



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

Poincaré

Résumés des exposés de la 11e Rencontre du Non-Linéaire Paris 2008



Institut Henri Poincaré

Non-Linéaire Publications

RENCONTRES DU NON LINÉAIRE

Institut Henri Poincaré, PARIS

25–27 Mars 2008

Nous remercions vivement Michel Broué, Directeur de l’Institut Henri Poincaré, pour son aide à l’organisation de ces *Rencontres* ainsi que la Délégation Générale à l’Armement, le Laboratoire d’Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l’Ingénieur (LIMSI), La Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes, Molécules (PhLAM), le Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA) et le CNRS, pour leur soutien financier.

Le comité scientifique est composé de :

Bérengère DUBRULLE	SPEC/CEA Saclay
Bastien FERNANDEZ	CPT — Marseille
Josselin GARNIER	LPMA — Paris 7
Jean-Christophe GÉMINARD	Lab. Physique — ENS Lyon
Christophe JOSSERAND	LMM — Paris 6
Patrice LE GAL	IRPHE — Marseille
Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Thomas PODGORSKI	LSP — Grenoble
Marc RABAUD	FAST — Orsay
Stefania RESIDORI	INLN — Nice
Laurette TUCKERMAN	PMMH — ESPCI, Paris
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 *Auto-organisation de nanostructures* est organisé par :

Jean-Noël AQUA	LM2P Marseille
Thomas FRISCH	LM2P Marseille
Alberto VERGA	LM2P Marseille

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/](http://nonlineaire.univ-lille1.fr/)

Renseignements :

rnl@nonlineaire.univ-lille1.fr

Table des matières

Coarsening versus non coarsening of nonequilibrium surfaces. <i>Chaouqi Misbah</i>	1
Nonlinear evolution of a morphological instability in a strained epitaxial film <i>Jean-Noël Aqua, Thomas Frisch, Alberto Verga</i>	2
Auto-organisation de boîtes quantiques sur substrat de Silicium nanostructuré <i>Isabelle Berbezier, Antoine Ronda</i>	3
Continuum equation for self-organization during semiconductor heteroepitaxy <i>Christoph A. Haselwandter, Dimitri D. Vvedensky</i>	4
Non-linear elastic effects on the morphological evolution and plasticity of stressed multi-layers and solids <i>Jérôme Colin</i>	5
Universal non-equilibrium phenomena at submicrometric surfaces and interfaces. <i>Rodolfo Cuerno</i>	6
Adhésion des membranes et filaments sur les surfaces patternées <i>Olivier Pierre-Louis</i>	7
Croissance organisée de nanostructures <i>Vincent Repain</i>	8
Fonctionnelle d'énergie pour un Condensat de Bose Einstein dans un réseau optique <i>Amandine Aftalion</i>	9
Oscillateur hydraulique <i>Luc Lebon, Laurent Limat, Christophe Pirat</i>	10
Mécanisme de sélection de longueur d'onde dans la couronne d'Edgerton <i>P. Brunet, R.D. Deegan, J. Eggers</i>	11
Analyse déterministe de la compétition non linéaire de modes dans un écoulement en cavité <i>F. Lusseyran, L. R. Pastur, Th. M. Faure, C. Letellier</i>	12
Modèle d'ordre réduit pour la zone de paroi d'un canal plan turbulent <i>Podvin, Lorang</i>	13
Multiplicité extrême de motifs convectifs <i>Laurette S. TUCKERMAN, Katarzyna BORÓŃSKA</i>	14
Mécanismes du mélange chaotique en système ouvert : selle chaotique et modes propres <i>Emmanuelle Gouillart, Olivier Dauchot, Jean-Luc Thiffeault, Stéphane Roux</i>	15

Fluctuations de puissance <i>Claudio Falcón, Éric Falcon, Sébastien Aumaître, Stephan Fauve</i>	16
Courbure du Flot de Systèmes Dynamiques Lents-Rapides <i>Ginoux Jean-Marc, Rossetto Bruno</i>	17
Détermination de partitions par algorithme génétique sur critère de nombre maximal de séquences réalisées <i>U. S. Freitas, E. Roulin, C. Letellier</i>	18
Out-of-equilibrium Phase Transition and Dynamical Structures in the Hamiltonian Mean-Field model <i>Bachelard, Chandre, Fanelli, Leoncini, Ruffo</i>	19
Optique non-linéaire dans des électrons relativistes : rayonnement synchrotron terahertz cohérent accordable induit par laser <i>S. Bielawski, C. Evain, T. Hara, M. Hosaka, M. Katoh, S. Kimura, A. Mochihashi, M. Shimada, C. Szwej, T. Takahashi and Y. Takashima</i>	20
Propagation d'une impulsion lél dans un faisceau d'électrons relativistes <i>M. Labat, C. Bruni, C. Szwej, S. Bielawski, M.E. Couprie</i>	21
Solitons dissipatifs de l'équation de Ginzburg-Landau Complexe (CGLE) à (3+1)D : balles de lumière et pulsations <i>A. Kamagate, P. Grell, P. Tchofo-Dinda</i>	22
Diverses manifestations de l'effet Raman lors de la propagation d'impulsions femtosecondes dans une fibre microstructurée <i>B. Kibler, A. Guenot, C. Finot, G. Millot</i>	23
Vers où croissent les dendrites en solidification dirigée d'un matériau cristallin ? <i>A. Pocheau, J. Deschamps, M. Georgelin</i>	24
Instabilité magnétique <i>Basile Gallet, Francois Pétrélis, Stéphan Fauve</i>	25
Liquid-solid-like transition in quasi-one-dimensional driven granular media <i>M.G. Clerc, P. Cordero, J. Dunstan, K. Huff, N. Mujica, D. Risso, G. Varas</i>	26
Mesures de micro-déplacements dans les matériaux granulaires par diffusion dynamique de la lumière. <i>Marion ERPELDING, Axelle AMON, Jérôme CRASSOUS</i>	27
Matériaux granulaires durs : Représenter un matériau non-linéaire comme un graphe avec une dynamique linéaire <i>Nicolas Rivier</i>	28
Observation de la turbulence d'onde pour des plaques en vibration <i>Arezki Boudaoud, Olivier Cadot, Benoît Odille, Cyril Touzé</i>	29
Habitude à la ventilation non invasive diagnostiquée par diagrammes de récurrences et entropies de Shannon <i>H. Rabarimanantsoa, C. Letellier, L. Achour, A. Cuvelier, J.-F. Muir</i>	30
A nonlinear study of symmetry-breaking in actin gels - Implications for cellular motility <i>Karin John, Chaouqi Misbah</i>	31

Dégazage intermittent au travers d'une colonne de fluide complexe <i>Thibaut Divoux, Jean-Christophe Gémard</i>	32
Bistabilité entre une dynamo stationnaire et oscillante dans un écoulement turbulent de sodium liquide <i>Michael Berhanu, Romain Monchaux, Mickael Bourgoin, Philippe Odier, Jean-François Pinton, Nicolas Plihon, Romain Volk, Stéphan Fauve, Nicolas Mordant, François Pétrélis, Sébastien Aumaître, Arnaud Chiffaudel, François Daviaud, Bérengère Dubrulle, Florent Ravelet</i>	33
Sonde de vitesse dans un écoulement turbulent de métal liquide <i>G. Verhille, N. Plihon, R. Volk, J.-F. Pinton</i>	34
Saturation du potentiel électrique dans un écoulement turbulent de gallium, sous champ magnétique appliqué <i>Michaël Berhanu, Basile Gallet, Nicolas Mordant, Claudio Falcon, Stéphan Fauve</i>	35
Délamination axisymétrique d'un film plastique mince <i>Chopin, Vella, Boudaoud</i>	36
Développement des nervures de feuilles : le rôle des contraintes mécaniques <i>Corson, Boudaoud, Adda-Bedia</i>	37
Compaction d'objets élastiques : distributions d'énergie et températures effectives <i>Deboeuf S., Boué L., Adda-Bedia M., Boudaoud A.</i>	38
Migration d'une vésicule dans un écoulement de Poiseuille confiné <i>Badr Kaoui, Gwennou Coupier, Thomas Podgorski, Chaouqi Misbah</i>	39
Analytical Study of Vesicle Dynamics and Rheology <i>G. Danker, C. Misbah</i>	40
Modélisation de l'horloge circadienne de l'algue <i>Ostreococcus tauri</i> <i>F. Corellou, C. Schwartz, P.-E. Morant, Q. Thommen, C. Vandermoëre, M. Lefranc, F.-Y. Bouget</i>	41
Dynamique de l'actine dans les ostéoclastes. <i>Shiqiong Hu, Pierre Jurdic, Thierry Biben, Jean-Christophe Gémard</i>	42
Oscillations induites par une dynamique transcriptionnelle lente dans l'expression d'un gène réprimé par sa propre protéine <i>P.-E. Morant, Q. Thommen, F. Lemaire, C. Vandermoere, B. Parent, M. Lefranc</i>	43
Barrières pour la réduction du transport dû à la dérive $E \times B$ <i>Nathalie Tronko, Michel Vittot, Christel Chandre</i>	44
Analyse topologique d'un nouvel attracteur chaotique toroidal <i>C. Letellier, R. Gilmore</i>	45
Classification des langues chaotiques d'un laser de fibre dopée erbium par analyse topologique <i>Javier Used, Juan Carlos Martín</i>	46
Fiabilité des différentes déterminations des paramètres de plongement <i>C. Letellier, I. M. Moroz, & R. Gilmore</i>	47
The spectrum of large powers of the Laplacian in bounded domains <i>E. Katzav, M. Adda-Bedia</i>	48

Mesures de l'accélération de particules inertielles en écoulement turbulent par vélocimétrie Laser Doppler étendue <i>R.Volk, G. Verhille, N. Mordant, J.-F. Pinton</i>	49
Évolution non linéaire de l'instabilité elliptique <i>Herreman W., Le Dizès S., Le Gal P.</i>	50
Instabilité d'un fluide dans un cylindre en précession <i>Romain Lagrange, Patrice Meunier, Christophe Eloy, François Nadal</i>	51
Propriétés non-linéaires des spirales de Taylor <i>Nizar ABCHA, Alexander EZERSKY, Lauran NANA, Innocent MUTABAZI</i>	52
Instabilités hydro-thermiques dans un anneau cylindrique vertical soumis à un fort gradient radial de température <i>Raphaël Guillermin, Valérie Lepiller, Arnaud Prigent, Innocent Mutabazi</i>	53
Maîtrise des «vagues optiques extrêmes» <i>John M. Dudley, Goëry Genty, Benjamin. J. Eggleton</i>	54
Sur l'extension latérale des déferlements <i>Pomeau Y., Le Bars M., Le Gal P. , Jamin T., Audoly B.</i>	55
Étude expérimentale des fluctuations de puissance injectée et dissipée dans les systèmes stochastiques hors d'équilibre <i>Sergio Ciliberto</i>	56
Courbes invariantes conformes : une introduction aux processus SLE et applications <i>Denis Bernard</i>	57
Propagation d'une fissure dans une couche mince élastique : une sélection géométrique <i>Bayart E., Adda-Bedia M., Boudaoud A.</i>	58
Vieillesse au point critique : résultats expérimentaux. <i>S. Joubaud, A. Petrosyan and S. Ciliberto</i>	59
Transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non-Newtonien : Evidence d'un état nonlinéaire stable. <i>Esmael, Nouar</i>	60
Tourbillons élastiques supercritiques observés dans l'écoulement de Couette-Taylor de solutions de polymères. <i>F. Kelai, N. Abcha, O. Crumeyrolle, I. Mutabazi</i>	61
Acoustique de l'éclatement d'une bulle à la surface d'un fluide non-newtonien <i>V. Vidal, T. Divoux, F. Melo, J.-C. Géminard</i>	62
Ligne de contact en reculée : influence de l'évaporation et dépôt <i>Chi-Tuong Pham, Guillaume Berteloot, François Lequeux, Laurent Limat</i>	63
Échelles de temps multiples dans les équations intégral-différentielles à retard en optoélectronique <i>Larger, Peil, Jacquot, Chembo, Erneux</i>	64
Identification de la valeur du retard d'un laser à cavité externe chaotique <i>Alexandre Locquet, Damien Rontani, Marc Sciamanna, David S. Citrin</i>	65

Etude physique numérique du fonctionnement de composants semiconducteurs distribués pour applications très hautes fréquences	
<i>El Moussati Ali, Dalle Christophe</i>	66
Propriétés de propagation des structures localisées optiques	
<i>Florence Haudin, Umberto Bortolozzo et Stefania Residori</i>	67
Solitons dissipatifs mélange de quatre ondes	
<i>Robert Conte, Svetlana Bugaychuk</i>	68
Applications de l'auto-similarité en optique non linéaire ultrarapide	
<i>Guy Millot</i>	69
Démodulation complexe de signaux expérimentaux appliquée aux ondes internes	
<i>Mercier Matthieu, Garnier Nicolas, Dauvois Thierry</i>	70
La physique des routes de tôle ondulée	
<i>Nicolas Taberlet, Jim McElwaine, Stephen W. Morris</i>	71
Magnétohydrodynamique (MHD) dans un disque képlerien : instabilité magnétorotationnelle et saturation non linéaire	
<i>A. Ribeiro, C. Nore, J. Léorat, J.-L. Guermond</i>	72
Instabilités d'un film liquide en écoulement sur une fibre verticale	
<i>C. Duprat, F. Giorgiutti-Dauphine, C. Ruyer-Quil</i>	73
Microfluidique avec des mousses : jeu entre la rhéologie et l'arrangement des bulles.	
<i>Philippe Marmottant, Jan-Paul Raven</i>	74
Elasticité des nœuds	
<i>Nicolas Clauvelin, Basile Audoly, Sébastien Neukirch</i>	75
Bifurcation $\ell = 3$ et 4	
<i>Pascal Chossat, Philippe Beltrame</i>	76

Coarsening versus non coarsening of nonequilibrium surfaces.

Chaouqi Misbah

Laboratoire de Spectrométrie Physique, CNRS - Université Joseph Fourier Grenoble I, BP 87, F-38402
Saint-Martin d'Hères Cedex, France
`chaouqi.misbah@ujf-grenoble.fr`

Several nonequilibrium systems exhibit patterns characterized by a lengthscale. The lengthscale may be fixed in time (at least its average over time, or in the statistical sense). It may alternatively, perpetually increase in time (typically as a power law). The perpetual increase of the lengthscale is a process which is called coarsening. An intermediate stage may occur : interrupted coarsening. We present a class of nonlinear equations that exhibit these three typical scenarios (no coarsening, coarsening, or interrupted coarsening). We provide a simple criterion on which scenario prevails by just inspecting the portrait of *steady-state solutions*. This is made possible thanks to the extraction of analytical results based on phase diffusion equation of the pattern. We further provide a straightforward manner to evaluate the coarsening exponent by using information from phase diffusion. We exemplify the method on typical examples. We discuss how these results, which are obtained in one dimension, can be generalized to higher dimensions.

[1] P. Politi and C. Misbah, *When does coarsening occur in the dynamics of one-dimensional fronts ?* Phys. Rev. Lett. 92, 090601 (2004).

[2] G. Danker, O. Pierre-Louis, K. Kassner and C. Misbah, *Peculiar effects of anisotropic diffusion on dynamics of vicinal surfaces*, Phys. Rev. Lett. 93, 185504 (2004).

[3] Paolo Politi and Chaouqi Misbah, *Nonlinear dynamics in one dimension : A criterion for coarsening and its temporal law*, Phys. Rev. E 73, 036133 (2006).

[4] J. Chang, O. Pierre-Louis, and C. Misbah, *Birth and Morphological Evolution of Step Bunches under Electromigration* Phys. Rev. Lett. 96, 195901 (2006).

[5] Paolo Politi and Chaouqi Misbah, *Modified Kuramoto-Sivashinsky equation : Stability of stationary solutions and the consequent dynamics*, Phys. Rev. E 75, 027202 (2007).

Nonlinear evolution of a morphological instability in a strained epitaxial film

Jean-Noël Aqua, Thomas Frisch, Alberto Verga

(ECM, IM2NP, Marseille)

jnaqua@irphe.univ-mrs.fr

A strained thin solid film deposited on a deformable substrate undergoes a morphological instability (the so-called Asaro-Tiller-Grinfeld instability) relaxing the elastic energy by surface transport. We study a dislocation free film coherently deposited on a substrate with a slightly different lattice parameter, which evolves through surface diffusion. When the film is infinitely thick or when the substrate is infinitely rigid, different approaches revealed finite-time blow-up solutions of the ATG instability which account well for experiments in thick enough films. However, these crack solutions do not describe experiments of thin films in the Stranski-Krastanov type of growth where instead, coarsening was measured.

It has been proposed that wetting interactions could regularize the evolution of such systems. We derived nonlinear and nonlocal equations which describe the dynamics of a thin film on a deformable substrate with a priori different elastic properties and account for wetting effects. When both nonlinear and wetting interactions are present, numerical simulations reveal a steady evolution. When the film initial height is higher than some critical value given by wetting effects, the surface evolves towards an array of islands separated by a wetting layer. The final stage is then an isolated island with a chemical potential monotonously decreasing with its volume. Consistently, the system undergoes a non-interrupted coarsening characterized by a power-law decrease of the island number with time which depends noticeably on dimensionality.

J.-N. Aqua, T. Frisch, A. Verga, *Phys. Rev. B.*, vol. 76, p.165319 (2007).

Auto-organisation de boîtes quantiques sur substrat de Silicium nanostructuré

Isabelle Berbezier, Antoine Ronda

Univ. Aix Marseille, CNRS, IM2NP, Av. Escadrille Normandie Niemen, 13397 Marseille Cedex 20

Le but de nos études est de comprendre, fabriquer et auto-assembler des nanostructures semiconductrices dont l'amélioration des propriétés physiques devrait permettre une augmentation de la fiabilité et des caractéristiques des objets technologiques dans lesquels elles seront utilisées. L'étude présentée ici vise pour application la fabrication de mémoires non volatiles à grille flottante en nano-cristaux (NC) auto-assemblés sur des substrats de Silicium nano-structurés. Les principaux avantages de ce type de mémoire sont l'insensibilité aux fuites locales, une faible consommation et une meilleure endurance, des vitesses d'opérations plus rapides, la compatibilité avec la technologie CMOS et la possibilité de réduction ultime des taille des composants.

Dans ce contexte applicatif, nous avons développé deux procédés de réalisation NC qui s'appuient sur une première étape de nanostructuration du substrat de Si, suivie par une deuxième étape d'auto-organisation des NC sur les motifs [1]. Ces procédés visent à éliminer les problèmes observés généralement lorsque les NC sont déposés de façon aléatoire sur des substrats pleine plaque (distances entre les NC et tailles des NC inhomogènes, chargement des NC non reproductible).

La première partie concernera les différents procédés et mécanismes de nanostructuration des substrats en utilisant d'une part les mécanismes de croissance et d'autre part un procédé technologique tel que la gravure par faisceau d'ions focalisés de Ga⁺ [2].

La deuxième partie concernera les mécanismes d'auto-organisation des NC sur des substrats soit de Si soit de SiO₂ nanostructurés. Le rôle des motifs sur la mise en ordre des NC dans les différents cas sera mis en évidence [3] et en particulier l'influence de la contrainte, de la diffusion de surface et de l'énergie de surface sur cette mise en ordre. L'influence respective de ces différents paramètres explique par exemple la position des NC par rapport aux motifs : la contrainte induit une germination préférentielle des NC sur les parties convexes du substrat proches des trous alors que la diffusion de surface et l'énergie de surface induisent une germination préférentielle des NC dans les trous [4].

Finalement, je présenterai très brièvement le procédé complet de fabrication de la mémoire (qui s'appuie sur la nanolithographie par FIB d'une couche d'oxyde tunnel et l'auto-organisation des NC de Ge dans les nano-motifs FIB) [5] ainsi que les caractéristiques des capacités et des transistors obtenus ainsi que l'influence capitale de la taille des NC sur leurs propriétés de confinement quantique et de blocage de Coulomb [6].

[1] Ge Dots Organization on FIB Patterned Substrates, A. Karmous, A. Cuenat, A. Ronda, I. Berbezier, S. Atha, R. Hull, Appl. Phys. Lett. 85 (2004).

[2] Self-assembly and ordering mechanisms of Ge islands on Pre-Patterned Si(001), A. Pascale, I. Berbezier, A. Ronda, P.C. Kelires, PRB 2008, in print.

[3] Self-assembling of Ge dots on nanopatterns : Experimental investigation of their formation, evolution and control, I. Berbezier, A. Ronda, Phys. Rev. B 75 (2007) No. 195407.

[4] Formation and ordering of Ge nanocrystals on SiO₂, A. Karmous, I. Berbezier, A. Ronda, Phys Rev. B 73 (2006) 075323.

[5] Ge quantum dot memory structure with laterally ordered highly dense arrays of Ge dots, A.G. Nassiopoulou, A. Olzierski, E. Tsoi, I. Berbezier, A. Karmous, J Nanosci Nanotechnol 7 (2007) 316.

[6] Memory and Coulomb blockade effects in germanium nanocrystals embedded in amorphous silicon on silicon dioxide, K. Gacem, A. El Hdiy, M. Troyon, I. Berbezier, P.D. Szkutnik, A. Karmous, A. Ronda, J. of Appl. Phys. 102 (2007) 093704.

Continuum equation for self-organization during semiconductor heteroepitaxy

Christoph A. Haselwandter, Dimitri D. Vvedensky

Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139 USA)
(The Blackett Laboratory, Imperial College, London SW7 2AZ, UK

Self-organization in strained heteroepitaxial systems has been the subject of many theoretical studies, including kinetic Monte Carlo (KMC) simulations, molecular dynamics and continuum theories. One of the "grand challenges" for computational materials science is the synthesis of such diverse descriptions into a multiscale theory of morphological evolution. However, despite the immense practical importance of heteroepitaxial nanostructures, general methodologies for thin film evolution in the presence of lattice misfit have been slow to develop. The main reason for this is that the rates of atomistic processes on strained surfaces are not determined solely by the local environment, as in the case of homoepitaxy, but depend on nonlocal factors such as the height above the substrate and lateral extent of a terrace, and the presence of neighboring islands. These effects are manifestations of long-range elastic interactions, which find a natural expression within a continuum framework. We have derived a stochastic differential equation for the morphological evolution of heteroepitaxial surfaces from an atomistic model for coherent three-dimensional (3D) island formation. Our approach is based on transforming the Chapman-Kolmogorov equation, which is the formal expression of KMC simulations, with discrete events at discrete times, into an exact lattice Langevin equation. We then systematically regularize the transition rules to obtain a Langevin equation for continuous space and time.

Our method produces an equation similar to that obtained by Golovin et al. [2] from classical elasticity. But there are crucial differences between our equation and this earlier work. Most important is that the coefficients in our Langevin equation have a direct relation to the underlying atomistic processes. Since the transition rates of these processes can be calculated with density functional methods, we have the basis for a genuine multiscale description of heteroepitaxial morphological evolution. Another important difference is the presence of noise terms that reflect the randomness of the deposition and diffusion processes. These are central for the quantitative description of the morphological evolution observed in experiments. On the other hand, Golovin et al. explicitly include the effect of a wetting layer in their formulation. This issue remains for further investigation.

Non-linear elastic effects on the morphological evolution and plasticity of stressed multi-layers and solids

J  rome Colin

LMP, Poitiers

The emergence of nanostructures in stressed multilayers is first investigated considering the non-linear amplitude expansion of shape fluctuations emerging at the interfaces of a buried layer embedded in a matrix. A criterion simply expressed in terms of the relative elastic hardness of the solids is proposed and the possibility of design of nano-structures is discussed.

In the general framework of non-linear elasticity, a plasticity effect recently observed in alloys at room temperature, i.e. the gliding instability of dislocations near axi-symmetrical precipitates has been explained by means of static atomistic simulations. It is demonstrated that the non-linear interaction usually neglected between three sources of strain identified as the dislocations, the external applied strain and the precipitates is responsible for the unusual localized cross-slip of the dislocations from the $\{111\}$ to $\{100\}$ planes in zone with the axis of the precipitates. It is believed that the third order interaction emphasized here plays a key role in many other problems of plasticity such as creep under irradiation or dislocation nucleation.

Universal non-equilibrium phenomena at submicrometric surfaces and interfaces.

Rodolfo Cuerno

GISC, Madrid

The recent widespread interest in processes occurring at micro and nanometric scales has increased the physical relevance of the surfaces and interfaces constituting system boundaries, both at and far from equilibrium. In the latter case, universal properties occur, such as scale invariance (surface kinetic roughening), surface pattern formation or domain coarsening. However, descriptions of these systems feature limited predictive power when based merely on universality principles. We review examples from Materials Science at nano and submicrometric scales, that underlie the importance of describing growing surfaces by means of (phenomenological) constitutive laws, in order to correctly describe the rich behaviors experimentally found across many different systems. Additionally, this approach provides new generic models that are also of interest in the wider contexts of Pattern Formation and Non-Linear Science.

Adhésion des membranes et filaments sur les surfaces patternées

Olivier Pierre-Louis

Oxford et LSP, Grenoble

L'adhésion d'un filament ou d'une membrane sur une surface patternée est étudiée dans le cadre d'un modèle simple. Dans le cas d'un pattern en tapis de fakir, il apparaît une série infinie de transitions, menant finalement à un décollement complet. Par contre, si le profil de la surface est sinusoidal, des transitions plus simples sont observées. Nous discuterons de la pertinence de ces résultats, pour plusieurs systèmes : graphène/SiO₂, membranes lipidiques, et nanotubes de carbone.

Croissance organisée de nanostructures

Vincent Repain

MPQ, Univ. Paris Diderot

La réalisation de nanostructures supportées sur une surface est un préalable à l'étude de leurs propriétés nouvelles en optique, magnétisme, catalyse, transport électronique . L'auto-organisation des surfaces cristallines, phénomène naturel qui permet d'obtenir des structurations à l'échelle nanométrique, peut être mise à profit pour réaliser une croissance organisée de diverses nanostructures. Parmi ces surfaces, les surfaces vicinales sont des gabarits particulièrement réguliers, dû à leur faible symétrie. Je montrerai que l'étude par microscopie à effet tunnel de la croissance de nanostructures magnétiques (Fe, Co, Fe-Pt) sur des surfaces vicinales d'or permet effectivement d'obtenir des structures uniformes et régulières dans une certaine gamme de paramètres du dépôt (flux, température). Cette croissance organisée s'interprète bien à l'aide d'équations d'évolution des espèces diffusantes, traité en champ moyen. Des simulations par Monte-Carlo cinétique permettent de compléter la compréhension de certains mécanismes et d'obtenir des informations sur la distribution de taille des nanostructures dans ces systèmes.

Fonctionnelle d'énergie pour un Condensat de Bose Einstein dans un réseau optique

Amandine Aftalion

Laboratoire Jacques-Louis Lions, Paris 6
aftalion@ann.jussieu.fr

Notre but est de comprendre l'état fondamental de l'énergie de Gross Pitaevskii décrivant un condensat de Bose Einstein dans un réseau optique. Cette énergie contient un terme de piégeage périodique. Nous cherchons à justifier mathématiquement les réductions de fonctionnelles à des dimensions inférieures en fonction des paramètres du problème : profondeur des puits du réseau optique, fréquence de piégeage du piège magnétique, vitesse de rotation, intensité de l'interaction. Nous utilisons l'analyse semi classique développée pour les problèmes linéaires reliés à l'opérateur de Schrodinger avec potentiel périodique.

Ceci est un travail en collaboration avec Bernard Helffer.

Oscilateur hydraulique

Luc Lebon, Laurent Limat & Christophe Pirat

Laboratoire MSC - CNRS et Université Paris 7

`luc.lebon@univ-paris-diderot.fr`

Quand un jet liquide vient impacter une surface horizontale, cela produit un écoulement radial dans un film mince avec la formation d'un ressaut hydraulique. Des gouttes peuvent léviter sur le ressaut, séparées du film liquide par un film mince d'air.

Si on incline légèrement la surface, et donc le ressaut hydraulique, on peut observer que les gouttes piégées sur le ressaut ne sont plus statiques, mais oscillent sur le bord interne du ressaut. Ces oscillations apparaissent auto-entretenues ; nous étudions leurs caractéristiques en fonction des liquides utilisés, de l'inclinaison de la surface et du débit du jet impactant.

Mécanisme de sélection de longueur d'onde dans la couronne d'Edgerton

P. Brunet¹, R.D. Deegan², & J. Eggers³

¹ Laboratoire de Mécanique de Lille - CNRS UMR 8107, Bd Paul Langevin 59655 Villeneuve d'Ascq, France

² Department of Physics and Center for the Study of Complex Systems, Randall Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

³ Department of Mathematics - University of Bristol, University Walk BS81TW Bristol, United Kingdom
`philippe.brunet@univ-lille1.fr`

Nous étudions expérimentalement et théoriquement l'impact d'une goutte sur un film mince du même liquide. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la formation du pattern régulier de gouttelettes à la périphérie de la nappe annulaire se développant après l'impact. Ce pattern est dénommé 'couronne d'Edgerton' d'après le nom du photographe qui l'a popularisé. Nous donnons une vue détaillée de la séquence d'événements observés, lorsque les deux paramètres de contrôle pertinents varient. La couronne d'Edgerton est observée uniquement dans un étroit domaine de l'espace des paramètres. En dehors de ce domaine, la structure observée est soit différente qualitativement, soit possède une certaine irrégularité.

Références

1. R.D. Deegan, P. Brunet and J. Eggers, *Complexity of Splashing, Nonlinearity* **21** C1-C11 (2008).

Analyse déterministe de la compétition non linéaire de modes dans un écoulement en cavité

F. Lusseyran¹, L. R. Pastur¹, Th. M. Faure¹, & C. Letellier²

¹ LIMSI-CNRS BP 133 Bât 508 - Université Paris Sud 91403 Orsay Cedex

² CORIA UMR 6614 — Université de Rouen, BP 12, F-76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex
lussey@limsi.fr

L'écoulement en cavité est un paradigme abondamment utilisé pour l'étude des écoulements autour de discontinuités structurelles d'engins. La couche de cisaillement qui se forme à l'affleurement amont de la cavité développe une instabilité de type Kelvin-Helmholtz qui, combinée à divers mécanismes de couplage, se traduit dans certaines gammes du nombre de Reynolds par une compétition entre deux modes d'oscillation. Par exemple, pour un nombre de Reynolds $Re = 13900$, ces deux modes sont caractérisés par les fréquences $f_1 = 23,2$ Hz et $f_2 = 31,0$ Hz.

Nous étudions cette compétition de modes dans un écoulement produit en soufflerie. Une étude par démodulation complexe des séries temporelles obtenues par vélocimétrie laser Doppler (LDV) en aval de la cavité a permis de montrer que les deux modes d'oscillations tendent à s'exclure mutuellement. Des mesures par PIV sous-échantillonnées en temps, mais synchronisées avec les mesures par LDV, nous ont également permis d'identifier les structures spatiales associées à ces modes [1]. Néanmoins, le critère défini pour décider de la présence ou non d'un mode d'oscillation de la couche de mélange, basé sur une comparaison de l'amplitude instantanée du mode relativement à son amplitude moyenne, reste arbitraire et entaché des limitations intrinsèques aux méthodes spectrales.

En assimilant l'écoulement à un système dynamique [2], les oscillations de la couche de cisaillement apparaissent sous la forme de trajectoires dans l'espace des phases du système. Malgré une réduction importante de la dynamique (dimension de plongement au plus égale à 10), la caractérisation topologique fine du portrait de phases est hors de portée. Nous montrons qu'il est cependant possible d'extraire des informations, concernant la dynamique de l'intermittence entre modes fréquentiels, en réduisant l'étude à une projection du portrait de phases définies sur les deux premières composantes principales du signal. Une section de Poincaré appropriée permet de suivre l'évolution du système, d'une part en mesurant les intervalles de temps τ_i entre deux intersections successives de la trajectoire avec la section — définissant ainsi de façon précise la 'fréquence instantanée' $f = 1/\tau_i$ de l'oscillation — et, d'autre part, en définissant chaque intersection par ses coordonnées polaires (r_n, θ_n) sur l'application de premier retour. En construisant une application de premier retour angulaire $\theta_{n+1} = f(\theta_n)$ et l'histogramme des positions angulaires θ_n , il apparaît une distribution à deux bosses, chacune étant associée à des durées de cycle moyen τ_1 et τ_2 , tels que $1/\tau_1 = 23,6$ Hz $\simeq f_1$ et $1/\tau_2 = 29,9$ Hz $\simeq f_2$. Il est dès lors possible, grâce à cette représentation, de déterminer précisément l'état d'oscillation de la couche de cisaillement. Deux dynamiques symboliques sont alors construites : l'une est basée sur la fréquence d'oscillations (0 si f_1 , 1 si f_2), et l'autre sur la transition (1) ou non (0) d'un mode vers l'autre. Nous en déduisons la distribution des temps de vie de chacun des modes ainsi que la distribution des transitions entre modes. Nous montrons ainsi que l'échelle de temps des transitions est si petite que les méthodes spectrales échouent parfois à les détecter. Enfin nous montrons que la dynamique sous-jacente à cette compétition de modes résulte de la superposition d'une composante déterministe et d'un processus stochastique.

Références

1. R. PETHIEU, L. PASTUR, F. LUSSEYRAN & TH. FAURE, Caractérisation expérimentale de la compétition non-linéaire de modes de Kelvin-Helmoltz dans un écoulement en cavité, *Comptes-rendus de la 10^{ème} Rencontre du Non Linéaire*, 143-148, 2007.
2. F. LUSSEYRAN, L. PASTUR & C. LETELLIER, Dynamical analysis of an intermittency in an open cavity flow, *Physics of Fluids*, soumis.

Modèle d'ordre réduit pour la zone de paroi d'un canal turbulent

Podvin¹ & Lorang²

LIMSI-CNRS Université Paris-Sud Orsay
`podvin@limsi.fr`

Nous étudions comment la zone de paroi d'un canal plan turbulent peut être représentée par un modèle d'ordre réduit correspondant à une projection de Galerkin sur les modes POD de l'écoulement. Les hypothèses de dérivation du modèle sont confrontées à la simulation numérique. Les prédictions du modèle sont comparées aux résultats de la simulation. En particulier nous examinons dans quelles conditions le modèle présente un comportement apparemment chaotique, qualitativement semblable à celui observé dans la simulation.

Multiplicité extrême de motifs convectifs

Laurette S. TUCKERMAN¹ & Katarzyna BORÓŃSKA²

¹ PMMH-CNRS (ESPCI, P6, P7), 10 rue Vauquelin, 75231 Paris

² LIMSI-CNRS, B.P. 133, 91403 Orsay Cedex

laurette@pmmh.espci.fr

Dans un cylindre rempli d'eau ($Pr = 6.7$) et ayant rayon deux fois la hauteur ($\Gamma \equiv R/H = 2$), Hof, Lucas et Mullin [1] ont observé *cinq* motifs distincts différents au même nombre de Rayleigh, $Ra = 14\,200$: deux, trois et quatre rouleaux parallèles, un motif “mercedes” avec trois zones radiales de fluide descendant ou montant, et même un état axisymétrique. Ayant réussi à simuler ces motifs numériquement, nous avons cherché à construire un diagramme de bifurcation complet et, en particulier, de comprendre la relation entre ces motifs et les états créés à partir de l'état conductif, qui doivent obligatoirement être de nature trigonométrique. Le diagramme s'avère extrêmement riche, avec au moins 14 branches d'états stationnaires stables et instables, et au moins 2 branches d'états oscilloires, liés entre eux par des bifurcations. Ce diagramme représente un compromis entre, d'un côté, les principes physiques régissant la convection dans l'intérieur, tels que la sélection de nombre d'onde, et de l'autre côté, les principes mathématiques de symétrie imposés par les frontières cylindriques du récipient.

Références

1. B. HOF, G. J. LUCAS & T. MULLIN Flow state multiplicity in convection, *Phys. Fluids* **11**, 2815–2817 (1999).

Mécanismes du mélange chaotique en système ouvert : selle chaotique et modes propres

Emmanuelle Gouillart^{1,2}, Olivier Dauchot², Jean-Luc Thiffeault³, & Stéphane Roux⁴

¹ Unité mixte Saint-Gobain/CNRS "Surface du Verre et Interfaces", 39 quai Lucien Lefranc, 93303 Aubervilliers cedex, France

² Service de Physique de l'Etat Condensé, DSM, CEA Saclay, URA2464, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

³ Department of Mathematics, University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA

⁴ LMT-Cachan, UMR CNRS 8535/ ENS de Cachan/ Univ. Paris VI/UniverSud Paris, 61 avenue du Président Wilson, 94 235 Cachan Cedex, France

emmanuelle.gouillart@saint.gobain.com

Nous avons réalisé une étude expérimentale du mélange de fluides visqueux dans des écoulements 2-D ouverts, où les particules fluides traversent une région de mélange avant d'être emportées par l'écoulement global. Dans la région de mélange, des agitateurs créent de l'advection chaotique, i.e. des trajectoires lagrangiennes complexes [1]. Si les mécanismes de mélange ont été très étudiés dans les systèmes fermés [2], les études portant sur les écoulements ouverts sont plus rares [3], et se sont principalement intéressées à une description cinématique du mélange.

Nous décrivons ici l'évolution au cours du temps d'une tache de colorant injectée en amont de la région de mélange. Nos expériences nous permettent d'accéder directement au champ de concentration du colorant dans la région de mélange, et en aval. Nous nous intéressons tout d'abord aux particules fluides avec des courts temps de séjour, qui forment l'essentiel des éléments mal mélangés : leur description est donc cruciale pour évaluer la qualité du mélange. Une description basée sur les variétés stables et instables des orbites périodiques de la région de mélange – la selle chaotique [3] – nous permet de caractériser l'origine de ces particules. Nous montrons également qu'aux temps longs, le champ de concentration converge vers un motif permanent, qui est un mode propre de l'opérateur d'advection-diffusion – un phénomène bien connu pour les écoulements fermés [4], mais encore jamais observé en ouvert. Nous discutons également le rôle des bords du domaine de mélange pour la vitesse du mélange. Par ailleurs, une modélisation basée sur une transformation du boulanger modifiée permet de rendre compte de l'essentiel des mécanismes observés.

Références

1. H. Aref, 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. T. Tél, G. Károlyi, A. Péntek, I. Scheuring, Z. Toroczkai, C. Grebogi, et J. Kadtke, Chaos **10**, 89 (2000).
4. R. Pierrehumbert, Chaos Solitons Fractals **4**, 1091 (1994).

Fluctuations de puissance injectée dans les systèmes dissipatifs hors d'équilibre

Claudio Falcón¹, Éric Falcon², Sébastien Aumaître³, & Stephan Fauve¹

¹ Laboratoire de Physique statistique de l'Ecole Normale Supérieure, CNRS UMR 8550, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.

² Matière et Systèmes Complexes, Université Paris Diderot-Paris 7, CNRS, 75 013 Paris, France.

³ Service de Physique de l'Etat Condensé, Direction des Sciences de la Matière, CEA-Saclay, CNRS URA 2464, 91191, Gif-sur-Yvette Cedex, France.

cfalcon@lps.ens.fr

La puissance injectée I permettant de maintenir un système dissipatif dans un état stationnaire est en général une quantité fluctuante. Nous nous intéressons aux propriétés statistiques de ces fluctuations dans le cas d'un forçage aléatoire en étudiant différents systèmes physiques (particule excitée par un plan vibrant, circuit électronique RC soumis à une tension aléatoire, turbulence d'ondes, convection turbulente). Pour cette classe de systèmes, nous observons que la fonction densité de probabilité de la puissance injectée comporte des ailes exponentielles asymétriques et une singularité caractéristique en zéro. Nous présentons un modèle simple basé en une approche à la Langevin, qui nous permet d'expliquer la forme de cette loi de probabilité et de décrire les résultats expérimentaux sans paramètre ajustable.

Références

1. J. KURCHAN, *J. Phys A* **31** 3719 (1998).
2. G. GALLAVOTTI, E.D.G. COHEN, *Phys. Rev. Lett.*, **74** pp 2694 (1995).
3. J. FARAGO, *J. Stat. Phys.*, **107** pp 781 (2002).
4. R. LABBÉ, J.F. PINTON, S. FAUVE, *J. Phys II France*, **6** pp 1099 (1996).
5. É. FALCON *et al*, accepté pour publication à *Phys. Rev. Lett.* (2008).

Courbure du Flot de Systèmes Dynamiques Lents-Rapides

Ginoux Jean-Marc¹ & Rossetto Bruno²

¹ Laboratoire PROTEE, I.U.T. de Toulon, Université du Sud,
B.P. 20132, 83957, La Garde Cedex, France

² Laboratoire PROTEE, I.U.T. de Toulon, Université du Sud,
B.P. 20132, 83957, La Garde Cedex, France

ginoux@univ-tln.fr

En considérant les *courbes trajectoires*, intégrales de systèmes dynamiques *lents-rapides* de dimension n , dans le cadre de la *Géométrie Différentielle* comme des courbes évoluant dans un espace Euclidien de dimension n , il est établi dans cet article que la courbure du flot, i.e., la courbure des *courbes trajectoires*, fournit directement l'équation analytique de leur *variété lente* dont l'invariance est prouvée par la Théorie de Darboux. Ainsi, il est démontré que la méthode de la courbure du flot qui ne met en jeu que les dérivées successives du champ de vecteurs vitesses et qui ne fait appel à aucun développement en perturbations singulières constitue une méthode générale simplifiant et améliorant la détermination de l'équation analytique de la *variété lente* de systèmes dynamiques lents-rapides de dimensions élevées. Des modèles en dimension trois, quatre et cinq comme ceux de Gaspard-Nicolis (cinétique chimique), d'Hindmarsh-Rose (neuronale), d'Edgar Knobloch (magnetoconvection) ou de L. O. Chua (électronique) permettent d'illustrer l'efficacité de cette méthode.

Références

- Christopher, C., Llibre, J. & Pereira, J.V. [2007] "Multiplicity of invariant algebraic curves in polynomial vector fields," *Pac. J. Math.* 229, 63–117.
- Chua, L. O., Komuro, M. & Matsumoto, T. [1986] "The Double Scroll Family," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, CAS-33, 1072–1118.
- Darboux, G. [1878] "Sur les équations différentielles algébriques du premier ordre et du premier degré," *Bull. Sci. Math. Sr.* 2(??), 60–96, 123–143, 151–200.
- Ginoux, J.M. & Rossetto, B. [2006] "Differential Geometry and Mechanics Applications to Chaotic Dynamical Systems," *Int. J. Bifurcation and Chaos* 4, Vol. 16, 887–910.
- Knobloch, E. & Proctor, M. [1981] "Nonlinear periodic convection in double-diffusive systems," *J. Fluid Mech.* 108, 291–316.

Détermination de partitions par algorithme génétique sur critère de nombre maximal de séquences réalisées

U. S. Freitas, E. Roulin, & C. Letellier

CORIA UMR 6614 — Université et INSA de Rouen, BP. 12, 76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex
Christophe.Letellier@coria.fr

Lorsqu'une analyse par dynamique symbolique est entreprise, se pose souvent le difficile problème du choix de la partition de l'ensemble invariant. Lorsque la dynamique est déterministe et peu bruitée, la partition génératrice peut être déterminée sur des critères topologiques [1,2]. Toutefois, lorsque la dynamique est suffisamment bruitée ou résulte de la superposition d'une composante déterministe à une composante stochastique, ces techniques ne permettent plus la détermination d'une partition sans ambiguïté. Différentes techniques peuvent alors être employées. L'une d'entre elles, très simple à mettre en œuvre consiste à choisir une partition de telle manière à assurer l'équipartition des symboles [3]. L'inconvénient d'une telle partition est qu'elle diffère souvent de la partition topologique [4]. Aussi, il a été récemment proposé de choisir une partition de manière à ce que le nombre de séquences d'une longueur donnée soit maximum [5]. Le problème est qu'un tel critère implique de résoudre un problème de recherche de maxima non trivial. De manière à optimiser la recherche de la meilleure partition, un algorithme génétique a donc été développé. Des partitions jusqu'à 5 symboles ont été obtenues avec des temps raisonnables de calculs. La fiabilité du code est démontrée sur des dynamiques multimodales bruitées (système de Rössler). Le critère choisi — nombre maximum de séquences réalisées — n'est jamais pris en défaut et une statistique sur une dizaine de recherches permet d'identifier avec un bon indice de confiance la partition optimale. Une analyse par dynamique symbolique d'un ECG de rat est également donnée. Il est montré que la partition obtenue permet d'identifier automatiquement les arythmies les plus courantes.

Remerciements

Les enregistrements d'électrocardiogrammes de rats nous ont été fournis par Jean-Paul Morin et Stéphane Lorient.

Références

1. J. PLUMECOQ & M. LEFRANC, From template analysis to generating partitions I : Periodic orbits, knots and symbolic encodings, *Physica D*, **144**, 231-258, 2000.
2. J. PLUMECOQ & M. LEFRANC, From template analysis to generating partitions II : Characterization of the symbolic encodings, *Physica D*, **144**, 259-278, 2000.
3. X.Z. TANG, E.R. TRACY, A.D. BOOZER, A. DE BRAUW & R. BROWN. Symbol sequence statistics in noisy chaotic signal reconstruction, *Physical Review E*, **51** (5), 3871-3889, 1995.
4. J. GODELLE & C. LETELLIER. Symbolic sequence analysis of liquid jet, *Physical Review E*, **62**, 2001.
5. C. LETELLIER, Symbolic sequence analysis using approximated partition, *Chaos, Solitons & Fractals*, **36**, 32-41, 2008.

Out-of-equilibrium Phase Transition and Dynamical Structures in the Hamiltonian Mean-Field model

Bachelard¹, Chandre¹, Fanelli², Leoncini¹, & Ruffo²

¹ Centre de Physique Théorique, Campus de Luminy, Case 907, 13288 Marseille cedex 9, France

² Dipartimento di Energetica S. Stecco, Università degli studi di Firenze, Via S. Marta, 3 I-50139, Firenze, Italy
`bachelard@cpt.univ-mrs.fr`

Long-range interactions are encountered in many branches of physics, such as plasmas, gravitational systems or Free Electron Lasers. A paradigmatic toy model which shares many similarities with the aforementioned applications is the so-called Hamiltonian Mean-Field (HMF) model, which describes the coupled dynamics of n rotators. Starting from an initial condition with particles uniformly occupying a rectangular domain of phase-space, the HMF system undergoes a violent relaxation, and is subsequently trapped in long-lasting Quasi-Stationary States (QSS), whose lifetime diverges with the number of simulated rotators. Depending on the initial energy and magnetization, in-homogeneous (magnetized) or homogeneous (non magnetized) regimes are attained. The transition between these two opposite phases is here inspected and the existence of underlying dynamical structures, namely invariant tori of the high-dimensional system, revealed. In particular, in the magnetized phase, the system closely resembles an ideal classical pendulum.

Conversely, in the opposite homogeneous phase, two resonances are always displayed. This out-of-equilibrium phase transition is demonstrated to correspond to a dynamical bifurcation, which takes the resonances to merge into a single structure. Moreover, a slow drift of the bifurcation point is observed as the thermodynamical equilibrium is approached, an observation which in turn quantifies the aging of the system as time grows.

Optique non-linéaire dans des électrons relativistes : rayonnement synchrotron cohérent accordable induit par laser

S. Bielawski³, C. Evain³, T. Hara⁶, M. Hosaka¹, M. Katoh^{1,2}, S. Kimura^{1,2}, A. Mochihashi^{1,2}, M. Shimada¹, C. Szwaj³, T. Takahashi⁵ and Y. Takashima⁴

(1) : UVSOR, Institute for Molecular Science, Okazaki, Aichi, 444-8585, Japan.

(2) School of Physical Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Okazaki, Aichi, 444-8585, Japan.

(3) Laboratoire PhLAM, UMR CNRS 8523, CERLA, FR CNRS 2416, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France.

(4) Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya, 464-8603, Japan.

(5) Research Reactor Institute, Kyoto University, Kumatori-cho, Osaka, 590-0494, Japan.

(6) Visiting researcher in UVSOR¹, permanent address : SPRING-8/RIKEN, Sayo-cho, 679-5148 Hyogo, Japan.
serge.bielawski@univ-lille1.fr

L'interaction non-linéaire entre lumière et des électrons relativistes présente des points communs avec l'interaction laser-"matière classique". Cependant, le détail de l'interaction présente des particularités [1], dues en particulier à l'évolution spatio-temporelle des paquets d'électrons dans un espace à 6 dimensions.

Dans cette étude expérimentale et théorique, nous considérons l'analogie de la "rectification optique" (et de la différence de fréquences) dans les paquets d'électrons. Une impulsion laser picoseconde dont l'enveloppe est modulée sinusoïdalement interagit avec les électrons d'un accélérateur. Cette interaction produit une modulation d'énergie, qui se transforme -lors de l'évolution dynamique du paquet d'électron- en une modulation de la densité de charge. En conséquence, une émission synchrotron cohérente spectralement fine est attendue lors du passage du paquet modulé dans les aimants de courbure suivants.

Nous montrons expérimentalement, sur l'anneau de stockage UVSOR-II (Okazaki, Japon), que ce processus est effectivement réalisable et peut mener à une production contrôlée (accordable) de rayonnement cohérent terahertz. Une étude perturbative de l'évolution spatio-temporelle du paquet d'électrons, permet d'obtenir des expressions analytiques de la modulation de densité obtenue, et de la région spectrale accessible.

Références

1. S. KHAN *et al.*, FEMTOSECOND UNDULATOR RADIATION FROM SLICED ELECTRON BUNCHES, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 074801 (2006), J. M. BYRD *et al.*, TAILORED TERAHERTZ PULSES FROM A LASER-MODULATED ELECTRON BEAM, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 164801 (2006).

Propagation d'une impulsion lél dans un faisceau d'électrons relativistes

M. Labat¹, C. Bruni², C. Szwaj³, S. Bielawski³, & M.E. Couprie⁴

¹ CEA/DSM/DRECAM/SPAM, Saclay

² LAL, Université Paris Sud, CNRS/IN2P3, Orsay

³ PhLAM, CERLA UMR CNRS 8523, Université de Lille

⁴ Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin

marie.labat@synchrotron-soleil.fr

Un Laser à Electrons Libres (LEL) est un laser dont le milieu amplificateur est constitué d'un paquet d'électrons relativistes. Dans la configuration " injectée ", une source laser externe (laser conventionnel ou harmoniques générées dans un gaz rare ou un cristal) est superposée temporellement, spatialement et spectralement à un faisceau d'électrons accéléré (typiquement entre 600 MeV et 1 GeV). L'interaction entre les faisceaux dans une structure magnétique périodique (un onduleur) permet la modulation en énergie puis en phase, de la distribution électronique. La distribution émet alors un rayonnement cohérent, amplifié tout au long de l'onduleur au détriment de l'énergie des électrons. La saturation est atteinte lorsque les électrons atteignent une énergie trop faible pour rester en interaction avec l'onde.

Selon les conditions (énergie, densité, longueur du paquet d'électrons et puissance, durée d'impulsion du laser injecté), différents régimes de propagation de l'onde lumineuse dans l'onduleur sont observés. A titre d'exemple, lorsque l'impulsion lumineuse générée au centre du paquet d'électrons approche de la saturation, celle-ci se scinde temporellement en deux. Une première partie se déplace vers l'avant de la distribution (sa vitesse de propagation dans l'onduleur est supérieure à celle des électrons), tandis qu'une seconde partie se déplace vers l'arrière de la distribution (sa vitesse de propagation est inférieure à celle des électrons). Les deux impulsions ainsi produites poursuivent leur amplification en interagissant avec des électrons encore non diminués en énergie par leur interaction avec le laser injecté.

Les résultats des simulations [3] permettant de mettre en évidence les conditions d'obtention de ce nouveau régime sont présentés dans le cas du projet ARC-EN-CIEL [2], projet français de source de quatrième génération.

Références

1. L. Giannessi and P. Musumeci, New Journal of Physics 8, 294 (2006).
2. M.E. Couprie and al., Proceedings of the FEL'06 Conference, Berlin, Germany, 146-148 (2006).
3. L. Giannessi, Proceedings of the FEL'06 Conference, Berlin, Germany, 91-94 (2006).

Solitons dissipatifs de l'équation de Ginzburg-Landau Complexe (CGLE) à (3+1)D : balles de lumière et pulsations

A. Kamagate, P. Grelu, & P. Tchofo-Dinda

Institut CARNOT Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon
aladji.kamagate@u-bourgogne.fr

L'équation Ginzburg-Landau complexe (CGLE), est une équation universelle pour modéliser la dynamique spatio-temporelle et la formation des structures localisées dans une grande variété de systèmes dissipatifs non linéaires. Cette équation est donnée par la relation suivante dans le domaine spatio-temporel (3+1) D :

$$\psi_z - i\frac{1}{2}D\psi_{tt} - i\frac{1}{2}\psi_{xx} - i\frac{1}{2}\psi_{yy} - i\gamma|\psi|^2\psi - i\nu|\psi|^4\psi = \delta\psi + \beta\psi_{tt} + \epsilon|\psi|^2\psi + \mu|\psi|^4\psi \quad (1)$$

Avec ψ l'enveloppe normalisée du champ, t la coordonnée du temps, y et x représentent les variables transverses pour prendre en compte la diffraction spatiale dans l'approximation des ondes paraxiales. D est le coefficient de la vitesse de groupe et γ celui de non linéarité. Le paramètre quintique non linéaire est ν tandis que δ représente les pertes linéaires, ϵ est le coefficient de gain non linéaire et le terme de filtrage spectral est donné par β enfin la saturation du gain non linéaire est caractérisée par μ . Les membres de gauche dans l'équation (1) représentent les termes conservatifs et ceux de droite, les termes dissipatifs. L'objectif de notre étude est de mettre en évidence les domaines d'existence des différentes solutions (solitons dissipatifs) de cette équation. Suivant les paramètres de l'équation, on arrive à cartographier dans le plan (ν, ϵ) (ou dans tout autre plan en fixant les autres paramètres) les différentes solutions de CGLE. La méthode utilisée est celle des coordonnées collectives, qui nous permet, en un temps de calcul réduit, d'obtenir des relations simples entre les différentes variables dynamiques considérées dans la description. Ce qui permet aisément de faire ressortir les points fixes et de mettre en relief les différentes régions de l'évolution du système; les solitons stationnaires qui correspondent aux points fixes stables, et les solitons à respiration (Pulsating Soliton) existent dans certaines régions des points fixes instables.

Références

- [1] J.M. Soto-Crespo, N. Akhmediev, P. Grelu, Phys. Rev.E74 046612 (2006).
- [2] D.E. Edmundson and R.H. Enns, Phys. Rev. A 51, 2491 (1995).
- [3] X. Liu, L.J.Qian and F.W. Wise, Phys. Rev. Lett. 82, 4631 (1999).
- [4] B. A. Malomed, D. Mihalache, F. Wise, L. Torner, J. opt. B. 7, R53 (2005).
- [5] Dissipative solitons, Ed. N.Akhmediev and A. Ankiewicz, Springer, Heidelberg,2005.
- [6] J.M.Soto-Crespo, N.Akhmediev and V. V.Afanajev, J. Opt. Soc. Am. B 13, 1439 (1996).
- [7] J.M.Soto-Crespo, P.Grelu, N.Akhmediev, and N. Devine, Phys. Rev.E75 016613 (2007).
- [8] P.T. Dinda, A.B. Moubissi and K. Nakkeeran, Phys. Rev. E63, 016608 (2001).
- [9] D. Mihalache and al. Phys. Rev.A 75 033811 (2007).
- [10] E.N. Tsoy, A. Ankiewicz and N.Akhmediev, Phys. Rev.E 73 036621 (2006).
- [11] E.N. Tsoy, N.Akhmediev, Phys. Lett. A 343 417-422 (2005).

Diverses manifestations de l'effet Raman lors de la propagation d'impulsions femtosecondes dans une fibre microstructurée

B. Kibler, A. Guenot, C. Finot & G. Millot

Institut CARNOT Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon
Bertrand.Kibler@u-bourgogne.fr

La propagation non-linéaire d'impulsions femtosecondes dans une fibre optique a connu ces dernières années un vif regain d'intérêt avec le développement des fibres microstructurées air-silice. Ces dernières offrent en effet la possibilité d'avoir une dispersion anormale dans les domaines visible et proche-infrarouge, tout en bénéficiant d'une non-linéarité jusque-là inégalée. Ces propriétés ont été à la base du développement des sources supercontinuum [1]. Un tel élargissement spectral est le fruit d'une interaction complexe entre effets linéaires et non-linéaires. La dynamique de l'impulsion peut alors être décrite par l'équation de Schrödinger non-linéaire généralisée. Outre la dispersion et la non-linéarité Kerr de la silice, cette équation prend également en compte le terme de choc optique et la réponse Raman de la fibre.

Nous nous intéressons ici plus particulièrement à l'évolution d'impulsions d'environ 150 fs en régime de dispersion anormale d'une fibre microstructurée présentant deux zéros de dispersion. A l'aide de simulations numériques, nous avons pu mettre en évidence les différentes étapes de la génération de supercontinuum. En particulier, nous avons étudié les principales manifestations liées à l'effet Raman lors de l'élargissement spectral : l'auto-décalage en fréquence des solitons, la suppression de cet auto-décalage, mais également la formation de paires de solitons liés et la collision de ces solitons.

Lors des premiers pas de propagation, l'impulsion femtoseconde va tout d'abord subir une compression temporelle par effet soliton qui va élargir son spectre. L'impulsion comprimée en régime de dispersion anormale se montre alors instable vis-à-vis des effets perturbatifs, ce qui conduit à une fission. Les impulsions résultantes (solitons fondamentaux) vont alors chacune subir un auto-décalage en fréquence par effet Raman qui va progressivement les décaler vers les hautes longueurs d'ondes [2]. Le décalage Raman sera alors interrompu par la présence du second zéro de dispersion de la fibre microstructurée [3]. Il en résultera une stabilisation spectrale des solitons par l'apparition de radiations de Cerenkov en régime de dispersion normale. En augmentant la puissance injectée ou la distance de propagation, on peut alors obtenir plusieurs solitons stabilisés à la même longueur d'onde mais décalés temporellement. Enfin, durant la phase de propagation, nous avons également observé la formation de paires de solitons liés pour certaines puissances [4]. En effet, en conséquence de la fission de l'impulsion initiale, il est possible de générer des paires de solitons liés pour des puissances particulières. Ces paires de solitons subissent également un auto-décalage en fréquence mais peuvent maintenir leurs profils temporel et spectral constants, lors de la suite de la propagation. Cependant, de faibles variations de ces puissances injectées particulières mènent à l'observation de collisions de ces solitons au lieu de formations de paires stables.

Ces résultats numériques ont été confrontés avec succès aux résultats expérimentaux basés sur l'utilisation d'un laser titane-saphir femtoseconde et d'une fibre commerciale microstructurée à maintien de polarisation. Les spectres observés en sortie du dispositif confirment nos prédictions numériques.

Références

1. J.M. DUDLEY ET AL, Supercontinuum generation in photonic crystal fiber, *Reviews of Modern Physics*, **78**, 1135-1184 (2006).
2. F.M. MITSCHKE AND L.F. MOLLENAUER, Discovery of the soliton self-frequency shift, *Optics Letters*, **11**, 659-661 (1986).
3. D.V. SKRYABIN ET AL, Soliton self-frequency shift cancellation in photonic crystal fiber, *Science*, **201**, 1705-1708 (2003).
4. N. AKHMEDIEV ET AL, Influence on the Raman-effect on solitons in optical fibers, *Optics Communications*, **131**, 260-266 (1996).

Vers où croissent les dendrites en solidification dirigée d'un matériau cristallin ?

A.Pocheau¹, J.Deschamps¹, & M.Georgelin¹

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 solidification dirigée de matériaux cristallins (e.g. en métallurgie), deux directions privilégiées sont en compétition pour orienter la direction de croissance des microstructures dendritiques : la direction du gradient thermique et une direction imposée par l'orientation du cristal. Ainsi, à basse vitesse de solidification, les dendrites croissent dans la direction du gradient thermique ; cependant, à mesure que cette vitesse augmente, elles tournent vers la direction déterminée par le cristal. Ce faisant, elles changent fortement de morphologie, par asymétrie et par développement d'un long cortège de branchements. Ceci pilote des modulations de concentration de soluté dans le solide formé et s'avère donc crucial envers sa microsegrégation et les propriétés physiques qui en découlent.

Peu d'études ont été dédiées à ce phénomène dont la modélisation reste embryonnaire et les développements théoriques absents. Nous en avons donc conduit une étude expérimentale systématique dans un dispositif de solidification dirigée en lames minces avec, pour mélange, un alliage dilué d'un matériau plastique transparent, le succinonitrile [1,2]. Des mono-grains ont alors été sélectionnés puis solidifiés sous des orientations différentes du gradient thermique. Une bibliothèque d'une centaine de données sur les orientations résultantes des dendrites a ainsi été acquise, puis étudiée.

Une symétrie inattendue est apparue. Elle correspond à une invariance d'échelle des angles de croissance des dendrites vis à vis d'un nombre de Péclet formé sur leur taille et leur vitesse. Cette symétrie a été démontrée par une invariance par rescaling des données vis à vis des étalons de nombre de Péclet et d'angle de croissance. Elle a alors conduit, par solution d'une équation fonctionnelle, à l'identification de la forme de la loi d'orientation des dendrites par une relation à deux paramètres. L'ensemble des données s'est ainsi trouvé rassemblé dans une unique relation.

L'action de l'orientation cristalline sur la direction de croissance des dendrites résulte des effets d'anisotropie induits par la structure du cristal sur la tension superficielle et le sous-refroidissement de l'interface. Elle est cependant extrêmement surprenante, car ses modulations anisotropes représentent moins d'un dixième des corrections capillaire ou cinétique, elles-mêmes extrêmement ténues : environ 2.10^{-5} de la température d'équilibre de l'interface. Au total, ces modulations ne sont ainsi équivalentes qu'à un déplacement d'une cinquantaine de nanomètres dans le gradient de température, distance extrêmement faible en regard de la taille des dendrites, de l'ordre d'une centaine de micromètres. Et pourtant, ces modulations gouvernent bien l'orientation de l'ensemble de la microstructure à haute vitesse et ce, indépendamment de la direction du gradient thermique. C'est dire si la compréhension théorique de cet effet est délicate. A cet égard, l'identification d'une symétrie profonde dans ce système s'avère donc une piste à saisir.

Références

1. J. Deschamps, M. Georgelin and A. Pocheau, *Crystal anisotropy and growth directions in directional solidification*, *Euro. Phys. Lett.* **76**, 291-297 (2006).
2. A. Pocheau, J. Deschamps and M. Georgelin, *Dendrite growth directions and morphology in the directional solidification of anisotropic materials* *JOM* **59**, 71-76 (2007).

Instabilité magnétique dans un écoulement granulaire turbulent

Basile Gallet, Francois Pétrélis, & Stéphane Fauve

Laboratoire de Physique statistique de l'Ecole Normale Supérieure, CNRS UMR 8550, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France.

basile.gallet@ens.fr

Dans le but d'étudier l'effet de fortes fluctuations sur un mécanisme d'instabilité, nous avons réalisé l'expérience suivante : Des billes d'inox placées dans de l'huile de silicone sont entraînées par une hélice. Nous produisons ainsi un écoulement turbulent de particules granulaires ferromagnétiques. En appliquant un champ magnétique extérieur, on aimante ces particules qui interagissent alors comme un gaz de dipôles. On obtient ainsi un système pour lequel on peut régler le nombre de particules en interaction, la force de l'interaction entre les particules (par l'intermédiaire du champ magnétique appliqué), et le taux de fluctuations turbulentes (par l'intermédiaire de la vitesse de rotation de l'hélice). Les grandeurs mesurées sont le couple exercé par l'hélice et la densité locale de billes au centre de la cuve. Cette dernière mesure est effectuée à l'aide d'un système de bobines couplées. Au-delà d'un champ magnétique critique, les particules s'agglomèrent pour former des agrégats qui oscillent dans la cuve. Cette "bifurcation de Hopf turbulente" se caractérise par un signal oscillant et fortement fluctuant aussi bien pour le couple que pour la densité locale de billes. L'utilisation de différentes géométries de mesure nous a permis de caractériser le mode instable et d'étudier l'influence des fluctuations sur le comportement de la grandeur qui bifurque. Enfin, nous avons montré que les lois d'échelles qui gouvernent le système sont données par le rapport de l'énergie cinétique d'agitation d'une bille à l'énergie d'interaction de deux billes voisines.

Liquid-solid-like transition in quasi-one-dimensional driven granular media

M.G. Clerc¹, P. Cordero¹, J. Dunstan¹, K. Huff², N. Mujica¹, D. Risso³ & G. Varas¹

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Blanco Encalada 2008, Santiago, Chile

² Department of Physics, James Franck Institute, The University of Chicago, 5640 S. Ellis Avenue, Chicago, Illinois 60637, USA

³ Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad del Bío-Bío, Av Collao 1202, Concepción, Chile
`german.varas@ens-lyon.fr`

The theory of non-ideal gases in thermodynamic equilibrium, for instance the van der Waals gas model, has played a central role in the understanding of coexisting phases as well as in the transition between them. Granular matter contrasts with these gases because the collisions between grains dissipate energy, and their macroscopic size renders thermal fluctuations negligible. If a mass of grains is subjected to mechanical vibration, it can make a transition to a fluid state. In this state, granular matter exhibits patterns and instabilities that resemble those of molecular fluids. Here, we report a granular solid-liquid phase transition in a vibrating granular monolayer. The transition is mediated by waves and is triggered by a negative compressibility as in van der Waals phase coexistence, although the system does not satisfy the hypotheses used to understand atomic systems. The dynamic behaviour that we observe—coalescence, coagulation, wave propagation—is common to a wide class of phase transitions. We have combined experimental, numerical and theoretical studies to understand the different features of this transition.

Références

- H.M. Jaeger, S.R. Nagel, & R.P. Behringer, Granular solids, liquids, and gases, *Rev. of Mod. Phys.* **68**, 1259-1273 (1996).
- A. Prevost, P. Melby, D. A. Egolf, and J. S. Urbach, Non-equilibrium two-phase coexistence in a confined granular layer, *Phys. Rev. E* **70**, 050301(R) (2004).
- P. Melby, F. Vega Reyes, A. Prevost, R. Robertson, P. Kumar, D. A. Egolf, and J. S. Urbach, The dynamics of thin vibrated granular layers, *J. Phys. Cond. Mat.* **17**, S2689-S2704 (2005).
- M. Argentina, M.G. Clerc, R. Soto, van der Waals-like Transition in Fluidized Granular Matter, *Phys. Rev. Lett.* **89**, 044301 (2002).
- C. Cartes, M.G. Clerc and R. Soto, van der Waals normal form for a one-dimensional hydrodynamic model, *Phys. Rev. E* **70**, 031302 (2004).
- M. Schmidt & H. Löwen, Phase diagram of hard spheres confined between two parallel plates, *Phys. Rev. E* **55**, 7228-7241 (1997).
- J.-C. Géminard & C. Laroche, Pressure measurement in two-dimensional horizontal granular gases, *Phys. Rev. E* **70**, 021301 (2004).

Mesures de micro-déplacements dans les matériaux granulaires par diffusion dynamique de la lumière.

Marion ERPELDING, Axelle AMON & Jérôme CRASSOUS

Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, Bâtiment 11A, 35042 Rennes cedex.

`marion.erpelding@univ-rennes1.fr`

La répartition des contraintes dans un matériau granulaire statique est encore mal comprise. Il s'agit pourtant d'un enjeu important dans bien des domaines, depuis les procédés industriels tels que le stockage de grains dans des silos jusqu'à l'étude de la stabilité des sols en géophysique. Une des questions importantes qui se pose, et qui reste débattue, est de déterminer la déformation d'un empilement de grains sous l'effet d'une force appliquée [1].

Pour étudier ce problème, nous développons une méthode expérimentale de diffusion dynamique de la lumière (Diffusing-Wave Spectroscopy [2]) pour mesurer des micro-déplacements dans un empilement granulaire constitué de grains d'une centaine de microns de diamètre à la surface duquel on applique une force quasi ponctuelle. Cette méthode consiste à éclairer le matériau avec un faisceau de lumière cohérente, et à mesurer au cours du temps des décorrélations de l'intensité de la lumière diffusée. On peut proposer un modèle pour remonter des fluctuations de la lumière diffusée aux déphasages induits par la modification des chemins optiques suivis par les rayons lumineux au sein du matériau sous l'effet de la force appliquée. On a donc une information sur le champ de déformation dans le matériau [3].

Nous présenterons des expériences menées sur un matériau solide élastique (téflon) soumis à une charge ponctuelle. La lumière diffusée par l'échantillon est enregistrée régulièrement au cours du temps à l'aide d'une caméra CCD. Chaque pixel du détecteur CCD constituant un détecteur indépendant, nous obtenons ainsi des mesures des décorrélations d'intensité résolues spatialement [2]. Ces expériences montrent un bon accord entre le champ de déformation mesuré expérimentalement et le champ prédit par la théorie de l'élasticité (solution type Boussinesq) [4]. Dans un deuxième temps, nous exposerons les premiers résultats que nous avons obtenus avec la même technique dans le cas d'un matériau granulaire. Pour ces expériences, des billes de silice d'une centaine de microns de diamètre sont placées dans une cellule éclairée par un faisceau LASER et on fait se déplacer sur quelques millimètres à partir de la surface de l'empilement une tige cylindrique de 2mm de diamètre. Nos résultats semblent montrer que lors de la pénétration de la tige dans les couches supérieures de l'échantillon granulaire, il se forme des bandes de cisaillement et ce sur une distance (plusieurs centimètres) beaucoup plus grande que la taille de la tige.

Références

1. G. REYDELLET, *Etude expérimentale de la fonction réponse d'un matériau granulaire*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1. (2002)
Physics of Dry Granular Media. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Physics of Granular Media (1997).
2. V. VIASNOFF, F. LEQUEUX AND D. J. PINE, Multispeckle diffusing-wave spectroscopy : A tool to study slow relaxation and time-dependant dynamics, *Rev. Sci. Instrum.*, **73** (6), 2336-2344 (2002).
3. L. DJAOUI AND J. CRASSOUS, Probing creep motion in granular materials with light scattering, *Granular Matter*, **7** (185), 185-190 (2005).
4. ERPELDING M., AMON A., CRASSOUS J., Mesures de déformations par diffusion dynamique de la lumière, *en préparation*, 2008.

Matériaux granulaires durs : Représenter un matériau non-linéaire comme un graphe avec une dynamique linéaire

Nicolas Rivier

IPCMS Gemme, Université Louis Pasteur, 3 rue de l'Université, 67084 Strasbourg, France
`nick@fresnel.u-strasbg.fr`

Un matériau granulaire sec est décrit naturellement par un graphe. Deux grains en contact répulsif sont représentés par deux sommets reliés par une arête. Il n'y a pas de forces attractives entre grains et la cohésion de l'empilement est le fait de forces extérieures (la gravité et les bords du silo). Pour les matériaux granulaires secs durs - où la rigidité est beaucoup plus forte que la force appliquée, les forces entre grains, fortement non-linéaires, sont des contraintes géométriques. Elles sont booléennes - si elles s'appliquent, elles ont le même signe, répulsif, scalaires - dans la limite d'une friction tangentielle infinie entre grains, et donc représentées simplement par les arêtes du graphe. Les grains (lisses) roulant sans glisser les uns sur les autres (*s'il le peuvent*), constituent les excitations élémentaires. Le matériau granulaire coule alors comme un fluide (sec) ou comme un roulement à billes tri-dimensionnel. Sinon, il est bloqué ("jammed").

Les sommets du graphe représentent les grains, et les arêtes, les contacts booléens. Les circuits de grains en contact sont pairs ou impairs et le matériau est essentiellement discret (il n'a pas de limite continue sans défaut topologique, ni d'équation constitutive). Ses propriétés physiques sont données par les valeurs et vecteurs propres de la matrice d'adjacence (en fait, de la matrice dynamique, matrice d'adjacence avec la valence de chaque sommet sur la diagonale), donc par l'algèbre linéaire du graphe : Alors que la statique du matériau granulaire est non-linéaire, sa dynamique topologique et son comportement physique générique est donné par une algèbre linéaire, parce que nous avons remplacé les éléments matériels par des objets géométriques, avec une structure de graphe. Un matériau granulaire est donc un *métamatériau*, dont le comportement physique générique est donné par sa structure et non par la chimie ou la dureté de ses constituants. La structure de graphe a trois caractéristiques essentielles : discontinuité (granularité), circuits impairs ("arches") et désordre. Les deux états possibles de la matière granulaire désordonnée, fluide sec et solide bloqué fragile résultent directement de la dynamique topologique du graphe : Les éléments responsables du blocage sont les circuits impairs. Sans circuits impairs, le matériau granulaire coule comme un fluide sec ; la rotation d'un grain sur l'autre est une connexion qui est alors pure jauge. Le matériau granulaire de n grains est bloqué par c circuits impairs qui frustreront la rotation sans glisser. La plus petite valeur propre de la matrice dynamique, $4c/n$ est le paramètre d'ordre du solide fragile.

La vorticité impaire (le coeur des circuits impairs) forme des boucles fermées (R -boucles) qui ont la taille L du matériau granulaire *désordonné* (alors que dans un empilement cristallin, leur taille est limitée par la période). Le paramètre d' "ordre" $4c/n \sim 1/L$ est petit, étendu sur tout le matériau et la transition de blocage (*jamming*) entre fluide sec et solide fragile est du second ordre, avec lois d'échelle.

Il s'ensuit que le matériau désordonné a une densité élevée d' tats de basses énergies, indépendante de sa taille et de la dimension de l'espace, et donc une capacité calorifique et une entropie suffisantes pour absorber l'énergie libre lors du blocage. De plus, le désordre, en imposant de grandes R -boucles, fournit le mécanisme de plasticité des granulaires sous cisaillement : la R -boucle rétrécit en *montant*   travers les contacts des circuits impairs déconnectés l'un après l'autre.

Observation de la turbulence d'onde pour des plaques en vibration

Arezki Boudaoud¹, Olivier Cadot², Benoît Odille², & Cyril Touzé²

¹ Laboratoire de Physique Statistique, UMR 8550 du CNRS/ENS/Paris 6/Paris 7, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 5, France

² ENSTA-UME, Unité de Recherche en Mécanique, Chemin de la Hunière, 91761 Palaiseau, Cedex, France
boudaoud@lps.ens.fr

L'interaction non-linéaire entre des ondes se propageant dans un milieu soumis à un forçage peut donner lieu à un état stationnaire appelé turbulence d'onde, où l'énergie est transférée de grande à petite longueur d'onde. Nous avons observé ce phénomène dans des expériences sur des plaques en vibration. Les spectres de puissance de la vitesse normale d'un point de la plaque montrent des comportements en loi de puissance de la fréquence, tout en se remettant à l'échelle sur une courbe unique. Nos résultats suggèrent l'existence de deux régimes : de la turbulence faible avec des interactions à trois ondes à basse fréquence et du déferlement par formation de singularités à haute fréquence. Ils semblent en contradiction avec la théorie de During *et al.* [1] qui font apparaître des interactions à quatre ondes.

Références

1. G. DURING, C. JOSSERAND & S. RICA, Weak Turbulence for a Vibrating Plate : Can One Hear a Kolmogorov Spectrum?, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 025503 (2006).

Habitude à la ventilation non invasive diagnostiquée par diagrammes de récurrences et entropies de Shannon

H. Rabarimanantsoa¹, C. Letellier¹, L. Achour², A. Cuvelier³, & J.-F. Muir³

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

² ADIR Association — GRHV UPRES EA, Université de Rouen

³ Service de Pneumologie — CHU de Rouen

rabari@coria.fr

Initialement introduits pour visualiser les propriétés de récurrence des systèmes dynamiques [1], les diagrammes de récurrences sont aujourd'hui communément interprétés par des indices statistiques. Parmi eux, l'entropie de Shannon dont une nouvelle définition a été donnée récemment afin qu'elle soit corrélée au plus grand exposant de Lyapunov [2], nous permet de quantifier objectivement le succès d'une ventilation non invasive. La ventilation non invasive consiste à apposer un masque au patient (insuffisant respiratoire) et à lui relier un ventilateur qui lui insufflera de l'air à sa demande. La réussite de la ventilation non invasive dépend en grande partie de la synchronisation entre les appels inspiratoires du patient et le déclenchement du ventilateur [3]. Deux entropies de Shannon — S_P et S_T — respectivement calculées à partir de la pression aérienne et de la durée des cycles ventilatoires issus du circuit de ventilation ont permis de quantifier le taux d'asynchronismes patient-ventilateur et la variabilité respiratoire du patient [4]. En traçant une carte définie sur ces deux entropies, il est possible de déterminer l'état mécanique des interactions patient-ventilateur. En effet, les patients présentant deux entropies S_P et S_T faibles représentent des patients habitués à la ventilation, ils sont synchronisés au ventilateur et respirent régulièrement. A l'inverse, des patients avec deux entropies élevées sont des patients qui ne sont pas habitués au ventilateur ou pour lesquels le ventilateur est mal réglé. Des patients peuvent également avoir une seule des deux entropies élevée selon la façon dont ils gèrent leur ventilateur ; certains n'arrivent pas à être synchronisés mais respirent régulièrement, d'autres maintiennent leur rythme respiratoire régulier bien que des asynchronismes restent présents pour déclencher le ventilateur. Il est donc possible de procéder à des séances de ventilation et/ou modifier les réglages du ventilateur pour habituer le patient afin que le patient atteigne la zone optimale définie par deux entropies inférieures à 1, ce qui représente moins de 10 % d'asynchronismes et une faible variabilité respiratoire. Parmi les sujets sains testés, certains arrivent à s'habituer, d'autres présentent une ventilation optimale dès la première séance tandis que ceux restants n'arrivent pas à s'habituer.

Références

1. J.-P. ECKMANN, S. OLIFFSON KAMPHORST & D. RUELLE, Recurrence Plots of Dynamical Systems, *Europhysics Letters*, **4**, 973-977, 1987.
2. C. LETELLIER, Estimating the Shannon entropy : recurrence plots versus symbolic dynamics, *Physical Review Letters*, **96**, 254102, 2006.
3. L. ACHOUR, C. LETELLIER, A. CUVELIER, E. VÉRIN, J.F. MUIR, Asynchrony and cyclic variability in pressure support noninvasive ventilation, *Computers in Biology and Medicine*, **37**, 1308-1320, 2007.
4. H. RABARIMANANTSOA, L. ACHOUR, C. LETELLIER, A. CUVELIER & J.F. MUIR, Recurrence plots and Shannon entropy for a dynamical analysis of asynchronisms in mechanical noninvasive ventilation, *Chaos*, **17**, 015113, 2007.

A nonlinear study of symmetry-breaking in actin gels - Implications for cellular motility

Karin John & Chaouqi Misbah

LSP, Université J. Fourier, BP 87 - 38402 Grenoble Cedex, France
`cmisbah@spectro.ujf-grenoble.fr`

Force generation by actin polymerization is an important step in cellular motility and can induce the motion of organelles or bacteria, which move inside their host cells by trailing an actin tail behind. Biomimetic experiments on beads and droplets have identified the biochemical ingredients to induce this motion, which requires a spontaneous symmetry breaking in the absence of external fields. We find that the symmetry-breaking can be captured on the basis of elasticity theory and linear flux-force relationships. Furthermore, we develop a phase-field approach to study the fully nonlinear regime and show that actin-comet formation is a robust feature, triggered by growth and mechanical stresses. We discuss the implications of symmetry-breaking for self-propulsion.

Références

1. K. John, P. Peyla, K. Kassner, J. Prost, and C. Misbah, Phys. Rev. Lett. (2008), accepted.

Dégazage intermittent au travers d'une colonne de fluide complexe

Thibaut Divoux & Jean-Christophe Géminard

Université de Lyon, Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon,
CNRS, 46 Allée d'Italie, 69364, Lyon cedex 07, France.
`thibaut.divoux@ens-lyon.fr`

L'écoulement d'un fluide newtonien au travers d'un fluide complexe est une problématique extrêmement riche tant sur le plan fondamental [1] que sur celui de ses applications en physique comme en géophysique. Les cas d'émission d'air et d'eau au travers d'une couche d'un matériau granulaire immergé ont été étudiés en détail [2,3]. On en retiendra la mise en évidence de plusieurs régimes d'échappement du gaz au travers de la couche de matériau granulaire suivant le débit d'injection d'air (ou d'eau). Des régimes similaires sont observés lors du dégazage de volcans de type Strombolien [4]. Dans ce cas, l'air joue le rôle de fluide newtonien et la lave de fluide complexe : le gaz dissous dans le magma en profondeur donne lieu à la nucléation de bulles lors de la remontée de la lave dans le conduit volcanique ; ces dernières viennent exploser en surface de la lave. Ce qui reste incompris est la raison de l'alternance entre les différents régimes d'explosion observés sur le terrain. S'il a été montré que la géométrie du conduit est importante [5], le rôle non-newtonien de la lave est pr  senti comme critique [6,7], mais reste peu ou prou étudié.

Nous présentons une étude expérimentale sur l'échappement d'air au travers d'une couche de fluide complexe. De l'air est injecté, à débit contrôlé, dans un réservoir de volume variable connecté à la base d'une colonne de solution diluée de gel à cheveux. A débit fixé le système oscille naturellement entre deux   tats : soit les bulles qui se forment remontent la colonne de gel indépendamment l'une après l'autre (*régime émission de bulles*) ; soit celles-ci coalescent pour former un chapelet de bulles [8] qui connecte alors la buse d'injection d'air à la surface de la colonne (*régime canal ouvert*). Sous l'effet du poids de la colonne de fluide, le chapelet se déforme au cours du temps et peut s'effondrer sur lui même ramenant le système dans le régime d'émission de bulles. Mesurant la pression dans le réservoir reliée à la buse d'émission d'air au bas de la colonne, l'alternance entre ces deux régimes se traduit par une surpression en "dents de scie" lors de l'émission de bulles ou nulle lorsqu'un canal relie l'extérieur au réservoir. Ainsi à débit fixé, le seul caractère non-newtonien du fluide peut permettre l'alternance entre deux régimes de dégazage. Nous détaillons ensuite, d'une part, les statistiques du temps passé en régime canal ouvert, et d'autre part, mettons en évidence les bonnes grandeurs qui pilotent l'émission d'une bulle : le seuil d'écoulement du fluide et l'échelle de temps définie par le rapport du volume du réservoir au débit imposé.

Références

1. M.C. Sostarecz and A. Belmonte, Phys. Fluids **15**, S5 (2003) ; M.C. Sostarecz and A. Belmonte, J. Fluid. Mech. **497**, 235 (2003).
2. L. Gostiaux, H. Gayvallet and J.-C. Géminard, Granular Matter **4**, 39 (2002).
3. F. Zoueshtigh and A. Merlen, Phys. Rev. E **75**, 056313 (2007).
4. M. Ripepe, S. Ciliberto, M. Della Schiava, J. Geo. Phys. Res. **106**, 8713 (2001) ; M. Ripepe, A.J.L. Harris, R. Carniel, J. Volc. Geotherm. Res. **118**, 285 (2002).
5. C. Jaupart and S. Vergnolle, Nature **331**, 58 (1988) ; C. Jaupart and S. Vergnolle, J. Fluid. Mech. **203**, 347 (1989).
6. H.M. Gonnermann and M. Manga, Annu. Rev. Fluid Mech. **39**, 321 (2007).
7. E.A. Parfitt, J. Volc. Geotherm. Res. **134**, 77 (2004).
8. I.L. Kliakhandler, Phys. Fluids **14**, 10 (2002).

Bistabilité entre une dynamo stationnaire et oscillante dans un écoulement turbulent de sodium liquide

Michael Berhanu¹, Romain Monchaux², Mickael Bourgoin³, Philippe Odier³, Jean-François Pinton³, Nicolas Plihon³, Romain Volk³, Stéphane Fauve¹, Nicolas Mordant¹, François Pétrélis¹, Sébastien Aumaitre², Arnaud Chiffaudel², François Daviaud², Bérangère Dubrulle², & Florent Ravelet²

¹ Laboratoire de Physique Statistique, École Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, F-75005 Paris

² Service de Physique de l'État Condensé, Direction des Sciences de la Matière, CEA-Saclay, F-91191 Gif sur Yvette

³ Laboratoire de Physique, École Normale Supérieure de Lyon, 46 allée d'Italie, F-69364 Lyon

`Sebastien.Aumaitre@cea.fr`

Nous présenterons des mesures expérimentales qui démontrent l'existence d'un régime dynamo bistable dans un écoulement turbulent engendré entre deux disques en rotation. Quand dans cet écoulement, dit de von Kármán en Sodium (VKS), un des disques est maintenu immobile on observe, au delà d'un seuil, la génération d'un champ magnétique pouvant atteindre 35 Gauss. Quand les deux disques tournent en sens inverse, mais l'un est beaucoup plus rapide que l'autre, c'est alors un champ oscillant qui est mesuré (de l'ordre de 100 G). Si de là, on réduit jusqu'à zéro la vitesse du disque lent, le champ oscillant reste stable. Nous présenterons les propriétés des deux régimes observés dans la zone de bistabilité et nous en déduirons que celle-ci peut être interprétée en terme de bifurcation de codimension 2.

Sonde de vitesse dans un écoulement turbulent de métal liquide

G. Verhille¹, N. Plihon¹, R. Volk¹, & J.-F. Pinton¹

Laboratoire de l'ENS Lyon, 46 Allée d'Italie, 69007 Lyon
gautier.verhille@ens-lyon.fr

En turbulence, la connaissance expérimentale du champ de vitesse est primordiale tant d'un point de vue des applications (amélioration d'un mélange, dispersion de polluant...) que théorique (validation de modèle...). Il existe de nombreuses techniques qui permettent de mesurer un champ de vitesse dans des écoulements en eau et en air. Certaines permettent des mesures en un point : les fils chauds [1], la LDV (Vélocimétrie Laser Doppler) [2]. D'autres, comme la Vélocimétrie par Imagerie de Particule (PIV) [3], permettent des mesures en volume. Les métaux liquides sont à la fois opaques et très bon conducteurs thermiques, ce qui interdit l'utilisation des techniques précédemment citées.

La collaboration VKS entre l'ENS Paris, l'ENS Lyon et le CEA de Saclay a permis l'observation d'une dynamo turbulente en sodium liquide en 2006 [4]. Les études préalables d'optimisation ont été réalisées en eau. La compréhension fine des mécanismes dynamo (en particulier la saturation) nécessite la connaissance du champ de vitesse et de l'interaction entre le champ magnétique et l'écoulement. C'est pourquoi, nous avons développé une sonde de vitesse basée sur la loi d'Ohm généralisée $\mathbf{j} = \sigma(\mathbf{E} + \mathbf{v} \wedge \mathbf{B})$. Ce type de sonde, appelée sonde vivès, a déjà été utilisé afin de déterminer des vitesses moyennes sans étudier les fluctuations de vitesse [5].

Nous présenterons des résultats expérimentaux (pdf, spectre) sur la calibration de la sonde dans un écoulement de Von Kármán en contra et co-rotation dans du gallium liquide.

Références

1. C. SIMAND, Etude de la turbulence inhomogène au voisinage d'un vortex intense, *Thèse de doctorat*, **ENS Lyon**, Novembre 2002
2. F. RAVELET Bifurcations globales hydrodynamiques et magnétohydrodynamiques dans un écoulement de Von Kármán turbulent, *Thèse de doctorat*, **Ecole doctorale Polytechnique Filière mécanique**, Septembre 2005
3. R. MONCHAUX Mécanique statistique et effet dynamo dans un écoulement de von Kármán turbulent, *Thèse de doctorat*, **Université de paris 7-Denis Diderot**, 2007
4. R. MONCHAUX *et al*, Generation of magnetic field by dynamo action in a turbulent flow of liquid sodium, *Physical Review Letter*, **98**, 044502 (2007).
5. A. CRAMER *et al*, Experimental study on the sensitivity and accuracy of electric potential local flow measurement, *Flow measurement and instrumentation*, **17**, 1-11 (2006).

Saturation du potentiel électrique dans un écoulement turbulent de gallium, sous champ magnétique appliqué

Michaël Berhanu, Basile Gallet, Nicolas Mordant, Claudio Falcon, & Stéphan Fauve

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

La création de champ magnétique à partir d'un écoulement turbulent par l'effet dynamo est un sujet de recherche très actif [1]. Le mécanisme de saturation de cette instabilité reste à comprendre. L'interaction du champ magnétique sur l'écoulement via la force de Laplace devrait freiner le liquide. De nombreux travaux ont étudié l'action d'un fort champ magnétique sur la turbulence, mais pour des situations très éloignées de l'effet dynamo [2]. Pour répondre à ce problème, nous proposons dans un premier temps de mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes séparées de quelques millimètres plongeant dans un écoulement turbulent de Gallium et d'étudier l'évolution de cette grandeur en fonction du champ magnétique appliqué. En effet la loi d'Ohm dans un fluide conducteur en mouvement s'écrit $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{j}}{\sigma} - \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$, avec $\mathbf{E}$ le champ électrique, $\mathbf{B}$ le champ magnétique, $\mathbf{j}$ la densité de courant électrique et $\mathbf{v}$ la vitesse du fluide. Nous montrons expérimentalement que sous certaines conditions la mesure du potentiel en présence de champ magnétique, donne accès aux fluctuations hydrodynamiques de l'écoulement. Nous observons ensuite en augmentant le champ magnétique imposé une saturation des fluctuations du potentiel, traduisant une réduction globale de l'intensité des fluctuations de vitesse par le freinage magnétique. Nos mesures complètent celles mettant en évidence la saturation de l'induction [3] pour le potentiel moyen mesuré à grande échelle en les liant à l'hydrodynamique turbulente de l'écoulement. Ces résultats devraient ainsi contribuer à l'interprétation de la saturation des mécanismes d'induction en jeu et donc de l'effet dynamo.

Références

1. M. MONCHAUX, M. BERHANU, M. BOURGOIN, 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, F. RAVELET , Generation of a magnetic field by dynamo action in a turbulent flow of liquid sodium *Physical Reviews Letter* , **8** (1), (2007).
2. J. SOMMERIA AND R. MOREAU , Why, how, and when, MHD turbulence becomes two-dimensional. *Journal of Fluid Mechanics* , **118** , (1982).
3. M. STEENBECK, I. M. KIRKO, A. GAILITIS, A.P. KLYAVINYA, F. KRAUSE, I.Y. LAUMANIS AND O.A. LIELAUSIS , Experimental discovery of the electromotive force along the external magnetic field induced by a flow of liquid metal (α - effect) *Soviet Physics - DOKLADY* , **13** (5), (1968).

Délamination axisymétrique d'un film plastique mince

Chopin¹, Vella², & Boudaoud³

chopin@lps.ens.fr

chopin@lps.ens.fr

Les matériaux sur lesquels on dépose un revêtement sont produits dans beaucoup de domaines de l'industrie. En microélectronique, en particulier, on est amené à déposer à haute température une couche métallique sur un substrat en silicium. A cause de coefficients de dilatation thermique différents pour les matériaux sus-cités, le refroidissement de la pièce peut générer des contraintes compressives dans la couche métallique provoquant, dans certains cas, le décollement de celle-ci. C'est le phénomène de délamination.

Cette instabilité peut être étudiée dans le domaine macroscopique comme un problème d'élasticité de plaque mince couplé à la théorie de la fracture. Le système expérimental que nous avons étudié est constitué d'un disque plastique mince qui adhère à une plaque de verre percée d'un trou en son centre. De l'éthanol est injecté entre le disque et la plaque pour assurer l'adhésion par capillarité. La cloque de délamination est créée mécaniquement par un indenteur placé sous la plaque de verre que l'on peut déplacer vers le haut à travers le trou pratiqué dans la plaque.

Lorsque l'on élève l'indenteur, on observe trois étapes dans la vie de la cloque. Dans la première étape, la cloque adopte une forme circulaire imposée par la géométrie cylindrique du problème. L'énergie élastique de la cloque est essentiellement due à son étirement. On observe une dépendance linéaire du rayon de la cloque avec la hauteur d'indenteur. Lors de la dernière étape, la cloque atteint un bord du disque plastique et adopte la forme d'un cône. Ainsi a-t-elle relaxé son énergie élastique d'étirement en adoptant la forme d'une surface développable. L'étape intermédiaire correspond à l'instabilité de la ligne de contact de la cloque.

Développement des nervures de feuilles : le rôle des contraintes mécaniques

Corson¹, Boudaoud¹, & Adda-Bedia¹

Laboratoire de Physique Statistique, Ecole Normale Supérieure, 24, rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05
`corson@lps.ens.fr`

Les réseaux vasculaires des feuilles de plantes présentent des géométries très variées, cependant leur structure locale satisfait une propriété universelle : aux jonctions entre nervures, les angles et diamètres sont reliés par une équation vectorielle analogue à un équilibre de forces [1]. Cette structure témoigne d'une réorganisation du réseau vasculaire au cours du développement de la feuille. Nous avons étudié ce processus au moyen d'un modèle de prolifération cellulaire. Si l'on suppose que les cellules vasculaires possèdent des propriétés mécaniques spécifiques, des forces de tension se développent dans les nervures au cours de la croissance, entraînant une déformation progressive du réseau. Les propriétés statistiques des motifs obtenus dans ces simulations sont en bon accord avec les observations sur des plantes. Nos résultats suggèrent que ce sont les contraintes mécaniques liées à la croissance plus que le mécanisme de différenciation des nervures qui déterminent la structure locale du réseau.

Références

1. S. BOHN, B. ANDREOTTI, S. DOUADY, J. MUNZINGER, Y. COUDER, Constitutive property of the local organization of leaf venation networks, *Physical Review E*, **65** (6), 061914 (2002).

Compaction d'objets élastiques : distributions d'énergie et températures effectives

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

Ecole Normale Supérieure - Laboratoire de Physique Statistique, 24 rue Lhomond 75231 Paris Cedex 05
stephanie.deboeuf@lps.ens.fr

On observe dans la nature des exemples d'objets compactés de petite dimensionalité (tiges, plaques) : les brins d'ADN repliés dans les noyaux cellulaires [1,2], ou bien les feuilles végétales dans les bourgeons. Et si ces structures biologiques pliées avaient des caractéristiques communes aux systèmes purement mécaniques ? Nous nous intéressons aux propriétés géométriques et énergétiques d'une tige élastique forcée à se compacter dans un plan, et ce suivant deux types de compaction : une expérience consistant à tirer une feuille circulaire de polyester par son centre à travers un trou rigide de petite taille [3,4] ; et une simulation numérique considérant une tige placée dans un potentiel quadratique. La tige se courbe et s'enroule, développant des motifs pliés de forme variée [5]. La géométrie (longueur et courbure), ainsi que l'énergie élastique de ces motifs élémentaires sont mesurées directement, et étudiées d'un point de vue statistique en considérant plusieurs réalisations. Une grande variété de configurations pliées est observée. Alors que les propriétés statistiques géométriques varient pour les deux types de compaction (expériences et simulations), les propriétés énergétiques restent inchangées. De plus, bien que la géométrie des motifs varie au sein du système expérimental –selon qu'ils soient en contact ou non avec les bords du trou–, leur propriété énergétique reste homogène, comme si le système était thermiquement équilibré. Dans tous les cas, les distributions d'énergie des motifs élémentaires sont caractérisées par une queue exponentielle aux grandes énergies et une divergence en loi de puissance aux faibles valeurs. Ces mesures permettent de définir plusieurs températures effectives [6,7] : 1) énergie moyenne des motifs élémentaires, 2) échelle de décroissance exponentielle, 3) fluctuation relative de l'énergie des systèmes entiers.

Références

1. E. Katzav, M. Adda-Bedia and A. Boudaoud, A statistical approach to close packing of elastic rods and to DNA packaging in viral capsids, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 103, 18900 (2006).
2. L. Boué and E. Katzav, Folding of flexible rods confined in 2D space, *EPL* 80, 54002 (2007).
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. Deboeuf, M. Adda-Bedia and A. Boudaoud, Energy distributions and effective temperatures in the packing of elastic sheets, submitted (2007).
5. C. C. Donato, M. A. F. Gomes and R. E. de Souza, Scaling properties in the packing of crumpled wires, *Phys. Rev. E* 67, 026110 (2003).
6. S. F. Edwards and R. B. S. Oakeshott, Theory of powders, *Physica A*, 1080 (1989).
7. E. Bertin, O. Dauchot and M. Droz, Definition and Relevance of Nonequilibrium Intensive Thermodynamic Parameters, *Phys. Rev. Lett.* 96, 120601 (2006).

Migration d'une vésicule dans un écoulement de Poiseuille confiné

Badr Kaoui¹, Gwennou Coupier¹, Thomas Podgorski¹, & Chaouqi Misbah¹

Laboratoire de Spectrométrie Physique, CNRS Université J. Fourier - Grenoble I, BP 87, 38402 Saint Martin d'Hères

bkaoui@ujf-grenoble.fr

Lorsqu'ils s'écoulent dans un canal, des objets déformables tels que des cellules sanguines, des gouttes, des vésicules ou des capsules, subissent des forces transverses au sens de l'écoulement. Ces forces peuvent être d'origine non inertielle et sont associées à la déformabilité des objets, brisant ainsi la linéarité associée aux équations de Stokes.

Notamment, dans un écoulement de Poiseuille (écoulement dans un canal à faible nombre de Reynolds), une vésicule subit une force conduisant à son centrage au milieu du canal [1]. Les vésicules sont des membranes lipidiques fermées renfermant une solution aqueuse et immergées dans une seconde solution.

Cette force est le résultat de deux contributions déjà connues : l'effet de la paroi [2,3,4], ainsi que l'effet du gradient de cisaillement (courbure du profil de vitesse) [5].

Nous présenterons le résultat d'expériences et de simulations étudiant la migration d'une vésicule dans un écoulement de Poiseuille bidimensionnel, dans lequel ces deux contributions doivent être présentes.

Les deux approches débouchent sur une unique loi de vitesse de migration en fonction de la distance à la paroi. Notamment, en prenant en paramètre d'entrée les données expérimentales (largeur du canal, débit, taille et dégonflement de la vésicule), les simulations permettent de retrouver les résultats expérimentaux sans paramètre d'ajustement.

Références

1. V. Vitkova, M.-A. Mader, and T. Podgorski. Deformation of vesicles flowing through capillaries. *Europhys. Lett.*, 68 :398, 2004.
2. I. Cantat and C. Misbah. Lift force and dynamical unbinding of adhering vesicles under shear flow. *Phys. Rev. Lett.*, 83 :880, 1999.
3. S. Sukumaran and U. Seifert. Influence of shear flow on vesicles near a wall : A numerical study. *Phys. Rev. E*, 64 :011916, 2001.
4. M. Abkarian, C. Lartigue, and A. Viallat. Tank treading and unbinding of deformable vesicles in shear flow : Determination of the lift force. *Phys. Rev. Lett.*, 88 :068103, 2002.
5. B. Kaoui, G. Ristow, I. Cantat, C. Misbah, and W. Zimmermann. *Phys. Rev. E (sous presse)*.

Analytical Study of Vesicle Dynamics and Rheology

G. Danker & C. Misbah

Laboratoire de Spectrométrie Physique
Université Joseph Fourier et CNRS
38402 Saint Martin d'Hères
`gerrit.danker@ujf-grenoble.fr`

Vesicles, which consist of a closed fluid membrane surrounding a Newtonian liquid, have been studied extensively in recent years due to their importance as biomimetic models for real cells. Suspensions of vesicles can, for example, give insights into challenging problems like blood rheology.

Recent experiments [1] and theoretical studies [2,3] demonstrate that vesicles in a shear flow display different dynamical behaviour, depending on the viscosity contrast between inner and outer fluid and depending on the capillary number. For small viscosity contrast one observes a time-independent vesicle shape with fixed orientation in the flow while the fluid membrane undergoes a tank-treading motion. For sufficiently large viscosity ratio, however, a tumbling motion of the long vesicle axis in the shear plane is observed. For certain intermediate values an oscillatory motion of the vesicle around the flow direction (vacillating-breathing) has been predicted theoretically [2] and observed experimentally [1]. We address the problem of vesicle dynamics in shear flow by performing an asymptotic expansion in the small excess area limit. A consistent solution of the free-boundary problem to higher order in the excess area yields a dynamical phase diagram, which predicts a direct transition from tank-treading to tumbling at a critical viscosity contrast for low capillary number, while for higher capillary number there is first a transition from tank-treading to vacillating-breathing and then a second transition from vacillating-breathing to tumbling. In comparison to other approaches [3], we present a closed analytical solution that consistently takes the hydrodynamical response into account.

We apply the same strategy to nonlinear flow, such as Poiseuille flow, in order to investigate the question of lateral migration. Finally we make a link between the dynamics of the single vesicle and the rheological properties of a sufficiently dilute suspension [4].

Références

1. V. KANTSLER AND V. STEINBERG, Transition to Tumbling and Two Regimes of Tumbling Motion of a Vesicle in Shear Flow, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 036001 (2006).
2. C. MISBAH, Vacillating Breathing and Tumbling of Vesicles under Shear Flow, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 028104 (2006).
3. V. V. LEBEDEV, K. S. TURITSYN, AND S. S. VERGELES, Dynamics of Nearly Spherical Vesicles in an External Flow, *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 218101 (2007).
4. G. DANKER AND C. MISBAH, Rheology of a Dilute Suspension of Vesicles, *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 088104 (2007).

Modélisation de l’horloge circadienne de l’algue *Ostreococcus tauri*

F. Corellou¹, C. Schwartz¹, P.-E. Morant², Q. Thommen², C. Vandermoëre², M. Lefranc², & F.-Y. Bouget¹

¹ Laboratoire Modèles en Biologie Cellulaire et Evolutive, UMR CNRS-Paris 6 7628, Observatoire Océanologique de Banyuls sur mer, BP44, 66651 Banyuls sur Mer Cedex, France.

² Laboratoire PhLAM, UMR CNRS 8523, Université de Lille 1, F-59655 Villeneuve d’Ascq Cedex, France
`marc.lefranc@univ-lille1.fr`

La plupart des organismes vivants, des bactéries aux mammifères en passant par les plantes, possèdent des horloges biologiques qui rythment de manière cyclique de nombreuses grandeurs physiologiques (température corporelle, rythme d’activité, etc.). Un exemple particulièrement important est celui de l’horloge circadienne, dont la période est environ 24 heures, et qui permet, en se synchronisant au cycle jour/nuit, d’anticiper les modifications périodiques de l’environnement et d’adapter leur comportement et leur organisation. Les rouages de cette horloge se trouvent dans un réseau biochimique où interagissent gènes, ARN messagers et protéines. Ces dernières régulent les gènes qui commandent leur synthèse, formant ainsi des boucles de rétroaction positive et/ou négative. Les composants principaux des horloges circadiennes de plusieurs organismes (*Arabidopsis*, *Neurospora*, *Drosophila* ...) ont été identifiés ainsi que leurs interactions [1,2]. On constate que si les acteurs moléculaires varient d’un organisme à l’autre, les structures des réseaux d’interaction présentent de nombreux points communs, ce qui rend pertinent une analyse dynamique et a justifié de nombreux travaux de modélisation (par ex. [3,4]). Dans certains cas, l’approche mathématique a même pu prédire des interactions biologiques observées ensuite dans les expériences [5]. Cependant, l’implication de nombreux acteurs moléculaires rend souvent difficile un accord quantitatif.

Nous avons étudié l’horloge circadienne d’un nouvel organisme, *Ostreococcus tauri*, découvert en 1994. Cette algue verte unicellulaire et microscopique, qui est le plus petit organisme eucaryote connu, est remarquable par la simplicité de son génome et par l’absence de redondance dans les gènes participant à l’horloge. Comme point de départ, nous avons testé un modèle minimal ne comportant que deux gènes organisés selon une boucle de rétroaction négative, ainsi que différentes hypothèses quant aux mécanismes d’action de la lumière sur l’horloge, par exemple la dégradation accélérée d’une protéine à la lumière. Ce sont ces mécanismes qui permettent à l’horloge de se synchroniser sur le cycle jour/nuit. Étonnamment, ce premier modèle permet pour certains mécanismes de reproduire les données expérimentales (ARN et protéines) avec un très bon accord quantitatif. Ces résultats permettent de privilégier certaines pistes dans l’exploration des voies d’entrée de la lumière dans l’horloge.

Références

1. J.C. DUNLAP, Molecular bases for circadian clocks, *Cell* **96**, 271–290 (1999).
2. M.W. Young and S. Kay, Time zones : a comparative genetics of circadian clocks, *Nature Genetics* **2**, 702–715 (2001).
3. P. François, A model for the neurospora circadian clock. *Biophysical Journal* **88**, 2369–2383 (2005).
4. J. C. W. Locke *et al*, Extension of a genetic network model by iterative experimentation and mathematical analysis. *Molecular Systems Biology* **88**, msb4100018 (2005).
5. J. C. W. Locke *et al*, Experimental validation of a predicted feedback loop in the multi-oscillator clock of *arabidopsis thaliana*, *Molecular Systems Biology* **88**, 59 (2006).

Dynamique de l'actine dans les ostéoclastes.

Shiqiong Hu¹, Pierre Jurdic², Thierry Biben³ & Jean-Christophe Géminard¹

¹ Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon,

² Institut de Génomique Fonctionnelle de Lyon, Ecole Normale Supérieure de Lyon

³ Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et Nanostructures, Université Claude Bernard - Lyon I
Shiqiong.Hu@ens-lyon.fr

Tout au long de la vie adulte, deux types de cellule assurent le renouvellement permanent du matériel osseux : les *ostéoclastes*, qui résorbent l'os, et les *ostéoblastes*, qui sécrètent le nouveau matériel. L'adhésion des ostéoclastes au substrat implique des structures locales, les *podosomes*, qui consistent en un cœur dense d'actine polymérisée entouré d'un nuage d'actine. Les podosomes exhibent un comportement dynamique collectif : En fonction de la nature du support et de l'étape de différenciation, ils s'assemblent et forment des agrégats, des anneaux ou des ceintures qui migrent vers la périphérie de la zone de contact. Nous présenterons un modèle minimal des podosomes qui permet de comprendre pourquoi les podosomes, qui présentent une forme stationnaire, ont une durée de vie limitée. Nous décrirons ensuite les expériences envisagées pour déterminer l'origine du couplage entre les podomes qui permettrait de rendre compte des structures à plus grande échelle.

Références

1. Pfaff M. and Jurdic P., *Podosomes in osteoclast-like cells : structural analysis and cooperative role of paxillin, proline-rich tyrosine kinase2 (Pyk2) and integrin avb3.*, J. Cell Sci. **114**, 2775-2786 (2001).
2. Destaing O. and Saltel F., Géminard J.-C., Jurdic P., and Bard F., *Podosomes display actin turn-over and dynamic self-organization in osteoclasts expressing actin-GFP*, Mol. Biol. Cell, **14**, 407-416 (2003).
3. Biben T., Géminard J.-C., and Melo F., *Dynamics of bio-polymeric brushes growing from a cellular membrane : tentative modelling of the actin turnover within an adhesion unit ; the podosome*, J. Biol. Phys., **31**, 87-120 (2005).

Oscillations induites par une dynamique transcriptionnelle lente dans l'expression d'un gène réprimé par sa propre protéine

P.-E. Morant¹, Q. Thommen¹, F. Lemaire², C. Vandermoere¹, B. Parent³, & M. Lefranc¹

¹ Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes, Molécules, UMR USTL/CNRS 8523,
UFR de Physique, Université de Lille 1, F-59655 Villeneuve d'Ascq

² Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille, UMR USTL/CNRS 8022,
Université de Lille 1, F-59655 Villeneuve d'Ascq

³ Unité de Glycobiologie Structurale et Fonctionnelle, UMR USTL/CNRS 8576,
Université de Lille 1, F-59655 Villeneuve d'Ascq

marc.lefranc@univ-lille1.fr

Le rôle de la grande majorité des dizaines de milliers de gènes que porte une molécule d'ADN est d'initier les premières étapes d'une chaîne de réactions conduisant à la synthèse des protéines, plus précisément la « transcription » de la séquence génétique en une molécule d'ARN messager. L'activité d'un gène n'est en général pas constante dans le temps, mais varie en réponse à l'arrimage de protéines régulatrices en amont de la zone codante. Le fonctionnement cellulaire dans son ensemble repose en grande partie sur des réseaux de gènes, dont les activités se modulent réciproquement via les protéines qu'ils synthétisent, et un problème essentiel de la biologie moderne est de comprendre la dynamique de ces réseaux, qui présentent typiquement des comportements non linéaires tels que bistabilité ou oscillations.

Nous avons revisité la dynamique du plus simple des réseaux génétiques, constitué d'un gène unique réprimé par sa propre protéine. Largement étudié dans la littérature bio-mathématique [2], son intérêt a été récemment ravivé par l'hypothèse que Hes1, un des gènes de l'horloge somitique, serait auto-réprimé [1]. Il est généralement admis que ce circuit ne peut osciller que si on introduit une étape supplémentaire dans la boucle de rétroaction, ne serait-ce que sous la forme d'un délai explicite tenant compte par exemple du transport de la protéine du cytoplasme vers le noyau [3], ou alors que si les protéines ou l'ARN sont soumis à des mécanismes de dégradation fortement non linéaires [4].

Or, toutes les études théoriques précédentes ont supposé que le taux de transcription réagit instantanément à la concentration en protéine dans le voisinage de la zone régulatrice. Nous avons au contraire tenu compte d'une possible dynamique transcriptionnelle lente dans laquelle le taux de transcription ne répondrait que graduellement à une induction, en raison par exemple de phénomènes coopératifs. L'analyse d'un modèle minimal nous a permis de montrer analytiquement l'existence d'un phénomène de résonance tel que les oscillations sont grandement favorisées dans ce système lorsque le temps de résidence de la protéine régulatrice est de l'ordre de grandeur de

$$t_c = \frac{1}{g^2} \sqrt{\frac{P_0}{\lambda_0 \beta_0}}, \quad (1)$$

où g est la fraction temporelle passée par le gène dans l'état actif, P_0 est le nombre de protéines pour lequel $g = 1/2$, λ_0 est le taux de production d'ARN, et β_0 le taux de production de protéine par molécule d'ARN. Nous avons pu confirmer la pertinence de cette analyse déterministe dans des simulations stochastiques.

Références

1. H. HIRATA *et al.*, Oscillatory expression of the bHLH factor Hes1 regulated by a negative feedback loop, *Science* **298**, 840 (2002).
2. J. S. GRIFFITH, Mathematics of cellular control processes I. Negative feedback to one gene *J. Theor. Biol.* **20**, 202 (1968).
3. M. H. JENSEN, K. SNEPPEN & G. TIANA, Sustained oscillations and time delays in gene expression of protein Hes1, *FEBS Lett.* **541**, 176 (2003).
4. J. J. TYSON, C. I. HONG, C. D. THRON AND B. NOVAK *Biophys. J.* **77**, 2411 (1999).

Barrières pour la réduction du transport dû à la dérive $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$

Nathalie Tronko, Michel Vittot, & Christel Chandre

Centre de Physique Théorique, UMR 6207, Luminy, Case 907 F-13288 Marseille cedex 9, France
`nathalie.tronko@gmail.com`

On s'intéresse à l'amélioration du confinement d'un plasma de tokamak. On considère la dynamique chaotique de particules chargées due à la dérive $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ des centres guides. Le champ $\mathbf{B}$ est considéré constant et uniforme, et le champ électrique est modélisé par le potentiel électrique :

$$V = \sum_{n,m=1}^N \frac{\varepsilon}{(n^2 + m^2)^{3/2}} \cos(nA + m\theta + \phi(n, m) - t)$$

où $\varepsilon = \frac{1}{B}$ est un petit paramètre, A est la coordonnée radiale et θ l'angle poloïdal. Nous construisons un (petit) terme de contrôle additif au potentiel électrique, qui bloque la diffusion radiale des particules, en créant une barrière interne de transport (ITB). On s'intéresse aussi à la robustesse de ce contrôle.

Analyse topologique d'un nouvel attracteur chaotique toroidal

C. Letellier & R. Gilmore

CORIA UMR 6614 — Université et INSA de Rouen, BP. 12, 76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex
Christophe.Letellier@coria.fr

La caractérisation topologique des attracteurs chaotiques dont la dimension de Lyapunov est inférieure à 3 est relativement bien définie pour les systèmes très dissipatifs [1]. Toutefois, parmi cette famille d'attracteurs, les systèmes produisant un attracteur chaotique structuré sur un tore demeurent délicat à représenter par une surface branchée (un gabarit), principalement en raison du manque de modèle simple (la majeure partie des systèmes conduisant à un attracteur toroidal appartient à la famille des systèmes non autonomes, dont l'analyse est confrontée à des difficultés inhérentes à ces systèmes). Récemment, Diquan Li [2] a publié un système qui se présente comme un système de Lorenz modifié et qui produit un attracteur inscrit sur un tore. L'analyse de ce système dont l'importance pourrait bien être du même ordre que celle des systèmes de Lorenz (1963) ou de Rössler (1976) est ici entreprise. Il est montré que ce système répond à une symétrie de rotation — comme le système de Lorenz — et peut être plongé au sein d'une frontière toroidale de genre 3 [3]. Toutefois, la particularité de ce système est que les « trous » de cette frontière toroidale se croisent, nécessitant d'avoir recours à la relation d'Euler-Poincaré pour la détermination du genre. Il est également montré que l'attracteur de Li résulte d'une bifurcation « épluchage », c'est-à-dire d'une intersection de l'axe de rotation avec l'attracteur, comme cela a été récemment détaillée pour le système de van der Pol [4].

Remerciements

Robert Gilmore remercie le CNRS — Département ST2I — pour sa position de chercheur invité au CORIA pour l'année 2006-2007.

Références

1. R. GILMORE & M. LEFRANC, *The topology of chaos*, Wiley, 2002.
2. D. LI, A three-scroll chaotic attractor, *Physics Letters A*, 2007, doi :10.1016/j.physleta.2007.07.045.
3. R. GILMORE & C. LETELLIER, *The Symmetry of Chaos*, Oxford University Press, 2007.
4. C. LETELLIER, R. GILMORE & T. JONES, Peeling bifurcations of toroidal chaotic attractors, *Physical Review E*, **76**, 066204, 2007.

Classification des langues chaotiques d'un laser de fibre dopée erbium par analyse topologique

Javier Used & Juan Carlos Martín

Dpto. Física Aplicada - Universidad de Zaragoza - C/Pedro Cerbuna, 12 - E50009 Zaragoza, Espagne
jcmartin@unizar.es

Nous présentons une collection de mesures des différents attracteurs chaotiques qui décrivent l'émission d'un anneau laser de fibre dopée erbium avec pompage $P(t)$ modulé selon la fonction $P(t) = P_0 (1 + m \cos \omega t)$, pour diverses fréquences ω , taux de modulation, m , et puissances moyennes de pompage, P_0 . Les attracteurs ont été caractérisés par analyse topologique [1] [2] : à chaque condition de travail, une série temporelle a été enregistrée, des orbites périodiques instables ont été cherchées sur elle, les *linking numbers* entre chaque couple d'orbites aussi que les *self linking numbers* propres de chaque orbite ont été comptés et, lorsque possible, le gabarit correspondant a été obtenu.

Nous avons accompli plusieurs balayages soit en fonction de la fréquence, soit du taux de modulation, à deux puissances moyennes de pompage. Les balayages révèlent d'un côté des nombreuses régions ou "langues" chaotiques, séparées par régions où le comportement du laser est périodique, et d'autre côté la multistabilité du système : les langues chaotiques se trouvent sur des rangs différents selon le sens de balayage de la fréquence.

La grande quantité des séries temporelles mesurées a conseillé l'implémentation des méthodes automatiques d'analyse qui ont permis de déterminer le gabarit correspondant à assez des séries. La complexité des gabarits obtenus est variable : nous les trouvons à deux, trois et quatre branches.

Aussi, nous trouvons quelques cas où le procédé automatique d'analyse ne suffit pas pour déterminer le gabarit, soit parce que l'on ne trouve pas assez d'orbites périodiques instables, soit parce que l'on ne dispose pas d'assez de *linking numbers* sûrs (à cause du bruit, souvent il apparaît le doute de si comptabiliser ou pas certains croisements). Ces situations sont encore en procès d'analyse par des techniques plus difficiles à automatiser et, alors, plus laborieuses : elles impliquent d'un côté une révision des croisements entre orbites et d'un autre côté la représentation de diverses sections de l'attracteur pour essayer de visualiser les tours de leurs branches le long d'une période de modulation.

D'un autre côté, nous avons utilisé un modèle théorique [3] dont leurs paramètres peuvent se déterminer au laboratoire quand même approximativement. Le modèle proportionne des résultats en acceptable accord avec les mesures obtenues.

Références

1. R. GILMORE ET M. LEFRANC, *The Topology of Chaos* John Wiley and Sons, New York (2002)
2. R. GILMORE, Topological Analysis of Chaotic Dynamical Systems, *Rev. Mod. Phys.*, **70** (4), 1455-1529 (1998).
3. I.J.SOLA, J.C. MARTÍN, J.M. ÁLVAREZ, Nonlinear response of a unidirectional erbium-doped fiber ring laser to a sinusoidally modulated pump power, *Opt. Comm.*, **212** (4), 359-369 (2002).

Fiabilité des différentes déterminations des paramètres de plongement

C. Letellier¹, I. M. Moroz², & R. Gilmore^{1,3}

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

² Mathematical Institute, 24-29 St Giles', Oxford OX1 3LB, UK

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

Christophe.Letellier@coria.fr

Un nouveau test pour la détermination des paramètres de plongement dans $\mathbb{R}^n$ a récemment été proposé [1]. Ce test dépend des valeurs de certains indices topologiques, qui sont des entiers plutôt que des nombres réels. Aujourd'hui, ce test n'est valide que pour $n = 3$ puisqu'il repose sur la notion de nombre d'enlacement. Ce nouveau test topologique pour la vérification de la validité d'un plongement a été comparé avec des techniques plus traditionnelles, essentiellement basées sur des mesures géométriques (dimensions fractales, faux plus proches voisins) et des mesures dynamiques (exposants de Lyapunov, déterminisme) [1,2]. Il est montré que les tests classiques pour la qualité d'un plongement échouent à déterminer si une application est un plongement ou non. Il est expliqué pourquoi les tests classiques échouent. Les raisons de cet échec ne sont pas limitées aux trois dimensions. Aussi, à la lumière de nos résultats, et comme l'annonçait Ruelle [3] il y a une quinzaine d'années dans un article intitulé *la science et la fiction*, toute annonce, basée sur des calculs de dimension ou d'exposant de Lyapunov, qu'une reconstruction dans un espace de dimension donnée soit un plongement doit être regardée avec le plus grand scepticisme tant que des analyses plus approfondies ne sont pas entreprises. La mise en garde par Ruelle n'a pas été suffisamment entendue et nous apportons avec ce nouveau test topologique la confirmation claire de l'incapacité des estimations « classiques » à nous apprendre quoi que ce soit de fiable sur la dynamique.

Remerciements

Robert Gilmore remercie le CNRS — Département ST2I — pour sa position de chercheur invité au CORIA pour l'année 2006-2007.

Références

1. C. Letellier, I. M. Moroz, & R. Gilmore, A new topological test for embeddings, (unpublished).
2. C. Letellier, I. M. Moroz, & R. Gilmore, A comparison of tests for embeddings, (unpublished).
3. D. RUELLE, Deterministic chaos : the science and the fiction, *Proceedings of the Royal Society of London*, **427**, 241-248 (1990).

The spectrum of large powers of the Laplacian in bounded domains

E. Katzav¹ & M. Adda-Bedia¹

Laboratoire de Physique Statistique de l'Ecole Normale Supérieure, CNRS UMR 8550
24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France
eytan.katzav@lps.ens.fr

Recently there has been a growing interest in the problem of finding the spectrum of large powers of the Laplacian in bounded domains [1,2,3]. In one dimension, which is the case that will interest us here, the problem is simply that of finding eigenfunctions and eigenvalues to the equation

$$(-\Delta)^N u(x) = \lambda u(x) \quad x \in [-1, 1], \quad (1)$$

for functions obeying the following Boundary Conditions (BC)

$$u(\pm 1) = u^{(1)}(\pm 1) = \dots = u^{(N-1)}(\pm 1) = 0, \quad (2)$$

where $u^{(k)}(x)$ is the k^{th} derivative of $u(x)$.

From a mathematical point of view [1] the determination of the spectrum of Δ^N can be related to four different problems - the spectrum of certain positive definite Toeplitz Matrices, the norm of the Green kernels of Δ^N , the best constants in certain Wirtinger-Sobolev inequalities, and the conditioning of a special least squares problem. From a physical point of view, the interest in the spectrum of Δ^N comes from many directions. Classical problems such as diffusion and wave propagation require knowledge of the spectrum of Δ (i.e., $N = 1$), which is also related to recent problems such as diffusion limited aggregation and chaos. Problems in elasticity theory often deal with Δ^2 , and the fractional Laplacian (i.e., when N is not necessarily an integer) appears naturally in stochastic interfaces and Lévy flights [4,5] and so knowledge of the spectrum allows progress in the understanding of anomalous diffusion and first-passage problems of a Lévy flyer.

We begin [6] with the one-dimensional case and show that the whole spectrum can be obtained in the limit of large N . More precisely, the eigenfunction of Δ^N with absorbing BC can be written as certain associated Legendre polynomials, namely

$$v_j(x) \propto P_{2N+j}^{2N}(x) + O(1/N^2) \quad \text{for } j = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

up to proper normalization, and the eigenvalues are just

$$\lambda_j = (-1)^N \sqrt{2} (2N)! \frac{(4N)^{2j}}{(2j)!} \left[1 - \frac{3 + 4j + 8j^2}{16N} + O\left(\frac{1}{N^2}\right) \right]. \quad (4)$$

Actually, Our approach allows us to obtain systematical corrections to the eigenvalues and eigenvectors as a power series where $1/N$ plays the role of the small parameter, and we do so up to order $1/N^4$.

It turns out that this basis is a good choice for diagonalizing the differential operator Δ^N also when N is not large, which implies a useful numerical approach valid for any N . Finally, we discuss implications of this work and present its possible extensions for non-integer N and for 3D Laplacian problems.

Références

1. A. Böttcher and H. Widom, J. Math. Analysis Appl. **322** 990 (2006).
2. A. Böttcher and H. Widom, Operator Theory : Adv. and Appl. **171** 73 (2006).
3. A. Ramani, B. Grammaticos and Y. Pomeau, J. Phys. A : Math Gen. **40** F391 (2007).
4. A. Zoia, A. Rosso and M. Kardar, Phys. Rev. E **76** 021116 (2007).
5. G. Zumofen and J. Klafter, Phys. Rev. E **51**, 2805(1995). S.V. Buldyrev et al., Phys. Rev. E **64** 041108(2001).
6. E. Katzav and M. Adda-Bedia, J. Phys. A : Math Gen. **41** F022002 (2007).

Mesures de l'accélération de particules inertielles en écoulement turbulent par vélocimétrie Laser Doppler étendue

R.Volk¹, G. Verhille¹, N. Mordant², & J.-F. Pinton¹

¹ École normale supérieure de Lyon 46 Allée d'Italie, 69364, Lyon cedex 07

² Laboratoire de physique statistique de l'Ecole Normale Supérieure de Paris, 24 rue Lhomond 75005 Paris, France

romain.volk@ens-lyon.fr

Les écoulements turbulents jouent un grand rôle dans le mélange et le transport de polluants dans l'atmosphère. Dans ce contexte, même si le point de vue lagrangien qui s'intéresse aux propriétés du fluide le long des trajectoires, est le plus naturel, les mesures lagrangiennes sont rares du fait de la résolution nécessaire pour suivre le mouvement de petites particules à haut nombre de Reynolds. En effet, ce suivi demande de pouvoir détecter de petites particules solides (10-100 μm) en mouvement dans des écoulements turbulents avec une résolution temporelle de l'ordre de la fréquence la plus rapide de l'écoulement $f_K = \sqrt{\epsilon/\nu} \sim 1 - 10$ kHz, ϵ étant la puissance mécanique injectée par unité de masse, et ν la viscosité du fluide. Les premières mesures ont été réalisées dans des écoulements de type von Kármán par en utilisant une technique acoustique à l'ENS de Lyon [1], ou par PTV stéréoscopique en utilisant plusieurs caméras rapides synchronisées à l'université de Cornell [2,3].

Nous avons développé une nouvelle technique optique pour mesurer la vitesse des particules le long de leurs trajectoires. Elle est basée sur la technique de vélocimétrie Laser Doppler, et utilise donc deux faisceaux Laser pour créer des franges d'interférence dans un volume $V \sim 1 \text{ cm}^3$ situé au centre d'un écoulement. Lorsqu'une particule traverse les franges, elle diffuse alors une intensité lumineuse enregistrée avec un photomultiplicateur, qui est modulée à une fréquence proportionnelle à sa vitesse. Une fois démodulés, les signaux donnent donc accès à l'évolution d'une composante de la vitesse des particules le long de leur trajectoires. Comme les faisceaux sont larges (au contraire de la LDV classique), les particules sont suivies en moyenne durant 10 temps de Kolmogorov $\tau_\eta = \sqrt{\nu/\epsilon} \sim 0.1$ ms, ce qui est suffisant pour obtenir à la fois la statistique de l'accélération lagrangienne des particules, ainsi que sa fonction d'autocorrélation jusqu'à des nombres de Reynolds $R_\lambda \sim 850$.

Cette technique a été appliquée à l'étude de l'accélération de traceurs fluides et de microbulles en mouvement dans un écoulement de von Kármán d'eau à des nombres de Reynolds à l'échelle de Taylor $450 \leq R_\lambda \leq 850$. La dynamique dépend très fortement de la densité des particules : les bulles ont une dynamique beaucoup plus rapide, et subissent des accélérations beaucoup plus violentes que celle des traceurs [4]. Bien que les dynamiques observées soient très différentes, les distributions de probabilité de l'accélération des différentes particules sont toujours très proches une fois l'accélération normalisée par sa variance.

Références

1. N. MORDANT, O. MICHEL, P. METZ, J.-F. PINTON, Measurement of Lagrangian velocity in fully developed turbulence, *Physical Review Letters*, **87**, (2001).
2. G. A. VOTH, A. LA PORTA, A. M. CRAWFORD, J. ALEXANDER and E. BODENSCHATZ, *J. Fluid Mech*, **469** 121, (2002)
3. N. T. OUELLETTE, H. XU, M. BOURGOIN and E. BODENSCHATZ, Small-scale anisotropy in Lagrangian turbulence, *New J. Phys.*, **8**, p. 102 (2006).
4. R.Volk, G. Verhille, N. Mordant, and J.-F. Pinton, Laser Doppler measurement of inertial particle and bubble accelerations in turbulence, *à paraître dans EPL*

Évolution non linéaire de l'instabilité elliptique

Herreman W., Le Dizès S., & Le Gal P.

IRPHE - UMR 6594

Technopôle de Château-Gombert 49, rue Joliot Curie - B.P. 146

13384 Marseille Cedex 13, France

herreman@irphe.univ-mrs.fr

Là où le théorème de Taylor-Proudman nous laisse penser que les écoulements en rotation rapide sont essentiellement bidimensionnels, les exemples de la précession et de l'instabilité elliptique, [1], [2], [3], nous ont montré que des écoulements essentiellement 3D, composés d'ondes inertielles, peuvent atteindre des amplitudes importantes et subir une dynamique complexe en présence de perturbations infinitésimales. Dans le contexte géophysique des corps célestes à noyau liquide, la présence systématique de la précession, de la libration ou des effets de marée, offre donc plusieurs alternatives à l'instabilité convective, capables d'alimenter l'écoulement 3D nécessaire pour une dynamo planétaire.

Nos travaux se concentrent sur l'instabilité elliptique, et une première partie s'intéresse à l'évolution non linéaire des systèmes d'ondes inertielles au delà du faiblement non linéaire. Le système modèle, inspiré des expériences de Malkus, [2], met en rotation solide un fluide contenu dans un container cylindrique aux parois déformables. En appliquant des rouleaux sur la paroi, la section transverse du cylindre est légèrement déformée de façon elliptique, ce qui se transmet sur les lignes de courants qui acquièrent une petite ellipticité ϵ . Ce système à l'avantage d'être effectivement réalisable en laboratoire, tout en permettant une analyse théorique poussée. Les travaux de Eloy, [3], ont comparé avec succès les théories linéaires et faiblement non linéaires avec les expériences proches du seuil d'instabilité ϵ_c . Relativement vite, avant d'atteindre $2\epsilon_c$, des régimes non linéaire complexes sont observés, plus spécifiquement des cycles de croissance-explosion-relaminarisation, et des instabilités secondaires. Notre objectif est d'essayer de construire des modèles qui permettent de décrire ces régimes. Ainsi nous espérons acquérir une meilleure compréhension des écoulements géophysiques induits par des effets de marée.

Les modèles mésoscopiques que nous avons développés, arrivent à décrire la dynamique au delà du faiblement non linéaire, et se situent entre les théories faiblement non linéaires et les approches numériques à grande échelle. Pour le système cylindrique en question, nous démontrons qu'il existe une classe de solutions visqueuses, comprenant des équivalents visqueux des ondes inertielles et des écoulements géostrophiques essentiellement non visqueux. Une relation d'orthogonalité est construite, permettant de projeter la dynamique exacte sur une collection de modes visqueux. Avec une approche purement spectrale (Galerkin) pour un paquet de modes restreints, nous avons réussi à décrire plusieurs régimes dynamiques fortement non linéaires. La robustesse de chaque dynamique est testée en augmentant le nombre de modes dans le modèle et une fois un comportement robuste identifié, nous suivons une approche inverse afin d'obtenir le modèle minimal permettant de le décrire. Chaque modèle minimal permet alors d'identifier les couplages et mécanismes dominants, et de comprendre la dynamique observée en termes de points fixes et cycles limites.

Références

1. Kerswell, R.R., Elliptical instability, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2002, **34**, 83-113.
2. Malkus, W. V. R., An experimental study of global instabilities due to tidal (elliptical) distortion of a rotating elastic cylinder, *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 1989, **48**, 123-134.
3. Eloy, C., Le Gal, P. and Le Dizès, S., Elliptic and triangular instabilities in rotating cylinders, *J. Fluid Mech.*, 2003, **476**, 357-388.

Instabilité d'un fluide dans un cylindre en précession

Romain Lagrange¹, Patrice Meunier¹, Christophe Eloy¹ & François Nadal²

¹ IRPHE, CNRS, Universités Aix-Marseille
49 rue F. Joliot-Curie, 13384 Marseille CEDEX 13

² Commissariat à l'Énergie Atomique
CESTA 33114 le Barp

Romain.Lagrange@irphe.univ-mrs.fr

Nous analysons de façon théorique et expérimentale la stabilité d'un fluide dans un cylindre en précession, c'est-à-dire en rotation autour de son axe, lui même tournant autour d'un second axe incliné d'un angle θ , appelé angle de précession. Un tel mouvement se retrouve par exemple en aéronautique (précession des objets volants à carburant liquide) et en géophysique (précession terrestre, dynamique du noyau liquide, influence sur le champ magnétique).

Il est bien connu [1] que la précession force des ondes au sein du fluide appelées modes de Kelvin dont la structure et l'amplitude sont prédites par une théorie linéaire non-visqueuse. Dans le cas où un mode de Kelvin forcé est résonnant (lorsque la hauteur du cylindre vaut un nombre impair de demi longueurs d'onde), la prise en compte des effets non-linéaires et visqueux est nécessaire [2]. Nous avons mis en place une théorie non-linéaire et visqueuse qui prédit la saturation en amplitude du mode résonnant. Nous avons montré que cette amplitude varie comme $Re^{1/2}$ aux faibles nombres de Reynolds et en $\theta^{1/3}$ aux grands nombres de Reynolds [3], [4], [5].

Pour des nombres de Reynolds suffisamment grands, cet écoulement devient instable. Par une analyse de stabilité linéaire nous établissons une expression formelle du taux de croissance dans le cas où un mode de Kelvin forcé par la précession résonne avec deux modes de Kelvin libres. Cette interaction entre trois modes de Kelvin (résonance triadique) est réalisée via le terme non-linéaire de l'équation de Navier-Stokes. À partir de l'expression du taux de croissance nous déterminons l'angle de précession θ pour lequel l'écoulement devient instable. Les prédictions sont confirmées par des mesures expérimentales obtenues par PIV.

La dynamique non-linéaire de l'instabilité est ensuite analysée de manière expérimentale. Lorsqu'on est proche du seuil, l'amplitude de la perturbation sature aux temps longs. En s'éloignant du seuil une oscillation de l'amplitude de la perturbation et une apparition périodique d'un mode géostrophique sont observées. Loin du seuil l'écoulement semble turbulent. Enfin, la mesure de l'amplitude de la perturbation en fonction du nombre de Reynolds semble indiquer que l'instabilité de précession est une bifurcation de type sous-critique. Des mesures complémentaires sont en cours de réalisation pour valider cette affirmation.

Références

- [1] McEwan, A.D. 1970. Inertial oscillations in a rotating fluid cylinder *J. Fluid Mech.* **40**(3) 603-640
- [2] Gans, R. F. 1970. On the precession of a resonant cylinder *J. Fluid Mech.* **41**(4) 865-872
- [3] Meunier, P., Nadal, F., Lagrange, R., Eloy, C. 2007. Resonant flow in a precessing cylinder. À paraître dans *J. Fluid Mech.*
- [4] Manasseh, R. 1996. Nonlinear behaviour of contained inertia waves *J. Fluid Mech.* **315** 151-173
- [5] Kobine, J.J. 1996. Azimutal flow associated with inertial wave resonance in a precessing cylinder *J. Fluid Mech.* **319** 387-406

Propriétés non-linéaires des spirales de Taylor

Nizar ABCHA¹, Alexander EZERSKY², Laurant NANA³ & Innocent MUTABAZI¹

¹ LOMC, Université du Havre, 25, rue Philippe Lebon, 76058, Le Havre cedex

² UMR CNRS 6143 " M2C " Université de Caen, 14000 Caen Cedex

³ Department of Physics, Faculty of Science, University of Douala P.O. Box 24 157 Douala, Cameroon

nizar.abcha@univ-lehavre.fr

Le système de Couette-Taylor est composé de deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle et est le siège de plusieurs modes d'instabilités [1]. Dans le cas où les cylindres tournent en contrarotation, l'écoulement de Couette circulaire subit une bifurcation de Hopf supercritique et transite vers un écoulement avec des structures tourbillonnaires, appelées spirales, qui s'enroulent en hélice autour du cylindre intérieur. Pour une vitesse de rotation Ω_e du cylindre extérieur fixe, ce régime d'écoulement spiralé évolue vers des régimes plus complexes lorsque la vitesse de rotation Ω_i du cylindre intérieur augmente. La caractérisation expérimentale du régime de spirale a été observée pour la première fois par Coles [2] et ensuite étudiée avec des techniques LDV et PIV par Schulz et Pfister [3]. Ces mesures ont montré que la fréquence de spirales diminue avec R_i pour R_o fixe, en accord avec les simulations numériques des équations de Navier-Stokes [4-6]. De récents travaux théoriques et expérimentaux [4-7] ont montré que les spirales générées dans le système de Couette-Taylor en contrarotation possèdent une dispersion anormale [7], laquelle permet d'expliquer, dans le cadre de la théorie de Ginzburg-Landau, l'existence d'une source stable entre les deux spirales contrapropagatives [7]. Dans une première partie, nous caractériserons à l'aide des mesures de champs de vitesses instantanés dans le plans (r,z), les propriétés non linéaires des spirales de Taylor telles que : la dissymétrie entre l'écoulement entrant et sortant $|\Delta_{in}/\Delta_{out}|$, l'anharmonicité des spirales et la brisure de symétrie miroir du SPI au niveau de l'écoulement sortant [4] en comparaison avec les vortex de Taylor. Dans une seconde partie, nous étudions la dynamique des défauts spatio-temporels observés dans le motif d'ondes spiralés, en particulier nous avons montré comment le champ de vitesses s'annule au voisinage de ces défauts. Une étude numérique de l'équation complexe de Ginzburg-Landau avec les conditions aux limites homogènes a permis de retrouver les solutions avec défauts périodiques observés dans les expériences. Le comportement spatio-temporel de l'amplitude et de la phase autour de ces défauts est analysé.

Références

1. C. D. ANDERHECK, S. S. LIU AND H. L. SWINNEY, Flow regimes in a circular Couette system with independently rotating cylinders, *J. Fluid Mech.*, **164**, 155-183 (1986).
2. D. COLES, Transition in circular Couette flow, *J. Fluid Mech.*, **185**, 385-425(1988)
3. A. SCHULZ AND G. PFISTER, Bifurcation and structure of flow between counter-rotating cylinders Physics of Rotating Fluids, *Lecture Notes in Physics edited by C. Egbers and G. Pfister (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg*, (2000).
4. C. HOFFMANN, M. LÜCKE AND A. PINTER, Spiral vortices traveling between two rotating cylinders and the effect of an axial flow, *Phys. Rev. E*, **69**, 1-14(2004)
5. HOFFMANN C., LÜCKE M. AND PINTER A., Spiral vortices traveling between two rotating defects in the Taylor-Couette system, *Phys. Rev. E*, **72**, 1-9 (2005).
6. W. F. LANGFORD, R. TAGG, E. J. KOSTELICH, H. L. SWINNEY AND M. GOLUBITSKY, Primary instabilities and bicriticality in flow between counter-rotating cylinders, *Phys. Fluids*, **31**, 776-788(1988)
7. A. EZERSKY, N. LATRACHE, O. CRUMEYROLLE AND I. MUTABAZI, Competition of spiral waves with anomalous dispersion in Couette-Taylor flow, *Theor. Comput. Fluid. Dyna.*, **18**, 85-95(2004)

Instabilités hydro-thermiques dans un anneau cylindrique vertical soumis à un fort gradient radial de température

Raphaël Guillermin¹, Valérie Lepiller², Arnaud Prigent¹, & Innocent Mutabazi¹

¹ Laboratoire d'Ondes et Milieux Complexes (LOMC), FRE-3102 CNRS, Université du Havre, 53 rue de Prony, BP540, 76058 Le Havre cedex

² Laboratoire Hydrodynamique et Mécanique Physique (HMP) de l'ESPCI, PMMH UMR 7636, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris cedex 5

raphael.guillerm@univ-lehavre.fr

Cette étude expérimentale s'intéresse au couplage de la force centrifuge et des effets thermiques dans un système de Couette-Taylor soumis à un fort gradient radial de température. Dans ce système, un liquide est confiné dans l'espace annulaire vertical de cinq millimètres situé entre un cylindre intérieur en rotation et un cylindre extérieur fixe. Le rapport d'aspect et le rapport des rayons sont fixes et valent 114 et 0,8 respectivement. Les paramètres de contrôle physiques du système sont le nombre de Grashof Gr basé sur l'écart de température entre les deux cylindres et le nombre de Taylor Ta basé sur la vitesse de rotation du cylindre intérieur. Pour cette étude, le gradient de température est fixé et on augmente progressivement la vitesse angulaire. L'écoulement de base, observé pour les faibles valeurs de Ta , est composé de l'écoulement de Couette circulaire, dû à la rotation du cylindre intérieur, et d'un écoulement axial vertical induit par le gradient radial de température. Au dessus d'une valeur critique Ta_c dépendant du nombre de Grashof, cet écoulement se déstabilise et bifurque vers un écoulement de vortex spiralés propagatifs [1]. Différents comportements ont été observés selon les valeurs de Gr [2]. Nous nous sommes intéressés aux modes d'instabilités apparaissant pour de grands écarts de température, $Gr > 965$. Le motif apparaît au centre et envahit tout le système alors qu'il apparaissait près du bord inférieur pour $Gr < 965$ [3]. L'inclinaison de la spirale augmente avec Gr et est plus importante que dans le cas des faibles écarts de température. Dès le seuil, la spirale présente une modulation de fréquence f_m . La fréquence porteuse f_p et la fréquence de modulation f_m augmentent linéairement avec Ta . Le motif peut alors être décrit comme un ensemble de paquets de vortex propagatifs. Lorsqu'on augmente Ta , des dislocations apparaissent puis un nouveau mode d'instabilité intervient sous la forme d'une spirale ondulée caractérisée par la fréquence porteuse et une fréquence des ondulations f_w . A mesure que le nombre de Taylor augmente, un motif de rouleaux axisymétriques ondulés se forme et coexiste d'abord avec la spirale ondulée. Pour de plus grandes valeurs de Ta , la spirale ondulée disparaît et laisse place au motif de rouleaux axisymétriques ondulés, les effets du gradient de température devenant négligeables devant les effets centrifuges. Une technique de thermographie par cristaux liquides a été mise en oeuvre afin de mesurer la température du liquide confiné dans l'entrefer. Celui-ci estensemencé de cristaux encapsulés de $50\mu m$ de diamètre et éclairé par une section de lumière blanche et froide. Via un calibrage approprié, la couleur des cristaux est associée à un scalaire mesurable, la hue h ; chaque valeur de h correspondant à une température donnée [4].

Références

1. H.A. SNYDER, S.K.F. KARLSSON, Experiments on the stability of Couette motion with a radial thermal gradient, *Phys. Fluids*, **7** (10), (1964).
2. D.C. KUO, K.S. BALL, Taylor-Couette flow with buoyancy : Onset of spiral flow, *Phys. Fluids*, **9** (10), 2872-2884 (1997).
3. V. LEPILLER, A. GOHARZADEH, A. PRIGENT, I. MUTABAZI, Weak temperature gradient effect on the stability of the circular Couette flow, *Euro. Phys. J.*, **B**, (2008).
4. J.L. HAY, D.K. HOLLINGSWORTH, Calibration of micro-encapsulated liquid crystals using hue angle and a dimensionless temperature, *Experimental thermal and fluid science*, **18**, 251-257 (1998).

Maîtrise des «vagues optiques extrêmes»

John M. Dudley¹, Goëry Genty², & Benjamin. J. Eggleton³

¹ Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS-Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

² Tampere University of Technology, Department of Physics, Optics Laboratory, FIN-33101 Tampere, Finland

³ Centre for Ultra-high-Bandwidth Devices & Optical Systems (CUDOS), School of Physics,
University of Sydney, NSW 2006, Australia

john.dudley@univ-fcomte.fr

Suite aux expériences réalisées par Ranka *et al.* en 2000 [1] la génération de spectres optiques à bande ultralarge dans les fibres à cristaux photoniques a fait l'objet d'intenses recherches [2]. La teneur en bruit de ces spectres « supercontinuum » a fait l'objet d'une attention particulière. Bien qu'initialement orientées vers la détermination de critères relatifs à la génération de supercontinuum stable par des impulsions femtosecondes, les recherches se sont progressivement étendues à toute la plage des différents régimes, des impulsions picosecondes jusqu'à l'émission continue. Ces études poussées ont alors permis d'établir et d'analyser les différents mécanismes impliqués dans le transfert du bruit initial des impulsions aux supercontinua.

Dans ce contexte, une avancée hautement significative vient d'être rapportée par Solli *et al.* qui sont parvenus à quantifier précisément les fluctuations statistiques d'un supercontinuum généré par des impulsions picosecondes [3]. Même si des études antérieures avaient déjà fait état des variations de la position spectrale des solitons Raman dans des spectres supercontinua, Solli *et al.* ont utilisés une nouvelle technique expérimentale afin de montrer que certaines de ces variations peuvent se traduire par un nombre restreint d'événements que l'on peut qualifier de « scélérats » par analogie avec le vocabulaire utilisé en hydrodynamique [4]. En effet, ces événements rares sont associés à des solitons possédant une très grande amplitude. De plus, les expériences décrites par Solli *et al.* ayant été réalisées dans un contexte où l'instabilité de modulation joue un rôle crucial pour le développement du supercontinuum, il a été possible d'établir une correspondance entre ces solitons optiques extrêmes et les vagues scélérates rencontrées en hydrodynamique et dont l'origine est également liée à l'instabilité de modulation [5,6] .

Bien qu'une analyse plus poussée serait nécessaire pour établir un lien certain entre les vagues extrêmes du domaine de l'optique et celles du domaine hydrodynamique, notre objectif ici est de prolonger l'étude faite par Solli *et al.* afin d'examiner en détail des possibilités technologiques photoniques qui permettraient d'exploiter ou même de « maîtriser » les vagues extrêmes. Plus précisément, par le biais de simulations numériques basées sur la résolution de l'équation non linéaire de Schrödinger, nous étudions les dynamiques d'évolution de ces vagues extrêmes et démontrons qu'il est effectivement possible en pratique et par des techniques photoniques courantes de supprimer, voire de favoriser, la génération de vagues optiques extrêmes.

Références

1. J. K. Ranka, R. S. Windeler, and A. J. Stentz, "Visible continuum generation in air-silica microstructure optical fibers with anomalous dispersion at 800 nm," *Opt. Lett.* **25**, 25-27 (2000).
2. J. M. Dudley, G. Genty, and S. Coen, "Supercontinuum generation in photonic crystal fiber" *Rev. Mod. Phys.* **78**, 1135-1184 (2006).
3. D. R. Solli, C. Ropers, P. Koonath, and B. Jalali, "Optical rogue waves" *Nature* **450**, 1054-1058 (2007)
4. M. Hopkin, "Sea snapshots will map frequency of freak waves", *Nature* **430**, 492 (2004)
5. A. I. Dyachenko and V. E. Zakharov, "Modulation instability of stokes wave implies a freak wave", *JETP Lett.*, **81**, 255-259 (2005).
6. M. Onorato, A. R. Osborne, and M. Serio, "Modulational instability in crossing sea states : A possible mechanism for the formation of freak waves" *Phys. Rev. Lett.* **96**, 014503 (2006).

Sur l'extension latérale des déferlements

Pomeau Y.¹, Le Bars M.², Le Gal P.², Jamin T.² & Audoly B.³

¹ IRPHE, 49 rue F. Joliot Curie, 13384, Marseille

² Ecole Normale Supérieure, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris

³ L.M.M., Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu, 75252 Paris

`legal@irphe.univ-mrs.fr`

Le déferlement des vagues peut-être considéré comme la manifestation d'une singularité dans la solution des équations d'eau peu profonde. Nous montrons qu'à l'apparition du déferlement, la zone déferlée s'étend latéralement le long des crêtes avec une vitesse évoluant comme le carré du temps. Alors que l'étude des lois d'échelles découlant de l'apparition d'une singularité pour le cas d'une dynamique à une seule dimension d'espace est connue [1], ces résultats sont ici d'abord étendus par une analyse théorique des équations de Burgers 2D puis des équations d'eau peu profonde. Ils sont ensuite comparés à des expériences de laboratoire menées sur des vagues solitaires générées dans une fine couche d'eau dont les déferlements sont filmés par caméra rapide. L'accord est excellent.

Références

1. S.D. POISSON, *Mémoire sur la théorie du son*, Journal de l'Ecole Polytechnique, 14^{ème} cahier, **7**, 319-392 (1808)

Étude expérimentale des fluctuations de puissance injectée et dissipée dans les systèmes stochastiques hors d'équilibre

Sergio Ciliberto

Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon, 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon
`sergio.ciliberto@ens-lyon.fr`

Nous étudions expérimentalement les fluctuations du travail effectué par une force externe sur un oscillateur harmonique en contact avec un bain thermique [1,2,3] et sur une particule Brownienne confinée par un potentiel avec une forte non-linéarité[4]. Nous mesurons aussi les fluctuations de la chaleur dissipée vers le bain thermique par ces systèmes. L'analyse des données expérimentales est faite dans le contexte des théorèmes de fluctuations (TF), qui prédisent l'existence d'une certaine symétrie entre la probabilité d'observer des fluctuations positives et celle d'observer des fluctuations négatives de la puissance injectée ou dissipée. Nous rappelons brièvement les prédictions de ces théorèmes et nous les comparons aux résultats expérimentaux. En particulier nous discutons les corrections de temps fini, c'est à dire le temps caractéristique de mesure au-delà du quel les prédictions de TF sont effectivement vérifiées. En fonction de la variable considérée la convergence des mesures aux prédictions peut être plus au moins rapide. Nous montrons que pour les fluctuations de la production totale d'entropie les prédictions de TF sont vérifiées pour tous les temps[5]. Les implications de ces résultats pour les applications sont enfin discutées.[3]

Références

1. Work Fluctuation Theorems for Harmonic Oscillators, F. Douarche, S. Joubaud, N. B. Garnier, A. Petrosyan, and S. Ciliberto Phys. Rev. Lett. **97** (14), 140603 (2006).
2. Fluctuation theorems for harmonic oscillators, S Joubaud, N B Garnier and S Ciliberto, J. Stat. Mech. P09018 (2007).
3. Experimental study of work fluctuations in a harmonic oscillator Sylvain Joubaud, Nicolas Garnier, Frederic Douarche, Artyom Petrosyan, Sergio Ciliberto, C. R. Physique 8, 518 (2007)
4. Work and dissipation fluctuations near the stochastic resonance of a colloidal particle, Pierre Jop, Sergio Ciliberto, Artem Petrosyan, arXiv :0711.3543
5. Fluctuations of the total entropy production in stochastic systems, Sylvain Joubaud, Nicolas Garnier, Sergio Ciliberto, arXiv :0711.2388

Courbes invariantes conformes : une introduction aux processus SLE et applications

Denis Bernard

Laboratoire de Physique Théorique, ENS
`dbernard@lpt.ens.fr`

Les processus SLE, récemment définis par des mathématiciens, sont des évolutions stochastiques conduisant à la description de courbes invariantes conformes. Nous décrirons (i) quels objets physiques sont décrits par ces processus, (ii) quels sont les concepts sous-jacents à la description de ces processus, (iii) quelques applications récentes des méthodes issues des processus SLE, notamment en turbulence bi-dimensionnelle.

Propagation d'une fissure dans une couche mince élastique : une sélection géométrique

Bayart E., Adda-Bedia M., & Boudaoud A.

Ecole Normale Supérieure - Laboratoire de Physique Statistique, 24 rue Lhomond 75231 Paris Cedex 05
bayart@lps.ens.fr

Lorsqu'on veut arracher du papier peint, il se forme des lambeaux : les deux pointes des fissures engendrées semblent toujours s'attirer. De façon générale la détermination du chemin pris par une fissure dans une plaque mince est un problème encore mal compris. On nomme "trouser test" le geste habituel que l'on fait pour déchirer une feuille. Il est généralement admis que le "trouser test" impose un déchirement en mode mixte d'ouverture et de cisaillement hors du plan. Nous nous intéressons à la stabilité d'une fissure dans une plaque mince élastique dans une telle configuration. Nous avons élaboré un dispositif expérimental permettant de contrôler la propagation de la fissure à vitesse constante. Nous observons d'une part que la trajectoire de la fissure est rectiligne et reste stable sous l'influence d'une perturbation (déviations forcées de la trajectoire ou présence d'un bord libre) et d'autre part que l'épaisseur de la plaque fracturée présente un biseau. Par analyse d'images, nous reconstituons la courbure de la plaque mince en déchirement : les contraintes présentes à la pointe de la fissure sont équivalentes à une force dont nous mesurons la direction. Cette dernière, fixée par l'angle du biseau et par la géométrie du système, est perpendiculaire à la direction de propagation de la fissure. Nous montrons ainsi que dans la configuration du trouser test, la fissure se propage en mode d'ouverture pur.

Vieillissement au point critique : résultats expérimentaux.

S. Joubaud, A. Petrosyan and S. Ciliberto

Université de Lyon - Laboratoire de Physique - ENS Lyon
sylvain.joubaud@ens-lyon.fr

Les fluctuations thermiques d'orientation du directeur d'un cristal liquide nématique sont mesurées en utilisant l'interférométrie à contraste de phase. Lorsqu'un champ électrique est appliqué perpendiculairement par rapport à l'alignement initial des molécules, il existe un point critique au delà duquel les molécules tendent à s'aligner parallèlement au champ. Cette transition, appelée transition de Fréedericksz, est une transition de phase du deuxième ordre. Notre étude se porte sur le comportement hors-équilibre de cristal liquide durant sa phase de relaxation au point critique. Les fonctions de réponse et de corrélation sont mesurées durant la trempe et un comportement de type vieillissement est clairement observé.

Transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non-Newtonien : Evidence d'un état nonlinéaire stable.

Esmael & Nouar

LEMTA UMR 7563 CNRS Nancy-Université, 2 Avenue de la Forêt de Haye BP 160, 54504
Vandoeuvre-Lès-Nancy.
`cherif.nouar@ensem.inpl-nancy.fr`

La compréhension des mécanismes de transition vers la turbulence pour un fluide newtonien en écoulement dans une conduite cylindrique a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux depuis plus d'un siècle. Cependant, ce n'est que durant cette dernière décennie que des progrès majeurs ont été apportés. En se basant sur le cycle d'auto-entretien de la turbulence (Self-Sustaining-Process) proposé par Waleffe [1], une nouvelle classe de solutions numériques des équations de Navier-Stokes a été découverte [2], [3]. Ces solutions se présentent sous forme d'ondes non linéaires périodiques en azimut et dans la direction axiale. Elles forment une base de structures cohérentes sur laquelle la transition s'organise. Elles apparaissent par une bifurcation noeud-col et sont immédiatement instables. Concernant la transition vers la turbulence de fluides non newtoniens, très peu de travaux existent dans la littérature. En 1996, Escudier et Presti [5] ont publié un article où ils décrivent l'évolution de la structure de l'écoulement d'une suspension de Laponite (fluide à seuil thixotrope) dans une conduite cylindrique. Ils font état d'une asymétrie des profils de vitesse dans toute la phase de transition. De manière indépendante, cette asymétrie a été confirmée par Peixinho *et al.* [6] en utilisant une installation expérimentale et un fluide à seuil différents de ceux considérés dans [5]. L'analyse des résultats expérimentaux montre que cette asymétrie des profils de vitesse résulte d'un mécanisme physique qui n'est pas encore identifié plutôt que d'un artefact expérimental. Afin de donner une interprétation tridimensionnelle à cette asymétrie, des profils de vitesse axiale ont alors été mesurés le long d'une conduite cylindrique et à différentes positions azimutales, suivis d'une analyse statistique des fluctuations de la vitesse. Le fluide utilisé est une solution aqueuse de Carbopol 940 (fluide à seuil rhéofluidifiant). L'analyse des profils de vitesse axiale met en évidence l'existence d'une structure cohérente nonlinéaire caractérisée par deux rouleaux longitudinaux contra-rotatifs. Ce nouvel état nonlinéaire, intermédiaire entre les régimes laminaire et turbulent est similaire qualitativement aux structures cohérentes (instables) calculées numériquement par [7]. En outre, cet état non linéaire stable se comporte comme un attracteur local dans l'espace des phases. Lorsque le nombre de Reynolds augmente, le bassin d'attraction de cet état asymétrique augmente, et rediminue par la suite. Ce scénario diffère complètement de ce qui est observé en fluides newtoniens.

Références

1. F. WALEFFE, On a self-sustaining process in shear flow, *Phys. Fluids*, **9** 883-900 (1997).
2. H. FAISST & B. ECKHARDT, Travelling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.*, **91** (22) 224502 (2003).
3. H. WEDIN & R. R. KERSWELL, Exact coherent structure in pipe : travelling wave solutions. *J. Fluid. Mech.*, **508** 333-371 (2004).
4. B. HOF, C. W. H. VAN DOORNE, J. WESTERWEEL, J. NIEUWSTADT, H. FAISST, B. ECKHARDT, H. WEDIN, R. R. KERSWELL & F. WALEFFE, Experimental observations of nonlinear travelling waves in turbulent pipe flow. *Science*, **305** 1594-1598 (2004).
5. M. P. ESCUDIER & F. PRESTI, Pipe flow of thixotropic liquid. *J. non-Newtonian Fluid Mech.*, **62** 291-306 (1996).
6. J. PEIXINHO, C. NOUAR & B. THÉRON, Laminar transitional and turbulent flow of yield stress fluid in a pipe. *J. non-Newtonian Fluid Mech.*, **128** 2-3 172-184 (2005).
7. C.C.T. PRINGLE & R.R. KERSWELL, Asymmetry, helical, and mirror-symmetric traveling waves in pipe flow. *Phys. Rev. Lett.*, **99** 074502 (2007).

Tourbillons élastiques supercritiques observés dans l'écoulement de Couette-Taylor de solutions de polymères.

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

Laboratoire d'Ondes et Milieux Complexes (LOMC), FRE-3102 CNRS-Université du Havre, 76058 Le Havre
faycal.kelai@univ-lehavre.fr

L'écoulement de Couette-Taylor est observé pour un liquide confiné entre deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle. Il constitue un système hydrodynamique modèle. Une avancée majeure dans le domaine des écoulements viscoélastiques a été effectuée par [1] quand ces auteurs ont mis en évidence dans l'écoulement de Couette-Taylor de solution polyisobutylène/polybutène l'existence d'une instabilité dite « purement élastique ». En effet, si dans le cas purement Newtonien ce sont les forces d'inerties qui déstabilisent l'écoulement de base, les effets élastiques peuvent dans certains cas déstabiliser ce dernier pour des vitesses de rotation arbitrairement faibles, *i.e.* des forces d'inerties négligeables. Le mécanisme de l'instabilité a été étudié plus avant par [2], qui ont montré qu'au seuil de l'instabilité $K_c^2 = (\tau\dot{\gamma})^2(d/a)(\eta - \eta_s)/\eta$ est constant (avec η la viscosité de la solution, η_s la viscosité du solvant, τ le temps de relaxation moléculaire, $\dot{\gamma}$ le taux de cisaillement dans l'entrefer, d l'épaisseur de l'entrefer et a le rayon du cylindre intérieur). On note que dans [2], l'instabilité purement élastique a été observée sous la forme d'une transition *sous-critique* vers un mode supérieur (appelé « oscillations désordonnées » dans [2]), et que les « paires de tourbillons » élastiques isolées, qui délimitent l'écoulement en domaines et sont supposées être le mode d'instabilité élastique primaire, ne sont observées que moyennant de réduire le paramètre de contrôle une fois le seuil franchi.

Nous rapportons les observations d'une transition *supercritique* depuis l'écoulement de base vers un régime de paires irrégulièrement espacées de tourbillons dans des solutions aqueuses de polyoxyéthylène de forte masse molaire et de polyéthylène glycol de petite masse molaire.

La rhéofluidification de ces solutions est négligeable. Le ratio $S = (\eta - \eta_s)/\eta_s$ varie de 0,16 à 0,28 et τ de 0,1 s à 0,37 s. Les solutions sont placées dans une cellule de Couette-Taylor verticale. Le rapport d'aspect est de 45,9 et le rapport des rayons vaut $a/(a + d) = 0,8$. Le cylindre extérieur est fixe. La visualisation de l'écoulement est obtenue par une coupe laser verticale de l'entrefer. Afin de mesurer les champs de vitesses, nous avons aussi utilisé la technique de vélocimétrie par imagerie de particules (PIV).

Les motifs d'écoulement observés et les profils extraits après traitement des données sont très semblables aux résultats antérieurs sur les motifs d'écoulements purement élastiques (paire de tourbillon isolés [2], *flame pattern* [3]). Le seuil de l'instabilité est caractérisé par K_c variant de 0,8 à 1 tandis que le Taylor $Ta_c = \sqrt{d/a} \cdot Re_c$ décroît fortement de 30,2 à 6,3 (avec $Re_c = \dot{\gamma}d^2\rho/\eta$ le nombre de Reynolds). À l'opposé, dans le cas où le premier mode d'instabilité est observé sous forme d'ondes contrapropagatives inertioélastiques ([4], S environ 0,1 ou moins), K_c croît jusqu'à 0,8 tandis que Ta_c varie faiblement de 46,1 à 42,2.

On peut donc conclure que nous avons bien observé une transition super-critique vers un régime élastique.

Références

1. R. G. LARSON, E. S. G. SHAQFEH & S. J. MULLER, *J. Fluid Mech.*, **218**, 573-600 (1990).
2. A. GROISMAN & V. STEINBERG, *Europhys. Lett.*, **43**(2), 165-170 (1998).
3. B.M. BAUMERT & S.J. MULLER, *Phys. Fluids*, **9**(3), 566-586 (1997).
4. F. KELAI, O. CRUMEYROLLE & I. MUTABAZI, *10^e Rencontre du non linéaire*, 67-72 (2007).

Acoustique de l'éclatement d'une bulle à la surface d'un fluide non-newtonien

V. Vidal¹, T. Divoux¹, F. Melo² & J.-C. Gémard¹

¹ Université de Lyon, Laboratoire de Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon, CNRS, 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07, France.

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

Valerie.Vidal@ens-lyon.fr

Les fluides non-newtoniens présentent une relation non-linéaire entre contrainte et déformation. Cette rhéologie complexe rend difficile l'analyse et l'interprétation des phénomènes où elle est mise en jeu. Ainsi, de manière parfois surprenante, l'éclatement d'une bulle à la surface d'un fluide complexe peut produire des événements violents, que ce soit la projection de purée ou de sauce lors d'expériences culinaires malheureuses, ou, à plus grande échelle et aux conséquences plus dramatiques, à la projection jusqu'à plusieurs centaines de mètres de fragments de lave, lors d'une éruption volcanique [1,2]. Les signaux acoustiques émis par l'éclatement de la bulle en surface constituent un moyen non-intrusif (et, dans le cas des volcans, sécurisé) pouvant permettre d'accéder, en cas d'impossibilité de mesure directe, aux propriétés rhéologiques du fluide. Or l'acoustique de l'éclatement de bulles dans des fluides de rhéologie complexe n'a à ce jour été étudiée que dans des systèmes présentant un grand nombre de bulles (mousses) [3,4,5]. Dans ce cas, différentes hypothèses ont été avancées pour expliquer le contenu fréquentiel du signal acoustique enregistré : résonance du corps de la bulle [4], ou oscillations des bulles voisines lors de l'éclatement [5].

Nous présentons ici l'étude expérimentale du signal acoustique émis par l'éclatement d'une bulle *unique* à la surface libre d'un fluide non-newtonien. Cette bulle présente des caractéristiques bien particulières, telle que la présence d'une singularité dans sa géométrie (*cusp*) [6], et des oscillations de sa forme et de sa vitesse lors de la remontée [7]. La simplification du système, ne considérant qu'une seule bulle et non une mousse, nous a permis d'effectuer une analyse détaillée de l'influence des différents paramètres (taille de la bulle, rhéologie du fluide) sur le contenu fréquentiel du signal acoustique émis lors de l'éclatement. La fréquence émise est fixée par la longueur de la bulle, présentant un comportement intermédiaire entre un cône et un tube résonnant. L'énergie acoustique libérée dépend de manière critique de la dynamique de rupture du film, et sa mesure n'est donc pas suffisante pour estimer l'énergie totale initialement stockée dans le système.

Références

1. M. Ichihara, T. Yanagisawa., Y. Yamagishi, H. Ichikawa, & K. Kurita, *Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting*, Abstract A111-P004 (2005).
2. H.M. Gonnermann & M. Manga, *Annu. Rev. Fluid. Mech.* **39**, 321–356 (2007).
3. W. Müller & J.-M. di Meglio, *J. Phys. Condens. Matter* **21**, L209–L215 (1999).
4. N. Vandewalle, J.F. Lentz, S. Dorbolo & F. Brisbois, *Phys. Rev. Lett.* **86**, 1, 179–182 (2001) ; N. Vandewalle and J.F. Lentz, *Phys. Rev. E* **64**, 021507 (2001) ; N. Vandewalle, H. Caps and S. Dorbolo, *Physica A* **314**, 320–324 (2002).
5. J. Ding, F.W. Tsaur, A. Lips & A. Akay, *Phys. Rev. E* **75**, 041601 (2007).
6. Y. Liu, T. Liao & D.D. Joseph, *J. Fluid Mech.* **304**, 321–342 (1995).
7. A. Belmonte, *Rheol. Acta* **39**, 554–559 (2000) ; N.Z. Handzy & A. Belmonte, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 124501 (2004).

Ligne de contact en reculée : influence de l'évaporation, dépôt

Chi-Tuong Pham¹, Guillaume Berteloot^{1,2}, François Lequeux² & Laurent Limat¹

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 du CNRS, Université Paris 7 Denis Diderot, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris

² Laboratoire Physico-chimie des Polymères et Milieux Dispersés, UMR 7615 du CNRS, ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris

pham@lps.ens.fr

Nous proposons un modèle simple de ligne de contact mobile dans des conditions de mouillage partiel en tenant compte des effets évaporatifs et du caractère divergent du flux évaporatif près de la ligne de contact, mis en évidence par Deegan [1]. Le problème dépend d'un paramètre sans dimension et peut ainsi se ramener à la situation classique étudiée par Voinov mais aussi à une situation plus complexe où l'évaporation et le mouvement du liquide sont du même ordre. Nous montrons qu'en pratique l'évaporation agit comme une force sur la ligne de contact dirigée vers l'intérieur du liquide. Nous appliquons nos résultats au problème de l'enduisage par *dip-coating* d'un substrat avec des solutés non volatiles. Nous montrons qu'à faible vitesse, l'épaisseur d'enduisage augmente et suit une loi d'échelle en l'inverse du carré de la vitesse.

Références

1. R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel & T. A. Witten, *Nature* 1997, **389**, 827.

Échelles de temps multiples dans les équations intégral-différentielles à retard en optoélectronique

Larger¹, Peil¹, Jacquot¹, Chembo¹, & Erneux²

¹ UMR CNRS FEMTO-ST 6174 / Dépt. d'Optique P.M. Duffieux, Université de Besançon, 16 route de Gray, F-25030 Besançon, France

² Optique Non linéaire Théorique, Université Libre de Bruxelles Campus Plaine CP 231, B-1050 Bruxelles, Belgium

laurent.larger@univ-fcomte.fr

Les oscillateurs chaotiques optoélectroniques développés pour les communications par chaos [1] haut débit présentent intrinsèquement au moins 3 échelles de temps caractéristiques, qui s'étalent sur plus de 6 ordres de grandeurs (de quelques 10 ps à quelques 10 μ s). Pour des valeurs modérées du gain de la boucle d'oscillateur (avant d'atteindre les régimes chaotiques utilisés en communications par chaos), des régimes dynamiques complexes révélant chacune de ses échelles ont été observés expérimentalement [2]; ceux-ci sont formés par une enveloppe presque périodique très lente, comprenant des oscillations quasi-rectangulaires rapides, suivi de régimes chaotiques entièrement développés et ultra-rapides.

La modélisation du montage expérimental fait appel à une dynamique linéaire correspondant à un filtre passe-bande, et soumis à une excitation non linéaire retardé de la variable dynamique [3]. Sur la base d'un tel modèle dynamique non linéaire à retard prenant en compte un terme intégral inhabituel en plus du terme différentiel, des formes d'onde similaires peuvent être obtenues numériquement, si l'on prend soin de supprimer des transitoires extrêmement longs.

La communication proposée exposera les résultats expérimentaux obtenus en termes de formes d'onde temporelle, de transformées en ondelettes, et de spectres de Fourier. Les résultats seront comparés aux solutions numériques, et dans le cas très simple des régimes périodiques, une interprétation analytique de la solution à échelle de temps multiple sera proposée.

Références

1. A. ARGYRIS *et al*, Chaos-based communications at high bit rates using commercial fiber-optic links, *Nature*, **438**, 343-346 (2005).
2. Y.C. KOUOMOU *et al*, Hyperchaotic breathers in delayed optical systems, *Physical Review Letters*, **95**, 043903 (2005).
3. V.S. UDALTSOV *et al*, Chaotic bandpass communication system, *IEEE Trans. On Circuits And Systems*, **49**, (7), 1006-1009 (2002)

Identification de la valeur du retard d'un laser à cavité externe chaotique

Alexandre Locquet¹, Damien Rontani^{1,2,3}, Marc Sciamanna^{1,2}, & David S. Citrin^{1,3}

¹ Unité Mixte Internationale 2958 Georgia Tech-CNRS, Georgia Tech Lorraine, 57070 Metz, France

² Supélec, LMOPS CNRS UMR-7132, 2 rue Edouard Belin, 57070 Metz, France

³ School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

alocquet@georgiatech-metz.fr

Une des applications principales en optique des dynamiques nonlineaires est l'utilisation du chaos produit par une diode laser pour masquer un message utile [1]. Ce type de cryptage physique, qui peut atteindre des débits de plusieurs Gbit/s, peut être combiné avec un chiffrement algorithmique classique et procurer ainsi une sécurisation supplémentaire des communications optiques. Les lasers chaotiques utilisés sont souvent des systèmes à retard, en raison de la grande dimensionnalité du chaos produit par ces derniers, ce qui est considéré comme utile au masquage. Cependant, il a été montré que malgré la grande dimensionnalité d'un système à retard, il est facile de casser ce type de système si la valeur du retard est connue [2]. Ceci explique l'importance du problème de l'identification de la valeur de ce retard.

Nous nous intéressons ici à l'identification du retard d'un laser à cavité externe (LCE), qui est l'une des principales sources de chaos optique utilisée pour masquer un message utile. Un LCE est constitué par une diode laser soumise à la réinjection optique de sa propre lumière, provenant d'une réflexion sur un miroir externe. La valeur du retard correspond au temps d'aller-retour de la lumière dans la cavité externe. On considère généralement qu'il est facile d'identifier le retard d'un LCE [3], ce qui compromet sa sécurité et incite à employer des systèmes chaotiques plus complexes pour masquer un message utile.

Nous montrons que, contrairement à ce qui est communément admis, il existe des régimes de fonctionnement chaotique d'un LCE pour lesquels il est impossible d'identifier le retard par des techniques classiques basées sur l'autocovariance ou l'information mutuelle. Nous mettons en lumière que les paramètres opérationnels qui déterminent principalement la qualité de l'identification sont la force de la rétroaction, qui est proportionnelle à la quantité de lumière injectée par le miroir externe dans la diode, ainsi que le rapport entre le retard τ et un temps caractéristique de la dynamique du laser qu'est la période τ_{RO} des oscillations de relaxation. Lorsque la rétroaction retardée est forte, l'influence importante que celle-ci exerce sur la dynamique du laser conduit toujours à une identification aisée du retard. Au contraire, lorsque la rétroaction est faible, il existe une compétition entre les temps caractéristiques τ et τ_{RO} qui peut conduire à une identification délicate de la valeur du retard. En particulier, lorsque la cavité externe est suffisamment courte pour que les valeurs de τ et de τ_{RO} soient proches, la compétition entre les échelles de temps peut conduire à une dynamique chaotique d'intensité optique qui ne comporte pas de signature du temps caractéristique τ détectable par les techniques d'autocovariance et d'information mutuelle [4]. Ceci démontre que, contrairement à ce qui est communément admis, il peut être difficile d'identifier le retard d'une diode laser chaotique soumise à une seule rétroaction optique.

Références

1. A. ARGYRIS, D. SYVRIDIS, L. LARGER, V. ANNOVAZZI-LODI, P. COLET, I. FISCHER, J. GARCIA-OJALVO, C.R. MIRASSO, L. PESQUERA, AND K.A. SHORE, Chaos-based communications at high bit rates using commercial fiber-optic links, *Nature*, **437**, 343 (2005).
2. R. HEGGER, M.J. BÜNNER, H. KANTZ, AND A. GIAQUINTA, Identifying and modeling delay feedback systems, *Phys. Rev. Lett.*, **81**, 558 (1998).
3. M.J. BÜNNER, A. KITTEL, J. PARISI, I. FISCHER, AND W. ELSÄSSER, Estimation of delay times from a delayed optical feedback laser experiment, *Europhys. Lett.*, **42**, 353 (1998).
4. D. RONTANI, A. LOCQUET, M. SCIAMANNA, AND D.S. CITRIN, Loss of time-delay signature in the chaotic output of a semiconductor laser with optical feedback, *Opt. Lett.*, **32**, 2960 (2007).

Etude physique numérique du fonctionnement de composants semiconducteurs distribués pour applications très hautes fréquences

El Moussati Ali⁽¹⁾ & Dalle Christophe⁽²⁾

(1) Laboratoire d'Electronique et Télécommunications, ENSA Oujda, Maroc (2) IEMN-DHS, UMR 8520, Groupe Silphyde, Cité Scientifique, Avenue Poincaré, BP 60069, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex
`christophe.dalle@iemn.univ-lille1.fr`

Une diode semiconductrice à avalanche et temps de transit de structure mésa classique permet la génération de puissance hyperfréquence. Elle présente un fonctionnement dynamique très non linéaire lié à la génération et au transit d'une charge d'espace. En étirant cette structure jusqu'à lui donner la forme d'une ligne de transmission, on réalise un composant dans lequel une onde électromagnétique peut se propager et être amplifiée dans un milieu actif présentant une conductivité différentielle transversale négative. Dans le but d'étudier le fonctionnement complexe de telles structures, nous avons développé un modèle physique numérique temporel bidimensionnel basé sur la résolution cohérente des équations de Maxwell pour le calcul du champ électromagnétique et d'équations de transport des porteurs libres pour le calcul de la densité de courant de conduction. Le modèle de transport est ici le système d'équations de conservation constituant le modèle stationnaire bipolaire macroscopique de type dérive-diffusion. Dans notre communication, nous décrirons le modèle et présenteront quelques résultats significatifs.

Références

1. A. El Moussati, *Nouveaux algorithmes pour la modélisation physique macroscopique électrique et électromagnétique des circuits microondes à l'état solide*, Thèse d'Université, Lille, Décembre 2004

Propriétés de propagation des structures localisées optiques

Florence Haudin, Umberto Bortolozzo et Stefania Residori

Institut Non Linéaire de Nice, 1361 route des Lucioles, Sophia Antipolis, 06560 Valbonne, FRANCE

¹florence.haudin@inln.cnrs.fr, ²umberto.bortolozzo@inln.cnrs.fr, ³stefania.residori@inln.cnrs.fr

L'apparition de structures localisées dans les systèmes hors d'équilibre est un phénomène très général. D'un point de vue théorique, les structures localisées apparaissent lorsqu'il y a bistabilité entre un état stationnaire homogène et un état périodique et connectent les deux états sous forme de fronts [1]. En optique non linéaire, elles résultent d'un effet d'équilibre entre les non-linéarités focalisantes du milieu et les effets de diffraction. En exemple, on peut citer les solitons dans les microcavités à semiconducteurs [2], les structures localisées dans les vapeurs de sodium [3] ou encore dans les expériences de valve à cristaux liquides [4]. Les structures localisées optiques apparaissent comme des taches de lumière dans le plan transverse à la direction de propagation de la lumière et peuvent être éteintes ou allumées en appliquant une perturbation de signe adapté. Elles peuvent également former des états liés par l'intermédiaire d'oscillations présentes sur les ailes de leur profils d'intensité [5].

A ce jour, aucune étude sur leurs propriétés de propagation dans l'espace libre n'avait été réalisée. Notre motivation première a donc été de savoir comment évolue le profil d'intensité de ces structures dans la direction z de la lumière en nous intéressant aux propriétés en champ proche mais aussi à la divergence en champ quasi lointain, pour une structure et pour des états liés. Une meilleure compréhension de leurs comportements et de leurs propriétés devraient permettre de générer de nouveaux types de faisceaux. Dans un premier temps, nous avons isolé une seule structure localisée générée par l'expérience de la valve à cristaux liquides et regardé la forme du faisceau diffracté lors de sa propagation. Les résultats obtenus en champ proche sont très différents de ceux pour une ouverture circulaire ou un faisceau gaussien. En particulier, il existe un plan z pour lequel la structure localisée se focalise. En continuant sa propagation, la structure s'ouvre, exhibant un trou à son centre puis se referme pour présenter une seconde focalisation de moindre intensité. Nous avons trouvé que la position suivant z de la structure trou est égale à la longueur de propagation libre parcourue par la lumière dans la boucle de rétroaction. En champ quasi lointain, la divergence de la structure localisée est très proche de celle d'un faisceau gaussien. Nous avons confronté les résultats expérimentaux à ceux obtenus par intégration du système complet d'équations décrivant les effets des cristaux liquides et de la diffraction ; nous avons obtenu un excellent accord entre le modèle et l'expérience.

Dans un second temps, l'étude d'états liés a mis en évidence que des structures indépendantes et parfaitement localisées dans le plan de focalisation, interfèrent en champ quasi-lointain. Les expériences ont donc montré que les structures localisées présentent des interférences à l'échelle macroscopique, caractéristiques d'une dualité onde-particule.

Références

- [1] P.Coullet, C. Riera et C.Tresser, Phys. Rev. Lett., **84**, 3069 (1999)
- [2] S. Barland et al., Nature, **419**, 689 (2002)
- [3] B. Schäpers, M. Feldmann, T. Ackermann et W. Lange, Phys. Rev. Lett., **85**, 748 (2000)
- [4] S. Residori, Phys. Rep., **416**, 201 (2005).
- [5] P.L. Ramazza, E. Benkler, U. Bortolozzo, U. Boccaletti, S. Ducci et F.T. Arecchi, Phys. Rev. E, **65**, 066204 (2002)

Solitons dissipatifs exacts dans le modèle de mélange de quatre ondes

Robert Conte¹ & Svetlana Bugaychuk²

¹ Service de physique de l'état condensé (CNRS URA 2464), CEA-Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

² Institute of Physics, National Academy of Sciences, 03028, Kiev-28, Prospect Nauki 46, Ukraine

Robert.Conte@cea.fr, bugaich@iop.kiev.ua

Le terme *soliton dissipatif* [1] désigne toute onde solitaire stable d'un système non-conservatif avec apport externe d'énergie. Le modèle de mélange de quatre ondes [2,3] est très répandu en optique non-linéaire (holographie dynamique, cristaux photoréfringents), et l'on peut montrer [4] que le concept de soliton dissipatif est bien pertinent pour ce modèle.

Ce système de cinq équations complexes aux cinq inconnues complexes $A_j, \Delta\varepsilon$ (quatre amplitudes d'ondes laser et l'amplitude du réseau optique ainsi créé (index grating)),

$$\begin{cases} \partial_z A_1 = -i\Delta\varepsilon A_2, & \partial_z \bar{A}_2 = i\Delta\varepsilon \bar{A}_1, \\ \partial_z \bar{A}_3 = -i\Delta\varepsilon \bar{A}_4, & \partial_z A_4 = i\Delta\varepsilon A_3, \\ \partial_t \Delta\varepsilon = \frac{\gamma}{I_0} I_m - \frac{1}{\tau} \Delta\varepsilon, \end{cases} \quad (1)$$

dépend de deux paramètres, τ (positif) et γ (couplage photoréfringent, complexe). En nous appuyant sur la structure des singularités des solutions de ce modèle [5], qui sont très similaires à celles de Ginzburg-Landau complexe, nous avons pu construire une solution analytique qui dépend du temps t et de l'espace z , du type soliton dissipatif, qui reproduit fort bien le profil stable observé lors de simulations numériques. Cette solution [6] est trigonométrique (du type sech), plus généralement elliptique, et cette solution elliptique s'extrapole probablement en une fonction de Painlevé.

Références

1. N. Akhmediev and A. Ankiewicz (eds.), *Dissipative solitons*, 448 pages, Lecture notes in physics **661** (2005) 373–406.
2. P. Günter and J.-P. Huignard (eds.), *Photorefractive materials and applications*, TAP 61 (Heidelberg : Springer Verlag, 1988).
3. S. Odoulov, M. Soskin, A. Khyznizk, *Dynamic grating lasers* (Nauka Publishers, Moscow, 1990) (in Russian).
4. S. Bugaychuk and R. Conte, Dissipative envelope soliton in optical dynamic holography, 11 pages + figures, submitted (January 2008).
5. R. Conte and S. Bugaychuk, Analytic structure of the four-wave mixing model in photorefractive materials, 10 pages, submitted (December 2007).
6. R. Conte and S. Bugaychuk, en préparation (2008).

Applications de l'auto-similarité en optique non linéaire ultrarapide

Guy Millot

Laboratoire de Physique, Université de Bourgogne
`guy.millot@u-bourgogne.fr`

(avec Christophe Finot et John Dudley).

Démodulation complexe de signaux expérimentaux appliquée aux ondes internes

Mercier Matthieu¹, Garnier Nicolas¹, & Dauxois Thierry¹

¹Laboratoire de Physique, ENS Lyon, 46 allée d'Italie 69364 Lyon Cedex 07
matthieu.mercier@ens-lyon.fr

Nous montrons comment les propriétés physiques des ondes internes de gravité dans les fluides stratifiés à deux dimensions peuvent être élucidées grâce à l'utilisation de la transformée de Hilbert et à la représentation complexe de signaux expérimentaux [1]. Les ondes internes ont été obtenues expérimentalement par un générateur d'un nouveau genre qui émet des ondes planes monochromatiques [2]. Les ondes planes sont aussi bien solutions d'une approche linéaire que non-linéaire, et les deux comportements ont été rencontrés expérimentalement.

Une fois la source analysée, l'étude de la dissipation, de la réflexion et de la diffraction des ondes internes éclairée par la transformée de Hilbert a permis d'apporter des réponses à des interrogations soulevées par la théorie.

La source d'ondes internes planes a été analysée au préalable et des interactions non-linéaires entre les harmoniques émises ont été observées, localisées proche de la zone d'émission où les amplitudes sont les plus grandes. Cependant la qualité de cette source a été vérifiée du fait de la propagation sans déformation des ondes émises.

Le taux d'atténuation visqueuse selon la direction de propagation des ondes internes a été mesuré quantitativement, ainsi que sa dépendance avec la pulsation de l'onde. Les résultats sont en accord avec les modèles présentés par Thomas & Stevenson [3] ou Hurley & Keady [4].

Des expériences de réflexion d'ondes internes sur un fond plat incliné ont été réalisées dans le but d'identifier un éventuel faisceau réfléchi dans la direction opposée au faisceau incident. Un tel faisceau ne devrait exister selon la théorie [5] mais aucune vérification expérimentale ne semblait le confirmer.

Enfin, le problème assez inhabituel du passage d'une onde interne plane à travers une fente de largeur comparable à la longueur d'onde a été envisagé et a permis la mise en évidence d'un phénomène de diffraction, dans le cas particulier des ondes internes.

Références

1. M. J. MERCIER, N. B. GARNIER, T. DAUXOIS, Hilbert transform applied to experimental data tackling internal waves issues, *Physics of Fluids*, soumis (2008).
2. L. GOSTIAUX, H. DIDELLE, S. MERCIER, AND T. DAUXOIS, A novel internal waves generator, *Experiments in Fluids*, **42**, 123-130 (2007).
3. N. H. THOMAS AND T. N. STEVENSON, A similarity solution for viscous internal waves, *Journal of Fluid Mechanics*, **54**, 495-506 (1972).
4. D. G. HURLEY AND G. KEADY, The generation of internal waves by vibrating elliptic cylinders. part 2. approximate viscous solution, *Journal of Fluid Mechanics*, **351**, 119-138 (1997).
5. P. G. BAINES, The reflexion of internal/inertial waves from bumpy surfaces. part 2. split reflexion and diffraction, *Journal of Fluid Mechanics*, **49**, 113-131 (1971).

La physique des routes de tôle ondulée

Nicolas Taberlet¹, Jim McElwaine², & Stephen W. Morris³

¹ Université de Lyon, École Normale Supérieure de Lyon, Laboratoire de Physique, 46 allée d'Italie, 69007 Lyon, France

² DAMTP, University of Cambridge, Wilberforce Rd, CB3 0WA Cambridge, U.-K.

³ Department of Physics, University of Toronto, 60 St. George St., Toronto, Canada, M5S 1A7
`nicolas.taberlet@ens-lyon.fr`

Sur les routes non goudronnées (de sable ou de gravier), le passage répété de véhicules fait apparaître un motif ridé : la tôle ondulée. Ce phénomène pose de gros problèmes dans les pays émergents et en Australie car, en plus du désagrément pour les passagers, il diminue fortement l'adhérence des véhicules. A l'heure actuelle, aucune solution satisfaisante n'a été trouvée pour combattre l'apparition de ces rides, la seule méthode consistant à les aplanir régulièrement à l'aide d'un bulldozer, processus long, coûteux et peu efficace.

En tant que physiciens, nous avons étudié le phénomène comme une instabilité d'un lit de grains secs soumis à une excitation périodique. Nous avons reproduit ce phénomène à l'échelle du laboratoire ainsi qu'à l'aide de simulations numériques de dynamique moléculaire de sphères molles. Notre montage consiste en une table ronde horizontale d'un mètre de diamètre. Un lit de sable naturel est déposé sur la table et celle-ci est mise en rotation. Une roue, attachée à un bras pivotant vient appuyer sur le lit de sable. Il est possible d'ajouter un ressort et un amortisseur afin de reproduire une suspension mais l'approche du physicien est de réduire le nombre de paramètres pour étudier les mécanismes fondamentaux. Ainsi, la plus grande différence entre notre montage et le cas réel réside dans le fait qu'aucun couple moteur n'est imposé à la roue. En effet, un véhicule avance car le moteur impose des efforts sur l'axe de la roue. A l'inverse, dans nos expériences la roue est simplement "tirée" à vitesse constante.

Nos expériences ont montré qu'un système simple, sans suspension, sans couple moteur, était suffisant pour déclencher le phénomène. Nous avons également mis en évidence que la taille des grains ou de la roue n'a que très peu d'influence sur la dimension des rides (hauteur et longueur d'onde). De plus, les rides ne font que croître dans le temps et ne disparaissent que si l'on réduit la vitesse de façon drastique. Tous nos travaux montrent que le phénomène est très robuste, c'est-à-dire qu'il apparaît pour une très large gamme de paramètres. Des tests réalisés avec du sable mouillé ou du riz montrent que des superbes rides existent pour des matériaux divers et variés. De plus, un très bon accord qualitatif a été observé entre les expériences et les simulations numériques. Nous avons également montré que certains paramètres "naturels" tels que le diamètre des grains ou celui de la roue n'ont pas d'influence sur le motif ridé. De cette constatation nous avons déduit un nombre sans dimension qui caractérise l'instabilité (nombre de Froude). Des études expérimentales ont confirmé que la transition correspondant à l'apparition des rides s'effectue à nombre de Froude constant.

Magnétohydrodynamique dans un disque képlerien : instabilité magnétorotationnelle et saturation non linéaire

A. Ribeiro¹, C. Nore^{1,2}, J. Léorat³, & J.-L. Guermond⁴

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

² Université Paris-Sud 11, 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

ribeiro@limsi.fr

Dans la plupart des objets astrophysiques, on observe des champs magnétiques au sein d'écoulements turbulents de fluides conducteurs. Quel est le rapport entre le champ de vitesse turbulent et le champ magnétique à grande échelle ? Ce dernier est-il le produit ou la cause de la turbulence hydrodynamique ? L'étude de ces questions nécessite une description des interactions non linéaires entre ces deux champs.

La détermination du champ magnétique à grande échelle demande de tenir compte de la géométrie des écoulements considérés. Dans le cas des disques astrophysiques (protostellaire, protoplanétaire, accrétion, galactique), les conditions magnétiques à l'interface avec le milieu extérieur isolant doivent être numériquement assurées, ce qui n'est simplement satisfait que pour la géométrie sphérique. Nous présentons des simulations de disque effectuées avec un code [1] éléments finis MHD (magnétohydrodynamique) en coordonnées cylindriques permettant d'imposer correctement ces conditions aux limites. Nous étudions l'évolution d'un disque d'axe Oz , de faible épaisseur ($R/L = 30$), contenant un écoulement azimuthal képlerien de fluide conducteur, sous l'action d'un champ magnétique extérieur uniforme H_0 parallèle à l'axe. Cette configuration initiale est choisie car c'est une solution stationnaire des équations MHD couplées. Elle peut se déstabiliser par instabilité magnétorotationnelle (MRI) suivant le choix des paramètres de contrôle, le nombre de Prandtl magnétique $Pm = Rm/Re = \nu/\eta$, le nombre de Reynolds Re et le nombre de Hartmann $Ha = \mu_0 H_0 L \sqrt{\sigma/\rho\nu}$ qui mesure l'intensité du champ appliqué (où μ_0 est la perméabilité magnétique du vide, σ la conductivité électrique, ρ la masse volumique, ν la viscosité cinématique et η la diffusivité magnétique). Nous nous bornons ici au cas $Pm = 1$. Nous nous intéressons d'abord au déclenchement de l'instabilité MRI, car cette phase peut se décrire avec des équations linéarisées dont les solutions permettent de valider les résultats numériques [2]. Pour un nombre de Reynolds donné, on vérifie qu'une perturbation initiale de la solution stationnaire est instable dans un intervalle d'intensité du champ magnétique appliqué. La croissance exponentielle des fluctuations avec un taux proche de la fréquence de rotation maximale entraîne l'apparition d'une force de Lorentz qui va modifier l'écoulement azimuthal initial en brisant la symétrie équatoriale, mettant ainsi fin à cette phase linéaire. Les caractéristiques temporelles et spatiales du régime de saturation non linéaire dépendent a priori des deux paramètres Re et Ha (en conservant $Pm = 1$). Pour des valeurs faibles du nombre de Reynolds ($Re = 280$, par exemple), après quelques oscillations de l'énergie des fluctuations, le système tend vers un point fixe. La suite de l'étude prévoit l'accroissement du nombre de Reynolds afin d'aborder des régimes dépendants du temps qui ont été observés dans certaines simulations. Une des questions principales qui est ainsi posée est l'apparition d'une turbulence MHD dans un réservoir fini, sans l'artifice de forces aléatoires, alors que l'écoulement képlerien initial est stable par rapport à des perturbations purement hydrodynamiques.

Références

1. J.-L. GUERMOND, R. LAGUERRE, J. LÉORAT ET C. NORE, An Interior Penalty Galerkin Method for the MHD equations in heterogeneous domains, *Journal of Computational Physics*, 2007, 221, p. 349-369.
2. L. L. KITCHATINOV AND M. V. MAZUR, On the global stability of rotating magnetized disks, *Astron. Astrophys.*, 1997, 324, p. 821-828. And S. A. BALBUS AND J. F. HAWLEY, Instability, turbulence, and enhanced transport in accretion disks, *Rev. Mod. Phys.*, 1998, 70, p. 1-53.

Instabilités d'un film liquide en écoulement sur une fibre verticale

C. Duprat¹, F. Giorgiutti-Dauphine, & C. Ruyer-Quil

Laboratoire FAST, Orsay
duprat@fast.u-psud.fr

L'écoulement d'un film liquide induit par gravité autour d'une fibre met en jeu deux mécanismes, l'un capillaire, dû à la tension de surface et la courbure de la fibre (instabilité de Rayleigh-Plateau), l'autre hydrodynamique (instabilité initialement étudiée par Kapitza). Le film liquide se déstabilise systématiquement, montrant une grande variété de phénomènes non linéaires dus au couplage non trivial des deux mécanismes d'instabilité, tels l'apparition d'ondes solitaires, et peut conduire à un régime désordonné. Ce système est donc idéal pour étudier la complexité des écoulements ouverts.

Un montage expérimental permettant de contrôler précisément le débit dans le film et les conditions initiales (forçage) a été réalisé.

Pour des débits élevés et des fibres de grand rayon, l'instabilité est surtout provoquée par des effets inertiels comme observé dans le cas de films tombants sur des surfaces planes. Le système se comporte alors comme un amplificateur de bruit : le film, au départ d'épaisseur uniforme, se brise spontanément en un train d'onde quasi régulier dont la fréquence correspond à la fréquence la plus amplifiée en espace prédite par une analyse de stabilité linéaire. Pour des fibres de rayons plus faibles, à bas débit, le mécanisme d'instabilité domine sur l'advection des ondes par l'écoulement : on observe alors un train d'onde régulier, avec une fréquence propre bien définie. Ce train d'onde reste stable et envahit tout le domaine (mode global). Nous identifions le débit critique auquel la transition entre les instabilités absolue (régime régulier) et convective (amplificateur de bruit) se produit. Les résultats expérimentaux sont en bon accord avec la transition obtenue en résolvant l'équation d'Orr-Sommerfeld (analyse de stabilité de linéaire) [1].

Le train d'ondes primaire est déstabilisé en aval par une instabilité secondaire, menant à un régime désordonné. Nous étudions expérimentalement la réponse spatiale du système à un bruit blanc (bruit ambiant) ou à une perturbation périodique dans une large gamme de fréquence de forçage. Nous identifions la fréquence de coupure du système comme la fréquence à laquelle le forçage n'affecte plus la dynamique. Pour des fréquences de forçage plus faibles, nous obtenons un train périodique d'ondes stationnaires saturées appelées *travelling waves*. Nous avons formulé, dans l'hypothèse de lubrification, un modèle par prise de moyenne sur l'épaisseur des équations du mouvement. Nous obtenons alors deux équations couplées non linéaires pour l'évolution du débit q et de l'épaisseur du film h , correspondant à un bilan de masse et au bilan de quantité de mouvement dans la direction de l'écoulement [2]. Afin de considérer les différents mécanismes d'instabilité, ce modèle prend en compte l'inertie et la tension de surface, ainsi que la dispersion d'origine visqueuse. Les données expérimentales (fréquence, vitesse, forme et épaisseur des ondes) sont en très bon accord avec les solutions du modèle.

Références

1. C. DUPRAT, C. RUYER-QUIL, S. KALLIADASIS AND F. GIORGIUTTI-DAUPHINÉ, Absolute and Convective Instabilities of a Viscous Film Flowing Down a Vertical Fiber, *Physical Review Letters*, **98**, 244502 (2007).
2. C. RUYER-QUIL, P. TREVELEYAN, F. GIORGIUTTI-DAUPHINÉ, C. DUPRAT AND S. KALLIADASIS, Modelling film flows down a fibre, *submitted to Journal of Fluid Mechanics*

Microfluidique avec des mousses : jeu entre la rhéologie et l'arrangement des bulles.

Philippe Marmottant & Jan-Paul Raven

Laboratoire de Spectrométrie Physique, UMR5588, CNRS-Université Grenoble I, B.P. 87, F-38402 St Martin d'Hères Cedex, France

philippe.marmottant@ujf-grenoble.fr

Nous présentons une étude expérimentale sur l'écoulement de micromousses confinées, créées par assemblage de microbulles. La méthode du pincement hydrodynamique produit la mousse, bulle à bulle, dans une puce microfluidique. La taille des bulles ainsi que le contenu en liquide est contrôlé par les flux entrants de gaz et de liquide. Parce que leur tailles sont identiques, les bulles s'arrangent en un cristal dans les canaux de la puce microfluidique.

Le débit de la mousse en microcanal dépend non-linéairement de la pression appliquée. De larges discontinuités ont lieu lorsque l'arrangement topologique des bulles change [1]. En effet, pour le même volume de bulle, plusieurs motifs sont possibles. Le motif le plus simple est celui avec une séquence de bulles, avec une seule bulle dans la largeur du canal (motif "bambou", appelé F1). Le deuxième est celui où deux rangs de bulles apparaissent dans la largeur (motif "alterné", appelé F2). Nous observons que la rhéologie est fortement dépendante de l'arrangement des bulles.

Les transitions entre les arrangements de bulles et les effets de rétroaction sont associées avec un comportement dynamique très riche [2]. Nous observons trois types de transitions : i) oscillations spontanées, avec une pulsation du débit et de la taille des bulles ii) coexistence pacifique de deux phases dans le canal, la transition se produisant à un endroit fixe de l'écoulement, le débit étant stable vis-à-vis des variations de pression iii) advection et coexistence des deux phases.

Grâce à une analyse vidéo, nous avons mis en évidence l'existence d'une onde de réarrangements qui transforme une structure en une autre (la mousse F1 étant moins favorable énergétiquement que la mousse F2). Selon la vitesse de la mousse, les transitions décrites précédemment peuvent être classifiées en trois types d'instabilités : i) absolu, quand l'onde de réarrangements est plus rapide que la mousse, ii) stationnaire quand l'onde a la même vitesse et iii) convecté quand l'onde va plus lentement.

La vitesse des réarrangement de bulles est crucial pour déterminer la stabilité de l'oscillateur.

Références

1. Raven, J.P., Marmottant, P., Graner, F., "Dry microfoams : formation and flow in a microchannel" European Physical Journal B, 51,137-143 (2006)
2. Raven, J.P., Marmottant, P. "Periodic microfluidic bubbling oscillator : Insight into the stability of two-phase microflows" Physical Review Letters, 97, 154501 (2006)

Elasticité des nœuds

Nicolas Clauvelin¹, Basile Audoly², & Sébastien Neukirch²

¹ UPMC Univ Paris 06 & CNRS, UMR 7190, Institut Jean le Rond d'Alembert, F-75005, Paris, France

² CNRS & UPMC Univ Paris 06, UMR 7190, Institut Jean le Rond d'Alembert, F-75005, Paris, France

`ncpub@lmm.jussieu.fr`

Historiquement étudié d'un point de vue mathématique, les nœuds sont aujourd'hui au coeur de nombreux problèmes très différents. Il est par exemple connu que faire un nœud sur une corde réduit de manière importante sa résistance à la traction [1]. Récemment une équipe d'expérimentateurs a réussi à faire un nœud sur une molécule d'ADN dans le cadre d'expériences à molécule unique [2]. Les nœuds se rencontrent également dans le domaine des polymères lorsque ceux-ci sont suffisamment longs [3], de même qu'une récente étude a identifié 273 protéines nouées, bien que la fonction biologique des nœuds dans ce cas ne soit pas clairement identifiée [4,5].

Jusqu'à aujourd'hui les nœuds, et plus généralement le processus de nouage d'un filament, ont été étudiés à l'aide des outils de la dynamique moléculaire ou des méthodes *ab initio* [6]. De nombreux travaux sur la physique statistique des nœuds [7] existent également, ainsi que des études basées sur des modèles purement géométriques [8].

Dans un récent article [9] nous avons présenté un modèle basé sur la théorie de l'élasticité permettant d'étudier la réponse mécanique d'un nœud. Considérant une tige élastique de longueur infinie et nouée à la manière d'un nœud de trèfle, soumise à une tension à chacune de ses extrémités, notre modèle permet de calculer la solution d'équilibre à partir des équations de Kirchhoff pour les tiges élastiques. Le problème est alors formulé comme une minimisation de l'énergie élastique avec une contrainte d'impénétrabilité, et résolu par une méthode de couche limite. Les résultats obtenus, aussi bien sur la géométrie que sur la mécanique du nœud, sont comparés à des expériences et montrent un bon accord.

Références

1. A. Stasiak, A. Dobay, J. Dubochet, G. Dietler, H. E. Gaub, H. Clausen-Schaumann, M. Beyer, M. Rief, and M. Grandbois, Knotted fishing line, covalent bonds, and breaking points, *Science* **286** (5437), 11a (1999).
2. Y. Arai, R. Yasuda, K. I. Akashi, Y. Harada, H. Miyata, K. Kinoshita, and H. Itoh, Tying a molecular knot with optical tweezers, *Nature* **399** (6735), 446–448 (1999).
3. D. W. Sumners and S. G. Whittington, Knots in self-avoiding walks, *Journal of Physics A : Mathematical and General* **21** (7), 1689–1694 (1988).
4. M. L. Mansfield, Are there knots in proteins?, *Nature Structural and Molecular Biology* **1**, 213–214 (1994).
5. P. Virnau, L. A. Mirny, and M. Kardar, Intricate knots in proteins : Function and evolution, *PLoS Computational Biology* **2** (9), 1074–1079 (2006).
6. A. M. Saitta, P. D. Soper, E. Wasserman, and M. L. Klein, Influence of a knot on the strength of a polymer strand, *Nature* **399** (6731), 46–48 (1999).
7. O. Farago, Y. Kantor, and M. Kardar, Pulling knotted polymers, *Europhysics Letters (EPL)* **60** (1), 53–59 (2002).
8. P. Pieranski, S. Przybyl, and A. Stasiak, Tight open knots, *The European Physical Journal E - Soft Matter* **6** (2), 123–128 (2001).
9. B. Audoly, N. Clauvelin, and S. Neukirch, Elastic knots, *Physical Review Letters* **99** (16), 164301 (2007).

Bifurcation de cycles hétéroclines robustes entre états avec symétrie cubique ou tétraédrale pour des systèmes invariants par symétrie sphérique

Pascal Chossat¹ & Philippe Beltrame²

¹ laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné, CNRS et UNSA, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 02

² Max Planck Institut, Dresde, Allemagne

pascal.chossat@unice.fr

L'apparition d'un régime convectif dans une coque sphérique est un problème qui a récemment connu un nouvel intérêt du fait du lancement d'une expérience de convection avec symétrie (presque) sphérique dans la station spatiale internationale (projet GeoFlow). Dans cette expérience le champ de gravité est remplacé par un champ de force central de type électrophorétique. Les contraintes techniques imposent un rapport d'aspect (rapport des rayons des sphères bornant le domaine) voisin de 0.5. Dans le cas le plus petit degré des premiers modes sphériques instables que l'on peut espérer est $\ell = 3$. D'où l'intérêt d'étudier l'interaction des modes $\ell, \ell+1$ avec $\ell = 3$, qui peut générer des comportements dynamiques et spatiaux non triviaux tels que des cycles hétéroclines robustes, c'est à dire d'ensembles d'orbites hétéroclines connectant des états stationnaires (ou autres) de façon cyclique et robuste par petites perturbations respectant les symétries du problème. La bifurcation de cycles hétéroclines robustes entre états axisymétriques a été très étudiée notamment dans le cas de l'interaction $\ell = 1, 2$, voir [1], [2], [3]. Cependant ce cas ne peut pas se produire dans l'interaction $\ell = 3, 4$. Des simulations sur les équations approchant la variété centrale dans ce cas ont montré la présence probable de cycles hétéroclines robustes attractifs connectant des états stationnaires présentant des symétries tétraédrales et cubiques. Une étude détaillée de ce système a montré qu'en effet de tels objets existent pour des ensembles ouverts de valeurs des paramètres. Je présenterai les résultats disponibles et discuterai leur pertinence pour l'expérience GeoFlow et pour la convection classique de Rayleigh-Bénard dans un domaine sphérique.

Références

1. D. ARMBRUSTER, P. CHOSSAT, *Heteroclinic orbits in a spherically invariant system*, Physica D 50, 155-176 (1991).
2. P. CHOSSAT, F. GUYARD, *Heteroclinic cycles in bifurcation problems with $O(3)$ symmetry*, J. of Nonlinear Science 6, 201-238 (1996).
3. P. CHOSSAT, F. GUYARD, R. LAUTERBACH, *Generalized heteroclinic cycles in spherically invariant systems and their perturbations*, J. of Nonlinear Science 9, 479-524 (1999).