynamics, Cambridge University Press. (February 13, 2000)
- [2] Jack Wisdom, Stanton J. Peale, Francois Mignard, The chaotic rotation of Hyperion, Icarus, Volume 58, Issue 2, May 1984, Pages 137-152, ISSN 0019-1035
- [3] Laskar, J. : 1994, Large scale chaos in the Solar System, Astron. Astrophys. 287, L9-L12
- [4] Existence of collisional trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth. Laskar, J. & Gastineau, M., Nature, 11 juin 2009.
- [5] The Farside Explorer mission <http://farside.spacecampus-paris.eu/>



Ouverture thématique : 18 mai 14 :30

Mécanique quantique et nanotechnologies

Etats semi-classiques : mouvement et molécule-machines

Par Christian Joachim, Directeur de Recherche CNRS,

(joachim@cemes.fr)

Cette courte présentation a pour objectifs

- de montrer le lien entre un cours de physique quantique et un champ technique nouveau, les nanotechnologies [1].
- de rappeler la filiation entre la notion de contrôle quantique, les états semi-classiques et « mouvement » comme présentée à la majeure Nanosciences de Sup'Aero [2].
- d'introduire les 3 grands champs thématiques prenant racine dans le contrôle du quantique et utilisant le « mouvement »: champs cohérents (effet Casimir en opération dans les NEMS), contrôle cohérent dans les pièges à atomes (vers les puces à atomes) et les états semi-classiques de surface pour un atome ou une molécule (vers les molécule-moteurs ou les molécule-voitures)
- de passer du temps sur ces molécule-machines mécaniques qui généralement passionnent les plus physiciens de nos élèves et qui ont souvent la faveur des TIPE [3]

Bibliographie

1. C. Joachim et L. Plevvert, « Nanosciences : la révolution invisible », Editions du Seuil 2008
2. Voir le recueil d'exercices de la majeure « Nanosciences » 1ere année de l'ISAE-Sup'Aero.
3. Voir un ensemble de molécule-machines sur le site www.cemes.fr/gns



Ouverture culturelle, 18 mai , 18:00

LES YEUX DANS LA COULEUR : De Monet à Bonnard, les peintures modernes de la Fondation Bemberg

Par Yves Charnet, professeur à l'ISAE, écrivain et critique

[\(yves .charnet@isae.fr\)](mailto:yves.charnet@isae.fr)

C'est un cadeau que j'aime faire à nos élèves. Aux élèves de première année. Je les emmène à l'Hôtel d'Assézat. Pour commencer mon séminaire « Rêver au musée : sur les traces de la peinture moderne ». C'est un séminaire en « arts & cultures ». Un séminaire de la Formation SUPAERO. J'aime leur air intimidé. De Monet à Bonnard – et au-delà. Pour la plupart, c'est la première fois. La première rencontre avec la peinture moderne. J'aime le goût sûr de cette collection de raretés. L'étage Bonnard comme en plus. Il y a la lumière, aussi, d'octobre. Le bleu du ciel, l'orangé des briques. C'est un début. Un recommencement. C'est nouveau. Toujours pour la première fois. Je suis heureux de cette occasion que me donne mon ami et collègue Manuel. De faire (re)découvrir cette collection rare aux enseignants scientifiques qui forment, justement, nos élèves. Les aident à rentrer dans cette grande école qui les fait rentrer au musée comme des grands.

Changer la vie, changer la vue. C'est au programme. En arts & cultures.

Les merveilleux nuages de Boudin, ses filles baudelairiennes ; la chevelure folle des femmes à leur coiffure de Degas ; la chaise à la fenêtre de Fantin-Latour, presque rien, tout déjà ; les bateaux sur la plage à Etretat quand Monet commence à « piocher » dans ses « séries d'effets différents » ; la femme au jardin de Berthe Morisot, celle qu'on oublie toujours en parlant des Impressionnistes ; les visions symboliste d'Odilon Redon à l'écoute de l'inquiétante étrangeté ; les prostituées de notre voisin d'Albi, le génial déclassé, Toulouse-Lautrec ; Les Fauves dans leur vérité de passage : Matisse, Marquet, De Vlaminck, Dufy, Van Dongen, Derain, Braque ; les Fauves pour préparer à Bonnard dans tous les états de sa palette, Bonnard dans sa grande salle avec, bonze au crâne rasé dans le miroir du grand âge, un des plus bouleversants autoportraits que je sache. On ne pourra pas tout voir. Redemandez le programme de l'inconnu. Il faudra revenir. Encore une fois. Tout le plaisir sera pour nous. Bonne visite à vous tout(e)s. Les yeux dans la couleur...



Ouverture thématique : 19 mai 09 :00

Mécanique Analytique De Newton à Lagrange et Hamilton

Par Yves Gourinat, Professeur ISAE et Didier Bellet, Professeur Émérite INPT

[\(yves.gourinat@isae.fr\)](mailto:yves.gourinat@isae.fr)

L'enseignement de la mécanique analytique est fondamental en École d'Ingénieur. Son importance est resituée en lien avec les mathématiques et la physique.

Le développement de la dynamique analytique est parti du principe fondamental de Newton. Les premières tentatives de formalisation sont évoquées avec le mouvement cinétique du centre de masse (König) et le concept d'énergie mécanique. Mais c'est avec Lagrange que l'on aborde l'étape décisive, fondée sur la puissance virtuelle des mouvements de d'Alembert, avec la mise en forme des équations de la dynamique et de leurs possibles intégrales traduisant des conservations en axes locaux. Ces équations sont d'une actualité particulière dans les modèles numériques.

L'explicitation de l'énergie de Hamilton-Painlevé au début du XX^{ème} siècle ouvre la voie vers les systèmes commandés, et trouve naturellement sa place dans la commande des systèmes souples, eux aussi d'actualité avec les commandes de vol électriques. Ces équations ont le mérite d'être valides dans les domaines à la fois fortement non-linéaires et non-conservatifs.

Des ponts sont ensuite proposés entre systèmes continus et discrets, d'une part par la décomposition naturelle en mode propres des systèmes linéaires de dimension finie, et d'autre part par la discrétisation finie maillée d'un système continu. Dans le deux cas, cela se traduit par une représentation matricielle de la dynamique.

La mécanique générale est enfin mise en perspective des disciplines essentielles de l'Ingénieur dont elle est elle-même à l'origine : mécanique du vol, mécanique spatiale, dynamique des structures, asservissement des systèmes, robotique,...

Bibliographie

4. Bellet D - Cours De Mécanique Générale. ISBN 2854281780, Cepadues 1988.
5. Bellet D – Problèmes de Mécanique des Solides. ISBN 2854282211, Cepadues 1989.
6. Le Tallec P – Introduction à la Dynamique des Structures. ISBN: 9782729879945, Ellipses 2001.
7. Gourinat Y - Introduction à la dynamique des structures. Manuel de Mécanique des Solides pour l'Ingénieur. ISBN 285428545X, Cepaduès 2001. <http://oatao.univ-toulouse.fr/561/>
8. Gourinat Y, Chrétien JP - Les formalismes de la dynamique rationnelle des systèmes mécaniques: de Newton à Kane. In: Fonctions et Composants Mécaniques. Editions Techniques de l'Ingénieur, BM 5226.1-19. <http://oatao.univ-toulouse.fr/3086/>



Ouverture thématique, 19 mai , 10:00

Stratégies en mouvement : la théorie des jeux permet d'anticiper

Par Manuel Samuelides, professeur à l'ISAE,

(manuel.samuelides@isae.fr)

Cette courte présentation a pour objectifs

- de faire le lien entre les thématiques « mouvement » et « prévision » et les méthodes d'optimisation qui seront exploitées dans d'autres conférences notamment [1],[2]. On s'efforcera de s'appuyer sur les techniques de programmation quadratique accessibles aux étudiants des CPGE (algèbre linéaire). On citera à titre d'exemple « moderne » la technique de l'optimisation par région de confiance (trust region) [3]
- d'introduire la problématique de l'optimisation multi-disciplinaire (front de Pareto, jeu objectifs/contraintes) utile notamment en aéronautique et plus généralement dans la phase de spécification et de préconception (preliminary design)[4],
- d'introduire la théorie des jeux (équilibre de Nash, équilibre minmax, équilibre de Stackelberg dominant-dominé) [5],
- enfin de donner un exemple d'application de la théorie des jeux à l'optimisation multi-objectif [6].

Les méthodes seront rapidement introduites par l'idée de base. Des illustrations seront données par quelques résultats de simulation Matlab sur des problèmes-jouet.

Bibliographie

9. J-M. Alliot , « *Algorithmes génétiques et application à l'optimisation des réseaux de transport et à la résolution des conflits* », Séminaire ISAE-CPGE, Mai 2011
10. O.Thual, « *L'assimilation de données pour la prévision* », Séminaire ISAE-CPGE, Mai 2011
11. M.Bergmann, « *Optimisation par méthodes à région de confiance et modèles réduits POD* », www.math.u-bordeaux1.fr/~bergmann/PDF/.../chap7.pdf
12. M.Masmoudi, « *Conception collaborative* », www.emse.fr/~leriche/.../etat_de_lart_Masmoudi_mars04.pdf
13. J-F. Thisse, « *Théorie des jeux, une introduction* », [www.core.ucl.ac.be/staff/thisse\(micro_licence\).pdf](http://www.core.ucl.ac.be/staff/thisse(micro_licence).pdf)
14. J-A. Desideri, « *Split of territories in concurrent optimization* », hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/12/71/94/PS/desideri-rr-splitting.ps



Ouverture thématique, 19 mai , 15:00

Algorithmes génétiques et application à l'optimisation des réseaux de transport et à la résolution de conflits

Par Jean-Marc Alliot, chef du département R&D, DSNA

(jm@alliot.fr)

L'auditeur attentif découvrira tout au long de cette présentation les différences entre optimisation locale et optimisation globale, ainsi qu'entre optimisation déterministe et optimisation stochastique. Chacune de ces disciplines sera très rapidement illustrée d'un exemple. La suite de l'exposé se concentrera sur l'optimisation évolutionnaire et plus particulièrement les algorithmes génétiques. Ces techniques, principalement développées par John Holland, popularisées par David Goldberg, ont connu de nombreuses évolutions comme la programmation génétique (John Koza) ou les stratégies évolutionnaires (Rechenberg et Schwefel). Elles sont particulièrement utiles sur des problèmes trop complexes pour être résolus par les méthodes d'optimisation classiques. On présentera enfin deux exemples d'application de ces techniques sur des problèmes réels: la résolution de conflits "en route" entre avions, et l'optimisation du roulage au sol sur les grandes plates-formes aéroportuaires.

Bibliographie

15. John Holland , « *Adaptation in Natural and Artificial Systems*», MIT Press
Cambridge, MA, USA
16. David Goldberg, « *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*», Addison-Wesley Professional
17. John Koza, « *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*», The MIT Press
18. Hans Paul Schwefel, « *Evolution and Optimum Seeking*», Wiley-Interscience
19. Jean-Marc Alliot et Thomas Schiex, « *Intelligence artificielle et informatique théorique* », Cepadues éditions
20. Jean-Marc Alliot, « *Techniques d'optimisation stochastique appliquées aux problèmes du trafic aérien* », <http://www.alliot.fr/papers/habitjma.pdf>
21. Jean-Baptiste Gotteland, « *Handling CFMU slots in busy airports* », Proceedings ATM2003, <http://www.alliot.fr/papers/atm2003jb.pdf>



Ouverture thématique : 19 mai

L'assimilation de données pour la prévision

Par Olivier Thual, professeur à l'INPT,

(thual@imft.fr)

Pour prévoir le temps qu'il fera demain ou dans dix jours, les météorologues doivent développer de bons modèles et prendre en compte le plus grand nombre de données d'observation possible. L'assimilation de données est l'outil qui permet concilier la dynamique de l'atmosphère, simulée par le modèle, avec les mesures in-situ ou observées à partir de nombreux satellites. Cette approche concerne aussi de nombreux autres domaines de l'ingénierie : océanographie, chimie atmosphérique, hydrologie, neutronique ...

L'objectif de cette présentation est d'explicitier quelques exemples simples permettant d'illustrer les principales méthodes d'assimilation de données utilisées de manière opérationnelle. Des notions simples de statistique permettent de comprendre la pondération des informations proportionnellement à la confiance qu'il convient de leur accorder. Ces notions sont appliquées à la prévision des crues à travers un choix de modèles très simplifiés. L'application à la prévision de la ligne d'eau d'un cours d'eau modélisé par une équation d'advection-diffusion permet d'illustrer le domaine d'influence d'une observation pour la détermination d'un champ spatial. Des pistes d'approfondissement pour aller plus loin sont données.

Ces notions et ces exemples sont à la portée des élèves de classes préparatoires et peuvent servir de source d'inspiration pour de nombreux autres projets dans des domaines très différents.

Bibliographie

1. O. Thual, Conférences sur l'assimilation de données, <http://thual.perso.enseeiht.fr>
2. F. Duchaine, Assimilation de données pour la prévision, <http://www.enseeiht.fr/travaux>
3. Th. Lagarde, S. Massart, S. Ricci, N. Daget, I. Mirouze, manuscrits de thèses sur l'assimilation de données, <http://www.cerfacs.fr/3-25800-Ph.-D.-Thesis.php>
4. F. Boutier, Ph. Courtier, Data assimilation concepts and methods, ECMWF training cours (1999), <http://www.ecmwf.int>
5. O. Thual, Hydrodynamique de l'environnement, Editions de l'Ecole Polytechnique (2010)



Ouverture culturelle, 19 mai , 19:00

**Récital d'orgue:
A la chapelle Sainte-Claire
sur le Grand orgue Gérard Bancells**

Par Yves Gourinat, professeur à l'ISAE, organiste

(yves.gourinat@isae.fr)

Première Partie (25 minutes)

Les Grandes-Orgues pour le bicentenaire de la naissance de Liszt et le centenaire de la disparition de Mahler

- Diderik BUXTEHUDE (Bad Oldesloe 1637 - Lubeck 1707) / Franz LISZT (Raiding 1811 - Bayreuth 1886) : Toccata C-Dur BuxWV 127-1 / Choral "Ad Nos ad Salutarem Undam"
- Samuel BARBER (West Chester 1910 - New York 1981), Adagio for Strings in B flat minor Op.11 avec Cadence ajoutée incluant un thème de Mahler
- Gustav MAHLER (Kaliste 1860 - Vienna 1911) Adagietto aus der 5. Symphonie cis moll arrangement pour Orgue

Seconde Partie (30 minutes)

Quelques illustrations de l'Histoire de l'orgue, de la Renaissance à l'âge Symphonique

- Antonio VALENTE (Napoli 1520 -1580), Ballo per Valente
- Suite de Danses publiées au XVIème Siècle : Intrada (Anonyme), Ein schöner Englischer Dantz (Bernhart SCHMID der Ältere, Strasbourg 1535 - 1592), Ungarescha und Saltarello (Jacob PAIX, Augsburg 1556 - Hilpoltstein 1623)
- Jan-Pieterszoon SWEELINCK (Deventer 1562 - Amsterdam 1621) : Toccata del Nono Tono (La Mineur)
- Girolamo FRESCOBALDI (Ferrare 1583 - Rome 1643), Toccata per l'Elevazione de la Messa delli Apostoli
- Johann-Sebastian BACH (Eisenach 1685 - Leipzig 1750) : Contrapunctus XVIII-1 BWV 1080 (Fuga 14, Dernière Fugue de l'Art de la Fugue) transcrite pour l'Orgue par Helmuth Walcha. Aria BWV 1068-3 (transcription, Orchester Suite III)
- Marcel DUPRÉ (Rouen 1886 - Meudon 1971) Verset improvisé de 1957 : Orgue, instrument sacré, tu entonneras la louange du Père reconstitué par Gisèle Fellot-Mourguiart.
- Franz LISZT (Raiding 1811 - Bayreuth 1886) Agnus Dei (Messe B-Dur fur die Orgel), Agnus Dei (Requiem As-Dur fur die Orgel), Postludium As-Dur.



Ouverture thématique, 20 mai , 9:00

Du diagnostic structural à la dynamique du vivant

Par Yves Gourinat, professeur à l'ISAE,

(yves.gourinat@isae.fr)

Cette présentation fait le lien entre les études de recherche et développement liés à la « santé » des structures aérospatiales et les applications dynamiques aux systèmes vivants.

Le diagnostic structural dynamique consiste à analyser l'évolution des bases modales des structures - et d'une manière générale de leur comportement dynamique - pour en déduire des informations relatives à leur état de vieillissement. Plus précisément, nous expliquerons l'analyse de la partie non-linéaire de la dissipation. Notre objectif – à terme – est de faire le lien entre l'entropie dynamique (irréversibilité mécanique) et l'entropie d'état de la structure (endommagement des matériaux et assemblages).

Les applications en dynamique du vivant sont abordées à deux niveaux :

- en dynamique rationnelle et basse fréquence pour l'analyse de l'équilibration humaine : un modèle a été développé dans le cadre d'une thèse, prenant en compte les aspects mécaniques et cognitifs ; il a été utilisé notamment pour des patients atteints de troubles de l'équilibre ;
- en vibroacoustique pour la modélisation de la cochlée humaine ; un modèle est en cours d'élaboration avec plusieurs objectifs : comprendre le comportement non linéaire actif de l'organe de Corti, modéliser les interventions chirurgicales (notamment les implants) et envisager une ouverture sur une cochlée artificielle. La dynamique des coques est à la base de la partie mécanique des modèles.

Bibliographie

- [1] Graff K – Wave motion in elastic solid. ISBN 0198561180. Clarendon Press Oxford, 1975.
- [2] Lalanne C - Mechanical Vibration & Shock Analysis. ISBN 9781848211216, Wiley 2009.
- [3] Axisa F – Interactions Fluide-Structure. ISBN 9782746201965, Hermes 2001.
- [4] Niemann H, Morlier J, Shahdin A, Gourinat Y - Damage Localization using Experimental Modal Parameters & Topology Optimization. Mechanical Systems & Signal Processing ISSN 0888-3270, Vol.24#3, 2010. http://oatao.univ-toulouse.fr/3244/1/Morlier_3244.pdf
- [5] Shahdin A, Morlier J, Gourinat Y - Damage monitoring in sandwich beams by modal parameter shifts : A comparative study of burst random & sine dwell vibration testing. Journal of Sound & Vibration ISSN 0022-460X, vol.329#5, March 2010. http://oatao.univ-toulouse.fr/3197/1/Morlier_3197.pdf
- [6] Gourinat Y, Belloeil V - A truncated low approach of intrinsic linear and nonlinear damping in thin structures. Journal of Vibrations and Acoustics ISSN 1048-9002, ASME, Vol.129, Feb.2007. <http://oatao.univ-toulouse.fr/99/>



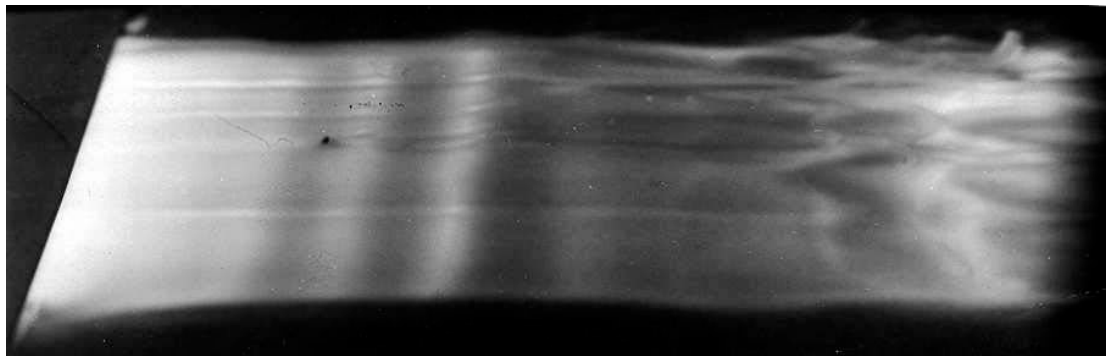
Ouverture thématique, 20 mai , 10 :20

Les modèles pour la stabilité des écoulements

Par Grégoire Casalis, Directeur adjoint de l'ONERA/DMAE, professeur à l'ISAE,

(grégoirr.casalis@onera.fr)

Dans le domaine de la mécanique des fluides, la stabilité des écoulements est l'une des approches privilégiées notamment la caractérisation des phénomènes instationnaires. C'est particulièrement le cas dans des applications tirées de l'aéronautique ou du domaine spatial. Du fait des non linéarités des équations générales de la mécanique des fluides, plusieurs solutions sont susceptibles de se produire en pratique, l'utilisation de la théorie de la stabilité permet un premier tri en terme d'observabilité : une solution instable sur le plan temporel n'est pas observable physiquement. A cet égard, on peut mentionner la problématique entre les écoulements laminaires et les écoulements turbulents.



L'écoulement vient de la gauche, des instabilités sous forme d'onde sont visibles sur le premier tiers, l'écoulement finit turbulent sur la droite. Photo H. Werlé (© Onera).

En outre, les premières instabilités donnent des indications précieuses en termes de fréquence et de longueur d'onde. L'aéronautique en particulier donne lieu à la coexistence d'instabilité d'écoulements à spectre continu et de vibration structurelle à spectre généralement discret.

L'objectif général de la présentation orale est de fournir des idées de TIPE aux étudiants des CPGE tout en donnant des perspectives en mécanique des fluides et les enjeux dans les domaines de l'aéronautique et de l'ingénierie spatiale. On insistera en particulier sur des exemples simples où un traitement analytique complet est possible avec des outils mathématiques immédiatement accessibles aux étudiants des CPGE. On s'attachera ensuite à décrire trois prolongements possibles à choisir selon les goûts et capacités des étudiants concernés :

- ✓ Les mathématiques appliquées (problème de valeur propre en dimension infinie, alternative de Fredholm) ;
- ✓ Les méthodes numériques pour résoudre numériques des problèmes de stabilité simples mais non analytiques (problème aux valeurs propres généralisés, collocation spectrale) ;



- ✓ La mécanique des fluides pour aborder différents exemples en insistant sur ce que peut apporter la théorie de la stabilité.

Bibliographie

- [1] Instabilités hydrodynamiques. F. Charru. EDP Sciences, Editions CNRS, 2007.
- [2] Stability, instability and chaos : an introduction to the theory of nonlinear differential equations. P. Glendinning. Cambridge University Press, 1994.
- [3] Méthodes perturbatives pour la mécanique. G. Casalis. Cours de M2R, polycopié ISAE, 1995.