



M. Lefranc, C. Letellier & L. Pastur
Éditeurs

Poincaré

Résumés des exposés de la 10e
Rencontre du Non-Linéaire
Paris 2007



Institut Henri Poincaré

Non-Linéaire Publications

RENCONTRES DU NON LINÉAIRE

Institut Henri Poincaré, PARIS

14-16 Mars 2007

Nous remercions vivement Michel Broué, Directeur de l'Institut Henri Poincaré, pour son aide à l'organisation de ces *Rencontres* ainsi que le CNRS et la Délégation Générale à l'Armement pour leur soutien financier.

Le comité scientifique est composé de :

Béregère DUBRULLE	SPEC/CEA Saclay
Bastien FERNANDEZ	CPT — Marseille
Josselin GARNIER	LPMA — Paris 7
Jean-Christophe GÉMINARD	Lab. Physique — ENS Lyon
Patrice LE GAL	IRPHE — Marseille
Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Stéphane METENS	MSC — Paris 7
Emmanuel PLAUT	LEMTA — Nancy
Luc PASTUR	LIMSI — Orsay
Marc RABAUD	FAST — Orsay
Stefania RESIDORI	INLN — Nice
Massimo VERGASSOLA	Institut Pasteur — Paris

Les *Rencontres annuelles du Non Linéaire* sont organisées par :

Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Christophe LETELLIER	CORIA — Rouen
Luc PASTUR	LIMSI — Orsay

Le Colloque *Le non linéaire demain* est organisé par :

Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Stéphane METENS	MSC — Paris 6
Emmanuel PLAUT	LEMTA — Nancy

Ces Comptes-Rendus et ceux des années précédentes sont disponibles auprès de :

Non Linéaire Publications
Bât. 510, Université de Paris-Sud, 91495 Orsay cedex

Toutes les informations concernant les *Rencontres* sont publiées sur le serveur :

<http://nonlineaire.univ-lille1.fr/>

Renseignements :

snl@nonlineaire.univ-lille1.fr

Table des matières

EXPÉRIENCE VKS2 : DYNAMO TURBULENTE ET RENVERSEMENTS ERRATIQUES DU CHAMP MAGNÉTIQUE <i>François DAVIAUD</i>	1
Excitabilité dans un cristal photonique : vers le contrôle dynamique non-linéaire dans des dispositifs micro et nano-photoniques. <i>Alejandro Yacomotti, Paul Monnier, Fabrice Raineri, Rama Raj, Ariel Levenson</i>	2
Propagation non linéaire d'un rayonnement incohérent dans une fibre optique en régime de dispersion normale : comportement asymptotique du spectre <i>Pierre Suret, Benoît Barviau, Stéphane Randoux</i>	3
Création d'un peigne de fréquences de longueur d'onde centrale accordable à partir d'ondes continues <i>Benoît Barviau, Christophe Finot, Julien Fatome et Guy Millot</i>	4
Caractère multimode d'un oscillateur paramétrique optique triplement résonant <i>A. Amon, P. Suret, S. Bielański, D. Derozier, M. Lefranc</i>	5
Dynamique d'un laser soumis à une conduite asymétrique. - effet de "cliquet" <i>Preda, Ségard, Glorieux</i>	6
Théorème de fluctuation dissipation lors de la formation d'un gel colloïdale de Laponite <i>Pierre Jop, Artyom Petrosyan, Sergio Ciliberto</i>	7
Instabilités géométriques dans les tiges élastiques confinées <i>Laurent Boué, Eytan Katzav</i>	8
Excitation paramétrique de la rotation d'une feuille élastique <i>Arezki Boudaoud, Eugenio Hamm, Francisco Melo</i>	9
Stabilité dynamique des fronts de solidification eutectiques fibreux <i>Perrut, Akamatsu</i>	10
Instabilités thermoconvectives pour des fluides viscoplastiques <i>Christel Métivier, Chérif Nouar, Jean-Pierre Brancher</i>	11
Instabilité de solutions semi-diluées ou diluées de polymères dans un écoulement de Couette-Taylor : suppression des harmoniques de couplage. <i>F. Kelai, O. Crumeyrolle, I. Mutabazi</i>	12
Seuils d'écoulement et dynamique d'une couche granulaire vibrée horizontalement <i>Aumâtre Sébastien, Puls Conor, McElwaine Jim, Gollub Jerry</i>	13

Effets de la force de Coriolis sur l’instabilité elliptique en géométries cylindrique et sphérique <i>Le Bars Michael, Le Dizès Stéphane, Le Gal Patrice</i>	14
Modèle de champ de phase de la propagation de la fracture <i>Hervé HENRY</i>	15
Contrôle des régimes “turbulents” dans les systèmes avec advection <i>Clément Evain, Serge Bielauski, Christophe Sz waj, M. Hosaka, A. Mochihashi, M. Katoh, M.-E. Coupr ie</i>	16
Modélisations mésoscopique et macroscopique de la migration cellulaire dans un milieu anisotrope et hétérogène <i>Chauvière, Hillen & Preziosi</i>	17
Oscillateurs génétiques simples. Application à l’horloge circadienne d’une algue unicellulaire. <i>Pierre-Emmanuel Morant, Constant Vandermoere, Quentin Thommen, Benjamin Parent, François Lemaire, Marc Lefranc</i>	18
Instabilité de dérive d’agrégats de canaux ioniques <i>M. Leonetti, F. Homblé</i>	19
Dynamique non linéaire du modèle neuronal de Hindmarsh-Rose et synchronisation <i>Nathalie Corson, M.A. Aziz-Alaoui</i>	20
Auto-organisation et chaos spatio-temporel pour un modèle proie prédateur avec diffusion <i>CAMARA B., AZIZ-ALAOUI M.</i>	21
Extraction des zones d’intérêt d’une image à l’aide d’un réseau cellulaire non linéaire <i>B. Nofiele , S. Morfu, P. Marquié</i>	22
Variété Invariante Intégrale de Systèmes Dynamiques <i>Ginoux Jean-Marc, Rossetto Bruno</i>	23
Une approche par séparation des contraintes de l’équation de van der Pol non autonome <i>R. Tauleigne, J.-P. Benoiton</i>	24
Caractérisation expérimentale de la compétition non-linéaire de modes de Kelvin-Helmholtz dans un écoulement en cavité <i>R. Pethieu, L.R. Pastur, F. Lusseyran, Th.M. Faure</i>	25
Quand le mélange chaotique se heurte à un mur <i>Emmanuelle Gouillart, Olivier Dauchot, Bérengère Dubrulle, Stéphane Roux, Jean-Luc Thiffeault</i> .	26
Étude théorique d’ondes de Rossby thermiques non linéaires en géométrie sphérique : influence du mode de chauffage <i>Lebranchu Yannick, Plaut Emmanuel, Simatev Radostin, Busse Friedrich</i>	27
Influence d’un fort gradient de température dans le système de Couette-Taylor <i>V. Lepiller, R. Guillerm, A. Prigent, I. Mutabazi</i>	28
Cohérence des branchements dendritiques en solidification directionnelle <i>A.Pocheau, S.Bodea, M.Georgelin</i>	29

Effet tunnel quantique pour des solitons optiques <i>Yves Pomeau, Martine Le Berre</i>	30
DES GOUTTES QUI MARCHENT SUR L'HUILE, UNE FORME DE DUALITÉ ONDE-CORPUSCULE MACROSCOPIQUE ? <i>Yves COUDER</i>	31
TRANSPORT... <i>Cédric VILLANI</i>	32
Reformulation énergéto-géométrique du tenseur de Reynolds associé à une onde tridimensionnelle et applications <i>Roland Nicolas, Plaut Emmanuel, Nouar Chérif</i>	33
Ecoulement turbulent dans un cylindre : haut nombre de Reynolds et fluctuations à basse fréquence <i>Michaël Berhanu, Nicolas Mordant, Stephan Fauve</i>	34
Modélisation numérique de l'expérience Von Kármán Sodium <i>R. Laguerre, A. Ribeiro, C. Nore, J. Léorat, J.-L. Guermond</i>	35
Etude d'une dynamo expérimentale Bullard - Von Kármán <i>N. Plihon, R. Volk, M. Bourgoïn, J.F. Pinton</i>	36
Stabilisation de l'intensité d'une onde amplifiée par un faisceau de particules <i>Bachelard, Antoniazzi, Chandre, Fanelli, Leoncini, Vittot</i>	37
Sur la dépendance des reconstruction par coordonnées décalées au choix de la grandeur physique mesurée <i>C. Letellier, L. A. Aguirre & R. Gilmore</i>	38
Modélisation globale de systèmes à forçage périodique <i>Delphine LEJRI, Jean-Marc MALASOMA</i>	39
Atténuation d'ondes capillaires par une cavité acoustique <i>Bruno Issenmann, Régis Wunenburger et Jean-Pierre Delville</i>	40
Influence de l'injection optique dans les processus de synchronisation entre lasers : similarité et bistabilité <i>Olivier Vaudel, Pascal Besnard</i>	41
Dynamiques non-linéaires expérimentales à retard et à temps discret <i>Mélanie Grapinet, Laurent Larger, Pierre-Ambroise Lacourt, Vladimir Udaltsov</i>	42
Bifurcation d'enveloppe d'un oscillateur optoélectronique micro-onde à retard, à haute pureté spectrale <i>L. Larger, Y. Chembo, H. Tavernier, R. Bendoula, P. Colet, E. Rubiola</i>	43
Etats stationnaires, théorèmes de fluctuation-dissipation et température effective dans un écoulement de von Karman turbulent <i>R. Monchaux, P-H. Chavanis, A. Chiffaudel, F. Daviaud, B. Dubrulle</i>	44
Thermalisation de paquets d'ondes incohérents <i>Lagrange Silvère, Pitois Stéphane, Jauslin Hans Rudolf, Picozzi Antonio</i>	45

**DYNAMIQUE NON LINÉAIRE ET PHOTOTRANSDUCTION
CHEZ LES INVERTÉBRÉS**

<i>Alain PUMIR</i>	46
Régulation mécanique de la croissance et compétition cellulaire	
<i>Hervé Rouault, Lars Hufnagel, Boris I. Shraiman</i>	47
Écoulement de Couette plan transitionnel : phénomène critique ou désenchevêtrement homocline ?	
<i>Paul Manneville</i>	48
Grandes déviations et chaoticité : étude à l'aide d'une dynamique biaisée	
<i>Julien Tailleur, Jorge Kurchan</i>	49
Froissement d'une feuille élastique en géométrie conique	
<i>Deboeuf S., Boué L., Adda-Bedia M., Boudaoud A.</i>	50

EXPÉRIENCE VKS2 : DYNAMO TURBULENTE ET RENVERSEMENTS ERRATIQUES DU CHAMP MAGNÉTIQUE

François DAVIAUD

SPEC/CEA Saclay, pour la collaboration VKS (CEA-CNRS-ENS Lyon-ENS Paris)

Quelle est l'origine du champ magnétique des objets astrophysiques qui nous entourent : planètes, étoiles, galaxies ? Dans le cas du soleil, Larmor propose en 1919 que ce champ soit engendré par effet dynamo, c'est-à-dire par la création spontanée d'un champ magnétique dans un fluide conducteur en mouvement. Cet effet est l'analogue des dynamos industrielles (Siemens 1867) et les équations qui régissent ce phénomène sont connues : équations de Maxwell et loi d'Ohm, équation de Navier-Stokes. Les premières dynamos induites par des écoulements en géométrie contrainte ont été observées en 2000. Plusieurs équipes tentaient depuis d'obtenir une dynamo à partir d'un écoulement turbulent moins contraints, plus proches des systèmes naturels et susceptibles d'engendrer des régimes dynamos plus riches.

Après avoir rappelé brièvement le principe de l'expérience initialement proposée à cet effet, je décrirai les résultats récents obtenus par la collaboration VKS (CEA, CNRS, ENS-Lyon, ENS-Paris). Ces expériences ont été réalisées sur des écoulements de sodium liquide au CEA-Cadarache à DEN/DTN. L'effet dynamo y a été observé dans un écoulement tourbillonnaire turbulent de von Karman. Le nombre de Reynolds cinétique étant supérieur à 106, le champ magnétique engendré présente de fortes fluctuations en plus d'une partie cohérente. L'amplitude de l'énergie magnétique locale en fonction du nombre de Reynolds magnétique est en bon accord avec une loi d'échelle proposée précédemment. Les propriétés statistiques des fluctuations permettent d'analyser leur effet sur la bifurcation. Je montrerai également que différents régimes dynamiques peuvent être observés en fonction des paramètres expérimentaux, en particulier des renversements erratiques du champ magnétique, similaires à ceux qui sont observés pour la dynamo terrestre.

Références

1. R. Monchaux, M. Berhanu, M. Bourgoïn, M. Moulin, P. Odier, J.-F. Pinton, R. Volk, S. Fauve, N. Mordant, F. Pétrélis, A. Chiffaudel, F. Daviaud, B. Dubrulle, C. Gasquet, L. Marié and F. Ravelet , « Generation of magnetic field by dynamo action in a turbulent flow of liquid sodium », *Phys. Rev. Lett.* **98**, 044502 (2007)
2. M. Berhanu, R. Monchaux, S. Fauve, N. Mordant, F. Pétrélis, A. Chiffaudel, F. Daviaud, B. Dubrulle, L. Marié, F. Ravelet, M. Bourgoïn, P. Odier, J.-F. Pinton and R. Volk, « Magnetic field reversals in an experimental turbulent dynamo », soumis à *Europhys. Lett.* (2006)

Excitabilité dans un cristal photonique : vers le contrôle dynamique non-linéaire dans des dispositifs micro et nano-photoniques.

Alejandro Yacomotti, Paul Monnier, Fabrice Raineri, Rama Raj & Ariel Levenson

Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, Route de Nozay, 91460 Marcoussis

Alejandro.Giacomotti@lpn.cnrs.fr

L'excitabilité est un mécanisme dynamique non linéaire à l'origine de réponses de type "tout ou rien" face à des petites perturbations externes [1]. Un système excitable présente un seul état stable et répond à une perturbation sous la forme d'une impulsion de sortie calibrée seulement si la taille de cette perturbation dépasse un certain seuil; autrement, il revient à son état d'équilibre sous la forme d'une petite réponse linéaire.

Bien connue en dynamique neuronale, l'excitabilité a été démontrée pour la première fois dans des systèmes optiques, notamment dans un laser à semi-conducteurs, en 1997 [2]. Récemment elle a été le sujet de beaucoup de recherches motivées par son intérêt du point de vue des phénomènes spatio-temporels et par la richesse de sa dynamique induite par le bruit [3]. Bien que l'excitabilité soit réputée avoir un potentiel considérable pour des applications en photonique, des progrès substantiels dans cette direction n'ont pas été atteints jusqu'à présent.

Dans le domaine de la photonique moderne, les Cristaux Photoniques jouent un rôle primordial. Ceux-ci sont des systèmes microscopiques présentant une structuration périodique de l'indice de réfraction à l'échelle de la longueur d'onde de la lumière. Leur intérêt principal est lié au fait que ces réseaux d'indice peuvent contrôler la propagation de la lumière dans de dimensions spatiales très réduites, ce qui permet d'envisager la réalisation d'une micro ou nano puce photonique. Ainsi, beaucoup de fonctions pour le traitement tout optique de la lumière peuvent être réalisés avec un cristal photonique, dont les fonctions dites actives tels que l'effet laser, la commutation ultrarapide, l'amplification, la commutation bi-stable. Toutes ces fonctions nécessitent d'une non-linéarité fournie, dans le cas de matériaux semi-conducteurs, par l'interaction non-linéaire entre la lumière et les porteurs de charge électrique.

Ici nous démontrons expérimentalement et théoriquement l'excitabilité dans un cristal photonique à semi-conducteurs en deux dimensions. Nous montrons que la dynamique thermo-optique rapide dans un cristal photonique peut être décrite en termes d'excitabilité [4]. Ainsi, la réponse lente de ce système excitable quand il est perturbé proche de son seuil peut être utilisée pour réaliser des lignes à retard tout-optiques, ce qui constitue un des enjeux majeurs de la nanophotonique pour le futur des télécommunications optiques. Ceci ouvre la voie à un nouveau protocole pour le contrôle dynamique non-linéaire de la lumière dans des dispositifs micro et nano photoniques.

Lors de la présentation seront rappelés les concepts généraux sur l'excitabilité et les cristaux photoniques. Enfin, les résultats expérimentaux obtenus seront présentés pour montrer les atouts des cristaux photoniques pour l'obtention d'une réponse excitable rapide.

Références

1. J. D. Murray, *Mathematical Biology* (Springer, New York, 1990).
2. M. Giudici *et al.*, Phys. Rev. E **55**, 6414 (1997).
3. F. Marino *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 094101 (2005); F. Marino *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 040601 (2002).
4. A. M. Yacomotti *et al.*, Phys. Rev. Lett. **97**, 143904 (2006).

Propagation non linéaire d'un rayonnement incohérent dans une fibre optique en régime de dispersion normale : comportement asymptotique du spectre

Pierre Suret, Benoît Barviau & Stéphane Randoux

Laboratoire PHLAM - bât. P5- Université des Sciences et Technologies de Lille - 59655 Villeneuve d'Ascq
pierre.suret@univ-lille1.fr

La propagation d'une onde incohérente en milieu dispersif et non linéaire est un sujet d'étude se retrouvant dans des domaines très différents comme l'hydrodynamique et l'optique. L'étude expérimentale et théorique présentée ici concerne l'évolution du spectre optique d'un laser continu fortement multimode au cours de la propagation dans une fibre *en régime de dispersion normale*[1].

Nous avons mesuré les largeurs à mi-hauteur des spectres optiques à l'entrée et à la sortie d'une fibre optique pour des puissances allant de 0 à 2 Watt et pour des longueurs de fibres allant de 0 à 2.5 km. La largeur à mi-hauteur du spectre optique évolue de façon surprenante en fonction de la longueur de propagation : elle augmente jusqu'à quelques centaines de mètres où elle présente un maximum puis décroît vers une valeur voisine de la largeur du spectre d'entrée.

Nous avons obtenu un comportement identique en intégrant numériquement l'équation la plus simple possible décrivant la propagation d'un rayonnement électromagnétique dans une fibre optique : l'équation de Schrödinger non linéaire à *une dimension*. Dans nos simulations, le spectre de Fourier du champ électrique est gaussien en amplitude tandis que les phases des différentes composantes spectrales sont distribuées de manière aléatoire (onde incohérente). Le spectre final est obtenu après moyennage des spectres correspondant à plusieurs centaines de tirages aléatoires.

Tant dans nos simulations que dans nos expériences, le résultat le plus surprenant à nos yeux est que le spectre optique (moyenne statistique) semble tendre vers une forme asymptotique à grande distance de propagation. L'évolution asymptotique d'un système hamiltonien (et en particulier l'équation de Schrödinger non linéaire à plusieurs dimensions) a déjà été étudiée dans divers contextes[2]. Par exemple, la théorie cinétique des ondes (initialement développée pour l'étude de la turbulence[3]), prévoit l'évolution vers un équilibre au sens thermodynamique dans certains cas : en particulier les effets non linéaires doivent être d'ordre perturbatif et le système doit être non intégrable (ce qui n'est pas le cas de l'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension). Cette évolution vers un équilibre est actuellement étudiée en optique dans des systèmes faiblement non linéaires [4]. Nos résultats numériques et expérimentaux s'inscrivent dans un cadre différent car la non linéarité n'est pas d'ordre perturbatif d'une part et l'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension est intégrable d'autre part. Est-il envisageable que les résultats numériques soient liés à la non intégrabilité de l'équation de Schrödinger non linéaire *discrétisée* ? ; la faible biréfringence de la fibre peut rendre quant à elle le dispositif expérimental non intégrable.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne comprenons pas la convergence vers ce qui semble un état d'équilibre du spectre optique. Le lien éventuel entre nos observations et les travaux théoriques antérieurs (voir par exemple [2]) est un problème ouvert.

Références

1. B. Barviau, S. Randoux and P. Suret *Spectral broadening of a multimode continuous-wave optical field propagating in the normal dispersion regime of a fiber* Opt. Lett. **31** 1696 (2006)
2. Y. Pomeau *Asymptotic time behaviour of nonlinear classical field equations* Nonlinearity, **5** p. 707 (1992)
3. V.E. Zakharov and V.S. L'Vovo *Kolmogorov Spectra of Turbulence I* (Springer-Verlag, 1992)
4. S. Pitois, S. Lagrange, H. R. Jauslin, and A. Picozzi *Velocity Locking of Incoherent Nonlinear Wave Packets* Phys. Rev. Lett. **97** 033902 (2006)

Création d'un peigne de fréquences de longueur d'onde centrale accordable à partir d'ondes continues

Benoit Barviau, Christophe Finot, Julien Fatome et Guy Millot

Institut Carnot de Bourgogne (ICB), Dept OMR, UMR CNRS 5209
Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary 21038 Dijon
benoit.barviau@u-bourgogne.fr

La réalisation de sources lasers centrées autour de longueurs d'ondes difficilement accessibles par les lasers traditionnels présente un intérêt scientifique et commercial indéniable. L'effet Raman cascadié est une méthode fréquemment retenue pour générer de nouvelles fréquences à partir d'une onde continue et atteindre ces gammes de fréquences éloignées. Toutefois l'espacement entre les raies est fixé à 13.2 THz par la réponse de la silice. Il est moins courant d'utiliser le décalage Raman intrapulse [1] parce qu'il nécessite initialement une impulsion subpicoseconde [2]. Pour cette impulsion, la conversion spectrale d'énergie se fait de façon continue, améliorant ainsi l'accordabilité. Pour pouvoir combiner les avantages des deux techniques précédentes, l'onde incidente continue et l'accordabilité, l'enjeu est donc de convertir les signaux initiaux en impulsions femtosecondes.

Deux méthodes ont donc été envisagées pour générer les impulsions : la compression non-linéaire d'un battement sinusoïdal [2] et l'instabilité modulationnelle (IM) induite. Dans la première configuration, les deux ondes injectées dans la fibre sont de puissances égales, alors que dans le cas de l'IM, l'onde pompe contient la majeure partie de la puissance, l'onde stimulante étant située à la fréquence à laquelle le gain d'IM est maximum. Dans les deux configurations, les deux ondes de fréquence ω_1 et ω_2 vont subir le mélange à quatre ondes multiple et créer de nouvelles composantes spectrales. Le spectre généré sera composé de pics aux fréquences $\omega_1 \pm n(\omega_2 - \omega_1)$, n entier. Ce spectre de raies est associé temporellement à un train d'impulsions de durée moyenne inférieure à $2\pi/5(\omega_2 - \omega_1)$. Avec des durées aussi courtes, l'effet Raman intrapulse va alors pouvoir transférer efficacement l'énergie de façon continue d'harmonique en harmonique, des hautes vers les basses fréquences [1][3]. Expérimentalement, en injectant des ondes aux fréquences des télécommunications (autour de 1550 nm) dans une fibre hautement non linéaire, nous avons obtenu des spectres dont les raies s'étalaient de 1500 nm à 1700 nm, avec un intervalle spectral pouvant varier entre 10 nm et 30 nm suivant la méthode mise en jeu. Nous avons ainsi pu mesurer des décalages allant jusqu'à 130 nm après 900 m de propagation.

Pour décrire qualitativement les effets mis en jeu, seuls la dispersion d'ordre 2, la non linéarité et l'effet Raman intrapulse sont nécessaires. Néanmoins si l'on désire se rapprocher davantage des observations expérimentales, nous avons pu vérifier qu'il était nécessaire de considérer l'équation de Schrödinger sous sa forme généralisée, en incluant notamment le terme de dispersion d'ordre 3. L'impact du bruit apparaît également prédominant.

Une analyse théorique incluant ces phénomènes nous permettra d'affiner l'interprétation des résultats expérimentaux et d'en juger les atouts et les limitations, notamment en terme d'écart en fréquence, de décalage maximum et de rapport signal sur bruit.

Références

1. F.M.MITSCHKE AND L.F.MOLLENAUER // J.P.GORDON, Discovery//Theory of the soliton self-frequency shift, *OPTICS LETTERS*, **11** (10), 659-664 (1986).
2. J.FATOME ET AL., 20-GHz-to-1-THz Repetition Rate Pulse Sources Based on Multiple Four-Wave Mixing in Optical Fibers, *IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS*, **42** (10), 1038-1046 (2006).
3. P.V.MAMYSHEV ET AL., Generation of a high-repetition-rate train of practically noninteracting solitons by using the induced modulational instability and Raman self-scattering effects, *OPTICS LETTERS*, **15** (23), 1365-1367 (1990).

Caractère multimode d'un oscillateur paramétrique optique triplement résonant

A. Amon, P. Suret, S. Bielawski, D. Derozier, & M. Lefranc

Laboratoire PHLAM, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq
axelle.amon@univ-rennes.fr

Obtenir une dynamique complexe dans un système optique non linéaire en cavité nécessite souvent de se placer dans des configurations particulières (dégénérées), pour lesquelles de nombreux modes transverses de la cavité sont simultanément résonants avec le champ électromagnétique. Nos observations expérimentales montrent que dans le cas d'un oscillateur paramétrique optique triplement résonant (TROPO), cette contrainte est en partie levée.

Dans un TROPO un champ de pompe génère deux champs sous-harmoniques par interaction paramétrique dans un cristal non linéaire. La faible efficacité du processus nécessite d'utiliser une cavité optique, et dans notre cas celle-ci est résonante pour les trois champs. Ce système relativement simple présente une dynamique d'une grande richesse. Outre de nombreuses prédictions théoriques qui ont rarement pu être confirmées, les comportements expérimentaux sont d'une grande diversité. Nous nous intéressons plus particulièrement à des oscillations spontanées de l'intensité des champs apparaissant à fort taux de pompage, seules ou superposées à des oscillations plus lentes ("bursting") [1,2]. Ces oscillations ont des fréquences comprises entre 1 et 300 MHz, et pourraient correspondre d'un point de vue théorique et numérique [1] à des instabilités multimodes prédites précédemment [3].

Nous avons montré expérimentalement que ces oscillations sont liées à la coexistence de plusieurs modes transverses [4]. D'autre part, une recherche systématique de ces oscillations pour différentes tailles de la cavité montre que quelle que soit la taille macroscopique arbitrairement choisie pour la cavité optique, un ajustement fin permet de trouver des conditions pour lesquelles on observe ces oscillations [4]. Cette abondance est surprenante puisque les tailles de cavité dégénérées sont peu nombreuses si on se limite à des modes transverses d'ordres peu élevés. Cette dernière hypothèse étant fondée d'une part sur la faiblesse des coefficients de couplage prévus pour les modes d'ordres élevés [3] et d'autre part sur l'allure des modes observés expérimentalement.

Nous concluons donc de nos observations qu'il n'est pas nécessaire d'avoir plusieurs modes transverses simultanément résonants à la fréquence optique pour obtenir des comportements multimodes. Une première piste d'explication peut se trouver dans une étude théorique [2] montrant que deux modes ayant une grande fréquence de battement peuvent être couplés s'ils se situent symétriquement de part et d'autre de la fréquence optique. Ils se comportent alors comme un unique mode qui se trouverait au milieu des deux modes considérés. Le nombre de modes résonants de ce système se trouve donc considérablement augmenté du fait de la présence de ces modes virtuels.

Références

1. P. SURET, M. LEFRANC, D. DEROZIER, J. ZEMMOURI AND S. BIELAWSKI, Fast oscillations in an optical parametric oscillator, *Opt. Commun.*, **200**, 369 (2001).
2. A. AMON, M. NIZETTE, M. LEFRANC, AND T. ERNEUX, Bursting oscillations in optical parametric oscillators, *Phys. Rev. A*, **68**, 023801 (2003).
3. C. SCHWOB AND P.F. COHADON AND C. FABRE AND M.A.M. MARTE AND H. RITSCH AND A. GATTI AND L. LUGIATO, Transverse effects and mode couplings in OPOs, *Appl. Phys. B*, **66**, 685 (1998).
4. A. AMON *et al*, Multimode behavior of triply resonant optical parametric oscillators at high pump power, to be submitted to Optics Letters.

Dynamique d'un laser soumis à une conduite asymétrique - effet de "cliquet"

Preda¹, Ségard¹, & Glorieux¹

Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, CNRS (UMR 8523), Université de Lille 1, France
elena.preda@phlam.univ-lille1.fr

Nous avons tenté de démontrer l'existence d'un effet de "cliquet" en optique. Le problème général tel que posé par Feynman [1] consiste à se demander dans quelles conditions il est possible d'extraire d'un ensemble désordonné, un flux d'énergie ou de particules ordonnées et ceci en absence de forces macroscopiques qui induiraient ce flux. Le dispositif mécanique imaginé par Feynman repose sur l'asymétrie imposée par un système de cliquet qui n'est pas directement transposable en optique. On peut toutefois remplacer l'asymétrie géométrique de son dispositif par une asymétrie temporelle dans le pompage d'un laser, par exemple. L'ingrédient minimal indispensable d'un tel effet est l'existence simultanée de fluctuations et d'un potentiel microscopique spatialement périodique et asymétrique. Le sens d'écoulement des particules est alors imposé par l'asymétrie du potentiel. La question qui se posait à nous était : est-il possible de transposer ce type de processus, déjà démontré sur des systèmes de particules browniennes [2] ou sur des nuages d'atomes froids[3], aux lasers dont nous avons montré que la dynamique est fortement influencée par les fluctuations introduites par l'émission spontanée ? De façon plus précise, l'interaction entre l'émission spontanée et un forçage externe périodique asymétrique, nulle en moyenne, est-elle susceptible d'influencer la dynamique d'émission cohérente du laser que l'on associe ici à un écoulement dirigé de photons ? Les expériences que nous avons réalisées [4] pour répondre à cette question sont effectuées sur un laser $Nd^{3+} : YVO_4$ soumis à une conduite asymétrique via une modulation triangulaire et périodique du taux de pompage dont la valeur moyenne est proche mais toujours inférieure au seuil. La modulation est rapide par rapport au temps de l'inversion de population mais lente par rapport aux oscillations de relaxation, de telle sorte que l'on excite le laser dans un régime intermédiaire entre la résonance et le régime adiabatique. L'asymétrie de la modulation est caractérisée par le paramètre d'asymétrie α défini comme le rapport entre la durée de la montée et celle de la période du triangle. Elle influence de manière différente la réponse du laser. Ainsi pour des modulations adéquates, on obtient un régime où le laser émet de manière impulsienne et cohérente en présence de modulations en dents de scie montantes, mais il n'émet pas si les dents de scie sont décroissantes. Les amplitudes des pulses présentent des fluctuations importantes dont l'origine provient du caractère stochastique de l'émission spontanée. Ces fluctuations sont nécessaires, le laser restant dans l'état "éteint" en leur absence. Pour un apport donné d'énergie (proportionnel à l'aire du triangle de modulation du pompage), il est possible d'optimiser l'intensité des impulsions émises en ajustant le paramètre d'asymétrie α . Nous avons obtenu [4] un bon accord entre les résultats expérimentaux et les simulations réalisées à l'aide du modèle d'un laser de classe **B** incluant un terme de bruit dans l'équation du champ pour prendre en compte l'émission spontanée.

Références

1. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures in Physics, Addison-Wesley, Reading, 1966.
2. L. P. Faucheux, A. Libchaber, J. Chem. Soc. Faraday Trans., Reading, **91**, 3163, 1995.
3. E. Lundh, M. Wallin, Phys. Rev. Lett. **94**, 110603, 2005.
4. C. E. Preda, B. Ségard, P. Glorieux, Opt. Lett. **31**, 2347, 2006.

Théorème de fluctuation dissipation lors de la formation d'un gel colloïdale de Laponite

Pierre Jop, Artyom Petrosyan & Sergio Ciliberto

Laboratoire de Physique, CNRS-UMR 5672, ENS Lyon, 46 allée d'Italie F-69364 LYON CEDEX 07
pierre.jop@ens-lyon.fr

La possibilité de description statistique et thermodynamique des systèmes hors équilibre est une question toujours ouverte. Plusieurs avancées théoriques ont permis de mettre en avant certaines notions comme celle de température effective. Cependant, il existe peu de vérifications expérimentales de ces notions, en particulier la violation du théorème fluctuation dissipation (FD), notamment en mécanique. La laponite représente un gel colloïdal hors équilibre modèle et le vieillissement ne fait pas intervenir de trempe : une suspension diluée de laponite passe de l'état liquide à l'état d'un gel en quelques heures. Plusieurs travaux récents ont tenté de mettre en évidence une violation du théorème FD, cependant certains résultats sur la mesure de la température effective semblent incompatibles [1,2,3]. Nous nous sommes intéressés aux fluctuations de position d'une bille au centre d'un piège optique (diode laser de longueur d'onde $\lambda=980$ nm) pour essayer de comprendre ces différences. Nous enregistrons, sur une photodiode quatre cadrans, le mouvement de la bille ($1 \mu\text{m}$ de rayon) grâce à un laser He-Ne pendant la solidification de la solution. Nous avons vu que les conditions expérimentales, en particulier la fabrication de l'échantillon, jouent un rôle important sur le vieillissement du gel. Par ailleurs, d'importants gradients de température ont été mesurés proche du point de focalisation du laser, ce qui peut modifier la viscosité dans le voisinage de la bille.

Références

1. L. BELLON & S. CILIBERTO, Experimental study of fluctuation dissipation relation during the aging process, *Physica D*, **168**, 325 (2002).
2. S. JABBARI-FAROUJI, D. MIZUNO, M. ATAKHORRAMI, F. C. MACKINTOSH, C. F. SCHMIDT, E. EISER, G. H. WEGDAM & D. BONN, Fluctuation-dissipation theorem in an aging colloidal glass, Arxiv : cond-mat/0511311 (2005).
3. B. ABOU, F. GALLET, P. MONCEAU & N. POTTIER, Fluctuation dissipation relation in a colloidal glass : frequency and aging time dependence, Arxiv : cond-mat/0605111 (2006).

Instabilités géométriques dans les tiges élastiques confinées

Laurent Boué & Eytan Katzav

Laboratoire de Physique Statistique
École Normale Supérieure
24 rue Lhomond
75005 Paris
lboue@ens.fr, eytan.katzav@lpt.ens.fr

Les objets élastiques évoluant dans un espace réduit sont omni-présents dans la Nature. On peut penser par exemple à la croissance des feuilles d'arbres dans les bourgeons, au pliage/froissage de tiges et surfaces (tôle froissée, origami...) où même au confinement de la chromatine et de l'ADN dans les cellules. De manière générale, ces structures développent un réseau compliqué de plis qui focalisent l'énergie. Malgré leur importance biologique et technologique, on ne comprend toujours pas en profondeur les propriétés géométriques et mécaniques de ces objets confinés.

Nous nous concentrons ici sur une géométrie particulière : une tige élastique confinée dans une cellule bi-dimensionnelle (voir expériences dans [1,2]). Puisque la tige n'est pas libre de s'échapper dans la troisième dimension, le couplage entre élasticité et auto-évitement prend un rôle majeur. Une question naturelle est alors : Quelles sont les formes de tiges possibles dans cette géométrie et leurs propriétés mécaniques ? Nous proposons une approche de physique statistique pour répondre à cette question. Pour des tiges de taille macroscopique il n'y a pas de moyennage thermique du aux mouvements Browniens. Cependant, il est encore possible d'explorer l'espace de phases en supposant la présence d'une agitation mécanique extérieure ("tapping" ...) introduisant une température "effective". Cette approche statistique des systèmes athermiques a déjà prouvé son utilité dans d'autres contextes physiques [3,4].

La densité de la tige à l'intérieur de la cellule sert de paramètre de contrôle. Pour de petites densités la tige remplit la cellule de manière complètement désordonnée. Dans cette phase isotrope la tige ne présente pas de direction privilégiée. Il existe ensuite une densité critique au-delà de laquelle la tige se ré-organise spontanément pour mieux s'accomoder à son espace réduit. Cette transition de phase mène à la formation de grandes régions d'auto-contacts (phase nématique) permettant un pavage de la cellule plus efficace. Si la densité continue à augmenter, la taille microscopique (longueur de monomère par exemple) rentre en jeu. Elle est responsable de l'émergence d'une nouvelle transition dite de "blocage". Il devient impossible d'injecter plus de tige dans la cellule et la structure prend un comportement solide. De nouvelles expériences [5] sont en cours pour valider ces résultats théoriques [6].

Références

1. L. Boué, M. Adda-Bedia, A. Boudaoud, D. Cassani, Y. Couder, A. Eddi and M. Trejo : "Spiral Patterns in the Packing of Flexible Structures", *Phys. Rev. Lett.* **97**, 166104 (2006).
2. C. C. Donato, M. A. F. Gomes and R. E. de Souza : "Crumpled wires in two dimensions". *Phys. Rev. E* **66**, 015102 (2002).
3. H. A. Makse, J. Brujić, S. F. Edwards : "Statistical Mechanics of Jammed Matter", in *The Physics of Granular Media*, edited by H. Hinrichsen and D. E. Wolf, Wiley-VCH (2004).
4. E. Katzav, M. Adda-Bedia and A. Boudaoud : "A statistical approach to close packing of elastic rods and to DNA packaging in viral capsids", *PNAS* **103**, 18900-18904 (2006).
5. S. Deboeuf, M. Adda-Bedia, A. Boudaoud, unpublished.
6. L. Boué, E. Katzav, unpublished

Excitation paramétrique de la rotation d'une feuille élastique

Arezki Boudaoud¹, Eugenio Hamm², & Francisco Melo²

¹ Laboratoire de Physique Statistique, UMR8550 du CNRS/ENS/Paris VI/Paris VII, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.

² Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, and Center for Advanced Interdisciplinary Research in Materials (CIMAT), Av. Ecuador 3493, Casil la 307, Correo 2, Santiago de Chile.

boudaoud@lps.ens.fr

La focalisation statique de l'énergie dans des feuilles élastiques a suscité de nombreuses études expérimentales et théoriques [1]. La méthode la plus simple pour générer une structure localisée dans une feuille est de la pousser avec une pointe dans un trou circulaire [2]. Nous sommes passés à l'étude de la dynamique de ce système en imposant une oscillation sinusoïdale de la pointe. Selon la fréquence et l'amplitude d'oscillation, nous avons observé trois phases : premier mode propre de vibration de la feuille ; onde en rotation à vitesse constante, associée à une rotation matérielle lente de la feuille ; et, onde en rotation apériodique, probablement chaotique. Nous avons montré que les deux phases périodiques sont associés à des résonances paramétriques alors que la rotation matérielle de la feuille résulte d'un « effet tapis » purement géométrique.

Références

1. T. A. WITTEN, Stress focussing in elastic sheets, *Review of Modern Physics*, sous presse (2007).
2. S. CHAÏEB, F. MELO AND J.-C. GÉMINARD, Experimental Study of Developable Cones, *Physics Review Letters*, **80**, 2354 - 2357 (1998).

Stabilité dynamique des fronts de solidification eutectiques fibreux

Perrut¹ & Akamatsu²

INSP - 140, rue de Lourmel - 75015 Paris

perrut@insp.jussieu.fr

La dynamique des fronts de solidification (croissance cristalline limitée par la diffusion) conduit à la formation de structures hors d'équilibre d'une grande variété. Dans le cas de la solidification directionnelle d'alliages binaires eutectiques, la croissance couplée des deux phases solides donne lieu à deux types de structures périodiques stationnaires 2D : la structure en "lamelles" (ou en "rouleaux"), de symétrie 1D, et la structure "fibreuse", de symétrie hexagonale. L'ordre de grandeur des périodes mises en jeu est celui de la dizaine de microns. Nous présentons la première étude expérimentale par observation en temps réel, à l'échelle du micron, de fronts de solidification fibreux en échantillons massifs d'alliages transparents modèles. Nous montrons que l'espacement moyen des fibres décroît en fonction de la vitesse de solidification V en suivant approximativement la loi d'échelle prédite par la théorie. L'écart de la limite de stabilité inférieure (instabilité d'Eckhaus) par rapport à cette loi d'échelle est compatible avec une prédiction semi-empirique obtenue précédemment en échantillons minces. Nous observons, en régime quasi-stationnaire, la formation de nombreux défauts topologiques et de domaines d'orientation préférentielle par rapport aux parois de l'échantillon. Nous montrons l'importance, dans ce processus, de forçages dynamiques dus à une courbure moyenne du front à grande échelle d'origine thermique. On peut aussi tirer parti de ce forçage pour étudier certaines instabilités d'oscillation ou de branchement.

Instabilités thermoconvectives pour des fluides viscoplastiques

Christel Métivier¹, Chérif Nouar² & Jean-Pierre Brancher³

LEMETA - 2, avenue de la forêt de Haye - BP 160 - 54504 Vandoeuvre-lès-Nancy
christel.metivier@ensem.inpl-nancy.fr

L'étude de la stabilité de l'écoulement de type Rayleigh-Bénard Poiseuille (RBP) est réalisée pour des fluides à seuil. Ces fluides sont présents dans une large gamme d'applications industrielles telles que industries pétrolière (boue de forage, pétrole), agro-alimentaire (crèmes dessert), cosmétique (crèmes hydratantes, dentifrice) et à plus grande échelle, la géophysique. A titre d'exemple, des instabilités thermoconvectives apparaissent dans le manteau terrestre et sont dues au fort gradient de température entre le noyau et la croûte terrestre. Le comportement rhéologique du fluide est supposé être décrit par le modèle de Bingham. Ce modèle suppose que lorsque les contraintes appliquées au matériau sont inférieures à la contrainte seuil B , le nombre de Bingham, le matériau est sous forme de gel et se déplace comme un solide indéformable. Au-delà de B , le matériau s'écoule et se comporte comme un fluide visqueux. Sa viscosité effective μ dépend du deuxième invariant du tenseur des taux de déformation $\dot{\gamma}$ et est donnée par : $\mu = 1 + \frac{B}{\dot{\gamma}}$.

L'objet de cette communication est de souligner les effets de la contrainte seuil sur les conditions de stabilité de l'écoulement de type RBP et de faire ressortir les principales difficultés actuelles dans l'étude d'écoulement mettant en jeu des fluides de Bingham. Une des difficultés majeures est la possibilité d'avoir deux phases en présence : une phase "gel" dans laquelle les contraintes sont indéterminées et une phase fluide.

L'analyse linéaire de stabilité conduit à la formation, dans les parties fluides, de rouleaux thermoconvectifs advectés par l'écoulement moyen, sous forme d'ondes propagatives. Cette analyse permet de montrer que les conditions critiques, *i.e.* les nombres de Rayleigh (Ra_c) et d'onde (α_c) critiques augmentent pour des valeurs de B croissantes. Ces résultats soulignent l'effet stabilisant de la contrainte seuil.

Dans le cas particulier où la contrainte seuil est très faible, nous avons montré [1] que le modèle de Bingham n'est pas consistant avec le cas Newtonien [2].

L'originalité de notre étude se situe dans l'analyse faiblement non linéaire de stabilité. Cette étude permet pour la première fois, dans le cas d'un fluide viscoplastique, de quantifier l'amplitude de la perturbation maximale qui conserve la structure topologique de l'écoulement de base. Nous avons montré que, à faibles valeurs du nombre de Péclet, $Pe < O(1)$, la bifurcation est super-critique, comme dans le cas Newtonien [3]. A plus grandes valeurs de Pe ($Pe > O(1)$), la nature de la bifurcation change brutalement pour devenir sous-critique. Ce changement brutal de comportement est une conséquence de la forte stratification en viscosité, cette dernière atteignant de grandes valeurs aux abords des interfaces.

En outre, nous avons montré que l'analyse faiblement non linéaire a un domaine de validité très réduit et l'écoulement perturbé devient rapidement non linéaire pour des valeurs de Rayleigh surcritiques.

Références

1. C. METIVIER *et al.*, Linear stability involving the Bingham model when the yield stress approaches zero, *Phys. Fluids*, **17** (10) (2005).
2. X. NICOLAS *et al.*, Linear stability of mixed convection flows in horizontal rectangular channels of finite transversal extension heated from below. *Int. J. Heat Mass Transfer*, **43** 589 (2000).
3. H. W. MULLER *et al.*, Convective Patterns in Horizontal Flow *Europhys. Lett.*, **10** (5) 451-456 (1989).

Instabilité de solutions semi-diluées ou diluées de polymères dans un écoulement de Couette-Taylor : suppression des harmoniques de couplage.

F. Kelai, O. Crumeyrolle, & I. Mutabazi

LMPG, université du Havre, 53 rue de Prony, BP 540, 76058 Le Havre cedex
faycal.kelai233@univ-lehavre.fr

Les écoulements viscoélastiques de solutions de polymères dans le système de Couette- Taylor font l'objet d'études expérimentales depuis environ quarante ans. L'absence d'équation universelle pour les liquides viscoélastiques et les motivations industrielles pour la prédiction des écoulements viscoélastiques ont largement motivé les nombreux travaux. En laboratoire on cherche à employer des systèmes hydrodynamiques modèles. C'est le cas du système de Couette-Taylor, qui est formé d'une couche de fluide emprisonnée dans l'entrefer formé par deux cylindres coaxiaux en rotation. Les solutions de polymères de forte masse molaire constituent, elles, des liquides viscoélastiques modèles. En effet il est possible de contrôler les propriétés viscoélastiques en variant la concentration du polymère ou la nature du solvant.

Nous caractérisons l'écoulement de solutions de polyoxyéthylène (POE, Aldrich, 8.106 g/mol) soit en solution peu visqueuse (0,93 mPas) mais semi-diluée (1200 ppm de POE en masse), noté " A ", soit en solution plus visqueuse (45 mPa.s) mais diluée (50 ppm), noté " B ". Cette dernière approche est plus proche des travaux antérieurs. (e.g. [1]). Dans le cas A les solutions sont rhéofluidifiantes et la viscosité sous cisaillement peut être décrite par la loi de Carreau. Dans le cas B les solutions présentent une rhéofluidification négligeable. La géométrie de Couette-Taylor employée est constituée de deux cylindres coaxiaux. L'étude est conduite à cylindre extérieur fixe. Le cylindre intérieur est noir, de rayon $a = 4$ cm. Le cylindre extérieur, de rayon $b = 5$ cm, est transparent. Le rapport d'aspect est de 45,9 et le rapport des rayons vaut $d/a = (b - a)/a = 0,8$. On ajoute à nos solutions 2% (en volume) de Kalliroscope AQ1000 (une solution diluée de plaquettes réfléchissantes anisotropes). La visualisation de l'écoulement est obtenue par une coupe laser verticale de l'entrefer de 11 à 17 cm de haut. Une caméra CCD 2D (Basler A641f) enregistre l'intensité lumineuse $I(r, z, t)$ à la cadence de 11 images par seconde pendant 15 minutes. A partir de ces acquisitions, on peut extraire des diagrammes spatio-temporels $I(z, t)$ à r fixé ou $I(r, t)$ à z fixé, qui sont étudiés par traitement du signal.

Dans les deux cas, le premier mode d'instabilité observé est un régime formé d'ondes spirales axialement contrapropagatives, comparable aux régimes nommés SW ou RSW dans la littérature [1,2,3]. Ce type de régime est dit inertio-élastique. Dans le cas A le seuil est observé à un nombre de Taylor $Ta = \sqrt{d/a} \cdot Re = 40,5$, où Re est le nombre de Reynolds effectif (viscosité rhéofluidifiée) dans l'entrefer. Dans le cas B le seuil est observé à une valeur proche de $Ta = 38,5$. Les nombres de Weissenberg ($We =$ temps de relaxation/temps de cisaillement) sont proches de 10 dans les deux cas. Les nombres élastiques $E = We/Re$ sont dans l'intervalle $[0,1; 0,3]$.

A l'aide de la démodulation complexe nous caractérisons le mode critique d'instabilité et rapportons les différences observées entre les deux cas. En particulier des harmoniques de couplages (c.f. [3]) sont bien présentes dans le cas A, mais presque absentes dans le cas B. Ce dernier point est cohérent avec les résultats des travaux antérieurs des équipes [1] et [2], qui n'avaient pas mis en évidence les harmoniques de couplages. L'amplitude des différents modes est rapportée dans chaque cas, et ceci pour différentes position radiales. Dans le cas B on observe, outre les spirales, une faible harmonique de couplage, uniquement en espace, et seulement près du cylindre extérieur. Les comportements dans la direction radiale sont aussi étudiés.

Références

1. A. GROISMAN & V. STEINBERG, *Europhys. Lett.*, **43**(2), 165-170 (1998).
2. B.M. BAUMERT & S.J. MULLER, *Phys. Fluids*, **9**(3), 566-586 (1997).
3. O. CRUMEYROLLE, I. MUTABAZI & M. GRISEL, *Phys. Fluids*, **14**(5), 1681-1688 (2002).

Seuils d'écoulement et dynamique d'une couche granulaire vibrée horizontalement

Aumaitre Sébastien¹, Puls Conor², McElwaine Jim³, & Gollub Jerry²

¹ Service de Physique de l'état Condensé, Direction des sciences de la Matière, CEA-Saclay, CNRS URA 2464, 91191 Gif-sur-Yvette —France—

² Physics Department, Haverford College, Haverford PA 19041 —USA—

³ DAMTP, University of Cambridge, Cambridge CB3 0WA, UK

`Sebastien.Aumaitre@cea.fr`

Un forçage oscillant horizontalement est utilisé pour sonder la rhéologie complexe d'une couche granulaire peu profonde. Nous présenterons le seuil et la dynamique de l'écoulement vu par le dessus ou le côté dans le référentiel en mouvement. Bien que le comportement dépende du protocole de mesure, différents seuils pour l'initialisation et l'arrêt de l'écoulement ont été mis en évidence, comme cela a été aussi noté pour les seuils d'avalanche. A basses fréquences, la variation par rapport à la profondeur de l'accélération critique adimensionnée engendrant l'écoulement pour la cellule oscillante, est semblable à la quantité correspondante mesurée dans des avalanches créées dans le même récipient. Cependant, on observe des déviations à mesure que la fréquence d'excitation est augmentée. Une fois le mouvement initié, la rhéologie du matériel s'avère changer de manières étonnantes avec le temps pendant le cycle d'excitation. Si le maximum de la force appliquée (proportionnelle à l'amplitude d'accélération du récipient) est légèrement plus haute que celle exigée pour produire l'écoulement, *la vitesse d'écoulement se développe lors d'un cycle dès que la force appliquée excédera zéro, mais un blocage se produit longtemps avant l'accélération appliquée ne revient à zéro.* A une accélération plus élevée, la couche est fluidisée durant tout le cycle. Notons que la fraction du cycle pendant laquelle la couche est mobile, est en général bien plus grande que ce que prévoirait des considérations statiques ou des analogies avec les avalanches. Pour finir, nous considérons les profils de vitesse de l'écoulement à la surface libre de la cellule, et également en fonction de la profondeur de la couche. Ces profils ont des formes dépendantes du temps, et sont donc sensiblement différents des profils précédemment mesurés lors des avalanches.

Effets de la force de Coriolis sur l'instabilité elliptique en géométries cylindrique et sphérique

Le Bars Michael, Le Dizès Stéphane, & Le Gal Patrice

IRPHE - CNRS UMR 6594, 49 rue F. Joliot Curie, B.P. 146, F-13384 Marseille Cedex 13
lebars@irphe.univ-mrs.fr

Nous avons étudié expérimentalement les effets de la force de Coriolis sur l'instabilité elliptique dans des cylindres et des sphères mis en rotation et embarqués sur une table tournante. Différents modes instables peuvent être excités en ajustant le rapport Ω^G entre la rotation globale de la table et la rotation du fluide, en accord avec la théorie globale de l'instabilité elliptique. Aucune instabilité n'est présente pour $-3/2 < \Omega^G < -1/2$. En diminuant Ω^G progressivement vers $-1/2$, nous observons différentes bandes de résonance, tout d'abord discrètes, puis se superposant. Simultanément, les taux de croissance et nombre d'onde du mode le plus instable augmentent significativement, en accord quantitatif avec la théorie locale. En géométrie sphérique, de nouvelles résonances ont été observées pour la première fois, en complément du mode classique de "spin-over". Ces résultats ont des implications significatives dans des contextes astro- et géophysiques.

Modèle de champ de phase de la propagation de la fracture

Hervé HENRY¹

Physique de la Matière Condensée, Ecole Polytechnique, CNRS, 91128 PALAISEAU
herve.henry@polytechnique.edu

La propagation de la rupture fragile[1] est la croissance d'une surface de rupture dans un matériau élastique. Du fait des lois de l'élasticité il apparaît à la pointe de la fissure une singularité dans le champ des contraintes qui est caractérisé par trois grandeurs caractéristiques : les facteurs d'intensité des contraintes (SIFs). La présence de cette singularité implique qu'au voisinage de la pointe de la fracture le matériau est fortement déformé, ce qui implique que dans un voisinage de la pointe (la *process zone*), les lois usuelles de l'élasticité ne sont plus valables. En particulier c'est dans cette région qu'ont lieu les *ruptures* des liaisons inter-atomiques qui induisent l'avancée de la fracture.

La théorie usuelle de la fracture[2], considère que l'avancée de la fracture est gouvernée par les SIFs et que les phénomènes de rupture sont concentrés en un point au bout de la fracture. Dans le reste du matériau les lois de l'élasticité linéaire restent valables. Les lois d'avancée de la fracture sont introduites en se basant sur des critères énergétiques ou de symétrie. Cette approche permet de bien décrire la propagation de la fracture. Cependant, elle repose très fortement sur des lois introduites à *la main*. Ainsi, pour décrire le branchement de la fracture il est nécessaire d'introduire une loi adéquate. En outre en dehors des cas simples (simulations numériques), elle nécessite l'utilisation de méthodes numériques complexes.

Je présente ici un modèle de champ de phase[3,4] (inspiré des modèles utilisés pour la solidification par exemple) de la propagation de la fracture. Ce modèle repose sur le couplage entre les lois de l'élasticité et une variable additionnelle ϕ , le champ de phase, qui indique l'état du matériau : dans les régions où $\phi = 1$ le matériau est intact et les lois de l'élasticité sont respectées et dans les régions où $\phi = 0$ les contraintes élastiques sont relâchées. Le modèle est construit (en utilisant un formalisme de type Ginzburg-Landau) de façon à ce que la création d'une surface de fracture aie un coût énergétique.

Les résultats de simulations numériques sont en bon accord qualitatif avec les résultats expérimentaux et théoriques utilisant la théorie usuelle de la propagation de la fracture. En particulier, le modèle reproduit bien le critère de Griffith sur l'initiation de la rupture, et l'instabilité de branchement[5,3]. Il permet aussi de bien reproduire des fractures oscillantes rapides ou lentes. Il peut par ailleurs être facilement étendu à trois dimensions, cas où la dynamique de la rupture est encore très mal comprise.

Références

1. J. FINEBERG AND M. MARDER *Instability in dynamic fracture*, Phys. Rep. **313** pp 2-108 (1999)
2. B. LAWN, *Fracture of Brittle Solid, 2nd Edition*, Cambridge University Press (1993)
3. H. HENRY AND H. LEVINE *Dynamic instabilities of fracture under biaxial strain using a phase field model*, Phys. Rev. Lett. **93** pp 105504 (2004)
4. A. KARMA AND D.A. KESSLER AND H. LEVINE *Phase-Field Model of Mode III Dynamic Fracture*, Phys. Rev. Lett. **87** pp 045501 (2001)
5. A. KARMA AND A.E. LOBKOVSKI *Unsteady crack motion and branching in a phase field model of brittle fracture*, Phys. Rev. Lett. **92** pp 245510 (2004)

Contrôle des régimes “turbulents” dans les systèmes avec advection

Clément Evain¹, Serge Bielawski¹, Christophe Szwaj¹, M. Hosaka², A. Mochihashi², M. Katoh², & M.-E. Couprie³

(1) Laboratoire PhLAM/CERLA, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59625 Villeneuve d’Ascq

(2) UVSOR, IMS, 444-8585 Okazaki (Japan)

(2) SOLEIL/CEA, 91192 Gif-sur-Yvette

`clement.evain@phlam.univ-lille1.fr`

Nous considérons le problème de la suppression des régimes erratiques dans les systèmes spatio-temporels soumis à une dérive (advection). Il est connu que de tels systèmes peuvent présenter des instabilités convectives pour des vitesses de dérive suffisamment importantes. Le résultat est une hypersensibilité au bruit, menant à des régimes spatio-temporels erratiques (voir par exemple [1,2,3,4]).

Nous montrons qu’il est possible de supprimer de telles instabilités par une méthode de feedback simple à implémenter, basée sur un couplage non-local. L’étude analytique et numérique du processus de stabilisation est effectuée sur une équation d’advection-diffusion élémentaire (équation de Ginzburg-Landau avec advection). Outre la détermination des paramètres adéquats, cette étude permet d’interpréter le processus de stabilisation : La contre-réaction crée une nouvelle solution déterministe, vers laquelle le système évolue, et qui ne présente pas de sensibilité notable au bruit. Ce processus pourtant très différent des méthodes de contrôle du type “Ott-Grebogi-Yorke”, requiert typiquement des perturbations très faibles du système.

Finalement, nous testons expérimentalement la méthode sur un laser soumis à des instabilités convectives : Le laser à électrons libres japonais de UVSOR. Les structures induites par le bruit sont supprimées au moyen d’un *feedback* entièrement optique, et qui modifie peu les paramètres du système : La fraction de la puissance réinjectée est de l’ordre de 10^{-8} . Ce type de contrôle est applicable en principe à d’autres systèmes (optiques ou non).

Références

1. R.J. DEISSLER, Noise-sustained structures, intermittency, and the Ginzburg-Landau equation, *J. Stat. Phys.*, **40**, 371 (1985).
2. M.R.E. PROCTOR, S.M. TOBIAS, E. KNOBLOCH, Noise-sustained structures due to convective instability in finite domains, *Physica D*, **145**, 191 (2000).
3. P. GONDRET AND P. ERN AND L. MEIGNIN AND M. RABAUD, Experimental Evidence of a nonlinear transition from convective to absolute instability, *Phys. Rev. Lett.*, **82**, 1444 (1999).
4. S. BIELAWSKI, C. SZWAJ, C. BRUNI, D. GARZELLA, G. L. ORLANDI, AND M. E. COUPRIE, Advection-induced spectrotemporal defects in a free-electron laser, *Phys. Rev. Lett.*, **95**, 034801 (2005).

Modélisations mésoscopique et macroscopique de la migration cellulaire dans un milieu anisotrope et hétérogène

Chauvière¹, Hillen² & Preziosi¹

¹ Politecnico di Torino, 24 Corso Duca degli Abruzzi, 10129 Torino, Italie

² University of Alberta, Edmonton, Canada T6G 2G1

chauviere@calvino.polito.it

La migration cellulaire à l'intérieur de tissus vivants est un processus essentiel, normal ou pathologique, dans un grand nombre de phénomènes biologiques, tels que le développement embryonnaire, la cicatrisation tissulaire ou encore l'angio/vasculogénèse. Les cellules (métastases cancéreuses, fibroblastes, cellules endothéliales) interagissent aussi bien les unes avec les autres qu'avec le milieu environnant (la matrice extracellulaire). Cette matrice extracellulaire est un assemblage complexe de macromolécules dont le rôle principal consiste à maintenir l'assemblage des cellules qui constituent le tissu. Il s'agit d'un support structural composé principalement de collagène, qui se présente donc comme un milieu fibreux dont chaque fibre possède sa propre orientation. C'est en interagissant avec ces fibres que les cellules sont à même de se déplacer, changeant de forme en adaptant leur cytosquelette, et se liant aux fibres par l'intermédiaire d'une machinerie protéinique complexe.

Récemment, une grande attention a été portée à la description du mouvement cellulaire, et en particulier aux interactions avec le tissu environnant. Nous proposons ici un modèle cinétique (échelle mésoscopique) qui inclut un mouvement préférentiel des cellules le long des fibres (phénomène de guidage par contact), ainsi que les interactions entre les cellules elles-mêmes, modélisées par des changements aléatoires de direction de déplacement. Enfin, la possibilité qu'une substance chimique induise un mécanisme interne à la cellule, affectant son mouvement, a été intégré *via* une force extérieure qui modélise les phénomènes de *chimiotaxie*.

En raison d'une part des interactions entre les cellules, et d'autre part entre les cellules et les fibres, nous montrons que des forces de résistance à l'avancement apparaissent au niveau macroscopique. Nous déduisons finalement, par un passage à la *limite diffusive* du modèle cinétique, le modèle continu (échelle macroscopique) qui consiste en une équation d'advection-diffusion non-linéaire portant sur la densité locale de cellules en mouvement.

Nous présentons les simulations numériques du problème continu, et mettons en évidence la capacité du modèle à décrire l'influence des hétérogénéités et de l'anisotropie du milieu sur le mouvement d'une population de cellules.

Pour conclure, l'activité protéolytique des cellules (dans le cas de la *migration mésoenchymale*) est intégrée dans les deux modèles présentés. Nous montrons comment la capacité des cellules à dégrader et/ou transformer leur support de migration est capable d'affecter leur propre mouvement.

Oscillateurs génétiques simples. Application à l’horloge circadienne d’une algue unicellulaire

Pierre-Emmanuel Morant¹, Constant Vandermoere¹, Quentin Thommen¹, Benjamin Parent², François Lemaire³, & Marc Lefranc¹

¹ Laboratoire PhLAM, UMR CNRS 8523, Université de Lille 1, F-59655 Villeneuve d’Ascq Cedex, France

² Unité de Glycobiologie Structurale et Fonctionnelle, UMR CNRS 8576, Université de Lille 1

³ Laboratoire d’Informatique Fondamentale de Lille, UMR CNRS 8022, Université de Lille 1
morant@phlam.univ-lille1.fr, vander@phlam.univ-lille1.fr, thommen@phlam.univ-lille1.fr,
benjamin.parent@gmail.com, francois.lemaire@lifl.fr, marc.lefranc@univ-lille1.fr

Les dizaines de milliers de gènes que porte la molécule d’ADN au coeur de chaque cellule contiennent l’information nécessaire à la synthèse des briques de la machinerie moléculaire de la Vie, les protéines. Cette synthèse s’effectue en deux étapes : “transcription” de la séquence codante en une molécule d’ARN messenger, puis “traduction” de cet ARN en une séquence d’acides aminés, c’est-à-dire une protéine. Or, les taux de production des ARN ne sont pas constants : l’activité des gènes est en effet régulée par des protéines produites par d’autres gènes, au travers de réseaux complexes. L’ensemble constitue donc un système dynamique fortement non linéaire, susceptible de présenter toute une gamme de comportements bien connus : bistabilité, mais aussi oscillations, comme par exemple celles intervenant dans la segmentation des somites lors de l’embryogénèse [1], ou dans les horloges circadiennes, qui voient de nombreuses grandeurs physiologiques varier sur une période de 24 heures, en réponse à l’alternance jour-nuit [2], mais qui persistent en éclairage constant.

L’oscillateur génétique le plus simple est a priori celui formé par un gène réprimé par la protéine qu’il produit, comme sans doute le gène *hes1* dans la segmentation des somites. Il s’agit d’un problème ancien [3], pour lequel il est admis qu’on ne peut observer des oscillations que si on introduit un terme explicite de délai dans les équations [4]. Nous avons revisité ce problème en considérant le taux de transcription comme une variable dynamique [5], contrairement aux études antérieures où il était censé réagir instantanément à la concentration en protéine. Nous avons montré que dans ces conditions, on peut toujours trouver une cinétique enzymatique de dégradation menant à des oscillations, et ceci quel que soit l’échelle de temps du processus de régulation et sans introduire aucun terme de retard. Cela montre la nécessité d’étudier soigneusement la dynamique de transcription et les mécanismes de dégradation.

Il se trouve qu’une généralisation naturelle du modèle précédent, constituée d’une boucle de deux gènes se régulant réciproquement, fournit un modèle minimal de l’horloge circadienne d’*Ostreococcus tauri*, une algue verte unicellulaire dont la physiologie et l’appareil génétique se caractérisent par une compacité extrême, mais qui présente néanmoins de nombreux points communs avec les végétaux supérieurs. Deux gènes, *TOC1* et *CCA1*, ont pour l’instant été identifiés comme faisant partie de l’horloge circadienne de cette algue, qui est étudiée par l’équipe de François-Yves Bouget à l’Observatoire Océanologique de Banyuls. Nous comparerons les prédictions du modèle de la boucle à deux gènes aux données expérimentales concernant les variations dans le temps des ARN et des protéines de l’horloge.

Références

1. H. HIRATA *et al.*, Oscillatory expression of the bHLH factor Hes1 regulated by a negative feedback loop, *Science* **298**, 840–843 (2002).
2. C. A. STRAYER & S. A. KAY, The ins and outs of circadian regulated gene expression, *Curr. Opin. Plant Biol.* **2**, 114 (1999).
3. B. C. GOODWIN, Oscillatory behavior of enzymatic control processes, *Adv. Enzyme Regul.* **3**, 425-439 (1965).
4. M. H. JENSEN, K. SNEPPEN & G. TIANA, Sustained oscillations and time delays in gene expression of protein Hes1, *FEBS Lett.* **541**, 176-177 (2003).
5. P. FRANÇOIS & V. HAKIM, Core genetic module : the mixed feedback loop, *Phys. Rev. E* **72**, 031908 (2005).

Instabilité de dérive d'agrégats de canaux ioniques

M. Leonetti¹ & F. Homblé²

¹ IRPHE, Aix-Marseille Université, CNRS, Technopôle de Château-Gombert, BP 146, 13384 Marseille Cedex 13 France

² Structure et Fonction des Membranes Biologiques, Centre de Biologie Structurale et Bioinformatique, Campus Plaine (CP206/2), B-1050 Bruxelles, Belgique

leonetti@irphe.univ-mrs.fr

Résumé. De nombreuses cellules ou organismes sont traversés par des circulations ioniques stationnaires. Elles jouent un rôle important dans divers phénomènes tels que la polarisation, l'acquisition de nutriments, la croissance, la morphogenèse et quelques fois, en motilité. Il existe des cas où l'émergence de circulations ioniques stationnaires est découplée d'un événement cytologique particulier ou d'une inhomogénéité visible au microscope optique.

Un premier mécanisme [1,3], intuité par le biologiste Jaffe [?] est une auto-organisation des canaux ioniques membranaires : couplage positif entre le champ électrique produit par ces protéines et leur agrégation par électrophorèse. L'instabilité a été caractérisée en géométrie circulaire (impossible dans le cadre du modèle du câble) avec un modèle électro-diffusif original. Au delà de l'analyse non linéaire autour du seuil, nous avons déterminé analytiquement et numériquement plusieurs instabilités secondaires et notamment, une instabilité de brisure de parité et une oscillation globale de la densité de canaux ioniques. Dans le cas sous-critique, l'instabilité de dérive peut permettre le transfert d'informations le long d'une structure cellulaire. D'autre part, cette étude explique la labilité observée des courants ioniques dans le Fucus, un modèle biologique du développement chez les plantes [5,6].

Abstract. Most cells, organs and organisms display some kind of symmetry which defines the developmental axis and morphological patterns. Symmetry is generally acquired at an early stage of development. Here, we will be mainly concerned with the emergence of symmetry at the very beginning of plant development, just after fertilization. Eggs of fucoid brown algae like Fucus are released in the seawater as single cells. Unfertilized eggs have no cell wall, a spherical shape and their cytological components are evenly distributed. The first event of polarity is the emergence of a dipolar circulation of calcium and potassium ions through the cell. Its axis is labile during the first hours.

To explain such a symmetry-breaking, Larter and Ortoleva [1,2,3] proposed a mechanism of self-electro-aggregation of channels. This instability has been characterized in a circular geometry using an electro-diffusive model. Beyond the weak non linear analysis, we determine analytically and numerically four secondary instabilities and notably, a parity-breaking instability and a global oscillation of ionic channel density [4]. In the subcritical case, the drift instability can be used to transfer some informations along cells. In another hand, these results can explain the lability of the dipolar transcellular ionic currents in the Fucus [5,6].

Références

1. R. LARTER AND P. ORTOLEVA, A study of instability to electrical symmetry breaking in unicellular systems, *J. Theor. Biol.*, **96**, 175-200 (1982).
2. L. JAFFE, Electrophoresis along cell membranes, *Nature* **265**, 600-602 (1977).
3. P. FROMHERZ AND W. ZIMMERMANN, Stable spatially periodic patterns of ion channels in biomembranes, *Phys. Rev. E* **51**, R1659-R1662 (1995).
4. M. LEONETTI, J. NUEBLER AND F. HOMBLE, Parity-Breaking instability and global oscillation in patterns of ion channels, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 218101 (2006).
5. F. HOMBLE AND M. LEONETTI, Origin of symmetry breaking in fucoid zygotes, *soumis à Trends in Plant Sciences* (2007).
6. WEDLICH-SOLDNER, R. AND LI, R., Spontaneous cell polarization : undermining determinism, *Nature Cell Biol.* **5**, 267-270 (2003).

Dynamique non linéaire du modèle neuronal de Hindmarsh-Rose et synchronisation

Nathalie Corson¹ & M.A. Aziz-Alaoui²

¹ nathalie.corson@univ-lehavre.fr

² aziz.alaoui@univ-lehavre.fr

LMAH, Université du Havre, BP 540, 76058 Le Havre Cedex

Le modèle de Hodgkin-Huxley (HH), Eq.(1), formé de quatre Equations Différentielles Ordinaire (E.D.O.), modélise la dépendance voltaïque justifiant l'activation et l'inactivation des canaux ioniques présents dans la membrane des neurones.

$$\left\{ \begin{array}{l} -C \frac{dV}{dt} = m^3 h g_{\bar{N}a} (E - E_{Na}) + n^4 \bar{g}_K (E - E_K) + \bar{g}_L (E - E_L) - I \\ \frac{dn}{dt} = \alpha_n (1 - n) - \beta_n n \\ \frac{dm}{dt} = \alpha_m (1 - m) - \beta_m m \\ \frac{dh}{dt} = \alpha_h (1 - h) - \beta_h h \end{array} \right. \quad (1)$$

La simplification de Hindmarsh-Rose, grâce à des observations biologiques conduit à un système de deux E.D.O. auquel Hindmarsh et Rose [1] ont ajouté une troisième équation modélisant le déclenchement et l'arrêt des poussées de potentiels d'action, Eq.(2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = ax^2 - x^3 - y - z \\ \frac{dy}{dt} = (a + \alpha)x^2 - y \\ \frac{dz}{dt} = \mu(bx + c - z) \end{array} \right. \quad (2)$$

Dans ce travail, nous présentons une étude numérique précise de la dynamique chaotique du système de Hindmarsh-Rose en terme d'exposants de Lyapunov, de diagrammes de bifurcations, et de portrait de phases. En outre, l'étude de la synchronisation [2] de deux systèmes de Hindmarsh-Rose couplés est réalisée afin d'approcher les valeurs des paramètres pour lesquels la transmission du flux d'information entre deux neurones est optimale.

Références

1. J.L. Hindmarsh, R.M. Rose, *A model of neuronal bursting using three coupled first order differential equations*, Proc. R. Oc. Lond. B221, 87-102, 1984
2. E.Lange, I.Belykh, M. Hasler, *Synchronization of Bursting Neurons : What matters in the Network Topology*, 6 decembre 2004

Auto-organisation et chaos spatio-temporel pour un modèle proie prédateur avec diffusion

CAMARA B. & AZIZ-ALAOUI M.

¹ babaissa@yahoo.fr

² aziz-alaoui@univ-lehavre.fr

LMAH, 25 rue Philip LEBON 76600 Le Havre

Les dynamiques des espèces, par rapport à leur milieu et leur environnement, sont au cœur d'importants processus biologiques et écologiques. Les systèmes proie-prédateur constituent un exemple classique de modélisation de ces interactions. En plus de quelques caractéristiques qualitatives de base nous étudions dans cet article la dynamique de proies et de prédateurs dans un milieu fermé. Le modèle est un système de deux EDP paraboliques couplées, présentant un terme de Holling-Tanner de type II modifié.

La dynamique locale de ce modèle a été étudiée dans [1] et [5], voir aussi [2], [3] et [4].

Nous nous intéressons à la détermination des types d'organisations du modèle. Il s'agit en fait de répondre aux questions suivantes :

Quelles sont les perturbations qualitative subies par le système quand un des paramètres de contrôle varie ? Y'a-t'il persistance, extinction, chaos spatio-temporel ? Quelles connexions existent entre ces niveaux ?

Références

1. Aziz-Alaoui M.A. and Daher O.M., Boundedness and global stability for a predator-prey model with modified Leslie-gower and Holling-type II schemes, *Applied Math. Lett.* Vol.16(7), pp. 1069-1075, (2003).
2. AZIZ-ALAOUI, M. A., Study of a Leslie-Gower-type tritrophic population model, *Chaos Sol. & Fractals*, Vol. 14 (8), pp. 1275-1293, (2002).
3. Letellier C. and AZIZ-ALAOUI Analysis of the dynamics of a realistic ecological model, *Chaos Sol. & Fractals*, Vol. 13 (1), pp. 95-107, (2002).
4. Andrew Morozov, Sergei Petrovskii and Bai-Lian Li Bifurcations and chaos in a prey predator system with the Allee effect, *The Royal Society Lond. B* (2004) 271
5. Nindjin A.F. , Aziz-Alaoui M.A. and M. Cadivel Analysis of a Predator-Prey Model with Modified Leslie-Gower and Holling-Type II Schemes with Time Delay, *NonLinear Analysis Real World Applications*, 7 (5), pp. 1104-1118 (2006).

Extraction des zones d'intérêt d'une image à l'aide d'un réseau cellulaire non linéaire

B. Nofiele , S. Morfu & P. Marquié

Laboratoire LE2I UMR 5158, Aile des sciences de l'ingénieur BP 47870 , 21078 Dijon Cedex
brice.nofiele@u-bourgogne.fr, smorfu@u-bourgogne.fr & marquie@u-bourgogne.fr

Au cours des dix dernières années, de puissants outils de traitement d'images basés sur les réseaux cellulaires non linéaires ou *CNNs* (Cellular Nonlinear Networks) ont été développés [1,2]. L'efficacité des *CNNs* à résoudre des problèmes d'une grande complexité algorithmique provient de leur architecture parallèle. Ainsi, la recherche du plus court chemin dans un labyrinthe [3], l'extraction du squelette d'une image [4], la restauration des composantes individuelles d'une image [5], sont quelques exemples remarquables d'applications des *CNNs* à des problèmes complexes. Par ailleurs, dans de nombreux problèmes de reconnaissance de formes, des opérations simples de traitement d'images peuvent être réalisées avec les *CNNs*, comme la détection de contours [6], le filtrage du bruit [7] ou encore le réhaussement de contraste [8,9], ...

Nous proposons un *CNN* régi par des équations de réaction-diffusion qui ne nécessitant pas le réglage du temps de traitement. Nous montrons que l'utilisation d'une non linéarité appropriée permet d'extraire les zones d'intérêt d'une image bruitée et faiblement contrastée. Nous construisons ainsi un système multistable dont le nombre d'états stables est adaptable en fonction de l'image à traiter.

Pour tester notre *CNN*, nous utilisons une image fournie par le laboratoire LCND du CEA de Valduc. Cette image est obtenue après numérisation d'une radiographie représentant la soudure de deux barreaux métalliques, ce qui permet de caractériser les défauts survenus lors de la soudure. Ces défauts constituent les zones d'intérêts de l'image qu'il s'agit d'extraire avec notre *CNN*.

Une approche pour l'implémentation électronique du réseau multistable est ensuite proposée. En particulier, nous détaillons la réalisation électronique de la cellule élémentaire du réseau à partir de composants discrets. Nous montrons que le comportement théorique de la cellule élémentaire est vérifié expérimentalement, ce qui pourrait permettre une intégration électronique voir microélectronique de l'ensemble du réseau pour des applications de traitement d'images en temps réel.

Références

1. L.O. Chua, *A Paradigm for Complexity*, (World Scientifique), Singapore (1998).
2. P. Julián, R. Dogaru, L. Chua *IEEE Transaction on circuits and systems-I*, **49** (2002) 904-913.
3. N.G. Rambidi and D. Yakovenchuk *Phys. Rev. E*, **63** (2001) 026607.
4. A. Adamatzky, B. de Lacy Costello, N. M. Ratcliffe, *Phys. Lett. A*, **297** (2002) 344-352.
5. N.G. Rambidi, K.E. Shamayaev, G. YU Peshkov, *Phys. Lett. A*, **298** (2002) 375-382.
6. J.C. Comte, P. Marquié and J.M. Bilbault, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, **11** (2001) 179-183.
7. J.C. Comte, P. Marquié, J.M. Bilbault and S. Binczak *Ann. Télécommun*, **53** (1998) 483-487.
8. S. Morfu, J.C. Comte *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, **14** (2004) 1385-1394.
9. S. Morfu *Phys. Lett. A*, **343** (2005) 281-292.

Variété Invariante Intégrale de Systèmes Dynamiques

Ginoux Jean-Marc¹ & Rossetto Bruno²

¹ PROTEE Laboratory, I.U.T. of Toulon, University of South,
B.P. 20132, 83957, La Garde Cedex, France

² PROTEE Laboratory, I.U.T. of Toulon, University of South,
B.P. 20132, 83957, La Garde Cedex, France

ginoux@univ-tln.fr

Résumé. Le but de cet article est de présenter une nouvelle méthode de détermination d'intégrales de systèmes dynamiques autonomes de dimension deux ou trois. Considérant les courbes trajectoires solutions de ces systèmes comme des courbes planes ou gauches des propriétés de la Géométrie Différentielle telles que la courbure (resp. la torsion) ont permis de leur associer une variété. Définie comme le lieu des points où la courbure (resp. torsion) locale des courbes trajectoires s'annule, les conditions pour lesquelles cette variété est invariante sont établies en utilisant la théorie des courbes invariantes (resp. surfaces invariantes) introduite par Gaston Darboux et Henri Poincaré. Alors, à partir des travaux de M. J. Prolle et M. F. Singer, D. Schlomiuk, J. Llibre, H. Giacomini, C. Christopher et A. Goriely pour n'en citer que quelques-uns, une classification des différents cas pour lesquels ces systèmes dynamiques autonomes de dimension deux ou trois admettent une variété invariante comme intégrale première est fournie. Différents exemples d'applications permettent d'illustrer cette nouvelle approche.

Références

1. C. Christopher and J. Llibre, Ann. Differential Equations, 16(1), 5-19 (2000).
2. E.A. Coddington, N. Levinson, Theory of Ordinary Differential Equations, Mac Graw Hill, New York, 429 pages (1955).
3. G. Darboux, Bull. Sci. Math. Sér. 2(2), 60-96, 123-143, 151-200 (1878).
4. J.M. Ginoux, B. Rossetto, Int. J. Bifurcation and Chaos 4 Vol. 16 887-910 (2006).
5. A. Goriely, Integrability and Nonintegrability of ordinary differential equations, Advanced Series on Nonlinear Dynamics, Vol 19 World Scientific, 436 pages (2001).
6. J. Llibre, Integrability of polynomial differential systems, Handbook of Differential Equations (Ordinary Differential Equations Volume I), pp. 437-532. Elsevier, Northholland (2003).
7. M. Prolle and M. Singer, Trans. Amer. Math. Soc. 279, 215-229 (1983).
8. H. Poincaré, Rend. Circ. Mat. Palermo, 1, 169-191 (1891).
9. H. Poincaré, Rend. Circ. Mat. Palermo, 11, 193-239 (1897).
10. D. Schlomiuk, Bifurcations and periodic orbits of Vector Fields, Kluwer Academic Publishers, NATO Advanced Study Institute Series, Series C : Mathematical and Physical Sciences, Vol. 408, 472 pages (1993).

Une approche par séparation des contraintes de l'équation de van der Pol non autonome

R. Tauleigne & J.-P. Benoiton

ECS - EA 3649 - ENSEA, 6 avenue du Ponceau, 95014 CERGY-PONTOISE
tauleign@ensea.fr

Les difficultés rencontrées pour obtenir les solutions des équations différentielles non linéaires sont immenses. Les simulations numériques nous exposent ces solutions, mais les expliquent si peu. Après tant d'efforts à percer les mystères de ces solutions il nous a semblé être comme des médecins médiévaux devant les mystères du corps humain, alors inviolable. Or, ils ont finalement entrepris de le disséquer organe par organe. De manière analogue, nous avons entrepris de séparer les différentes contraintes qui se superposent dans une équation différentielle non linéaire, géométrie, énergie,... Nous avons débutés par l'équation de Van Der Pol non autonome, en vue d'expliciter les mécanismes de synchronisation sous harmoniques. Dans cet article nous aborderons essentiellement la contrainte géométrique.

Une modélisation de cette contrainte est proposée. Elle permet de définir, dans l'espace des phases, des singularités liées à la congruence des pulsations. Nous établissons les conditions d'existence de ces singularités de congruence, et nous analysons leur propriétés dans l'espace d'évolution. Dans cette espace, analogue à un espace des paramètres, les singularités de congruence se déploient sous forme de cônes.

La corrélation entre ces résultats géométriques et le comportement d'un montage expérimental montre l'importance décisive de ces cônes de déploiement dans la déstabilisation des solutions périodiques. Ils expliquent, pour partie, l'ordre de succession des bifurcations de fréquence. Enfin, cette séparation de la contrainte géométrique explicite de manière simple l'influence de la phase dans la stabilité des solutions périodiques, ceci avec un grand réalisme par rapport à l'expérimentation.

Caractérisation expérimentale de la compétition non-linéaire de modes de Kelvin-Helmholtz dans un écoulement en cavité

R. Pethieu, L.R. Pastur, F. Lusseyran, & Th.M. Faure

LIMSI-CNRS BP 133
Bât 508 - Université Paris Sud
91403 Orsay Cedex
luc.pastur@limsi.fr

Un phénomène non-linéaire de compétition de modes d'oscillation de la couche de cisaillement d'un écoulement affleurant une cavité est observé sur une large gamme de vitesses amont. À partir de mesures LDV sur l'écoulement en aval de la cavité, nous montrons que ce phénomène résulte essentiellement d'un échange de stabilité non-linéaire entre les deux modes principaux, et caractérisons les taux de présence de chacun des modes. En discriminant les événements associés à chaque mode d'oscillation, nous déterminons, à partir de champs de vitesse sous-échantillonnés obtenus par PIV, les structures cohérentes spatiales associées à chacun de ces deux modes.

Quand le mélange chaotique se heurte à un mur

Emmanuelle Gouillart^{1,3}, Olivier Dauchot¹, Bérengère Dubrulle¹, Stéphane Roux² & Jean-Luc Thiffeault³

¹ Service de Physique de l'Etat Condensé, DSM, CEA Saclay, CNRS URA 2464, 91191 Gif-sur-Yvette, France

² LMT-Cachan, ENS de Cachan, CNRS-UMR 8535, Université Paris 6, 61 avenue du Président Wilson, F-94235 Cachan Cedex, France

³ Department of Mathematics, Imperial College London, SW7 2AZ, United Kingdom
emmanuelle.gouillart@normalesup.org

La compréhension des mécanismes régissant le mélange de fluides visqueux est cruciale dans des domaines aussi variés que la géophysique, l'industrie agro-alimentaire ou encore le génie des procédés. Si les écoulements turbulents assurent un mélange très efficace, certains écoulements laminaires pour lesquels les trajectoires lagrangiennes sont chaotiques accélèrent également l'homogénéisation [1] – on parle alors d'*advection chaotique* ou de *mélange chaotique*. La cinématique de ces écoulements a donc été abondamment étudiée dans le cadre des systèmes dynamiques [2]. La prédiction quantitative de la dynamique de l'homogénéisation nécessite cependant de prendre en compte le couplage entre l'advection chaotique et la diffusion moléculaire : plusieurs études expérimentales [4,3] et numériques [5] ont obtenu une décroissance exponentielle pour la variance d'un champ scalaire dans un mélangeur chaotique.

Nous présentons les résultats d'expériences de mélange chaotique réalisées dans un réservoir fermé où une tige mélange un fluide visqueux [6]. Nous analysons de façon quantitative comment le champ de concentration d'un colorant peu diffusif relaxe vers l'homogénéité, et nous observons une décroissance algébrique "lente" de l'inhomogénéité, contrairement à la décroissance exponentielle prévue par la plupart des études antérieures. L'observation des phénomènes de transport dans notre mélangeur montre le rôle dominant du non-glissement aux parois dans ce comportement inattendu : les parois se comportent en effet comme un "réservoir" de fluide non mélangé et ralentissent le mélange chaotique. A la lumière de ces observations, nous introduisons un modèle 1-D simplifié dont la simulation numérique reproduit quantitativement nos résultats expérimentaux. L'analyse du motif spatial de mélange conduit à des lois d'échelle pour les distributions et la variance du champ de concentration en accord avec nos résultats expérimentaux et numériques.

Références

1. H. Aref, "Stirring by chaotic advection," J. Fluid Mech. **143**, 1 (1984).
2. J. M. Ottino, *The Kinematics of Mixing : Stretching, Chaos, and Transport* (Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1989).
3. M.-C. Jullien, P. Castiglione and P. Tabeling, "Experimental Observation of Batchelor Dispersion of Passive Tracers", Phys. Rev. Lett. **85**, 3636 (2000).
4. D. Rothstein, E. Henry and J. P. Gollub, "Persistent patterns in transient chaotic mixing", Nature (London) **401**, 770 (1999).
5. D. R. Fereday and P. H. Haynes, "Scalar decay in two-dimensional chaotic advection and Batchelor-regime turbulence," Phys. Fluids **16**, 4359 (2004).
6. E. Gouillart, N. Kuncio, O. Dauchot, B. Dubrulle, S. Roux and J.-L. Thiffeault, "Walls, an intrinsic limit to chaotic mixing," `cond-mat/0612557`.

Étude théorique d'ondes de Rossby thermiques non linéaires en géométrie sphérique : influence du mode de chauffage

Lebranchu Yannick¹, Plaut Emmanuel¹, Simitev Radostin², & Busse Friedrich³

¹ LEMTA, INPL-UHP-CNRS, 2, avenue de la forêt de Haye, 54 516 Vandœuvre-lès-Nancy cédex

² Department of Mathematics, University of Glasgow, Glasgow G12 8QW, Royaume Uni

³ Institute of Physics, University of Bayreuth, 95 440 Bayreuth, Allemagne

yannick.lebranchu@ensem.inpl-nancy.fr

Les ondes de Rossby thermiques constituent un exemple intéressant d'ondes apparaissant par instabilités thermoconvectives dans un noyau planétaire liquide, entre la graine centrale solide et chaude et le manteau externe solide et relativement froid. Des écoulements similaires à ceux engendrés par ces ondes ont des conséquences importantes, comme la génération du champ magnétique terrestre par effets magnétohydrodynamiques dans le cas du noyau terrestre. Des modes moyens de vitesse ou « écoulements zonaux » résultant d'effets non linéaires y introduisent une rotation différentielle qui jouerait un rôle important dans la dynamo par effet Ω . En l'absence d'effets magnétohydrodynamiques, malgré de nombreuses approximations, telles que l'usage de diffusivités turbulentes, les approximations de Boussinesq, etc..., les modèles 3D complets [1] ne permettent, du fait de leur lourdeur, qu'une exploration lente et partielle de l'espace des paramètres. La contrainte de Proudman-Taylor implique que l'écoulement près du seuil de convection doit être essentiellement 2D. [2] a ainsi proposé de développer des modèles quasi géostrophiques 2D reposant sur une intégration par rapport à la coordonnée axiale. Ils furent posés dans une géométrie si simplifiée que tous les modes de chauffage se confondaient. Une géométrie sphérique avec ses différents modes de chauffage fut considérée plus récemment [3,4,5]. Le chauffage interne résulte de la désintégration d'éléments radioactifs dans le noyau, et le chauffage externe de l'absence de tels éléments. Un modèle mixte serait pertinent pour le noyau terrestre [6]. [3] n'a considéré que le chauffage interne en incluant plus tard les effets de pompage d'Ekman, alors que [4] et [5] considèrent juste le mode de chauffage externe. Nous présenterons deux modèles quasi géostrophiques, en chauffage interne et externe, ainsi qu'une comparaison systématique à de nouveaux résultats 3D du code de thermoconvection de [1]. En régime non linéaire, les ondes créent des modes moyens de vitesse et de température qui jouent un rôle important pour la saturation/l'antisaturation des ondes. Un calcul faiblement non linéaire systématique nous donne les paramètres non linéaires de la bifurcation pour une large gamme de valeurs des paramètres de contrôle. La rétroaction de l'écoulement zonal rend la bifurcation sous-critique à bas Ekman en chauffage interne et à bas Ekman et Prandtl en chauffage externe. Ceci contredit l'interprétation suggérée par [5] liant la sous-criticité à l'existence d'un désaccord entre les Rayleigh critiques prédits par les théories asymptotiques locale et globale, car ce désaccord n'existe pas en chauffage externe. C'est une contribution thermique au coefficient de saturation qui élargit le domaine sous-critique en chauffage interne.

Références

1. R. SIMITEV & F. H. BUSSE, Patterns of convection in rotating spherical shells, *New J. Phys.*, **5**, 1 (2003).
2. F. H. BUSSE, Thermal instabilities in rapidly rotating systems, *J. Fluid Mech.*, **44**, 441 (1970).
3. V. MORIN & E. DORMY, Time dependent β -convection in rapidly rotating spherical shells, *Phys. Fluids*, **16**, 1603 (2004) ; Dissipation mechanisms for convection in rapidly rotating spheres and the formation of banded structures, *Phys. Fluids*, **18**, 68014 (2006).
4. J. AUBERT, N. GILLET & P. CARDIN, Quasi-geostrophic models of convection in rotating spherical shells, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **4**, (2003).
5. N. GILLET & C. A. JONES, The quasi-geostrophic model for rapidly rotating spherical convection outside the tangent cylinder, *J. Fluid Mech.*, **554**, 343 (2006).
6. K. M. LEE, G. STEINLE-NEUMANN & R. JEANLOZ, Ab-initio high-pressure alloying of iron and potassium : implications for the Earth's core, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, 11603 (2004).

Influence d'un fort gradient de température dans le système de Couette-Taylor

V. Lepiller¹, R. Guillermin, A. Prigent, & I. Mutabazi

LMPG, Université du Havre, 53 rue de Prony, BP 540, 76058 Le Havre cedex

¹valerie.lepillier@univ-lehavre.fr

Cette étude expérimentale porte sur le couplage des instabilités hydrodynamiques et thermiques dans un système de Couette–Taylor soumis à un fort gradient de température. Un liquide est confiné entre deux cylindres coaxiaux verticaux maintenus à des températures différentes. Le rapport d'aspect est de 114 et le rapport des rayons est de 0,8. Les paramètres de contrôle physiques sont le nombre de Grashof lié à l'écart de température et le nombre de Reynolds lié à la vitesse de rotation du cylindre intérieur. Le nombre de Grashof est fixé et le nombre de Reynolds est augmenté progressivement. Pour de faibles nombres de Reynolds, l'écoulement de base comprend deux composantes de vitesse axiale et azimutale. A partir d'une valeur critique du nombre de Reynolds, cet écoulement de base se déstabilise et un écoulement spiralé apparaît dans le système [1,2]. Pour $Gr < 1165$, le motif est présent dans la partie inférieure du système et sa taille augmente avec le nombre de Reynolds. Pour $Gr > 1165$, le motif spiralé apparaît au centre et remplit la quasi totalité du système. Dès le seuil, le motif possède une modulation basse fréquence de son amplitude. Nous avons caractérisé cette modulation pour différentes valeurs des paramètres de contrôle et étudié quels mécanismes pouvaient être à son origine dans le contexte des instabilités convectives [3].

Références

1. H.A. SNYDER AND S.K.F. KARLSSON, Experiments on the stability of Couette motion with a radial temperature gradient, *Phys. Fluids*, **7**,1696-1706 (1964).
2. M.M. SOROUR AND J.E.R. CONEY, The effect of temperature gradient on the stability of flow between vertical concentric, rotating cylinders, *Journal Mechanical Engineering Science*, **21**, 403-409 (1979).
3. K.L. BABCOCK, G. AHLERS AND D.S. CANNELL, Noise-sustained structure in Taylor–Couette flow with through flow, *Phys. Rev. Lett.*, **67**, 3392–3395 (1991).

Cohérence des branchements dendritiques en solidification directionnelle

A.Pocheau, S.Bodea, & M.Georgelin

IRPHE, CNRS & Universités Aix-Marseille I & II, 49 rue Joliot-Curie, B.P. 146, Technopôle de Château-Gombert, F-13384 Marseille, Cedex 13, France
`alain.pocheau@irphe.univ-mrs.fr`

En pratique, la solidification d'un alliage liquide s'opère par croissance de microstructures arborescentes, les dendrites, dont les propriétés spatio-temporelles conditionnent celles du matériau résultant. Ces dendrites correspondent à l'émission répétée de branches latérales depuis la pointe d'un doigt en croissance. Une question essentielle concerne la régularité de ce mode de croissance : y a-t-il un ordre dans les dendrites ? Nous montrons ici expérimentalement que les émissions dendritiques sont étonnamment cohérentes en solidification directionnelle. En particulier, près du seuil dendritique, les émissions se groupent par paquets à l'intérieur desquels les branchements présentent une forte cohérence, largement inattendue. En revanche, comme dans la lumière naturelle, les paquets sont décorrélés en durée et en origine de phase. Il apparaît ainsi deux échelles de temps dans ce système : une échelle longue et bruitée d'émission en paquets ; une échelle courte et cohérente d'émission de branchements. L'origine et le mécanisme des émissions en paquets et de la cohérence des branchements restent à élucider.

Références

M.Georgelin, S.Bodea et A.Pocheau, *Coherence of dendritic sidebranching in directional solidification*, à paraître dans *Europhysics Letters* (2007).

Effet tunnel quantique pour des solitons optiques

Yves Pomeau¹ & Martine Le Berre²

¹ Laboratoire de Physique Statistique de l'Ecole normale supérieure,
24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.

² Laboratoire de Photophysique Moléculaire, Bat.210, 91405 Orsay, France.

`Martine.le-berre@ppm.u-psud.fr`

En considérant le soliton comme une particule quantique, nous montrons qu'il est possible de prévoir un effet tunnel entre deux fibres, phénomène interdit classiquement dans la limite des faibles couplages. Le soliton est vu comme un état lié de N photons, son énergie et son action sont égales au premier ordre à $N\hbar\omega_0$ et $N\hbar$ respectivement, mais il existe au second ordre une contribution en N^2 reflétant l'attraction mutuelle des photons due à l'auto-focalisation par effet Kerr nonlinéaire. Nous évitons la quantification explicite en nous plaçant dans la limite WKB où la probabilité de tunneling est donnée par $P_{tunn} = \exp(-2S/\hbar)$ où S est l'action quantique associée au phénomène de basculement de l'énergie du soliton d'une fibre dans l'autre. Nous ne quantifions pas les deux NLS couplées modélisant la propagation dans les fibres, mais un système de 4 ODE dérivées par Malomed et al. [1] grâce à des fonctions d'essai, et via une formulation variationnelle du problème. Ces ODE reproduisent bien le schéma des bifurcations du model NLS, et forment un système Hamiltonien à deux degrés de liberté, où les variables amplitudes et durée du pulse sont conjuguées de la phase, et de sa dérive, respectivement. Nous montrons que l'action associée au passage de l'énergie du soliton d'une fibre dans l'autre varie en $2\ln(k/k_c)$ [2], où k est le coefficient de couplage entre les deux fibres, et k_c sa valeur au seuil. Nous discutons des possibilités d'observation de cet effet tunnel quantique, et de la possibilité d'aboutir à un état cohérent du soliton dans l'une ou l'autre fibre.

Références

1. B. A. Malomed, I. M. Skinner, P. L. Chu, and G. D. Peng, , Phys. Rev. **E 53**, 4084 (1996); I. M. Uzunov, R. Mushall, M. Golles, Yu. S. Kivshar, B. A. Malomed, and F. Lederer, Phys. Rev. **E 51**, 2527 (1995).
2. Y. Pomeau and M. Le Berre en cours.

DES GOUTTES QUI MARCHENT SUR L'HUILE, UNE FORME DE DUALITÉ ONDE-CORPUSCULE MACROSCOPIQUE ?

Yves COUDER

Laboratoire de Physique Statistique de l'École normale supérieure, 24 rue Lhomond 75005 Paris

Il est possible, sur un substrat liquide oscillant, de faire rebondir une goutte du même liquide pendant un temps pratiquement illimité. Le rebondissement de cette goutte génère des ondes de surface. Lorsqu'on approche du seuil de l'instabilité de Faraday, ces ondes ne sont que faiblement amorties. Dans ce régime la goutte et l'onde qu'elle émet deviennent spontanément propagatives et forment ce que nous appelons un "marcheur" [1,2]. Il s'agit d'un objet symbiotique entre particule et onde : si la goutte disparaît l'onde s'évanouit ; à l'inverse, si l'onde est amortie la goutte s'arrête.

Nous discuterons les propriétés de ces marcheurs et nous montrerons que les interactions qu'ils ont entre eux et avec le monde extérieur sont médiées par leurs ondes. En particulier, lorsqu'un marcheur passe à travers une fente qui réduit l'extension transverse de son onde, il est dévié de façon qui apparaît aléatoire, mais telle qu'une figure de diffraction est recouverte dans l'histogramme de nombreux événements successifs. De même, à travers deux fentes d'Young une figure d'interférence apparaît dans la superposition des déviations individuelles [3]. On discutera ces résultats.

Références

1. Y. Couder, S. Protière, E. Fort, A. Boudaoud Dynamical phenomena : walking and orbiting droplets. *Nature* **437** (7056) :208. 2005
2. S. Protière, A. Boudaoud, and Y. Couder, "Particle-wave association on a fluid interface," *J. Fluid Mech.* **554**, 85 (2006)
3. Y. Couder & E. Fort, Single-Particle Diffraction and Interference at a Macroscopic Scale, *Phys. Rev. Lett.* **97**, 154101, (2006)

TRANSPORT...

Cédric VILLANI

Unité de Mathématiques Pures et Appliquées, ENS Lyon

Les phénomènes de transport sont universels en physique mais aussi en mathématiques. Dans cet exposé j'évoquerai les équations de transport de particules, tout particulièrement l'équation de Boltzmann, qui donnent lieu à des problèmes mathématiques ouverts passionnants ; je parlerai aussi de transport optimal de mesure, domaine qui a connu un renouveau spectaculaire ces dernières années, en connection avec les équations aux dérivées partielles mais aussi la géométrie. On passera allègrement des mathématiques « appliquées » aux mathématiques « pures », en gardant pour dénominateur commun la notion de transport et aussi quelques autres, telles que l'entropie de Boltzmann.

Reformulation énergétique-géométrique du tenseur de Reynolds associé à une onde tridimensionnelle et applications

Roland Nicolas, Plaut Emmanuel, & Nouar Chérif

LEMETA, CNRS-INPL-UHP, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54516 Vandoeuvre-lès-Nancy cedex
Nicolas.Roland@ensem.inpl-nancy.fr

En modélisation de la turbulence et en théorie des instabilités hydrodynamiques, on sépare souvent l'écoulement moyen \mathbf{V} de l'écoulement fluctuant \mathbf{v} . Le tenseur de Reynolds

$$\underline{\underline{\tau}} = -\langle \mathbf{v} \otimes \mathbf{v} \rangle ,$$

où les crochets désignent une prise de moyenne adéquate, exprime la rétroaction de l'écoulement fluctuant sur l'écoulement moyen [1]. Il intervient aussi dans l'équation de l'énergie des perturbations, via une contraction avec le tenseur gradient de \mathbf{V} , d'où son importance en théorie des instabilités. Dans ce dernier cas, on pourrait espérer avoir une compréhension plus fine de la structure du tenseur de Reynolds, sachant que la partie fluctuante du champ de vitesse prend, au voisinage du seuil d'une instabilité, une forme simple, par exemple celle d'une onde pure. Malgré cela, la structure du tenseur de Reynolds, ou du moins de ses composantes non diagonales - les composantes diagonales pouvant être assimilées à des énergies cinétiques partielles -, reste assez mystérieuse. D'ailleurs, on se contente souvent d'estimations « moyennes » assez grossières ou d'un calcul purement numérique de ce tenseur.

L'objet de ce travail est de proposer une reformulation énergétique-géométrique du tenseur de Reynolds créé par une onde pure tridimensionnelle, en généralisant la reformulation proposée par [2,3] dans le cas bidimensionnel. Cette reformulation sera illustrée par l'étude des ondes fortement non linéaires apparaissant en écoulements en conduite cylindrique découvertes récemment [4,5], et qui joueraient un rôle très important dans la transition vers la turbulence [6]. Cette reformulation permet de mieux comprendre le « procédé d'auto-entretien » de ces ondes non linéaires, proposé par [7] dans une géométrie plane plus simple, et repris par [5] en géométrie cylindrique. Plus précisément, l'instabilité inflexionnelle des jets attachés à l'onde et la rétroaction de l'onde sur les vortex associés sont deux étapes du « procédé d'auto-entretien » qui se trouvent clarifiées. Cette reformulation repose sur une « nouvelle » description de la géométrie des écoulements associés aux ondes, grâce à deux familles de « surfaces séparatrices ». Elle pourrait s'avérer utile dans d'autres contextes où des ondes non linéaires jouent un rôle important, par exemple en fluides non newtoniens.

Références

1. O. REYNOLDS, On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* **186**, 123-164 (1895).
2. E. PLAUT, Sur la création de modes de vitesse ou de pression moyens par des ondes : une expression physique générale de la contrainte de Reynolds, *Communication* **1316** au *17^{ème} CFM* (2005).
3. E. PLAUT, Y. LEBRANCHU, R. SIMITEV & F. H. BUSSE, On the Reynolds stresses and mean fields generated by pure waves - Applications to shear flows and rotating convection, *Soumis au J. Fluid Mech.* (2007).
4. H. FAISST & B. ECKHARDT, Traveling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 224502, 1-4 (2003).
5. H. WEDIN & R. R. KERSWELL, Exact coherent structures in pipe flow : travelling wave solutions, *J. Fluid Mech.* **508**, 333-371 (2004).
6. F. H. BUSSE, Visualizing the dynamics of the onset of turbulence, *Science* **305**, 1574-1575 (2004).
7. F. WALEFFE, On a self-sustaining process in shear flows, *Phys. of Fluids* **9**, 883-900 (1997).

Écoulement turbulent dans un cylindre : haut nombre de Reynolds et fluctuations à basse fréquence

Michaël Berhanu¹, Nicolas Mordant¹, & Stephan Fauve¹

Laboratoire de Physique statistique de l'Ecole Normale Supérieure, CNRS UMR 8550, 24 Rue Lhomond, 75231 PARIS Cedex 05, France
mberhanu@lps.ens.fr

Dans le but d'étudier la turbulence magnétohydrodynamique dans les métaux liquides, nous menons une nouvelle expérience avec du gallium fondu, visant à observer la réponse du champ magnétique, excité par le champ de vitesse, par les phénomènes d'induction électromagnétiques. La première étape de ce travail consiste à caractériser l'écoulement du dispositif expérimental en utilisant de l'eau comme fluide, dans une géométrie originale : dans un cylindre on utilise quatre hélices décentrées par rapport à l'axe du cylindre produisant chacune des vortex instationnaires en compétition. Ce dispositif en produisant un écoulement non axisymétrique apporte une évolution importante par rapport aux écoulements fermés dits de Von-Karman, étudié entre autre par l'équipe GIT du CEA Saclay [1] [2] et pour lesquels plusieurs expériences de magnétohydrodynamique turbulente ont été effectuées [3] [4]. Par des mesures de pression en paroi, de vélocimétrie doppler ultrasonore, de vélocimétrie doppler laser et d'anémométrie à fil chaud, on observe un écoulement pleinement turbulent, présentant un fort taux de fluctuations. On peut définir sur le temps de mesure un écoulement moyen, d'un point de vue statistique, mais qui n'est pas représentatif de l'écoulement à un instant donné. Le fort taux de fluctuations turbulentes induit alors dans le spectre de puissance de vitesse beaucoup d'énergie à basse fréquence. En effet on observe pour un forçage stationnaire une cascade inertielle commençant typiquement à un dixième de la fréquence d'injection, pour un nombre de Reynolds de 10^5 . Ainsi on retrouve le comportement de la turbulence homogène isotrope de type Kolmogorov à des échelles de temps et d'espace plus grandes, devant permettre d'obtenir plus facilement les propriétés d'induction magnétique par la turbulence. En raison du phénomène de diffusion du champ magnétique, les fluctuations à petite échelle du champ de vitesse ont peu d'effet d'induction. D'autre part les écoulements ici caractérisés sont aussi intéressants du point de vue de la mécanique des fluides classique et pourraient apporter des éléments de réponse aux questions suivantes : Quel est le rôle des structures cohérentes tourbillonnaires sur la dynamique de la turbulence ? Peut on parler d'une correspondance entre les fluctuations spatiales et temporelles en l'absence d'écoulement moyen ? Comment définir la notion d'échelle intégrale pour de tels écoulements fermés ?

Références

1. L. MARIÉ, Transport de moment cinétique et de champ magnétique par un écoulement tourbillonnaire turbulent : influence de la rotation magnetic field by a turbulent flow of liquid sodium *Thèse de doctorat*, (1) (2003).
2. F. RAVELET, Bifurcations globales et magnétohydrodynamiques dans un écoulement de von Karman turbulent. *Thèse de doctorat*, (2005).
3. P. ODIER, J.-F. PINTON AND S. FAUVE, Advection of a magnetic field by a turbulent swirling flow, *Physical Review E*, **58** (6), 7397-7400 (1998).
4. R. VOLK, F. RAVELET, R. MONCHAUX, M. BERHANU, A. CHIFFAUDEL, F. DAVIAUD, PH. ODIER, J.-F. PINTON, S. FAUVE, N. MORDANT, AND F. PÉTRÉLIS, Transport of magnetic field by a turbulent flow of liquid sodium *Physical Review Letter*, **97** (7), 74501-74505 (2006).

Modélisation numérique de l'expérience Von Kármán Sodium

R. Laguerre^{1,2}, A. Ribeiro^{1,2}, C. Nore^{1,2}, J. Léorat³, & J.-L. Guermond⁴

¹ LIMSI-CNRS, BP133, 91403 Orsay Cedex, France

² Université Paris XI, département de physique, 91405 Orsay cedex, France

³ LUTH, Observatoire de Paris-Meudon, 92195 Meudon, France

⁴ Department of Mathematics, Texas A&M University, 3368 Tamu, College Station, TX 77843-3368, USA

laguerre@limsi.fr

L'effet dynamo est l'instabilité d'un champ magnétique en présence d'un écoulement de fluide conducteur, contrôlée par le nombre de Reynolds magnétique (Re_m), qui compare le temps de diffusion magnétique au temps d'advection. Les résultats expérimentaux récents (Riga et Karlsruhe en 2000, VKS en 2006), ainsi que le manque de simulations numériques réalistes de l'effet dynamo dans le cadre expérimental, nous ont mené à développer un code de calcul numérique capable de résoudre les équations de la magnétohydrodynamique (MHD) en 3 dimensions dans des domaines formés de matériaux de conductivités électriques différentes.

Les équations sont écrites en coordonnées cylindriques et les variables du problème sont exprimées sous la forme de séries de Fourier dans la direction azimutale, ce qui nous permet de considérer tous conteneurs axisymétriques (cylindre, sphère, ellipsoïde, tore, ...). Les équations du problème sont résolues dans les plans méridiens à l'aide d'une méthode éléments finis nodaux pour chaque mode de Fourier et la continuité du champ magnétique au niveau des interfaces isolant/conducteur est imposée à l'aide d'une méthode de pénalisation (Interior Penalty Method). Le champ magnétique dans les domaines isolants est exprimé comme le gradient d'un potentiel scalaire et enfin, l'algorithme a été parallélisé à l'aide de l'outil MPI (Message Passing Interface). Cette méthode s'est montrée performante pour la résolution des équations de Maxwell [1] et se trouve en cours de validation pour le système complet des équations de la MHD.

L'expérience VKS est basée sur un écoulement de Von Kármán de sodium liquide, qui a lieu dans un cylindre dont les deux disques (dans l'expérience, deux turbines) tournent en exacte contra-rotation. L'écoulement moyen est constitué de deux cellules toriques tournant en contra-rotation et générant une couche de mélange azimutale dans le plan médian du cylindre.

Nous avons effectué une étude d'optimisation de cette dynamo dans l'approximation de la dynamo cinématique, ce qui signifie que seules les équations de Maxwell ont été résolues, pour un champ de vitesse donné. Une première étude basée sur un écoulement analytique (Marié-Normand-Daviaud) [3] nous a permis de comprendre l'influence de l'ajout de couches conductrices, de conductivités électriques différentes de celle du fluide, sur le seuil de l'instabilité [2]. Nous avons ensuite effectué des simulations numériques en prenant comme champ de vitesse fluide, un champ de vitesse moyen mesuré par LDV dans une réplique en eau de l'expérience VKS. Cela nous a permis d'effectuer des simulations numériques réalistes proches de l'expérience et ainsi d'étudier l'influence des différents éléments du dispositif (turbine en inox, chemise en cuivre, virole en cuivre, ...) sur le seuil de l'instabilité. Les résultats obtenus montrent une sensibilité importante du seuil de l'instabilité à l'écoulement généré derrière les turbines du dispositif, ainsi qu'aux conductivités des différents éléments constitutifs du dispositif. Ces variations importantes des valeurs des seuils se traduisent par des changements de topologie des modes propres magnétiques.

Références

1. J.-L. GUERMOND, R. LAGUERRE, J. LÉORAT ET C. NORE, A Discontinuous Galerkin Method for the MHD equations in heterogeneous domains, *Journal of Computational Physics*, 2006, à paraître
2. R. LAGUERRE AND C. NORE AND J. LÉORAT ET J.-L. GUERMOND, Induction Effects of conductivity jumps in the envelope of a kinematic dynamo flow, *C. R. Mécanique*, **334**, 593-598 (2003).
3. L. MARIÉ AND C. NORMAND ET F. DAVIAUD, Galerkin analysis of kinematic dynamos in the von Kármán geometry, *Phys. Fluid*, **18**, 017102 (2006).

Etude d'une dynamo expérimentale Bullard - Von Kármán

N. Plihon¹, R. Volk¹, M. Bourgoïn², & J.F. Pinton¹

¹ Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, CNRS UMR5672, 46 Allée d'Italie, 69007 Lyon

² Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, CNRS UMR5519, BP53, 38041 Grenoble
nicolas.plihon@ens-lyon.fr

Un dispositif expérimental mettant en œuvre une dynamo fluide a été développée en s'inspirant du montage proposé par Bullard [1]. Le cœur du dispositif est un écoulement de Von Kármán en gallium liquide (produit par la rotation de deux disques aux extrémités d'un cylindre rempli de gallium liquide). Le processus de dynamo est de type 'alpha - omega', pour lequel l'effet 'alpha' est fortement contraint car réalisé par circulation de courant dans des bobines extérieures, et l'effet 'omega' inclut la turbulence de l'écoulement. L'effet d'induction 'omega' est lié à la rotation différentielle axiale qui présente un fort comportement turbulent (le nombre de Reynolds cinétique étant de 10^6) : en présence d'un champ magnétique axial B_z créé par les bobines extérieures, un champ magnétique toroïdal B_θ est créé dans l'écoulement (le rapport B_θ sur B_z étant proportionnel au nombre de Reynolds magnétique qui reste dans la gamme [1-5]). L'effet 'alpha' est obtenu par circulation d'un courant proportionnel à B_θ dans les bobines extérieures. Cette configuration -écoulement homogène, conditions électriques partiellement contraintes - est symétrique des configurations étudiées à Riga [2] et Karlsruhe [3] pour lesquelles les écoulements étaient très contraints avec des conditions électrique homogènes. Des études préliminaires [4] montrent que cette dynamo présente un caractère intermittent, des excursions ainsi que des renversements du champ dipolaire. La bifurcation se développe à travers un régime 'on-off'. Des résultats sur la dynamique de la dynamo Bullard - Von Kármán en fonction de la topologie de l'écoulement, du champ magnétique et en présence de bruit dans la boucle de rétroaction seront présentés.

Références

1. Bullard E C, The stability of a homopolar dynamo, *Proc. Camb. Phil. Soc.* **51** (1955), 744
2. Gailitis A *et al.*, Detection of a flow induced magnetic field eigenmode in the Riga dynamo facility, *Phys. Rev. Lett.* **84** (2001) 4365
3. Stieglitz R and Muller U, Experimental demonstration of a homogeneous two-scale dynamo, *Phys. Fluids* **13** (2001) 561
4. Bourgoïn M *et al.*, An experimental Bullard -Von Kármán dynamo, *New J. Phys.* **8** (2006) 329

Stabilisation de l'intensité d'une onde amplifiée par un faisceau de particules

Bachelard¹, Antoniazzi², Chandre³, Fanelli⁴, Leoncini⁵, & Vittot⁶

¹ Centre de Physique Théorique^{***}, CNRS Luminy, Case 907, F-13288 Marseille Cedex 9, France

² Dipartimento di Energetica and CSDC, Università di Firenze, INFN, via S. Marta, 3, 50139 Firenze, Italy
`bachelard@cpt.univ-mrs.fr`

L'intensité d'une onde électromagnétique en interaction auto-consistante avec un faisceau de particules chargées, comme dans un Laser Electron Libre par exemple, présente des oscillations importantes dues à un agrégat de particules, appelé macro-particule. Dans cet article, nous proposons une stratégie pour stabiliser l'intensité en remodelant la macro-particule. Cette stratégie repose sur une analyse de la stabilité linéaire (à l'aide de la méthode des résidus) d'orbites périodiques spécifiques d'une modélisation champ moyen du système. En modulant les paramètres d'une perturbation externe, des bifurcations apparaissent dans le système, qui provoquent des changements drastiques dans la dynamique auto-consistante, en particulier sur la macro-particule. Nous montrons comment il est possible de déterminer les valeurs optimales des paramètres, jusqu'à obtenir une stabilisation des oscillations de l'intensité de l'onde, tout en conservant sa valeur moyenne.

Références

1. R. Bonifacio, *et al.*, Rivista del Nuovo Cimento **3**, 1 (1990)
2. R. Bachelard, C. Chandre, X. Leoncini, Chaos **16**, 023104 (2006)
3. R. Bachelard, A. Antoniazzi, C. Chandre, D. Fanelli, X. Leoncini, M. Vittot, Eur. J. Phys. D *in press* (2007)

^{***} *Present address* : Unité Mixte de Recherche (UMR 6207) du CNRS, et des universités Aix-Marseille I, Aix-Marseille II et du Sud Toulon-Var. Laboratoire affilié à la FRUMAM (FR 2291). Laboratoire de Recherche Conventionné du CEA (DSM-06-35).

Sur la dépendance des reconstruction par coordonnées décalées au choix de la grandeur physique mesurée

C. Letellier, L. A. Aguirre & R. Gilmore

¹ CORIA UMR 6614 — Université et INSA de Rouen, BP. 12, 76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex

² MACSIN — Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, 31270-901, Brazil

³ Physics Department, Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania 19104, USA

Christophe.Letellier@coria.fr

Il est connu que le théorème de Takens [1] garantit l'obtention d'un plongement à partir d'une série temporelle sous deux conditions :

1. que la dimension soit suffisamment grande (typiquement égale à $2D + 1$ où D est idéalement la dimension de Haussdorff ;
2. que la fonction de mesure soit générique.

Si la première condition est bien connue, la seconde est le plus souvent oubliée. Pourtant, il n'est pas rare que la fonction de mesure, qui consiste généralement à projeter la dynamique sur l'une des variables, ne vérifie pas la condition de généricité. Ainsi, augmenter la dimension de l'espace reconstruit ne suffit pas toujours à obtenir un plongement. Ceci se résulte notamment d'une perte d'observabilité de la dynamique sous-jacente. Une telle perte est liée à la présence d'une singularité au sein du changement de coordonnées entre l'espace des phases original et l'espace des phases reconstruit. Ainsi la sensibilité de certaines techniques (contrôle, synchronisation, modélisation globale) à la qualité de l'observable [2,3] se retrouve sur la reconstruction par les coordonnées décalées. Nous montrons ici que la sensibilité de cette technique de reconstruction du portrait de phases dépend directement de l'observable dans la mesure où plus faible est l'observabilité, plus sensible est la qualité du portrait reconstruit au choix du décalage temporel. Ceci sera illustré sur quelques systèmes de dimensions 3 et 4 à l'aide des nombres d'enlacements calculés entre deux orbites périodiques. De ce point de vue, les nombres d'enlacement pourraient constituer un critère de choix pour le décalage temporel optimal pour une reconstruction [4].

Références

1. F. TAKENS, *Lecture Notes in Mathematics* **898**, 366, 1981.
2. C. LETELLIER, L. A. AGUIRRE & J. MAQUET, Relation between observability and differential embeddings for nonlinear dynamics, *Physical Review E*, **71**, 066213, 2005.
3. C. LETELLIER, L. A. AGUIRRE & J. MAQUET, How the choice of the observable may influence the analysis of non linear dynamical systems, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **11** (5), 555-576, 2006.
4. C. LETELLIER, I. M. MOROZ, & R. GILMORE, A Topological Test for Embeddings, *Physical Review Letters*, soumis.

Modélisation globale de systèmes à forçage périodique

Delphine LEJRI & Jean-Marc MALASOMA

Laboratoire Géomatériaux DGCB-URA CNRS 1652
ENTPE, rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-en-Velin cedex
lejri@entpe.fr

La modélisation phénoménologique de systèmes dynamiques complexes est un sujet de recherche qui suscite beaucoup d'intérêt. Elle a pour but de reconstruire la dynamique d'un système, à partir d'une série chronologique chaotique scalaire, expérimentale ou numérique. Dans un premier temps, cette série est plongée dans un espace, dit de plongement, de dimension D . Ainsi, la dynamique du système peut être caractérisée par D variables, pouvant être obtenues à partir des dérivées successives de la série [1]. En effectuant une projection sur une base de polynômes de degré M , à l'aide de la méthode de Gram-Schmidt Modifiée [2], on obtient un système d'équations différentielles régissant la dynamique de la variable utilisée.

Smirnov et Bezruchkov [3] ont proposé en 2001 une méthode adaptée aux systèmes non autonomes, caractérisés par la présence explicite du temps au sein des équations. L'idée consiste à effectuer une projection sur une base étendue, qui permet d'inclure cette dépendance explicite en temps. Cette méthode a l'avantage d'être générale et assez facile à mettre en oeuvre à partir du cas autonome. Par contre, elle a pour inconvénient d'introduire une inconnue supplémentaire : la pulsation du terme de forçage.

Nous avons mis en oeuvre cette technique de modélisation, en utilisant une série chronologique numérique, obtenue par intégration du système d'Ondarçuhu et al. [4]. Ce système forcé périodiquement avec la pulsation ω , modélise l'expérience dite de Bénard-Marangoni et sa dynamique est caractérisée par la présence de deux attracteurs chaotiques symétriques qui coexistent.

Dans un premier temps, la méthode a consisté à déterminer la pulsation du terme de forçage. Cette étape est cruciale, car la précision de la détermination de la valeur de ω influe directement sur la qualité de la modélisation de la dynamique. En utilisant ensuite une composante de la trajectoire sur l'un des deux attracteurs chaotiques, un modèle phénoménologique a été obtenu. Si la pulsation utilisée pour la reconstruction est suffisamment proche de la valeur originale, ce modèle permet, par intégration numérique, d'obtenir non seulement l'attracteur initial, mais aussi, en changeant le signe de la première composante des conditions initiales, l'autre attracteur chaotique qui coexiste.

Références

1. F. TAKENS Detecting strange attractors in turbulence *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics*, **898**, 366-381 (1981)
2. S. CHEN, S.A. BILLINGS AND W. LUO Orthogonal least squares methods and their application to nonlinear system identification *Int. J. Control*, **50** (5), 1873-1896 (1989)
3. BORIS P. BEZRUCHKO, DMITRY A. SMIRNOV Constructing nonautonomous differential equations from experimental time series *Phys. Rev. E*, **63** (1), 016207 (2001)
4. T. ONDARÇUHU, G.B. MINDLIN, H.L. MANCINI AND C. PÉREZ GARCIA Dynamical patterns in Bénard-Marangoni Convection in a square container *Phys. Rev. Lett.*, **70** (25), 3892-3895 (1993)

Atténuation d'ondes capillaires par une cavité acoustique

Bruno Issenmann, Régis Wunenburger et Jean-Pierre Delville

Centre de Physique Moléculaire Optique et Hertzienne, UMR CNRS 5798, Université Bordeaux I, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex

`b.issenmann@cpmoh.u-bordeaux1.fr`

La pression de radiation d'une onde acoustique focalisée sur l'interface entre deux fluides conduit à une déformation de cette interface, qui en retour rétroagit sur l'onde qui l'engendre. Ceci conduit à de nombreux phénomènes non-linéaires, dont nous étudions l'effet sur l'atténuation d'ondes de surface. En effet, l'interface eau-air réfléchissant totalement les ondes ultrasonore, une cavité acoustique est formée entre la surface de l'émetteur immergé et l'interface. La pression de radiation acoustique induit une déformation de l'interface, donc modifie la longueur de la cavité et par conséquent les conditions de résonance, ce qui en retour modifie l'intensité acoustique dans la cavité et par conséquent la pression de radiation. Ce couplage entre la déformation de l'interface et la propagation de l'onde acoustique confère à la surface libre une "raideur dynamique" par rétroaction négative à l'endroit de sa déformation, qui s'ajoute à la tension de surface. Nous mettons en évidence expérimentalement l'existence de cette raideur induite par la pression de radiation acoustique en montrant qu'une onde de surface est atténuée lorsqu'elle atteint la déformation, et que la déformation diffuse les ondes de surface de la même manière qu'une inhomogénéité d'impédance.

Influence de l'injection optique dans les processus de synchronisation entre lasers : similarité et bistabilité

Olivier Vaudel & Pascal Besnard

FOTON-ENSSAT

6 rue de Kerampont, BP 80 518, 22305 Lannion Cedex

pascal.besnard@enssat.fr

Suite à la suggestion de PECORA et CARROLL [1] concernant la synchronisation de chaos, de nombreux travaux expérimentaux et théoriques ont été menés dans divers domaines de la physique. En optique, la plupart d'entre eux ont utilisé des lasers à semiconducteurs (même si on peut référencer quelques études utilisant des lasers à gaz ou à fibre). Ces recherches ont permis de réaliser des transmissions optiques sécurisées [2]. En outre, si on trouve quelques exemples utilisant des lasers soumis à une contre-réaction optoélectronique, pour générer du chaos [3], la plupart des expériences ou des analyses théoriques considèrent une contre-réaction optique [4]. Dans tous les cas, le problème de la synchronisation est intimement lié à la dynamique de l'injection optique, qui se résume au couplage unidirectionnel de deux lasers. Nous avons récemment proposé d'étudier la synchronisation plus simplement [5]. Il s'agit en fait de cascader deux injections optiques. Un premier laser dit maître est utilisé pour nourrir en photons la cavité d'un second laser appelé transmetteur. Le signal de ce dernier est injecté dans un troisième laser appelé récepteur. L'intérêt de ce type d'étude est d'apporter une comparaison directe entre l'injection par un signal continu [6] et celle obtenue par un signal chaotique. L'étude théorique s'en trouve grandement simplifiée car il s'agit de systèmes dont la dimension de l'attracteur est faible. Pour tout d'abord valider notre modèle théorique, nous montrons, dans le cas d'un laser injecté par un signal continu, un bon accord entre l'expérience et la théorie par l'intermédiaire de cartographies. Celles-ci représentent les différents comportements dynamiques (mélange d'ondes, chaos, fréquence de relaxation, doublement de période ...) dans le système de paramètres constitué de la puissance injectée et du désaccord (différence de fréquence optique entre le laser dit maître et le laser injecté dit esclave).

Nous montrons que le processus de synchronisation est par essence bistable tout comme l'injection optique. Cette bistabilité est illustrée en dressant des cartographies de synchronisation indiquant le taux de corrélation entre les signaux du laser transmetteur et du laser récepteur, en fonction de la puissance injectée et du désaccord. La robustesse de la synchronisation peut ainsi être évaluée. Enfin nous terminons par numériquement cartographier le phénomène d'anticipation de chaos, obtenu pour des indices de corrélation supérieurs à 90 %.

Références

1. L. M. PECORA AND T. L. CARROLL, Synchronization in Chaotic Systems, *Phys. Rev. Letters*, **81** (16), 3457-3550 (1998).
2. G. VANWIGGEREN AND R. ROY, *Optical Communication with Chaotic Waveforms*, *Phys. Rev. Letters*, **64** (8), 821-824 (1990).
3. J. P. GOEDGEBUER, L. LARGER, H. PORTE, AND F. DELORME, *Chaos in Wavelength with a Feedback Tunable Laser Diode*, *Phys. Rev. E*, **57** (3), 2795-2798 (1998).
4. V. AHLERS, U. PARLITZ, AND W. LAUTERBORN, *Hyperchaotic Dynamics and Synchronization of External-Cavity Semiconductor Lasers*, *Phys. Review E*, **58** (6), 7208-7213 (1990).
5. C. GUIGNARD, S. BLIN AND P. BESNARD, *New Scheme for the Synchronization of Low Dimensional Chaos*, Munich CLEO-EQEC, EC1M (2003).
6. S. BLIN, C. GUIGNARD, P. BESNARD, R. GABET, G. STÉPHAN, AND M. BONDIU, *Phase and Spectral Properties of Optically Injected Semiconductor Lasers*, *Comptes Rendus de la Physique*, **4** (6), 687-699 (2003).

Dynamiques non-linéaires expérimentales à retard et à temps discret

Mélanie Grapinet, Laurent Larger, Pierre-Ambroise Lacourt, & Vladimir Udaltsov

Institut FEMTO-ST, UMR 6174, Université de Franche-Comté, 16 Route de Gray, 25030 BESANCON Cedex
Melanie.Grapinet@univ-fcomte.fr

Récemment, des dynamiques à temps discret ont été observées grâce à une source impulsionnelle optique intégrée à un oscillateur opto-électronique à retard temporel [1,2]. Ce système conduisant à des dynamiques de complexité élevée, est modélisé par l'équation intégral-différentielle suivante :

$$\tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t) + \frac{1}{\theta} \int x(t) dt = \beta(t) \sin^2(x(t - T) + \phi_0). \quad (1)$$

où $x(t)$ est la variable dynamique, T est le retard temporel et $\beta(t)$ est le gain du système proportionnel à la puissance optique de la source, β étant utilisé comme paramètre de bifurcation. Contrairement aux études menées jusqu'à présent, la dépendance temporelle de β est prise en compte. Si l'étude des diagrammes de bifurcation obtenus pour un gain β indépendant du temps est bien cerné [3], il n'en est pas de même pour les cas où β possède une dépendance temporelle. Nous nous sommes donc concentrés sur le cas où la source optique est de type impulsionnelle. Lorsque β est constant, la dynamique à retard est déjà intrinsèquement à échelle de temps multiples ($T \approx 10^3 \tau \approx 10^6 \theta$). Avec l'introduction d'une modulation impulsionnelle rapide de β , nous sommes en présence d'une dynamique quasi-discrète rythmée par le taux de répétition de β , mais toujours à échelle de temps multiples.

Au travers d'une étude complète menée expérimentalement, nous avons recherché de manière systématique les diagrammes de bifurcation en fonction d'un des paramètres du système : ϕ_0 , paramètre d'offset horizontal de la transformation non-linéaire de (1) (ϕ_0 est expérimentalement lié au point de repos d'un interféromètre de type Mach-Zehnder électro-optique, utilisé pour réaliser la non linéarité). L'ensemble des dynamiques produites sont mises en évidence grâce à un diagramme de bifurcation acquis à partir du signal de sortie de la transformation non-linéaire (membre de droite de (1)). L'analyse de ces diagrammes obtenus pour des valeurs de ϕ_0 successives a permis de mettre en évidence expérimentalement les différentes séquences de bifurcation possibles pour ce type particulier de dynamique à retard à excitation impulsionnelle. Typiquement, il s'agit d'évolutions en T2, T4, T3 menant au chaos. L'apparition d'une fenêtre de périodicité très nette d'ordre 3 a permis de mettre en évidence la nature discrète de la dynamique [2], et un nouveau scénario d'interprétation des dynamiques à retard en tant que dynamiques discrètes.

Dans un second temps, le tracé des diagrammes de bifurcation est effectué soit par valeurs croissantes (le système part d'un point fixe) ou décroissantes du paramètre de bifurcation, mettant alors en évidence un hystérésis. Le cycle d'hystérésis porte sur la variable dynamique $x(t)$ en fonction du gain du système.

Références

1. K. IKEDA, Multiple-valued Stationary State and its Instability of the Transmitted Light by a Ring Cavity System, *Optics Communications*, **30** (3), 257-261 (1979).
2. L. LARGER, P.-A. LACOURT, S. POINSOT ET M. HANNA, From flow to map in an experimental high-dimensional electro-optic nonlinear delay oscillator, *Physical Review Letters*, **95** (4), 043903 (2005).
3. M. LE BERRE, E. RESSAYRE, A. TALLET ET Y. POMEAU, Dynamic system driven by a retarded force acting as colored noise, *Physical Review A*, **41** (12), 6635-6646 (1990).

Bifurcation d'enveloppe d'un oscillateur optoélectronique micro-onde à retard, à haute pureté spectrale

L. Larger¹, Y. Chembo¹, H. Tavernier¹, R. Bendoula¹, P. Colet², & E. Rubiola¹

FEMTO-ST, UMR 6174, Université de Franche-Comté, 16 route de Gray, 25030 Besançon cedex, France
laurent.larger@univ-fcomte.fr

Les dynamiques à retard sont étudiées et utilisées en général pour leur dimension d'espace des phases infinie [1], qui peut être simplement expliquée par la nécessité de définir des conditions initiales correspondant à une fonction du temps sur un intervalle de temps continu correspondant au retard (donc une infinité de valeurs). Cette grande dimension, combinée à une forte non linéarité, permet d'obtenir des régimes chaotiques de grande complexité (attracteurs de dimension finie, mais très élevée > 100 [2]).

De manière paradoxale, les oscillateurs à très grand retard ont récemment montré aussi leur potentiel très intéressant en optoélectronique pour la génération d'oscillations micro-onde de très grande pureté spectrale [3]. Le retard est en effet facilement réalisé par un grande longueur de fibre optique (plusieurs km). Ce retard remplit le rôle d'un élément de stockage d'énergie (très large bande pour la fibre optique), habituellement réalisé dans les oscillateurs classiques par un résonateur, c'est à dire avec un élément fortement sélectif en fréquence afin de permettre une grande stabilité en fréquence. Le facteur de qualité de ce résonateur est en effet directement lié au temps de stockage à $1/e$ de l'énergie, à la fréquence de résonance. Dans la chaîne d'oscillation de ces nouveaux oscillateurs optoélectronique, on trouve également les conversions nécessaires micro-onde/ optique / micro-onde qui sont réalisées grâce à des modulateurs de lumière très haut débit (modulateurs électro-optique intégrés de Mach-Zehnder, conventionnellement utilisés dans les télécommunications optiques modernes), et à des photodiodes ultra-rapides (également développées pour les télécoms). Cependant, les modulateurs introduisent une fonction de modulation fortement non linéaire (fonction d'interférence en \sin^2), qui n'est habituellement pas rencontrée dans les architectures classiques d'oscillateur électronique à base de résonateur. Une étude de stabilité de l'oscillateur micro-onde (à quelques GHz, voir plus de 10 GHz) présente dans ces nouvelles architectures optoélectroniques à très grand retard, a permis de dériver une dynamique d'enveloppe lente. Cette dynamique d'enveloppe est obtenue à partir d'un modèle intégré-différentiel à retard de l'oscillateur, et elle fait apparaître une bifurcation de l'enveloppe (donc de l'amplitude des oscillations micro-onde) qui est directement liée à la fonction non linéaire d'une part, et à la valeur du retard temporel d'autre part. Nous présentons les résultats théoriques qui ont permis de déduire le phénomène d'instabilité lente de l'oscillation RF, ainsi qu'une confirmation expérimentale de ce phénomène. Une discussion phénoménologique du comportement observé est également proposé, en rapport avec les échelles de temps multiples très particulières mises en jeux dans ce type de dynamique à retard à filtrage bande étroite.

Références

1. M. Le Berre, E. Ressayre, A. Tallet et Y. Pomeau, *Dynamic system driven by a retarded force acting as colored noise*, Physical Review A, Vol.41, No.12, pp.6635–6646, 1990.
2. J. D. Farmer, *Chaotic attractors of an infinite-dimensional dynamical system*, Physica D, Vol.4, pp.366–393, 1982.
3. X. S. Yao and L. Maleki, *High frequency optical subcarrier generator*, Electronics Letters, Vol.30, No.18, pp.1525–1526, 1994.

Etats stationnaires, théorèmes de fluctuation-dissipation et température effective dans un écoulement de von Karman turbulent

R. Monchaux¹, P-H. Chavanis², A. Chiffaudel¹, F. Daviaud¹, & B. Dubrulle¹

¹ Service de Physique de l'État Condensé, DSM, CEA Saclay, CNRS URA 2464, 91191 Gif-sur-Yvette, France

² Laboratoire de Physique Théorique (UMR 5152), Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne 31062 Toulouse, France

romain.monchaux@cea.fr

Une question non résolue de la physique statistique est de savoir si certains systèmes hors équilibre partagent des propriétés avec les états d'équilibre classiques. La turbulence est un bon cadre pour étudier cette question. En effet, les écoulements incompressibles soumis à un forçage statistiquement stationnaire atteignent en général une sorte d'état d'équilibre (au sens statistique), indépendant des conditions initiales. Depuis Onsager, on rêve de décrire la turbulence à l'aide d'outils issus de la mécanique statistique. En 2D, les équilibres des équations de Navier-Stokes ont été classifiés à l'aide de principes de mécanique statistique par Robert et al. [1,2]. Plus récemment, des avancées ont été réalisées dans un cadre 3D axi-symétrique (situation intermédiaire entre 2D et 3D) par Leprovost *et al.* [3]. Ils envisagent une limite idéale d'écoulement turbulent en négligeant le forçage et la dissipation. Dans cette limite, l'écoulement est caractérisé par la donnée d'un certain nombre de grandeurs globales conservées, dépendant de la forme du montage, comme l'énergie ou l'hélicité. De plus, en raison des symétries, une grandeur scalaire locale est conservée (le moment cinétique) le long d'une ligne de courant. Cette propriété permet de retrouver un théorème de Liouville et d'établir la conservation des Casimirs de cette grandeur scalaire locale. On peut alors définir une entropie de mélange et obtenir les états de Gibbs correspondant en maximisant cette entropie sous contrainte de conservation des grandeurs globales. A partir de l'état de Gibbs, on peut définir un ensemble de relations assez générales caractérisant les états stationnaires ainsi que des relations entre ces états et leurs fluctuations.

Dans cette présentation, nous mettons en avant une confrontation entre des expériences et ces résultats théoriques pour un écoulement de von Karman turbulent [4]. Nous trouvons que les états stationnaires peuvent être décrits par deux familles de fonctions, comme prédit dans [3]. Ces fonctions dépendent du forçage et de la viscosité. Quand le nombre de Reynolds augmente, ces fonctions tendent vers celles correspondant à un écoulement de Beltrami, donnant une première preuve expérimentale de la réduction des non linéarités dans un système non homogène non isotrope. Nous montrons par ailleurs que les fluctuations vérifient deux relations de fluctuation-dissipation analogues aux théorèmes de fluctuation de la physique statistique classique. Nous utilisons ces relations pour dériver une température statistique turbulente dont nous discutons la dépendance avec le nombre de Reynolds.

L'ensemble de ces résultats suggèrent que les états stationnaires hors équilibre tels que la turbulence sont universels dans un sens plus restreint que les systèmes à l'équilibre classique : ils peuvent être décrits par des relations générales déterminant des "équations d'état", mais ces relations dépendent de la dissipation et du forçage et ne sont donc pas universelles car ils dépendent des détails fins du système.

Références

1. J. Sommeria and R. Robert, *J. Fluid Mech.* **229**, 291 (1991).
2. P. H. Chavanis, *Phys. Rev. E* **68**, 036108 (2003).
3. N. Leprovost, B. Dubrulle, and P. H. Chavanis, *Phys. Rev. E* **73**, 046308 (2006).
4. R. Monchaux *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 124502 (2006).

Thermalisation de paquets d'ondes incohérents

Lagrange Silvère, Pitois Stéphane, Jauslin Hans Rudolf, Picozzi Antonio

Institut Carnot de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, 21078 Dijon Cedex
Silvere.Lagrange@u-bourgogne.fr

Nous montrons théoriquement et expérimentalement qu'un ensemble de paquets d'ondes non-linéaires et incohérents évolue irréversiblement vers un état d'équilibre, dans lequel les paquets d'ondes se propagent tous avec une même vitesse de groupe. Nous démontrons que ce résultat peut être expliqué à l'aide d'arguments thermodynamiques basés sur la théorie cinétique des ondes.

On considère M paquets d'ondes incohérents dont l'évolution des amplitudes A_j peut être décrite par un ensemble de M équations (Hamiltoniennes) de Schrödinger non-linéaires (NLS) couplées :

$$i(\partial_z + u_j^{-1}\partial_t)A_j = -\alpha_j\partial_{tt}A_j + \gamma_j(|A_j|^2 + \kappa\sum_{i\neq j}|A_i|^2)A_j \quad j = 1, \dots, M \quad (1)$$

Les paramètres u_j , α_j et γ_j représentent respectivement la vitesse de groupe, la dispersion de vitesse de groupe et le coefficient non-linéaire du paquet d'ondes A_j , κ désignant le rapport entre les coefficients d'auto-modulation de phase et de modulation de phases croisées.

Dans le régime de propagation linéaire ($\gamma_j = 0$), les paquets d'ondes A_j se propagent avec des vitesses de groupes u_j distinctes. En présence d'un couplage non-linéaire, les simulations numériques montrent que les fréquences porteuses des ondes incohérentes se décalent et tendent rapidement vers des valeurs particulières ω_j^{eq} . En raison de la dispersion de vitesse de groupe, ce décalage fréquentiel est associé à une variation de vitesse de groupe des ondes. Le résultat inattendu est que les fréquences ω_j^{eq} sont sélectionnées de telle sorte que les paquets d'ondes se propagent avec une même vitesse de groupe v^{eq} .

Nous avons montré que ce phénomène peut être décrit par la théorie cinétique de la turbulence faible [1]. Cette théorie prédit une évolution irréversible du spectre de l'onde vers un état d'équilibre thermodynamique. Cette évolution étant caractérisée par une croissance monotone de l'entropie hors-équilibre de l'onde, c'est l'analogue du théorème H de la théorie cinétique des gaz. Nous avons appliqué cette théorie à l'équation (1) et avons démontré que, quelles que soient les vitesses de groupes initiales u_j , chaque paquet d'ondes A_j évolue irréversiblement vers un spectre d'équilibre n_j^{eq} centré en ω_j^{eq} [2]. Il s'ensuit que tous les paquets d'ondes se propagent avec une vitesse de groupe unique v^{eq} . La distribution $n_j^{eq}(\omega)$ peut ainsi être considérée comme un "attracteur statistique" pour le système Hamiltonien décrit ici. Nous avons obtenu des expressions analytiques de ω_j^{eq} et de v^{eq} en accord quantitatif avec les simulations numériques des équations (1).

Nous avons observé expérimentalement cet effet dans une fibre optique fortement biréfringente. Il est connu que la propagation des deux états de polarisation orthogonaux A_1 et A_2 dans la fibre est bien décrite par deux équations NLS couplées (Eq.(1) pour $M = 2$). A faible puissance, les deux ondes incohérentes interagissent peu ($\gamma_j \simeq 0$). Lorsque la puissance augmente, les deux ondes sont couplées par l'effet de polarisation non-linéaire (effet Kerr optique). Dans ce cas, nos mesures expérimentales révèlent que les deux ondes tendent à se propager avec la même vitesse de groupe, en accord avec la théorie [2].

Il semble que cet effet soit un phénomène générique pour les ondes non-linéaires incohérentes dispersives. Nous l'avons en effet étendu à des systèmes multidimensionnels et à des interactions quadratiques.

Références

1. V. ZAKHAROV ET AL, *Kolmogorov Spectra of Turbulence* Springer, Berlin (1992).
2. S. PITOIS, S. LAGRANGE, H. R. JAUSLIN ET A. PICOZZI, Velocity locking of incoherent nonlinear wave packets, *Physical Review Letters*, **97**, 033902(2006).

DYNAMIQUE NON LINÉAIRE ET PHOTOTRANSDUCTION CHEZ LES INVERTÉBRÉS

Alain PUMIR

Institut Non Linéaire de Nice

Les photorécepteurs chez la drosophile répondent à un seul photon, et génèrent en sortie une dépolariation transitoire de la cellule, appelée dans la littérature "Quantum Bump" (QB). Une très grande partie des mécanismes moléculaires conduisant à cette réponse sont connus. Comprendre comment le système fonctionne globalement est la question posée ici.

Pour se faire, un modèle est formulé, analysé et testé pour expliquer comment un Quantum Bump est formé, à partir d'effets nonlinéaires et stochastiques. Le modèle reproduit le comportement aussi bien dans le cas normal (wild-type) que dans plusieurs mutants, et permet de prédire le comportement de la réponse en fonction de paramètres externes du système.

Régulation mécanique de la croissance et compétition cellulaire

Hervé Rouault¹, Lars Hufnagel², & Boris I. Shraiman²

¹ Laboratoire de Physique Statistique, CNRS - UMR 8550, École Normale Supérieure, 24, rue Lhomond, 75231 Paris, France

² Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara, California 93106, USA
rouault@lps.ens.fr

Au fil des années, la mouche *Drosophila Melanogaster*, système modèle en biologie moléculaire, est devenue de plus en plus populaire pour l'étude du développement et de la croissance tissulaire. De nombreuses expériences se sont, en particulier, concentrées sur l'aile. Celle-ci se développe au sein d'un groupe de cellules – le disque alaire – qui comporte une cinquantaine de cellules dans les premiers stades de croissance pour en compter mille fois plus au stage mature. La croissance de ce tissu comporte en outre de nombreuses similitudes avec celle d'autres tissus chez les vertébrés.

Les expériences sur le disque alaire ont mis en évidence l'intervention de plusieurs interactions à longue portée parmi les cellules, ce qui permet notamment de réguler la taille de façon robuste. L'une de ces interactions, observée sur le disque alaire de la drosophile, se manifeste par un phénomène dont le mécanisme sous-jacent reste encore inconnu : la compétition cellulaire. Celle-ci a pour effet l'élimination active de cellules dont la taux de croissance est plus faible que celui de leurs voisines. Elle intervient lors de mutations affectant certaines protéines ribosomales.

Dans un premier temps, nous montrons que les contraintes mécaniques subies par les cellules fournissent un bon moyen d'identification des cellules anormales. Ensuite, nous proposons un couplage entre taux de croissance, mort cellulaire et contrainte qui permet l'élimination de tissus en sous-croissance.

Plus précisément, nous utilisons des simulations numériques qui décrivent le comportement individuel des cellules. Les contraintes mécaniques dérivent d'une énergie que nous attribuons à chaque cellule :

$$\mathcal{H}_c = (A(1 + \xi) - V_0)^2 + \mu P + \eta \xi^2$$

où A est l'aire de la cellule, ξ son écart à l'épaisseur moyenne et P son périmètre. V_0 , μ et η sont des paramètres. De plus, les cellules sont couplées transversalement par une énergie additionnelle :

$$\mathcal{H}_t = \nu \sum_{\langle i,j \rangle} (\xi_i - \xi_j)^2$$

La configuration adoptée par le tissu minimise, à tout instant, l'énergie totale. En outre, les cellules peuvent se diviser ou être éliminée à des taux qui dépendent de leurs caractéristiques géométriques.

Nous proposons que l'apoptose –mort cellulaire programmée– intervienne chez les cellules étirées, manifestation d'une croissance ralentie. On parvient ainsi à retirer sélectivement les cellules anormales, en accord avec les observations de compétition cellulaire.

Références

1. B. I. SHRAIMAN, Mechanical feedback as a possible regulator of tissue growth, *PNAS*, **102** (9), 3318-3323 (2005).

Écoulement de Couette plan transitionnel : phénomène critique ou désenchevêtrement homocline ?

Paul Manneville

LadHyX (CNRS UMR 7646) École Polytechnique, F-91128 Palaiseau
paul.manneville@ladhyx.polytechnique.fr

En toute généralité, les bifurcations entre régimes d'écoulement sous-critiques sont marquées par la coexistence d'états et l'hystérésis, la transition d'un régime à l'autre étant contrôlée par des processus de nucléation. L'écoulement de Couette plan, linéairement stable pour tout nombre de Reynolds R , transite de l'état laminaire *directement* vers la turbulence par nucléation de poches turbulentes qui n'ont qu'une durée de vie finie pour $R < R_g \simeq 325$ et une probabilité finie (< 1) de durer indéfiniment pour $R > R_g$. À l'inverse, un écoulement turbulent préparé pour $R = R_i \gg R_g$ et porté rapidement à une valeur $R = R_f$ («trempe») plus basse relaxe tout en restant turbulent tant que $R_f > R_g$ mais relaxe vers l'état laminaire avec probabilité 1 pour $R_f < R_g$ après un transitoire plus ou moins long [1]. Les expériences de S. Bottin [2] ont montré que, pour des séries de trempes préparées de la même façon, les temps de relaxation suivaient une distribution exponentiellement décroissante, $\Pi(\tau_{tr} > \tau) \propto \exp(-\tau/\langle\tau_{tr}\rangle)$, dont le temps caractéristique $\langle\tau_{tr}\rangle$ est une fonction de R_f divergeant en R_g comme $1/(R_g - R_f)$. La modélisation du phénomène au moyen de réseaux d'itérations couplées par H. Chaté [2] avait montré le même comportement qualitatif mais avec un temps caractéristique divergeant comme $1/(R_g - R_f)^2$.¹

Suspectant que la modélisation par réseaux d'itérations, dans l'esprit de l'intermittence spatio-temporelle à la Pomeau [3], soit trop idéalisée, nous avons cherché à développer une modélisation plus proche des équations de Navier–Stokes, dans un premier temps avec des conditions aux limites non-réalistes de glissement aux parois [4] puis corrigée pour tenir compte de conditions aux limites réalistes de non-glissement [5]. La simulation du système d'EDPs ainsi obtenu par une méthode de Galerkin montre un comportement semi-quantitativement identique à l'expérience avec un R_g trop bas d'un facteur 2 seulement —imputée à une sous-estimation notable de la dissipation visqueuse— mais avec divergence du temps caractéristique en $1/(R_g - R_f)$ comme dans l'expérience.

Des résultats récents sujets à polémique concernant le problème voisin de la transition de l'écoulement de Poiseuille dans un tuyau par «*turbulent puffs/slugs*» [6] [divergence algébrique en R_g pour Peixinho & Mullin (2006) et Willis & Kerswell (2007) ; croissance exponentielle avec R associée à un enchevêtrement homocline pour Hof *et al.* (2006)] et le fait que Hof *et al.* réinterprètent les résultats de S. Bottin pour affirmer l'absence de caractère critique en R_g nous conduisent à reprendre l'étude statistique de notre modèle pour : (1) affiner la statistique, (2) rendre compte d'éventuels effets de taille finie et (3) tenter d'interpréter la différence observée entre les résultats obtenus sur réseaux d'itérations couplées et avec les EDPs couplées.

Références

1. Pour une revue du problème, consulter : P. Manneville, *Instabilités, chaos et turbulence* (Éd. École Polytechnique, 2004), Chap. 6, et plus particulièrement § 6.3.4.
2. S. Bottin, H. Chaté, Eur. Phys. J. B **6** (1998) 143–155.
3. Y. Pomeau, Physica D **23** (1986) 3–11.
4. P. Manneville, dans *Rencontres du Non-Linéaire 2000*, Y. Pomeau, R. Ribotta, eds. (Paris Onze Éditions, Orsay) pp. 123–128. F. Locher, P. Manneville, C.R. Acad. Sci. Paris **328** Serie Iib (2000) 159–164.
5. M. Lagha, P. Manneville Eur. Phys. J. B, soumis, 2006. M. Lagha, Thèse École Polytechnique, déc. 2006.
6. J. Peixinho, T. Mullin, Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 094501. B. Hof *et al.* Nature **443** (2006) 59–62. A.P. Wallis, R.R. Kerswell, Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 014501.

¹ R n'est pas ici le nombre de Reynolds mais simplement le paramètre de contrôle du modèle.

Grandes déviations et chaoticité : étude à l'aide d'une dynamique biaisée

Julien Tailleur & Jorge Kurchan

Laboratoire PMMH, ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris Cedex 5
tailleur@pmmh.espci.fr

La physique des systèmes dynamiques non-linéaires s'explique souvent par l'existence de trajectoires rares, qui jouent paradoxalement un rôle prépondérant. Par exemple, la présence de résonances détermine la stabilité des systèmes planétaires[1,2] et l'existence de solutions localisées permet un transport rapide d'énergie dans des systèmes aussi divers que les condensats de Bose-Einstein ou certaines biomolécules[3,4]. Or, malgré les nombreux progrès réalisés au cours des dix dernières années, les méthodes permettant de localiser de tels objets restent confinées aux systèmes à peu de degrés de liberté, et leur application dans les domaines de la physique statistique, la chimie ou même l'astronomie reste périlleuse. Nous présentons ici une méthode introduite récemment[5] qui permet de localiser des trajectoires ayant une chaoticité atypique¹ dans des systèmes à plusieurs degrés de liberté.

De manière générale, pour étudier les fluctuations d'une observable en physique statistique, on s'appuie sur l'utilisation de fonctions de grandes déviations – l'entropie et l'énergie libre en étant les exemples canoniques. S'inspirant de ces schémas de pensée, Ruelle a développé à la fin des années 70 un "formalisme thermodynamique" [6] en appliquant les outils de la mécanique statistique à l'espace des trajectoires d'un système dynamique. Il a ainsi pu transposer les notions d'énergie libre et d'entropie d'un cadre purement statique à une étude dynamique. Toutefois, le calcul de ces quantités dans le cadre de systèmes à plusieurs degrés de liberté est extrêmement difficile, et n'a été réalisé que dans très peu de cas. La dynamique biaisée que nous introduisons ici, si elle permet de localiser des grandes déviations de chaoticité, rend également possible le calcul d'une énergie libre dynamique². L'hétérogénéité dynamique d'un système physique peut alors être étudiée à la lumière de son paysage d'énergie libre, permettant l'introduction d'une notion claire et précise de transition de phase dynamique. Nous illustrons cette idée sur l'exemple de la Standard Map.

Finalement, en guise d'exemple de "haute" dimensionnalité, nous appliquons notre méthode à la chaîne FPU d'oscillateurs non-linéaires, où elle détecte la présence de modes de respiration chaotiques[4] et de solitons, lorsque l'on cherche respectivement des solutions chaotiques ou intégrables.

Références

1. Laskar, J. A numerical experiment on the chaotic behaviour of the Solar System. *Nature* **338** 237-238 (1989)
2. Murray N, Holman M, The role of chaotic resonances in the Solar System *Nature***410** (6830) : 773-779 (2001)
3. A. Trombettoni and A. Smerzi, Discrete Solitons and Breathers with Dilute Bose-Einstein Condensates *Phys. Rev. Lett.* **86**, 2353 - 2356 (2001).
4. Cretegny T, Dauxois T, Ruffo S, Torcini A. Localization and equipartition of energy in the beta-FPU chain : Chaotic breathers *Physica D* **121** 109-126 (1998)
5. Tailleur J., Kurchan J. Probing rare physical trajectories with Lyapunov weighted dynamics. Sous presse. Accepté pour publication dans *Nature Physics*. cond-mat/0611672.
6. Ruelle D., *Thermodynamic Formalism*, 1978, Addison-Wesley, Reading (Mass.).

¹ ou, plus quantitativement, des exposants de Lyapunov atypiques

² Cette énergie libre étant définie en suivant Ruelle comme la fonction génératrice des cumulants de la distribution du plus grand exposant de Lyapunov

Froissement d'une feuille élastique en géométrie conique

Deboeuf S., Boué L., Adda-Bedia M., & Boudaoud A.

ENS/Laboratoire de Physique Statistique 24 rue Lhomond 75231 Paris Cedex 05

`stephanie.deboeuf@lps.ens.fr`

Un objet élastique mince tel une feuille, présente deux modes de déformation : la traction et la flexion. Les déformations de flexion étant généralement les moins énergétiques, une feuille contrainte à se déformer préfère se courber. A défaut, les déformations sont préférentiellement focalisées sur de petites régions. Par exemple, la localisation des déformations au sein d'une boulette de papier froissé, est attestée par la présence de plis et de points coniques [1]. Des études expérimentales sur le papier froissé se sont intéressées à la géométrie des plis [2]. Néanmoins, il reste à étudier les corrélations entre la configuration déformée et la force nécessaire au confinement de ce système, comme fait dans [3] pour de faibles confinements. Mais que se passe-t'il pour des confinements plus importants ?

Notre dispositif expérimental s'inspire de celui utilisé pour étudier un point conique seul [4,5] : une feuille circulaire est tirée par son centre à travers un anneau rigide, la froissant progressivement. Différents motifs de plis apparaissent suivant le confinement imposé. Simultanément à la caractérisation quantitative des configurations pliées, leurs propriétés mécaniques sont mesurées.

Références

1. M. Ben Amar, and Y. Pomeau, Crumpled paper, Proc. R. Soc. A, 453, 729-55 (1997).
2. D. L. Blair, and A. Kudrolli, The geometry of crumpled paper, Phys. Rev. Lett., 94, 166107 (2005).
3. L. Boué, M. Adda-Bedia, A. Boudaoud, D. Cassani, Y. Couder, A. Eddi, and M. Trejo, Spiral patterns in the packing of flexible structures, Phy. Rev. Lett. 97, 166104 (2006).
4. S. Chaïeb, F. Melo, and J. C. Geminard, Experimental study of developable cones, Phys. Rev. Lett. 80, 2354 (1998).
5. E. Cerda, S. Chaïeb, F. Melo, and L. Mahadevan, Conical dislocations in crumpling, Nature (London) 401, 46 (1999).