

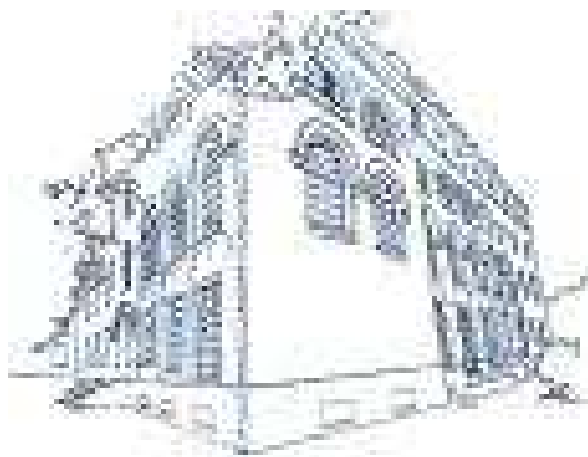


C. Josserand, M. Lefranc & C. Letellier
Éditeurs

Poincaré

Résumés des exposés de la 14^e
Rencontre du Non-Linéaire
Paris 2011

11 mars 2011



Institut Henri Poincaré

Non-Linéaire Publications

RENCONTRE DU NON-LINÉAIRE
 Université Pierre et Marie Curie, PARIS
 16–18 Mars 2011

Nous remercions vivement l’Institut Henri Poincaré, l’Université Pierre et Marie Curie, la Fondation Pierre-Gilles de Gennes, le Réseau National des Systèmes Complexes, l’Institut Jean le Rond d’Alembert, le Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes, Molécules (PhLAM), le Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA), et le GDR 2984 “Contrôle et Dynamique des Ensembles Complexes” pour leur soutien matériel et financier.

Le comité scientifique est composé de :

Amandine AFTALION	LMV — Versailles
Yacine AMAROUCHÈNE	CPMOH — Bordeaux
Arezki BOUDAUD	RDP — ENS Lyon
Jean-René CHAZOTTES	CPhT — Polytechnique
Silvia DE MONTE	Ecologie & Evolution — ENS Paris
John DUDLEY	FEMTO-ST — Besançon
Eric FALCON	MSC — Paris
Sébastien GALTIER	IAS — Orsay
Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Anke LINDNER	PMMH — ESPCI, Paris
Mathis PLAPP	LPMC — Polytechnique
Patrice MEUNIER	IRPHE — Marseille

Les *Rencontres annuelles du Non-linéaire* sont organisées par :

Christophe JOSSERAND	Institut Jean le Rond d’Alembert — Paris 6
Marc LEFRANC	PhLAM — Lille
Christophe LETELLIER	CORIA — Rouen

Le Colloque *Fluides Complexes et Biologiques* est organisé par :

Yacine AMAROUCHÈNE	CPMOH — Bordeaux
Anke LINDNER	PMMH — ESPCI, Paris
Thomas PODGORSKI	LSP — Grenoble

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

Bacterial strategies for chemotaxis response <i>Antonio Celani</i>	1
Effective viscosity of microswimmer suspensions <i>Salima Rafai, Levan Jibuti, Philippe Peyla</i>	2
Dynamique et rhéologie des vésicules et globules rouges <i>Chaouqi Misbah</i>	3
Dense suspension rheology, normal stresses, and migration <i>François Boyer, Etienne Couturier, Olivier Pouliquen, and Élisabeth Guazzelli</i>	4
Flow in soft glassy materials : a cooperative process <i>J. Goyon, G. Ovarlez, A. Ajdari, P. Jop, P. Chaudhuri, L. Bocquet, A. Colin</i>	5
The blistering of viscoelastic filaments <i>Christian Wagner</i>	6
Geometric scaling of purely elastic instabilities in viscoelastic Taylor-Couette flow <i>Christof Schäfer, Christian Wagner</i>	7
Instabilité élastique dans des micro-canaux courbés <i>J. Zilz, R. J. Poole, M. A. Alves, A. Lindner</i>	8
Fluides complexes cellulaires, en physique et en biologie <i>François Graner</i>	9
Oxygen transport and mixing dynamics in thin films of oxytactic microorganisms <i>David Saintillan, Amir Alizadeh Pahlavan, Barath Ezhilan</i>	10
Mechanics of actin filaments probed by magnetic colloids <i>O. du Roure, T. Pujol, M. Fermigier, C. Brangbour, D. Demoulin, J. Bibette, E. Helfer, M.F. Carlier, J. Baudry, J. Hewingh</i>	11
Branching morphogenesis of chicken embryo yolk-sac vascular networks <i>Annemiek JM Cornelissen, Sylvie Lorthois, Ferdinand le Noble, Vincent Fleury</i>	12
De Boltzmann à Navier-Stokes <i>Laure Saint-Raymond</i>	13
Transferts d'énergie anisotropes en turbulence en rotation <i>C. Lamriben, P.-P. Cortet, F. Moisy</i>	14
Phase Transition in a Closed Turbulent Flow <i>F. Daviaud, P.-P. Cortet, E. Herbert, A. Chiffaudel, B. Dubrulle</i>	15

Modèle de Landau–Langevin pour la description des bandes laminaires-turbulentes dans l’écoulement de Couette plan <i>Rolland Joran, Manneville Paul</i>	16
Evolution stochastique d’un front turbulent dans un écoulement cisailé <i>Duguet Yohann</i>	17
Études d’un métal liquide turbulent de faible épaisseur <i>Pablo Gutiérrez, Sébastien Aumaître</i>	18
Turbulence d’ondes à la surface d’un fluide soumis à un forçage horizontal <i>Bruno Issenmann, Eric Falcon</i>	19
Turbulence d’ondes à la surface d’une tôle mince : régimes transitoires <i>Benjamin Miquel, Nicolas Mordant</i>	20
Propriétés multifractales dans l’espace de Hilbert : analyse de séries temporelles non-linéaires et invariantes d’échelle utilisant la décomposition modale empirique et transformation de Hilbert <i>F.G. Schmitt, Y. Huang, Z. Lu, Y. Liu</i>	21
Biais dans l’analyse de dynamiques lentes/rapides à forte composante linéaire : cas du titrage du bruit. <i>E. Roulin, U. S. Freitas, C. Letellier</i>	22
Topologie de dynamiques toroidales tridimensionnelles <i>Martin Rosalie, Christophe Letellier</i>	23
Modélisation par approche globale de la dynamique du blé pluvial observée par télédétection spatiale, en zone semi-aride (Maroc) <i>Mangiarotti Sylvain, Drapeau Laurent, Coudret Raphael, Jarlan Lionel</i>	24
Formes Normales Singulières Non Linéaires : un nouveau observateur <i>Driss Boutat, Gang Zheng, Latifa Boutat-Baddas and Mohamed Darouach</i>	25
La morphogenèse gastrovasculaire chez la méduse <i>Aurelia Aurita</i> <i>Camille Gambini, Alexis Peaucelle, Bérengère Abou, Vincent Fleury, Annemiek JM Cornelissen</i> ..	26
Dynamique cardiaque de nourrissons à risque <i>Emad Yacoub, Ubiratan Freitas, Valérie Messenger, Eric Mallet, Christophe Letellier</i>	27
Quantification de la fragmentation du sommeil par entropie de Shannon <i>D. Bounoiare, R. Naeck, U. S. Freitas, A. Portmann, A. Cuvelier, J.-F. Muir, C. Letellier</i>	28
Enhanced diffusion due to active swimmers at a solid surface <i>Gaston Mino, Thierry Darnige, Mauricio Hoyos, Jérémi Dauchet, Annie Rousselet, Eric Clément, Jocelyn Dunstan, Rodrigo Soto, Thomas E. Mallouk, Yang Wang</i>	29
Gouttes de Leidenfrost paramagnétiques <i>Keyvan Piroird, Baptiste Darbois, David Quéré, Christophe Clanet</i>	30
Instabilité dynamique de l’origami d’une goutte de ferrofluide sous l’effet d’un champ magnétique <i>Timothée Jamin, Charlotte Py, Eric Falcon</i>	31

Hétérogénéités spatiales de dynamique dans une suspension de sphères molles thermosensibles avant et après la transition vitreuse <i>R. Colin, A. Al Sayed, J.-C. Castaing, R. Goyal, L. Hough, B. Abou</i>	32
Panaches thermiques dans les fluides à seuil <i>Davaïlle A., Gueslin B., Massmeyer A.</i>	33
Transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non Newtonien : Effet de la non linéarité de la loi de comportement <i>Lopez, Jenny, Nouar</i>	34
Ondes non linéaires en écoulements en tuyau de fluides rhéofluidifiants : mise en évidence d'un effet stabilisant <i>Nicolas Roland, Emmanuel Plaut, Chérif Nouar.</i>	35
Etude d'une équation de convection-réaction-diffusion en écoulement compressible <i>F. Bianco, S. Chibbaro</i>	36
La première rencontre du non-linéaire : Paris, 28-30 janvier 1933 <i>Jean-Marc Ginoux, Loïc Petitgirard</i>	37
Asymétrie spectrale due à des effets de dispersion d'ordre trois dans des systèmes optiques hamiltonien et dissipatif <i>Stéphane Randoux, Nicolas Dalloz, Claire Michel, Antonio Picozzi, Pierre Suret</i>	38
Système de communication haut débit par chaos en phase utilisant un composant dédié : un interféromètre à 3 ondes <i>Jérémy Oden, Roman Lavrov, Laurent Larger.</i>	39
Dynamique intégrro-différentielle en longueur d'onde optique, à retards multiples, pour le "Reservoir Computing" <i>Romain Martinenghi¹, Sergei Rybalko¹, Lennert Appeltant², Guy Van der Sand², Jan Danckaert², Maxime Jacquot¹, Yanne Chembo¹, Laurent Larger¹</i>	40
Dynamique de la propagation d'impulsions dans les Lasers à Électrons Libres VUV/X <i>M. Labat, N. Joly, S. Bielański, C. Szwał, C. Bruni, M.-E. Couprie</i>	41
Une nouvelle "sonde" pour l'étude de la dynamique spatio-temporelle des anneaux de stockage <i>C. Evain, C. Szwał M. LeParquier, S. Bielański, M. Hosaka, Y. Takashima, M. Adachi, H. Zen, S. Kimura, M. Katoh, M. Shimada, T. Hara, A. Mochihashi, T. Takahashi,</i>	42
Des dynamiques temporelles aux diagrammes spatio-temporels : défauts, cohérence de phase et observabilité <i>Dalila Amroun Aliane, Luc Pastur & Christophe Letellier</i>	43
Transition pointe-jet à l'interface huile/solution de polymères dans des systèmes microfluidiques <i>Duboin, Malloggi, Monti, Tabeling.</i>	44
Nouvelles vagues solitaires à la surface de l'eau <i>Leroux Alphonse¹, Clamond Didier² et Rajchenbach Jean¹</i>	45
Etude de la forme du front de fissure dans les plaque mince et épaisses par la méthode du champ de phase. <i>H. Henry</i>	46

Instabilité micro-onde dans les paquets d'électrons relativistes sur anneaux de stockage <i>C. Evain, M.-E. Couprie, M.-A. Tordeux, A. Loulergue, R. Nagaoka, J. Barros, L. Manceron, G. Creff, P. Roy, J.-B. Brubach</i>	47
Dynamique du seuil d'excitabilité des neurones <i>J. Platkiewicz, R. Brette</i>	48
Etude d'un canal stratifié différentiellement chauffé <i>Podvin, Le Quééré</i>	49
Etude expérimentale de l'écoulement de Couette-Taylor avec modulation de fréquence <i>M. Gassa Feugaing, O. Crumeyrolle & I. Mutabazi</i>	50
Instabilités centrifuges dans un écoulement de cavité : décomposition en modes dynamiques <i>Ch. Douay, F. Guéniat, L. Pastur, F. Lusseyran, Th. Faure</i>	51
Opérateur de Koopman et identification de structures cohérentes : application à un écoulement de cavité <i>F. Guéniat, J. Basley, C. Douay, L. Pastur, F. Lusseyran, T. Faure</i>	52
Solution périodique exacte d'une dynamo non-linéaire pour un écoulement Keplerien <i>J. Hérault, F. Rincon</i>	53
Bifurcation de H-planforms dans le plan hyperbolique en relation avec un modèle de perception des textures d'images par le cortex visuel <i>Pascal Chossat, Grégory Faye</i>	54
A non-linear sigma model to represent two-component Bose-Einstein condensates <i>Peter Mason, Amandine Aftalion</i>	55
Un équivalent particulière de l'équation de Kuramoto-Sivashinsky <i>François James, Phung Thanh-Tam, Pascal Brault</i>	56
Identification des paramètres du modèle de Lorenz en contexte perturbé, par une approche de stratégie d'évolution <i>Mangiarotti, Schoenauer</i>	57
Étude des bifurcations d'un circuit RLC non linéaire soumis à une excitation sinusoïdale <i>Mohamed-Hédi AMRI</i>	58
Des mouvements récurrents de Birkhoff aux régimes quasi-périodiques <i>Jean-Marc Ginoux, Christophe Letellier</i>	59
'Venting' dans un milieu granulaire immergé <i>Valérie Vidal, Germán Varas, Jean-Christophe Géminard</i>	60
Le volant de badminton <i>Cohen Caroline, Darbois Texier Baptiste</i>	61
Frottement de surfaces texturées et perception tactile <i>Georges Debrégeas</i>	62
Élastocapillarité : une goutte d'eau peut-elle déformer une structure flexible ? <i>José Bico</i>	63

Prédire les catastrophes ?*Yves Pomeau, Martine Le Berre, Jean-Louis Le Mouél, Clement Narteau, Patrice Fromy* 64**Cascade inverse et turbulence d'ondes en déclin***Luc Deike, Eric Falcon* 65**Calculateur inspiré par le cerveau : démonstration en photonique par une dynamique non linéaire à retard***Laurent Larger, Miguel C. Soriano, Daniel Brunner, Ingo Fischer, Claudio R. Mirasso* 66**Forme et persistance de tourbillons lenticulaires dans les écoulements stratifiés tournants : du laboratoire à la Tâche Rouge de Jupiter !***Aubert O., Le Bars M., Le Gal P., Marcus P.S.* 67**Simplifying the complexity of pipe flow***Dwight Barkley* 68

Bacterial strategies for chemotaxis response

Antonio Celani¹

Institut Pasteur, 25-28, Rue du Docteur Roux 75724 Paris Cedex 15 FRANCE
celani@pasteur.fr

Regular environmental conditions allow for the evolution of specifically adapted responses, whereas complex environments usually lead to conflicting requirements upon the organism's response. A relevant instance of these issues is bacterial chemotaxis, where the evolutionary and functional reasons for the experimentally observed response to chemoattractants remain a riddle. Sensing and motility requirements are in fact optimized by different responses, which strongly depend on the chemoattractant environmental profiles. It is not clear then how those conflicting requirements quantitatively combine and compromise in shaping the chemotaxis response. Here we show that the experimental bacterial response corresponds to the maximin strategy that ensures the highest minimum uptake of chemoattractants for any profile of concentration. We show that the maximin response is the unique one that always outcompetes motile but nonchemotactic bacteria. The maximin strategy is adapted to the variable environments experienced by bacteria, and we explicitly show its emergence in simulations of bacterial populations in a chemostat. Finally, we recast the contrast of evolution in regular vs. complex environments in terms of mini- max vs. maximin game-theoretical strategies. Our results are generally relevant to biological optimization principles and provide a systematic possibility to get around the need to know precisely the statistics of environmental fluctuations.

Effective viscosity of microswimmer suspensions

Salima Rafai, Levan Jibuti, & Philippe Peyla

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, Grenoble, France, UJF-CNRS UMR5588
`salima.rafai@ujf-grenoble.fr`

The measurement of a quantitative and macroscopic parameter to estimate the global motility of a large population of swimming biological cells is a challenge. We performed experiments on the rheology of active suspensions and we showed that effective viscosity of sheared suspensions of live unicellular motile micro-algae (*Chlamydomonas Reinhardtii*) is far greater than for suspensions containing the same volume fraction of dead cells. We relate these macroscopic measurements to the orientation of individual swimming cells under flow. We also performed numerical simulations for algae suspensions. These simulations allow us to discuss the relevant ingredients of the modelling of such active suspensions.

Références

1. S. Rafai, L. Jibuti, and P. Peyla, Physical Review Letters **104**, 098102 (2010).

Dynamique et rhéologie des vésicules et globules rouges

Chaouqi Misbah

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, UMR5588, 140 avenue de la physique, Université Joseph Fourier
Grenoble, and CNRS, 38402 Saint Martin d'Hères, France
chaouqi.misbah@ujf-grenoble.fr

Résumé. Le sang est un fluide complexe, composé en majorité par les globules rouges (GR), lesquelles dictent sa rhéologie. A la différence des fluides simples, les lois constitutives décrivant l'écoulement du sang à partir d'une approche "bottom-up" (c.à.d. en prenant explicitement en compte le caractère corpusculaire du sang dans le but d'extraire des lois macroscopiques) reste à bâtir. Depuis Poiseuille (19^{ème} siècle) et jusqu'à la fin du 20^{ème} siècle l'étude de la circulation sanguine a été abordée de manière phénoménologique, à l'aide d'approximations et d'hypothèses qui sont souvent difficiles à justifier ou à valider. L'essentiel de la dissipation sanguine se fait dans la microvascularisation (où l'oxygène est largué par les GR dans les différent tissus de l'organisme) où il est clair qu'on peut difficilement faire abstraction du caractère corpusculaire du sang, étant donné que la dimension des GR est comparable aux diamètres des vaisseaux (mais ceci n'exclue pas pour autant l'importance corpusculaire dans des vaisseaux plus gros, comme les artères et les veines). Après une introduction générale au sujet, on discutera l'état de l'art dans ce domaine sur le plan de la modélisation tout en faisant, dans la mesure du possible, une comparaison avec des résultats expérimentaux. On considérera (i) le cas d'une vésicule unique (modèle simple de GR) dans un écoulement de cisaillement (illimité ou en présence d'une paroi), problème a priori simple mais qui révèle une grande richesse de comportements, débouchant sur un impact fort sur la rhéologie; (ii) on traitera le cas d'un modèle de GR en prenant en compte l'effet du cytosquelette; (iii) on discutera le problème d'un globule modèle dans un écoulement de Poiseuille, et on mettra, en particulier, en lumière les raisons pour lesquelles les globules rouges prennent une forme asymétrique, dite "en pantoufle", lorsqu'ils traversent les petits vaisseaux sanguins; (iv) on abordera ensuite le problème de la formation de paquets de GR, dont l'origine est due aux interactions hydrodynamiques et (v) on terminera par le problème de suspensions assez concentrées de vésicules. On dressera une liste de problèmes ouverts dans ce domaine qui connaît aujourd'hui un véritable essor à l'échelle internationale.

Abstract. Blood is a complex fluid, and is predominantly composed by red blood cells (RBCs) that dictate its rheology. Unlike simple fluids, constitutive laws describing blood flow from a bottom-up approach (i.e. by taking explicitly into account the corpuscular nature of blood in order to extract macroscopic laws) remains to be done. Since the seminal work of Poiseuille (in the 19th century) until the end of the 20th century blood flow has been described by means of phenomenological continuum models that require many assumptions which are difficult both to justify and to validate. Most of the blood flow resistance occurs in the microvasculature (where oxygen is delivered by RBCs to bodily tissues) where it is clear that the corpuscular nature of blood cannot be disregarded, given the fact that the size of RBCs is of the order of that of blood vessels (but this does not exclude the relevance of the corpuscular nature in larger blood vessels, such as arteries and veins). After a general introduction, we present the current state of the art in modeling blood flow, with comparison, when possible, to experiments. We shall consider the following question (i) a single vesicle (a simple model for RBC) under unbounded and bounded shear flow, which is a priori a simple problem, but which reveals unexpected complexity, entailing a strong impact on rheology; (ii) we discuss a model of RBC by taking into account the role of cytoskeleton; (iii) we address the problem of GR in a Poiseuille flow, and we shed light on a longstanding puzzle in microcirculation: why do red blood cells adopt a non symmetric shape (called slipper) in the microvasculature; (iv) we discuss then the problem of cluster formation of RBC, which results from purely hydrodynamical interactions, and (v) we conclude the presentation with discussion of concentrated suspensions. We present a list of open problems in this field which knows nowadays a tremendous interest at the international level.

Dense suspension rheology, normal stresses, and migration

François Boyer, Etienne Couturier, Olivier Pouliquen, and Élisabeth Guazzelli

IUSTI CNRS - Aix-Marseille Université

Dense or highly concentrated particulate systems are very common in several engineering fields such as civil engineering, food or pharmaceutical industry as well as in geophysical situations such as debris flows, sediment transport, and submarine avalanches. The major difficulty of dense particulate flows is that the grains interact both by hydrodynamics interactions through the liquid and by mechanical contact. These systems thus belong to an intermediate regime between pure suspensions and granular flows.

In this talk, we will first provide a simple review of dense suspension rheology and show that it exhibits a number of non-Newtonian behaviours. We will then focus on the appearance of normal stress differences in these systems and present two new experimental determinations of these differences using rotating-rod rheometry and tilted-trough flow. We will also discuss particle migration from regions of high to low shear-rate which can occur in these flow geometries.

Flow in soft glassy materials : a cooperative process

J. Goyon¹, G. Ovarlez², A. Ajdari³, P. Jop⁴, P. Chaudhuri⁴, L. Bocquet⁴, & A. Colin¹

¹ LOF, Université Bordeaux 1, UMR CNRS-Rhodia-Bordeaux 1 5258, 33608 Pessac cedex, France

² Institut Navier, Université Paris Est, LMSGC, 77420 Champs sur Marne, France

³ Laboratoire Gulliver, UMR CNRS-ESPCI 7083, 75005 Paris, France

⁴ Laboratoire PMCN, Université Lyon 1, Université de Lyon, UMR CNRS 5586, 69622 Villeurbanne, France

annie.colin-exterieur@eu.rhodia.com

Soft glassy materials such as polymers, colloids and granular assemblies are ubiquitous in nature, but also of great importance in industrial applications. All these materials share a common behaviour. They may lose their ability to flow on lowering the temperature, increasing the volume fraction or releasing some external stress. The response of such systems to an external shear stress is characterized by two regimes : for stresses below the yield stress, they remain jammed and respond elastically, whereas for stresses above the yield stress they flow as liquids.

Using local velocity measurements in confined and wide geometry, we have achieved recently a clear picture of the rheological behaviour of these systems. In these materials, flow occurs via a succession of reversible elastic deformations and local irreversible plastic rearrangements associated with a microscopic yield stress. It has been shown that the number of plastic rearrangements per unit time, f is inversely proportional to the local viscosity. This parameter that is usually named fluidity, controls the flow and relaxation of the material : a higher rate is associated with a more fluid system. The link between the macroscopic forcing and the fluidity has been established both experimentally and by using numerical simulations. The value of the fluidity in a given zone of a material increases as a function of the local applied shear stress. More strikingly, it also depends upon the behaviour of the neighbourhood of this zone. This cooperative behaviour is due to the elastic relaxation of the stress after a plastic event. The probability of rearrangements in the neighbourhood of an active zone is higher than close to a quiet one. In other words, a single event of rearrangement works as a seed for subsequent rearrangements in the neighbourhood and this cascades on as flow progresses.

Références

1. J. Goyon, A. Colin, G. Ovarlez, A. Ajdari, L. Bocquet, Spatial cooperativity in soft glassy flows, *Nature* **454**, 84–87 (2008)

The blistering of viscoelastic filaments

Christian Wagner

Experimentalphysik, Universitaet des Saarlandes, Saarbruecken, Allemagne
c.wagner@mx.uni-saarland.de

When a polymer solution experiences capillary thinning, the finite time singularity of the pinch off process is suppressed and an almost uniformly cylindrical thread is formed. The reason for this effect is the high resistance of polymers against elongational flow that leads to the so called elongational viscosity. Capillary thinning is one of the few experiments that allow the determination of this material parameter. Still, there exists no satisfying constitutive theory that describes e.g. shear and elongational flow consistently. We present measurements on a variety of different flow types that shall help to identify the relevant scaling laws. In the last stages of thinning, when polymers have become fully stretched, the filament becomes prone to several instabilities, e.g. a "breathing" instability, originating from the edge of the filament, and a sinusoidal instability in the interior, which ultimately gives rise to a Rayleigh Plateau instability followed by a blistering pattern of beads on the filament. High speed video observation with sub-diffractive spatial resolution and micro-PIV measurements indicate the existence of irregular flow fields. For sufficiently high polymer concentrations, the filament eventually separates out into a solid phase of entangled polymers, connected by fluid beads. A solid polymer fiber of about 100 nanometer thickness remains, which is essentially permanent.

Geometric scaling of purely elastic instabilities in viscoelastic Taylor-Couette flow

Christof Schäfer & Christian Wagner

Universität des Saarlandes, Experimentalphysik, Campus, 66123 Saarbrücken, Germany
ch.schaefer@mx.uni-saarland.de

The behavior of viscoelastic Taylor-Couette flow, i.e., the flow of, for example, a polymeric liquid between two concentric, rotating cylinders, has been extensively investigated for many years in experiments as well as in theory - not to mention the Newtonian case. In the most simple case of an outer cylinder at rest and a rotating inner cylinder with radii R_1 and R_2 , respectively, even at vanishing Taylor number $Ta = 2Re^2(R_2 - R_1)/R_1$, the circular Couette (base) flow gets unstable at a critical Weissenberg number $Wi = \lambda\dot{\gamma}$, the product of polymer relaxation time λ and (critical) shear rate $\dot{\gamma}$. This non-inertial transition to complex, non-trivial flow patterns is purely elastic in its nature. The dimensionless criterion of Pakdel and McKinley [1] characterizes the critical condition for the onset of elastic instabilities and pictures the competition between viscous and (elastic) normal stresses as well as the influence of polymer relaxation length and curvature of the streamlines. We present, to our knowledge, the first experimental, quantitative investigation of the explicit curvature scaling in Taylor-Couette flow by varying the radii of both inner and outer cylinder, while keeping the gap $d = R_2 - R_1$ constant.

Références

1. GARETH H. MCKINLEY, PEYMAN PAKDEL, ALPARSLAN ÖZTEKIN, Rheological and geometric scaling of purely elastic flow instabilities, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **67**, 19-47 (1996).

Instabilité élastique dans des micro-canaux courbés

J. Zilz¹, R. J. Poole², M. A. Alves³, & A. Lindner¹

¹ PMMH/ESPCI, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05, France

² School of Engineering, University of Liverpool, Brownlow Street, Liverpool, L69 3GH United Kingdom

³ Departamento de Engenharia Química, CEFT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

josephine.zilz@espci.fr

Dans un écoulement à petit nombre de Reynolds peuvent se développer des instabilités purement élastiques. Il est maintenant largement accepté qu'elles se développent à cause d'une combinaison des contraintes élastiques et de la courbure des lignes de courant. L'écoulement dans un canal courbé, par exemple, est une géométrie dans laquelle l'instabilité élastique a été observée expérimentalement [1]. Nous présentons ici une étude expérimentale et numérique de l'écoulement d'une solution de polymère dans cette géométrie. Notre objectif est de déterminer la dépendance du nombre de Weissenberg critique (auquel l'écoulement devient instable) avec les paramètres géométriques du canal, en particulier le rayon de courbure.

Pour les expériences, les canaux microfluidiques ont une largeur comprise entre $25\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$ et un rapport d'aspect (rapport largeur sur hauteur) compris entre 0,5 et 2,5. Les canaux microfluidiques, par leurs dimensions très petites, conduisent à des nombres de Reynolds petits ce qui écarte l'origine inertielle des instabilités. Les canaux sont composés d'une série de demi boucles de rayon R qui varie entre $50\mu\text{m}$ et $2000\mu\text{m}$. On utilise des solutions de polyéthylène oxyde (PEO) de poids moléculaire $1 \cdot 10^6\text{g/mol}$, $2 \cdot 10^6\text{g/mol}$ et $4 \cdot 10^6\text{g/mol}$. On ajoute du glycérol pour faire varier la viscosité du solvant. Le seuil d'instabilité est défini par l'apparition de fluctuations dans l'écoulement observée en microscopie optique, permettant de mesurer le débit critique. Nous avons étudié la dépendance du nombre de Weissenberg critique avec les dimensions du canal mais aussi avec les caractéristiques de la solution de polymères (poids moléculaire et viscosité). De façon préliminaire, l'observation des trajectoires de traceurs isolés (streaklines) renseigne spatialement sur la position dans le canal où l'instabilité démarre.

Les simulations numériques analysent la situation de l'écoulement à $Re=0$ en utilisant le « upper-convected Maxwell model ». Les simulations en deux dimensions montrent que l'écoulement devient instable au-dessus d'un nombre de Weissenberg critique en accord avec les expériences. De plus, les expériences et les simulations montrent qualitativement le même comportement pour la dépendance avec le rayon de courbure.

Références

1. A. GROISMAN AND V. STEINBERG, Elastic Turbulence in curvilinear flows of polymer solutions, *New J. Phys.*, **6**, 29 (2004).

Fluides complexes cellulaires, en physique et en biologie

François Graner

Génétique et Biologie du Développement, Institut Curie, 26 rue d'Ulm, 75248 Paris Cedex 05
francois.graner@curie.fr

Les mousses liquides sont des bulles de gaz entourées par de l'eau. Elles sont un modèle pour comprendre les matériaux complexes cellulaires (constitués de cellules pavant l'espace), qui se comportent à la fois comme des solides et comme des liquides [1].

Tout d'abord, si elle subit une petite déformation, une mousse peut revenir à sa forme initiale (comportement élastique). Ensuite, après une grande déformation, elle peut être sculptée (comportement plastique). Enfin, à grand taux de déformation, elle s'écoule comme un liquide (comportement visqueux). Nous avons pu comprendre ce triple comportement, grâce à une expérience dans un canal où la mousse s'écoule autour d'un obstacle [2].

Nous avons ensuite construit des outils pour passer d'une description discrète, avec tous les détails des bulles, à une description continue, qui contient l'information utile au niveau global [3]. Cela a permis de proposer une théorie pour prédire l'écoulement de la mousse, et de réaliser des tests de comparaison avec l'expérience qui ont été passés avec succès [4].

Alors qu'une cellule biologique n'a presque aucun point commun avec une bulle, nous avons montré qu'un agrégat de cellules peut être décrit avec des outils analogues à ceux construits pour les mousses [5]. Nous appliquons maintenant cette approche au développement de tissus vivants dans la mouche du fruit (*Drosophila*).

Références

1. I. CANTAT *et al.*, *Les mousses - structure et dynamique*, Collection Echelles, Belin, Paris, 2010
2. B. DOLLET, F. GRANER, Two-dimensional flow of foam around a circular obstacle : local measurements of elasticity, plasticity and flow, *J. Fluid Mech.* **585**, 181 (2007).
3. F. GRANER, B. DOLLET, C. RAUFASTE, P. MARMOTTANT, Discrete rearranging disordered patterns, part I : Robust statistical tools in two or three dimensions, *Eur. Phys. J. E.*, **25**, 349 (2008).
4. I. CHEDDADI, P. SARAMITO, B. DOLLET, C. RAUFASTE, F. GRANER, Understanding and predicting viscous, elastic, plastic flows, *Eur. Phys. J. E* **34**, 1 (2011)
5. P. MARMOTTANT *et al.*, The role of fluctuations and stress on the effective viscosity of cell aggregates, *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* **106**, 17271 (2009).

Oxygen transport and mixing dynamics in thin films of oxytactic microorganisms

David Saintillan, Amir Alizadeh Pahlavan, & Barath Ezhilan

Department of Mechanical Science and Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA
dstn@illinois.edu

We investigate the dynamics in suspensions of oxytactic swimming microorganisms using two different kinetic models : a gradient-detecting model, in which the swimmers detect local oxygen gradients instantaneously, and a run-and-tumble model, in which the swimmers change their run-and-tumble frequency based on the temporal changes in the oxygen field they sample. Using three-dimensional numerical simulations, we study the behavior of such suspensions in thin liquid films surrounded by oxygen baths on both sides. As the microorganisms consume the dissolved oxygen, gradients form causing them to swim towards the free surfaces where the oxygen concentration is higher. We demonstrate the existence of a transition from quasi-two-dimensional dynamics and pattern formation in thin films to chaotic three-dimensional dynamics as film thickness increases. This transition, which was also previously observed in experiments, is shown to be associated with an enhancement of oxygen mixing and transport into the liquid.

Mechanics of actin filaments probed by magnetic colloids

O. du Roure¹, T. Pujol¹, M. Fermigier¹, C. Brangbour², D. Demoulin², J. Bibette², E. Helfer³, M.F. Carlier³, J. Baudry² & J. Heuvingh¹

¹ PMMH, ESPCI/CNRS UMR 7636, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris.

² LCMD, UPMC/ESPCI/CNRS PECSA UMR 7195, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris.

³ LEBS, CNRS UPR 3082, Avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette.

`olivia.duroure@espci.fr`

The actin polymer is central in cell biology : it is a major component of cytoskeleton and it plays a fundamental role in motility, division, mechanotransduction.... The polymerization of the monomer into semiflexible filaments is dynamically regulated by different proteins. It is well known that when the polymerization occurs just beneath the cell membrane it generates forces responsible for cell movement. However, the mechanism of force production is yet not fully understood. At a larger scale, actin filaments form networks whose architecture is defined by the partners of actin and depends on the location in the cell. For example, in the structure which leads cell migration, the lamellipodium, the gel is branched due to its interaction with Arp2/3 protein complex. Determining the mechanical properties of such actin network is of crucial interest to understand how forces are generated and transmitted in living cells.

Using dipole-dipole interaction between magnetic colloids we can give insights both on force generation by isolated filaments and on the mechanics of the assembled gels. In a first experiment, we study the force-velocity relationship for a few isolated growing filaments. By doing this we show that the entropy coming from the anchoring point generates forces that are surprisingly large. In a second study we measure the elastic properties of actin networks grown from the surface of the colloids. The technique allows to obtain massive parallel measurements. We can thus investigate the relationship between different biologically relevant architectures of actin networks and their elastic properties.

Branching morphogenesis of chicken embryo yolk-sac vascular networks

Annemiek JM Cornelissen¹, Sylvie Lorthois², Ferdinand le Noble³, & Vincent Fleury¹

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC) UMR 7057 CNRS & Université Paris Diderot ; 10, rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75205 Paris cedex 13

² Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, UMR CNRS/INP/UPS 5502

³ Max-Delbrück-Center for Molecular Medicine (MDC); Robert-Rössle-Str. 10 ; 13125 Berlin, Germany
annemiek.cornelissen@univ-paris-diderot.fr

There is emerging evidence that besides biochemical signaling, vascular branching morphogenesis is determined by self organized actions of shear stresses generated by the circulating blood[1,2] and mechanical stresses generated by the growing, deforming surrounding tissue[3,4].

To study these phenomena we use the chicken embryo yolk-sac as experimental model. The yolk-sac is a flat tissue which surrounds the embryo and serves to provide the embryo with nutrients from the yolk. By time lapse video microscopy we observed the growth and vascular development of the yolk-sac for 48h. Tracking the bifurcations of the vascular network in the expanding tissue reveals a possible viscous deformation of the tissue.

Furthermore we measured tissue mechanical properties by deforming the tissue locally for about 5 sec by a tiny air jet through a micropipette of $60 \hat{=} \frac{1}{4}$ mm (the scanning air puff tonometer[5]). The deformation of the tissue is observed by shadowgraph imaging, while simultaneously the displacement of a laser spot reflecting from the tissue surface is observed. Following an approximate step air impact on the surface of the yolk sac, we observe typically a visco-elastic deformation with at small timescales ($\hat{=} 1$ sec) a visco-elastic response and at larger time scales a pure viscous deformation.

These visco-elastic mechanical properties are in accordance with our displacement observations using time lapse video microscopy. We conclude that the viscous component of the tissue mechanical properties plays an important role in the patterning of vascular networks.

Références

1. le Noble F, Moyon D, Pardanaud L, Yuan L, Djonov V, Matthijsen R, Breant C, Fleury V, Eichmann A., Flow regulates arterial-venous differentiation in the chick embryo yolk sac, *Development* **131**, 361–375 (2004)
2. Lucitti JL, Jones EA, Huang C, Chen J, Fraser SE, Dickinson ME., Vascular remodeling of the mouse yolk sac requires hemodynamic force, *Development* **134**, 3317–3326 (2007)
3. Al-Kilani A, Lorthois S, Nguyen TH, Le NF, Cornelissen A, Unbekandt M, Boryskina O, Leroy L, Fleury V., During vertebrate development, arteries exert a morphological control over the venous pattern through physical factors., *Phys Rev E* **77**, 051912 (2008)
4. Nguyen TH, Eichmann A, Le NF, Fleury V., Dynamics of vascular branching morphogenesis : the effect of blood and tissue flow., *Phys Rev E* **73** 061907 (2006)
5. Fleury V, Al-Kilani A, Boryskina OP, Cornelissen AJM, Nguyen TH, Unbekandt M, Leroy L, Baffet G, le Noble F, Sire O, Lahaye E, Burgaud V., Introducing the scanning air puff tonometer for biological studies, *Physical Review E* **81** (2010)

De Boltzmann à Navier-Stokes

Laure Saint-Raymond

ENS Paris

Le sixième problème posé par Hilbert au Congrès International des Mathématiciens en 1900 appelait une compréhension globale de la dynamique des gaz. Une analyse fine de l'équation de Boltzmann permet aujourd'hui d'obtenir rigoureusement une description multi-échelle complète des gaz parfaits en régime incompressible visqueux.

Transferts d'énergie anisotropes en turbulence en rotation

C. Lamriben, P.-P. Cortet, & F. Moisy

Laboratoire FAST, Université Paris Sud, Université Pierre et Marie Curie. Bâtiment 502, 91405 Orsay cedex
moisy@fast.u-psud.fr

Le transfert d'énergie vers les petites échelles est probablement le résultat le plus important de la turbulence 3D. En présence de rotation, ce transfert d'énergie devient anisotrope [1] : la force de Coriolis tend à privilégier un transfert vers le plan normal à l'axe de rotation, conduisant à des mouvements fluides invariants selon cet axe. Cette situation est de première importance pour les écoulements géophysiques (océan, atmosphère) et astrophysiques (étoiles, planètes gazeuses en rotation). Dans la limite de rotation très rapide, il en résulte un écoulement dit "3C-2D", c'est-à-dire à 3 composantes de vitesse selon 2 dimensions (théorème de Taylor-Proudman) [1,2].

Avec l'hypothèse d'homogénéité (mais pas nécessairement d'isotropie), les transferts d'énergie entre échelles peuvent être caractérisés dans l'espace physique par la densité de flux d'énergie

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}, t) = \langle \delta \mathbf{u} (\delta \mathbf{u})^2 \rangle, \quad (1)$$

où $\delta \mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x} + \mathbf{r}, t) - \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$ est l'incrément de vitesse *vectoriel* selon la séparation \mathbf{r} . Ce champ vérifie la relation exacte $\nabla \cdot \mathbf{F} = -4\epsilon$, où ϵ est le taux de dissipation d'énergie. Dans le cas "classique" de la turbulence homogène isotrope 3D, cette relation est équivalente à la célèbre loi des 4/5 de Kolmogorov. L'extension de cette loi fondamentale de la turbulence homogène au cas en rotation fait l'objet d'importants travaux actuellement [3,4].

Nous avons effectué pour la première fois des mesures directes du flux d'énergie $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$ dans l'espace physique, dans une expérience de turbulence en rotation. L'écoulement turbulent est généré par la translation rapide d'une grille dans un volume d'eau monté sur la plateforme tournante "Gyroflow" [5]. Les mesures de vitesse sont effectuées par un système de Vélocimétrie par Images de Particules (PIV) embarqué dans le référentiel tournant. Nos résultats montrent que, au fur et à mesure du déclin de la turbulence, la distribution d'énergie développe une anisotropie très marquée, mais que les transferts $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$ restent essentiellement *radiaux* dans l'espace des échelles (correspondant à une cascade vers les petites échelles), avec une composante azimutale très modérée. Ainsi, nous montrons que la contribution dominante des transferts anisotropes provient finalement très peu d'une composante azimutale de \mathbf{F} , mais bien plus d'une variation de l'amplitude de la composante radiale en fonction de l'angle des corrélations.

Ces résultats constituent les toutes premières données expérimentales des champs de flux d'énergie dans l'espace des échelle, aussi bien pour la turbulence isotrope qu'en rotation, et devraient motiver de nouveaux travaux théoriques.

Références

1. P. Sagaut et C. Cambon, Homogeneous Turbulence Dynamics (Cambridge University Press, 2008).
2. F. Moisy, C. Morize, M. Rabaud et J. Sommeria, J. Fluid Mech **666**, 5-35 (2011).
3. S. Galtier, Phys. Rev. E **80**, 046301 (2009).
4. C. Cambon, L. Danaila, F.S. Godeferd, J.F. Scott, subm. to J. Fluid Mech (2010).
5. C. Lamriben, P.-P. Cortet, F. Moisy, and L. Maas, Phys. Fluids (in press, 2011).

Phase Transition in a Closed Turbulent Flow

F. Daviaud¹, P.-P. Cortet^{1,2}, E. Herbert¹, A. Chiffaudel¹, & B. Dubrulle¹

¹ CEA, IRAMIS, SPEC, CNRS URA 2464, Groupe Instabilités & Turbulence, 91191 Gif-sur-Yvette, France

² Present address : Laboratoire FAST, CNRS UMR 7608, Université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

`francois.daviaud@cea.fr`

Using stereoscopic particle image velocimetry, we experimentally study the susceptibility to symmetry breaking of a closed turbulent von Kármán swirling flow from $Re = 150$ to $Re \simeq 10^6$. We report a divergence of this susceptibility at an intermediate Reynolds number $Re = Re_\chi \simeq 40\,000$ which gives experimental evidence that such a highly space and time fluctuating system can undergo a “phase transition”. This transition is furthermore associated with a peak in the amplitude of fluctuations of the instantaneous flow symmetry corresponding to intermittencies between spontaneously symmetry breaking metastable states.

Références

P.-P. Cortet, A. Chiffaudel, F. Daviaud, and B. Dubrulle, Phys. Rev. Lett. **105**, 214501 (2010)

Modèle de Landau–Langevin pour la description des bandes laminaires-turbulentes dans l’écoulement de Couette plan

Rolland Joran & Manneville Paul

Laboratoire d’hydrodynamique, École Polytechnique, route de Saclay, 91128 Palaiseau
joran.rolland@ladhyx.polytechnique.fr

L’écoulement de Couette plan, comme d’autres écoulement cisailés, est linéairement stable pour tout nombre de Reynolds R . Cependant la turbulence peut exister dans l’écoulement pour $R > R_g$: la transition est discontinue et permet la coexistence de domaines laminaires et turbulents. Pour $R < R_t$ cette cohabitation prend la forme de bandes obliques alternativement laminaires et turbulentes [1]. La fraction turbulente croît avec le nombre de Reynolds pour approcher 1 à R_t . Près de R_t , le motif se désorganise. Le mécanisme permettant de maintenir ces fronts est jusqu’à présent inconnu.

L’étude statistique de la formation du motif est réalisées à l’aide de simulations numériques directes à basse résolution, qui permettent de faire une étude semi-quantitative à coût numérique raisonnable [2]. Une fraction turbulente étant insuffisante pour quantifier la présence d’une modulation de la turbulence, on définit un couples de paramètres d’ordre complexes (un pour chaque orientation) à partir du mode de Fourier fondamental du motif. Une procédure de moyennage permet de faire une étude paramétrique (nombre de Reynolds et nombres d’onde) en petit domaine (une à deux longueurs d’onde) [3]. La phase du motif, variable neutre, dépend du temps : on montre que sa dynamique a toutes les caractéristiques d’une marche aléatoire. Près de R_t , la turbulence uniforme se manifeste comme un état métastable.

La sélection d’un nombre d’onde et la proximité de R_t permet la compétition entre longueur d’onde et orientation : le système peut sauter d’une orientation à une autre. On montre qu’il s’agit d’un processus de Poisson, et qu’un temps de résidence moyen peut être défini ; ce temps est d’autant plus grand que R est inférieur à R_t [4]. On peut faire la correspondance entre ce désordre temporel, et le désordre spatio-temporel qui se manifeste dans les expériences à grand rapport d’aspect.

On montre [3,4] qu’un modèle de Landau–Langevin pour deux paramètre d’ordres complexe permet de décrire l’ensemble des caractéristiques du motif, avec un faible nombre de paramètre ajustables [3].

$$\tau_0 \partial_t A_{\pm} = \left[(1 - R/R_t - \xi_x^2 \delta k_x^2 - \xi_z^2 \delta k_z^2) - g_1 |A_{\pm}|^2 - g_2 |A_{\mp}|^2 \right] A_{\pm} + \zeta_{\pm}(t)$$

La compétition entre orientation peut se reformuler en terme de processus à saut et de temps de premier passage d’un état à un autre, et on exprime de manière simple le temps de premier passage moyen à l’aide des paramètres du modèle [4].

Références

1. A. Prigent *et al.*, *Large-Scale Finite Wavelength Modulation within Turbulent Shear Flows*, Phys. rev. let., 89 014501 (2002)
2. P. manneville, J. Rolland, *On modelling transitional turbulent flows using under-resolved direct numerical simulations : the case of plane Couette flow*, Theor. Comput. Fluid Dyn., *in press* (2010)
3. J. Rolland, P. Manneville, *Ginzburg-Landau description of laminar-turbulent oblique bands in transitional plane Couette flow*, Eur. Phys. J. B, *submitted*
4. J. Rolland, P. Manneville, *Pattern fluctuations in transitional plane Couette flow*, J. Stat. Phys, *submitted*

Evolution stochastique d'un front turbulent dans un écoulement cisailé

Duguet Yohann

LIMSI-CNRS UPR 3251, Université Paris-Sud, 91403 Orsay
duguet@limsi.fr

L'écoulement de Couette plan, confiné entre deux plaques parallèles qui cisailent le fluide, est un exemple classique où la transition vers la turbulence se produit de manière sous-critique, c'est-à-dire malgré la stabilité linéaire de l'écoulement de base¹. Ici nous nous intéressons à la compétition spatio-temporelle entre la phase turbulente (active) et la phase laminaire (absorbante). En particulier, des simulations numériques montrent que l'interface délimitant ces deux phases, lorsqu'elle est parallèle à l'écoulement moyen, se déplace d'une manière stochastique qui peut être modélisée comme une marche aléatoire continue en temps. L'analyse statistique suggère un processus de diffusion gaussien et permet de déterminer la vitesse moyenne de cette interface en fonction du nombre de Reynolds, ainsi que la valeur seuil au-delà de laquelle la turbulence contamine tout le domaine. Pour les nombres de Reynolds les plus bas, cette dynamique stochastique entre en compétition avec une dynamique de croissance déterministe des perturbations localisées. Cette dernière dynamique inattendue résulte de l'existence d'un régime, dit de *snaking*, où cohabitent de multiples solutions localisées et instables des équations de Navier-Stokes².

Références

1. DAUCHOT, O. & DAVIAUD, F. 1995 Finite amplitude perturbation and spots growth mechanism in plane Couette flow. *Phys. Fluids*, **7**, 335-343
2. MONTROLL, E. W. & WEISS, G. H. 1965 Random walks on lattices. *J. Math. Phys.*, **6**, 167
3. SCHNEIDER, T. M., GIBSON, J. F. & BURKE, J. 2010 Snakes and Ladders : Localized Solutions of Plane Couette Flow *Phys. Rev. Lett.*, **104**, 104501

Études d'un métal liquide turbulent de faible épaisseur

Pablo Gutiérrez & Sébastien Aumaître

CEA, IRAMIS, SPEC, CNRS URA 2464, Groupe Instabilités et Turbulence, 91191 Gif-sur-Yvette, France
pablo.gutierrez-matus@cea.fr

Avec la motivation des écoulements géophysiques, les modèles de turbulence bidimensionnel ont connu beaucoup de succès. Ils ont attiré aussi l'attention des physiciens à cause des propriétés étonnantes comment le transfert de l'énergie vers les grandes échelles [1,2]. Par contre, l'impossibilité d'avoir des vrais exemples d'écoulement bidimensionnel a déplacé l'attention vers une définition plus précise des limites entre turbulence 2d et 3d [3,4]. Dans notre cas, nous nous sommes intéressés à étudier des autres aspects expérimentaux dans une manip du même type : les régimes de nombre de Reynolds ' Re ' élevés, et la dépendance du forçage.

Pour se faire nous avons utilisé une cellule de $40 \times 50 \text{cm}^2$, avec une couche mince de fluide d'environ 1cm qui est mise en mouvement à l'aide de la force de Lorentz. Le fluide est un métal liquide, appelé Galinstan (c'est un alliage de gallium, d'indium et d'étain, qui est liquide à température ambiante et très bon conducteur). À travers ce métal liquide on fait passer un courant électrique qui arrive jusqu'à 800A et qui interagit avec le champ magnétique engendré par un réseau d'aimants permanents placé sous la cellule. La force $F_L \approx j \times B$ permet donc de mettre le fluide en mouvement et d'arriver jusqu'à $Re = lU/\nu \approx 10^5$, où l est la taille de la cellule, U est l'amplitude des fluctuations de vitesse et ν est la viscosité cinématique du métal liquide.

Nous avons trouvé une forte dépendance de la géométrie du forçage, ce qui est en contradiction avec certaines approches théoriques de turbulence bidimensionnel. En utilisant la vélocimétrie par tracking de particules, nous avons étudié la structure grande échelle de l'écoulement, pour des réseaux d'aimants différents (hexagonal et aléatoire) et aussi pour des rapports d'aspect différents entre la largeur L_x et la longueur L_y de la cellule.

Références

1. Kraichnan, R.H. : Inertial Ranges in Two-Dimensional Turbulence. *Phys. Fluids* **10** :1417–1423, 1967.
2. Tabeling, P. : Two-dimensional turbulence : a physicist approach. *Phys. Rep.* **362** :1–62, 2002.
3. Akkermans, R. A. D., Cieslik, A. R., Kamp, P. J., Trieling, R. R., Clercx, H. J. H., van Heijst, G. J. F. : The Three-dimensional structure of an electromagnetically generated dipolar vortex in a shallow fluid layer. *Phys. Fluids* **20** : 116601, 2008.
4. Shats, M., Byrne, D., Xia, H. : Turbulence Decay Rate as a Measure of Flow Dimensionality. *Phys. Rev. Lett.* **105** : 264501, 2010.

Turbulence d'ondes à la surface d'un fluide soumis à un forçage horizontal

Bruno Isсенmann & Eric Falcon

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), Université Paris-Diderot, CNRS (UMR7057),
10 rue A. Domon et L. Duquet 75013 Paris, France

bruno.isсенmann@univ-paris-diderot.fr ; eric.falcon@univ-paris-diderot.fr

Quand des ondes d'amplitude suffisamment élevée se propagent dans un milieu dispersif, les interactions non linéaires qu'elles ont les unes avec les autres engendrent des ondes de fréquences différentes. Ce transfert d'énergie des grandes échelles (où l'énergie est injectée dans le système) aux petites échelles (où elle est dissipée) est appelé « turbulence d'ondes ». Ce phénomène est commun à de nombreux domaines de la physique car on le retrouve dans l'étude des ondes à la surface d'un fluide ou d'un solide, dans les ondes au sein d'un plasma, en optique non linéaire etc. Bien que ce domaine soit en plein essor depuis quelques années, de nombreux problèmes restent ouverts. En particulier, les théories actuelles considèrent principalement des systèmes infinis, non dissipatifs, avec de faibles non linéarités. Le rôle des effets de taille finie, de la dissipation et des fortes non linéarités reste mal compris.

Nous parlerons d'une expérience de turbulence d'ondes à la surface d'un fluide contenu dans une cuve forcée horizontalement avec une amplitude et une fréquence dépendant aléatoirement du temps. Cette excitation diffère fortement des études précédentes sur la turbulence d'ondes où le forçage est soit vertical et paramétrique, soit utilise des batteurs. L'avantage de ce forçage horizontal est d'être plus homogène spatialement et d'utiliser la résonance d'un mode de ballotement de la cuve afin d'engendrer de forts effets non linéaires. On observe alors un mélange de vagues fortement non linéaires avec des crêtes de plus en plus aiguës, pouvant aller jusqu'au déferlement. Dans ces zones, la dissipation est forte et cette expérience permet d'étudier l'influence de cette dissipation sur la turbulence d'ondes. Nous discuterons notamment le spectre de puissance de l'amplitude des vagues ainsi que leur distribution de probabilité lorsque l'amplitude du forçage augmente.

Turbulence d’ondes à la surface d’une tôle mince : régimes transitoires

Benjamin Miquel¹ & Nicolas Mordant¹

LPS ENS, 24 rue Lhomond, 75231 Paris
benjamin.miquel@lps.ens.fr

La théorie de la turbulence faible (TTF) décrit l’évolution statistique d’un ensemble d’ondes interagissant de façon faiblement non-linéaire, dans des systèmes variés (ondes de surface, ondes d’Alfvén, ondes de flexion, etc.). L’hypothèse de faible non-linéarité, ajoutée à celle d’un système infini, permet de dériver une expression analytique pour le spectre (dit ”de Kolmogorov-Zakharov” [1]) transportant conservativement l’énergie des grandes échelles où elle est injectée, vers les petites échelles où elle est dissipée. Une séparation d’échelles temporelles entre la période des ondes, le temps non-linéaire d’interaction et le temps caractéristique de dissipation est nécessaire. Appliquée spécifiquement aux ondes de flexion se propageant à la surface d’une plaque métallique par Düring [2], la TTF prédit l’existence de transferts d’énergie entre quadruplets d’onde résonants, aboutissant à l’établissement d’un spectre stationnaire $E_k^{KZ} = P^{1/3} k \log^{1/3}(k^*/k)$ (où k^* est le vecteur d’onde de coupure UV). Notre système consiste en une plaque d’acier fine ($0.4 \text{ mm} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) suspendue sous son propre poids. Un vibreur fixé solidairement à la plaque impose une vibration à 30 Hz. L’étude est réalisée grâce à une technique de profilométrie optique développée par Cobelli *et al.* [3] utilisée pour mesurer au cours du temps la déformation de la plaque et obtenir ainsi le spectre spatio-temporel du mouvement [4]. La localisation dans le spectre spatio-temporel de l’énergie au voisinage immédiat d’une surface correspondant à la relation de dispersion $\omega = ck^2$ constitue une preuve expérimentale d’un mouvement composé d’ondes. Les spectres spatiaux et temporels mesurés dans le régime stationnaire hors équilibre sont en désaccord avec le spectre de Kolmogorov-Zakharov, tant pour le scaling en puissance injectée qu’en fréquence. Certaines prédictions de la TTF sont néanmoins vérifiées : d’une part, la distribution de probabilité des spectres est gaussienne, d’autre part la loi de puissance suivie par le spectre et par la correction à la relation de dispersion due aux non-linéarités est identique (bien qu’en désaccord avec la théorie). L’étude des régimes transitoires éclaire en partie ces désaccords. La mesure du spectre spatial au cours du temps lors du transitoire d’établissement est compatible avec un transfert d’énergie via des quadruplets résonants. L’observation de ces spectres semble indiquer que les désaccords des spectres stationnaires avec les prédictions proviennent du forçage. Une mesure identique lors du déclin de la turbulence, après arrêt du forçage, montre des spectres isotropes semblables aux prédictions. La fréquence de coupure ω^* décroît avec la quantité d’énergie présente dans la cascade et donc avec le temps, de sorte que la composante de Fourier d’un vecteur d’onde donné se situe successivement dans la cascade non-linéaire, puis dans la partie dissipative du spectre. Il y’a une séparation d’échelles claire entre le temps caractéristique de dissipation mesuré et la période des ondes. Nous avons par ailleurs entrepris une analyse en ondelettes du mouvement de la plaque pour déterminer le temps non-linéaire, et vérifier qu’il se situe bien entre le temps de dissipation et la période des ondes.

Références

1. V.E. Zakharov, V.S. L’vov, and G. Falkovich, *Kolmogorov Spectra of Turbulence I* (Springer, Berlin, 1992)
2. G. Düring, C. Josserand, S. Rica, *Weak turbulence for a vibrating plate : can one hear a Kolmogorov spectrum ?*, Phys. Rev. Lett. **97**, 025503 (2007)
3. P. Cobelli, P. Petitjeans, A. Maurel, V. Pagneux, *Experimental and theoretical inspection of the phase-to-height relation in Fourier transform profilometry*, Applied Optics **48**, 380 (2009)
4. N. Mordant, *Fourier analysis of wave turbulence in a thin elastic plate*, Eur. Phys. J. B **76**, 537-545 (2010)

Propriétés multifractales dans l'espace de Hilbert : analyse de séries temporelles non linéaires et invariantes d'échelle utilisant la décomposition modale empirique et transformation de Hilbert

F.G. Schmitt¹, Y. Huang², Z. Lu², & Y. Liu²

¹ CNRS, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, UMR 8187, F-62930 Wimereux

² Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, 200072 Shanghai China
francois.schmitt@univ-lille1.fr

La méthode de décomposition modale empirique (EMD) a été développée il y a une dizaine d'années pour décomposer des séries temporelles non-linéaires et non-stationnaires en une somme de modes, c'est-à-dire une somme de signaux ayant chacun des fréquences caractéristiques bien localisées dans l'espace des fréquences. Cette décomposition est associée à une transformation de Hilbert-Huang (HHT) visant à extraire localement une fréquence instantanée et une amplitude. Cette nouvelle méthode d'analyse, baptisée EMD-HHT [1], a rencontré un grand succès dans de nombreux domaines des sciences de la nature de la société : une recherche sur le Web of Science donne plus de 1600 articles ayant empirical mode decomposition ou Hilbert Huang transform dans leur titre ou leurs mots clés.

Ici nous présentons une généralisation, que nous avons développée récemment [2-3] et appliquée en turbulence [2,6] et dans le domaine de l'environnement [4-5]. Cette généralisation permet d'extraire les exposants multifractals de séries temporelles non stationnaires invariantes d'échelle; ceci fournit une méthode alternative, utilisant l'espace de Hilbert, pour la caractérisation multifractale, qui peut être comparée à d'autres méthodes comme les fonctions de structure, les transformées en ondelette ou la méthode MFDA (Multifractal detrended fluctuation analysis). Nous montrons sur des simulations de mouvements Brownien fractionnaire et des simulations multifractales, la précision de cette nouvelle méthode. Nous montrons également son point fort par rapport à d'autres méthodes : elle est moins perturbée par l'existence d'échelles caractéristiques dans la série temporelle analysée, provenant par exemple d'un forçage déterministe superposé aux fluctuations stochastiques invariantes d'échelle.

En tant qu'illustration, nous appliquons la méthode à des données de turbulence (vitesse et scalaire passif), et des données de finance, de débit fluvial et données environnementales océanographiques.

Références

- [1] Huang, N. E., et al.. 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc. R. Soc. London*, **454**, 903–995.
- [2] Huang, Y., Schmitt, F. G., Lu, Z., & Liu, Y. 2008. An amplitude-frequency study of turbulent scaling intermittency using Hilbert spectral analysis. *EPL*, **84**, 40010.
- [3] Huang, Y. X., Schmitt, F. G., Lu, Z. M., Liu, Y. L., 2008. Analyse de l'invariance d'échelle de séries temporelles par la décomposition modale empirique et l'analyse spectrale de Hilbert, *Traitement du Signal*, **25**, 481–492.
- [4] Schmitt FG, Y Huang, Z. Lu, Y. Liu, N. Fernandez, Analysis of turbulent fluctuations and their intermittency properties in the surf zone using empirical mode decomposition, *Journal of Marine Systems*, **77**, 473–481.
- [5] Huang Y.X., Schmitt FG, Lu, ZM, Liu YL, 2009. Analysis of daily river flow fluctuations using empirical mode decomposition and arbitrary order Hilbert spectral analysis, *Journal of Hydrology*, **373**, 103–111.
- [6] Huang YX, Schmitt FG, Lu, ZM, Fougairolles, P., Gagne, Y., Liu YL, 2010. Second order structure functions in fully developed turbulence, *Physical Review E*, **82**, 026319.

Biais dans l'analyse de dynamiques lentes/rapides à forte composante linéaire : cas du titrage du bruit.

E. Roulin¹, U. S. Freitas² & C. Letellier¹

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

² ADIR Association — EA GRHV 3830

roulin@coria.fr

Parmi les dynamiques biologiques ou biomédicales expérimentales observées, certaines se comportent quelque peu à l'image des oscillations de relaxation, c'est-à-dire qu'elles présentent, par exemple, une augmentation rapide de leur amplitude, suivie d'une relaxation lente de celle-ci à la valeur de base. Typiquement, la dynamique lente peut être reproduite par un processus linéaire, et la dynamique rapide contrôlée par un processus non-linéaire, pilotant les fluctuations de l'amplitude. Nous construisons ainsi une dynamique artificielle, reposant sur des oscillations périodiques dont l'amplitude est modulée par une fonction logistique. La série temporelle résultante se présente comme un "cas pathologique" du point de vue du traitement du signal, dans la mesure où, la non-linéarité agissant par impulsions très brèves, les techniques habituelles d'analyse du signal échouent à la détecter, et ne mettent en évidence que le processus linéaire.

Une attention particulière est portée à la technique par titrage du bruit, qui échoue elle aussi à détecter la composante non-linéaire agissant en modulation d'amplitude. Il est encore montré ici l'absence profonde d'équivalence à traiter une dynamique dans l'espace des phases (approche continue) ou dans une section de Poincaré (approche discrète) [8].

mots-clés : oscillations de relaxation, détection de non-linéarité.

Références

1. Estimating the Shannon entropy : recurrence plots versus symbolic dynamics, *Physical Review Letters* **96**, 254102, 2006.

Topologie de dynamiques toroidales tridimensionnelles

Martin Rosalie & Christophe Letellier

CORIA UMR 6614 — Université de Rouen, Av de l'Université, BP 12, F-76801 Saint-Etienne du Rouvray Cedex, France

`Martin.Rosalie@coria.fr`

La topologie du chaos toroïdal n'a été que peu abordé, ne serai-ce que parce que la notion de partition — toujours bien utilisée, mais non nécessaire, à la description de la population d'orbites périodiques instables — est des plus délicate dans ce cas. De plus, l'analyse topologique n'est réellement efficace que dans des espaces de dimension trois, espaces dans lesquels peu d'exemples de chaos toroïdaux sont connus [1,2]. Une première étude du système de Li a été réalisée en tenant compte des propriétés de symétrie [3] : une intersection entre l'axe de symétrie et l'image de l'attracteur — représentation sans symétrie [4] — conduit à un tore de genre trois non trivial dans la mesure où il y a une intersection entre deux des « trous » du tore.

Nous proposons ici l'étape suivante qui consiste en une première des séquences de bifurcations présentes dans le système de Li lorsque l'un des paramètres est varié. Typiquement, deux familles de cascades de doublements de période sont obtenues : l'une fait suite à une bifurcation nœud-col induisant des orbites asymétriques, et l'autre succède à une bifurcation fourche qui rompt la symétrie du cycle limite qui donne la périodicité à la fenêtre étudiée. L'orientation des applications de premier retour permet de dresser une première cartographie des repliements présents sur l'attracteur.

Références

1. BO DENG, Constructing homoclinic orbits and chaotic attractors, *International Journal of Bifurcation & Chaos*, **4** (4), 823-841, 1994.
2. D. LI, A three-scroll chaotic attractor, *Physics Letters A*, **372** (4), 387-393, 2008.
3. C. LETELLIER & R. GLIMORE, Poincaré sections for a new three-dimensional toroidal attractor, *Journal of Physics A*, **42**, 015101 (2009).
4. C. LETELLIER & R. GILMORE. Covering dynamical systems : Two-fold covers, *Physical Review E*, **63**, 16206, 2001.

Modélisation par approche globale de la dynamique du blé pluvial observée par télédétection spatiale, en zone semi-aride (Maroc)

Mangiarotti Sylvain¹, Drapeau Laurent¹, Coudret Raphael¹, & Jarlan Lionel¹

Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère 18 Av. Edouard Belin (bpi 2801) 31401 Toulouse cedex 9
sylvain.mangiarotti@ird.fr

La culture du blé au Maroc est largement issue de l'agriculture pluviale et dépend, en conséquence, des conditions climatiques régionales et de ses aléas. La production de blé présente ainsi une forte variabilité interannuelle dont la prévisibilité apparaît limitée. Pour autant, l'analyse nonlinéaire du signal de végétation en zone semi-aride tend à s'illustrer par des dynamiques de petite dimension, aux trajectoires à la fois cycliques et instables, conduisant à s'orienter vers des dynamiques chaotiques. La télédétection spatiale est un outil d'observation sans équivalent pour le suivi spatialisé de tels milieux. Les données basse résolution, en particulier, offrent une bonne couverture temporelle pour étudier les comportements en jeu et leur variabilité. Les indices de la végétation issus du capteur AVHRR sont utilisés ici pour tenter une modélisation de la dynamique du blé par approche globale (Gouesbet et Letellier, 1994). Un modèle tridimensionnel obtenu par cette approche est ici présenté.

Références

G. Gouesbet et C. Letellier, Global vector field reconstruction by using a multivariate polynomial L2-approximation on nets, *Physical Review E*, 49(6), 4955-4972, 1994.

Formes Normales Singulières Non Linéaires : un nouveau observateur

Driss Boutat¹, Gang Zheng², Latifa Boutat-Baddas³ and Mohamed Darouach³

¹ Loire Valley University, ENSI de Bourges, Institut PRISME, 88, Boulevard Lahitolle 18020 Bourges Cedex

² INRIA Lille-Nord Europe, 40, avenue Halley, 59650 Villeneuve d'Ascq

³ CRAN-CNRS, UHP NancyI, IUT de Longwy 186, rue de Lorraine, 54400 Cosnes-et-Romain

`driss.boutat@ensi-bourges.fr`

Les systèmes singuliers (connus aussi sous le nom de systèmes implicites ou systèmes algébro-différentiels) ont été introduits pour modéliser une large classe de systèmes pour lesquels la représentation d'état standard n'est pas applicable. On les rencontre dans les domaines des industries minérales et chimiques, en électronique et en économie. L'estimation de l'état de ces systèmes est d'une grande importance pour le diagnostic et pour la commande. Contrairement au cas des systèmes singuliers linéaires où il existe des résultats sur la synthèse des observateurs (voir [1], [3], [2],[5]), pour les systèmes non linéaires il n'existe que quelques résultats, on cite par exemple [4]. Tous ces résultats supposent que la non linéarité est Lipschitzienne. Dans cet article, nous présentons une nouvelle approche de synthèse d'observateur pour les systèmes singuliers, elle est fondée sur le développement d'une nouvelle forme normale. Les conditions géométriques nécessaires et suffisantes d'existence de cette forme normale et une méthode simple de synthèse de l'observateur seront présentées.

Références

1. Darouach,M. and Zasadzinski,M. (1991). Data reconciliation in generalized linear dynamic systems. AICHE journal, 37, 193-201.
2. Darouach,M., Zasadzinski,M., and Hayar,M. (1996). Reduced-orderobserver design for descriptor systems with unknown inputs. IEEE Trans. Autom. Contr, 41, 1068-1072.
3. Darouach,M., Zasadzinski,M., and Xu,S.(1994). Full order observers for linear systems with unknown input. IEEE Trans. Autom. Control, 39, 606-609.
4. Lu G. and D.W.C.Ho,(2006. Full-order and reduced-order observer for Lipschitz descriptor systems :The unified LMI approach, IEEE Trans. Circuits Syst.II, vol.53, no.7, 563-567.
5. Koenig D. and S. Mammar, (2002). Design of Proportional-Integral Observer for Unknown Input Descriptor Systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 47, Issue 12, pp. 2057-2062.

La morphogenèse gastrovasculaire chez la méduse *Aurelia Aurita*

Camille Gambini¹, Alexis Peaucelle², Bérengère Abou¹, Vincent Fleury¹, & Annemiek JM Cornelissen¹

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris 7

² Institut Jean-Pierre Bourgin, INRA-AgroParisTech, Versailles

camille.gambini@univ-paris-diderot.fr

Notre thématique de recherche est centrée autour de la morphogenèse des systèmes branchés chez les animaux (vaisseaux, poumons, reins). Nous nous intéressons tout particulièrement au rôle des propriétés mécaniques de la matrice extracellulaire dans la morphogenèse vasculaire. Dans ce but, nous étudions le développement du système gastrovasculaire de la méduse *Aurelia Aurita*, dont l'organisation des canaux est particulièrement simple et quasi bidimensionnelle.

Le système gastrovasculaire de la méduse est un réseau de canaux situé dans son ombrelle, et dont le rôle principal est de distribuer les nutriments. Chez *Aurelia Aurita*, nous avons observé que de nouveaux canaux apparaissent par bourgeonnement à partir d'un canal circulaire, situé sur le pourtour de l'ombrelle. Ce bourgeonnement a lieu entre deux canaux radiaux déjà existants. Ces nouveaux canaux croissent systématiquement dans la direction du canal radial le plus récemment formé, auquel ils vont se connecter par la suite. Nous mesurons les propriétés mécaniques de la matrice extracellulaire qui entoure les nouveaux canaux, afin de déterminer si elle peut orienter leur direction de croissance. Des expériences de microrhéologie [1] permettent de réaliser ces mesures *in vivo*, localement, et à l'échelle cellulaire.

Nous injectons des microbilles fluorescentes dans la matrice extracellulaire de méduses anesthésiées au $MgCl_2$. Le suivi du mouvement brownien de ces microbilles nous renseigne sur les propriétés mécaniques du tissu environnant. Les résultats montrent que : (1) les billes ont un mouvement sous-diffusif, caractéristique d'un milieu viscoélastique; (2) ce mouvement ne dépend pas du lieu d'injection des billes dans la matrice extracellulaire; (3) à chaque lieu d'injection, les billes ont des comportements variés, qui révèlent les hétérogénéités de la matrice extracellulaire à l'échelle du micron.

Nous avons observé le maillage de fibres constituant la matrice extracellulaire par microscopie électronique à balayage (MEB). A l'échelle du micron, les fibres (diamètre de l'ordre de 10 nm) sont organisées de manière hétérogène, sans direction préférentielle. A plus large échelle (échelle du millimètre), aucune différence n'a été observée dans la structure de la matrice, à différentes positions. Ces observations obtenues en MEB sont cohérentes avec les résultats de microrhéologie.

Nous concluons qu'un nouveau canal grandit dans une matrice extracellulaire globalement homogène, et donc que sa direction de croissance ne semble pas guidée par cette dernière. Nous pensons qu'il peut être orienté dans sa croissance par des conditions aux limites (un canal nouvellement formé est vraisemblablement plus mou qu'un canal plus ancien). Cette hypothèse sera testée expérimentalement par la suite grâce au 'Scanning Air Puff Tonometer' développé au laboratoire [2].

En dernier lieu, nous avons observé par des expériences de microscopie électronique à transmission qu'un nouveau canal grandit dans un feuillet plat unicellulaire : l'endoderme. Nous pensons que les contractions musculaires de la méduse peuvent être à l'origine d'un plissement mécanique au niveau des jonctions entre deux cellules de l'endoderme. L'espace ainsi créé pourrait ensuite être connecté avec le canal en croissance, qui serait ainsi mécaniquement guidé par des relaxations de contrainte dans l'endoderme. Afin de tester cette hypothèse, nous projetons de visualiser *in vivo* la croissance d'un canal, par microscopie à contraste interférentiel et 'Single Plane Illumination Microscopy' (collaboration avec V. Gurchenkov, laboratoire Evolution, Plasticité du Système Nerveux, Gif-sur-Yvette).

Références

1. MacKintosh and al. *Curr. Opin. Coll. Interf. Sci.* Vol. 4 Is. 4, 1999
2. Fleury and al. *Phys. Rev. E* Vol. 81 Is. 2, 2010

Dynamique cardiaque de nourrissons à risque

Emad Yacoub, Ubiratan Freitas, Valérie Messenger, Eric Mallet, & Christophe Letellier

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

² Département de Pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Charles Nicolle, Rouen, France

Emad.Yacoub@coria.fr

Résumé. Des nourrissons à risque hospitalisés pour des épisodes sévères de pathologies cardio-respiratoires ont été suivis — en routine — durant une nuit. Leurs dynamiques cardiaques ont été étudiées à l'aide d'applications de premier retour construites sur les variations calculées d'un intervalle RR à l'autre. Il est alors montré que les extrasystoles et les événements de bradycardie ont des signatures caractéristiques au sein de ces applications de premier retour. Ces signatures, ont été retrouvées sur la moitié des enfants suivis. Une entropie de Shannon et un indice d'asymétrie ont également été introduits pour identifier les anomalies les plus sévères.

Abstract. Vulnerable infants who were hospitalized for severe cardio-respiratory failures were routinely monitored during one night. Their cardiac dynamics were investigated in terms of first-return map built on the variation from one RR-interval to the next. It is then shown that ectopic beats and bradycardia have a characteristic signature in these first-return maps, signatures that we found in more than the half of the infants we monitored. A Shannon entropy and an asymmetry index were also introduced to identify strongest cardiac abnormalities.

Quantification de la fragmentation du sommeil par entropie de Shannon

D. Bounoiare^{1,2}, R. Naeck^{1,2}, U. S. Freitas^{2,3}, A. Portmann¹, A. Cuvelier¹, J.-F. Muir¹, & C. Letellier²

¹ GRHV UPRES EA 3830, CHU de Rouen — Université de Rouen, France

² CORIA UMR 6614 — Université de Rouen, BP. 12, 76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex

³ ADIR Association, Bois-Guillaume.

bounoiare@coria.fr

La somnolence diurne excessive est le symptôme cardinal de désordre du sommeil conduisant notamment à une détérioration de la « continuité » de ce sommeil et de sa capacité récupérative. La quantification de la « fragmentation du sommeil » est donc un enjeu majeur pour l'estimation de la qualité du sommeil. L'un des premiers quantificateurs proposés fut le taux de transitions au stade 1 du sommeil [1]. Puis, il fut montré que les brefs éveils avaient une corrélation significative avec les scores de tests de latence multiples du sommeil [2]. Ce n'est qu'une fois que les micro-éveils furent bien définis [3], qu'ils furent régulièrement utilisés comme un indicateur de la fragmentation du sommeil [4]. Il reste que la corrélation avec la somnolence diurne excessive n'est pas acquise [5,4], mais lorsque des quantificateurs du sommeil sont introduits, c'est toujours par rapport à l'indice de micro-éveils qu'ils sont évalués [6,7].

Suite à l'absence de corrélation obtenue entre l'indice de fragmentation du sommeil [6] et le taux de micro-éveils lors de polysomnographies d'insuffisants respiratoires chroniques sous assistance ventilatoire non invasive, nous proposons ici un nouvel indicateur de fragmentation du sommeil : il repose sur une entropie de Shannon estimée à partir d'un diagramme de proches retours [8]. L'avantage d'une entropie de Shannon par rapport à l'indice de fragmentation du sommeil [6] ou de l'indice pondéré de fragmentation du sommeil [7] est qu'elle tient compte de la durée de chaque fenêtre sur laquelle le stade de sommeil demeure inchangé. Par ailleurs, suite au constat selon lequel les micro-éveils ne peuvent, par définition, apparaître que lors du sommeil, nous avons observé que l'indice de fragmentation du sommeil pouvait être amélioré en utilisant non plus la durée de sommeil total mais la durée de sommeil effective (la durée des éveils intra-sommeil est décomptée). De manière à tenir compte de ce résultat, la construction du diagramme de proches-retours a également été modifiée de manière à optimiser la corrélation entre l'entropie et le taux de micro-éveils qui est maintenant de $r = 0.53$.

Références

1. T. ROTH, K. M. HARTSE, F. ZORICK & W. CONWAY, Multiple naps and the evaluation of daytime sleepiness in patients with upper airway sleep apnea, *Sleep*, **3** (3-4), 425-439, 1980.
2. M. A. CARSKADON, E. D. BROWN & W. C. DEMENT Sleep fragmentation in the elderly : relationship to daytime sleep tendency, *Neurobiology Aging*, **3**, 321-327, 1982.
3. M. BONNET *et al*, EEG arousals : scoring rules and examples : a preliminary report from the Sleep Disorders Atlas Task Force of the American Sleep Disorders Association, *Sleep*, **15**, 172-184, 1992.
4. E. J. STEPANSKI, Improving the utility of interpreting sleep fragmentation, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, **3** (3), 275-276, 2007.
5. M. BONNET, D. ARAND, EEG Arousal Norms by Age, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, **3**(3), 271-274, 2007.
6. J. HABA-RUBIO, V. IBANEZ, E. SFORZA, An alternative measure of sleep fragmentation in clinical practice : the sleep fragmentation index, *Sleep Medicine*, **5**, 577-581, 2004.
7. V. SWARNKAR, U. R. ABEYRATNE, C. HUKINS & B. DUCE, A state transition-based method for quantifying EEG sleep fragmentation, *Medicine & Biology Engineering Computation*, **47**, 1053-1061, 2007.
8. C. LETELLIER, E. ROULIN & O. E. RÖSSLER, Inequivalent topologies of chaos in simple equations, *Chaos, Solitons & Fractals*, **28**, 337-360, 2006.

Enhanced diffusion due to active swimmers at a solid surface

Gaston Mino¹, Thierry Darnige¹, Mauricio Hoyos¹, Jérémie Dauchet¹, Annie Rousselet¹, Eric Clément¹, Jocelyn Dunstan², Rodrigo Soto², Thomas E. Mallouk³, Yang Wang³

¹ PMMH-ESPCI

² FCFM - Univ. de Chile

³ Dep. of Chemistry, Penn. State Univ.

`gaston.mino@espci.fr`

We consider two systems of active swimmers moving close to a solid surface, one being a living population of wild-type *E. coli* and the other being an assembly of self-propelled Au-Pt rods [1]. In both situations, we have identified two different types of motion at the surface and evaluated the fraction of the population that displayed ballistic trajectories (active swimmers) with respect to those showing random-like behaviour. We studied the effect of this complex swimming activity on the diffusivity of passive tracers also present at the surface. We found that the tracer diffusivity is enhanced with respect to standard Brownian motion and increases linearly with the activity of the fluid, defined as the product of the fraction of active swimmers and their mean velocity. This result can be understood in terms of series of elementary encounters between the active swimmers and the tracers.

[1] Mino et al., Enhanced diffusion due to active swimmers at a solid surface, *Phys.Rev.Lett* (January, 2011).

Gouttes de Leidenfrost paramagnétiques

Keyvan Piroird^{1,2}, Baptiste Darbois^{1,2}, David Quéré^{1,2}, Christophe Clanet^{1,2}

¹ PMMH - ESPCI, 10, rue Vauquelin 75005 Paris

² Ladhyx - École Polytechnique, 91128 Palaiseau

kpiroird@pmmh.espci.fr

Nous étudions comment un champ magnétique peut être utilisé pour manipuler des gouttes de Leidenfrost faites d'oxygène liquide. Ces gouttes lèvitent sur un coussin de leur propre vapeur lorsqu'elles sont placées sur un substrat à température ambiante (ce qui les rend extrêmement mobiles) et leur nature paramagnétique les soumet à une force en présence d'un champ magnétique. Des aimants placés stratégiquement sous le substrat peuvent être utilisés pour dévier, ralentir ou même capturer ces gouttes ultra-mobiles. Nous discutons l'efficacité de ces "pièges magnétiques" en fonction de la vitesse de la goutte et des propriétés de l'aimant.

Instabilité dynamique de l'origami d'une goutte de ferrofluide sous l'effet d'un champ magnétique

Timothée Jamin¹, Charlotte Py¹, & Eric Falcon²

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), Université Paris-Diderot, CNRS (UMR7057), 10 rue A. Domon et L. Duquet 75013 Paris, France

`charlotte.py@univ-paris-diderot.fr` ; `eric.falcon@univ-paris-diderot.fr`

Lorsqu'une goutte de liquide est déposée sur une fine membrane élastique, la membrane enveloppe la goutte dès que l'effet de la tension de surface surpasse les forces élastiques nécessaires à courber la membrane [1]. Diverses formes de repliement (tubes, pyramides, cubes) peuvent alors être obtenues selon la géométrie de la membrane. Que deviennent ces origamis capillaires lorsqu'on utilise une goutte de fluide magnétique (ferrofluide) soumis à un champ magnétique ? La forme de la goutte magnétique dépend en effet du champ appliqué [2].

Nous avons observé pour la première fois de nouvelles instabilités dynamiques du repliement d'une membrane élastique sur une goutte de ferrofluide. Elles sont issues de la compétition des énergies magnétique, élastique, capillaire et gravitationnelle. La plus impressionnante est l'instabilité dite de basculement : partant, à champ nul, d'une goutte de ferrofluide encapsulée dans une membrane de forme triangulaire, la goutte s'allonge verticalement lorsque le champ augmente, puis adopte une forme pyramidale du fait de la contrainte de la membrane, avant de basculer brutalement pour un champ critique. La goutte forme alors une pointe reposant sur un des coins de la membrane, ses deux autres coins l'enveloppant sur le côté. Nous avons caractérisé quantitativement cette instabilité et montré qu'elle provenait d'une compétition entre énergies magnétique et gravitationnelle, les données expérimentales étant en très bon accord avec notre théorie.

Références

1. C. Py, P. Reverdy, L. Doppler, J. Bico, B. Roman, and C. N. Baroud, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 156103 (2007).
2. R. E. Rosensweig, *Ferrohydrodynamics* (Dover, New York, 1997).

Hétérogénéités spatiales de dynamique dans une suspension de sphères molles thermosensibles avant et après la transition vitreuse

R. Colin¹, A. Al Sayed², J.-C. Castaing², R. Goyal², L. Hough², & B. Abou¹

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, UMR CNRS 7057 & Université Paris Diderot, 10 rue A. Domon et L. Duquet, 75205 Paris Cedex 13, France

² Complex Assemblies of Soft Matter Laboratory, UMI CNRS 3254, Rhodia INC., 350 G. Patterson Blvd, Bristol PA 19007, USA.

remy.colin@univ-paris-diderot.fr

La transition vitreuse reste, malgré un intérêt vivace depuis près de 40 ans, un sujet d'étude mal compris. Quand on refroidit rapidement un liquide en dessous de sa température de fusion, on peut ne pas former le cristal attendu d'un point de vue thermodynamique mais un autre état de la matière : le verre. Le verre est désordonné comme le liquide qui lui donne naissance, mais il présente un module élastique comme un solide. Il est hors d'équilibre, et de ce fait, il vieillit : ses propriétés dépendent du temps depuis lequel il a été formé. Il présente également des hétérogénéités de dynamique : la dynamique locale des constituants élémentaires du verre varie fortement à travers l'échantillon. Les liquides structuraux ne sont pas seuls à présenter ce type de comportement. Les fondus polymériques, les suspensions colloïdales, les matériaux granulaires, les mousses, les verres de spins par exemple présentent un comportement similaire.

Dans les suspensions colloïdales, le paramètre de contrôle qui gouverne la transition n'est plus la température mais la fraction volumique en particules. Le verre est formé à haute fraction volumique. La suspension colloïdale que nous utilisons est une suspension dans l'eau de particules thermosensibles : leur diamètre dépend de la température du bain. On peut donc moduler la fraction volumique de l'échantillon en changeant la température, et ainsi étudier la transition vitreuse sur un seul échantillon.

Nous avons étudié expérimentalement la dynamique microscopique et le vieillissement de cette suspension thermosensible avant et après la transition vitreuse en observant sous microscope les fluctuations thermiques de particules sondes introduites dans la suspension [1]. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés au développement d'hétérogénéités de la dynamique, caractérisées par le développement de queues exponentielles dans les fonctions de probabilités des déplacements des sondes. Nous avons montré que le scénario sous-jacent est une distribution spatiale d'environnements locaux homogènes, distribution que nous avons caractérisée en traçant la distribution statistique des environnements. Nous avons également montré que cette distribution d'environnement explique quantitativement les queues exponentielles observées. Nous nous sommes enfin intéressés à l'évolution de l'intensité des hétérogénéités. Nous trouvons que celles-ci croissent avant la transition avec la fraction volumique, puis qu'elle tendent à croître quand le verre devient plus arrêté.

Références

1. R. Colin, A. Al-Sayed, J.-C. Castaing, R. Goyal, L. Hough, B. Abou, Spatially heterogeneous dynamics in a thermosensitive soft suspension before and after the glass transition, to be submitted

Panaches thermiques dans les fluides à seuil

Davaille A.¹, Gueslin B.², & Massmeyer A.¹

¹ Laboratoire FAST (CNRS UMR 7608 / UPMC / Univ. P-Sud), Bat. 502, rue du Belvedere, Campus Universitaire, 91405 ORSAY)

² IPGP, Rue Cuvier, 75005 Paris

davaille@fast.u-psud.fr

Nous avons mené une étude expérimentale sur le développement des panaches thermiques dans le Carbopol, un fluide rhéofluidifiant, présentant une contrainte seuil. Les panaches sont générés à l'aide d'une source de chaleur ponctuelle. Trois régimes différents sont observés en fonction d'un paramètre caractéristique Y_0 , rapport entre la contrainte d'origine thermique et la contrainte seuil (équivalent à l'inverse du nombre de Bingham). Pour de faibles valeurs de Y_0 , aucun mouvement n'est observé; tandis que pour des valeurs intermédiaires de Y_0 , une cellule de convection apparaît mais elle reste confinée autour de la source de chaleur. Pour de grands Y_0 , cette cellule se déstabilise en panache. Le comportement de ces panaches est épisodique et leur morphologie est très différente du "champignon" classique rencontré dans les fluides newtoniens. Les mesures des champs de température (par cristaux liquides) et de vitesse (par PIV) montre le développement d'un écoulement "bouchon" à l'intérieur de l'anomalie thermique du panache, ce qui explique sa morphologie en "doigt". En outre, le démarrage du panache et sa montée dans la cuve sont précédés par le développement d'une zone d'endommagement. Ces observations apportent de nouvelles contraintes sur la dynamique de la transition liquide-solide dans les gels.

Transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non Newtonien : Effet de la non linéarité de la loi de comportement

Lopez¹, Jenny¹, & Nouar¹

LEMETA, 2 Avenue de la Forêt de Haye BP160, 54504 Vandoeuvre les Nancy
cherif.nouar@ensem.inpl-nancy.fr

La transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide non Newtonien a été peu étudiée en dépit de l'importance de ce problème dans de nombreux secteurs industriels. Comparativement au cas Newtonien, les résultats existants dans la littérature font état d'une part d'un retard à la transition vers la turbulence [1] et d'autre part de l'apparition d'une asymétrie dans les profils moyens (au sens temporel) de la vitesse axiale [2,3,4,5]. Le comportement rhéofluidifiant, *i.e.*, la décroissance de la viscosité avec le cisaillement, est la propriété rhéologique commune à la majorité des fluides non Newtoniens. La présente communication se propose alors d'étudier la transition vers la turbulence en conduite cylindrique pour un fluide purement visqueux rhéofluidifiant. Les écoulements de ces fluides se caractérisent d'une part par une stratification radiale de la viscosité (la viscosité diminue de l'axe de la conduite vers la paroi) et d'autre part par la variation nonlinéaire de la viscosité en fonction du cisaillement. Le comportement rhéologique des fluides considérés est supposé être décrit par le modèle de Carreau-Yasuda : $\mu = [1 + (\lambda\dot{\gamma})^a]^{(n-1)/a}$, où λ est une constante de temps, $0 < n < 1$ l'indice de rhéofluidification et $\dot{\gamma}$ le deuxième invariant du tenseur des taux de déformation. Il est évident que l'ordre de nonlinéarité dans la relation $\mu(\dot{\gamma})$ est beaucoup important que la nonlinéarité quadratique des termes d'inertie. Le but de cette étude est précisément d'examiner l'influence de cette nonlinéarité sur la typologie des mécanismes de transition vers la turbulence. Une approche numérique est adoptée. Les équations du mouvement sont traitées par une approche pseudo-spectrale du type Petrov-Galerkin similaire à celle proposée par Meseguer [6]. La vitesse est décrite par une série de Fourier dans les directions azimutale et axiale et par des polynômes de Chebychev (satisfaisant les conditions de régularité) suivant la direction radiale. La discrétisation temporelle utilise un schéma semi-implicite d'Adams-Bashforth d'ordre 4. Les termes nonlinéaires visqueux et d'inertie sont traités en explicite. L'écoulement de base est d'abord supposé complètement établi, et à l'instant $t = 0$, une perturbation sous forme de rouleaux longitudinaux est imposée. Les résultats obtenus montrent que la nonlinéarité $\mu(\dot{\gamma})$ conduit à : (i) une réduction de la dissipation visqueuse et (ii) à un spectre de modes très large dès le premier pas de temps. Bien que le niveau d'énergie des modes générés par la nonlinéarité de la viscosité soit très faible (deux ordres de grandeur plus faible par rapport à ceux induits par les termes nonlinéaires inertiels) ils modifient de manière significative la réorganisation de l'écoulement.

Références

1. M. Escudier, F. Presti, S. Smith. Drag reduction in the turbulent pipe flow of polymers. *J. non-Newtonian Fluid Mech.* 81, 197-213 (1999).
2. M. Escudier, R. Poole, F. Presti, C. Dales, C. Nouar, C. Desaubry, L. Graham, Pullum, L. Observations of asymmetrical flow behaviour in transitional pipe flow of yield-stress and other shear-thinning liquids. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 127, 143-155 (2005).
3. J. Pexinho, C. Nouar, C. Desaubry, B. Théron. Laminar transitional and turbulent flow of yield-stress fluid in a pipe. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 128, 172-184 (2005).
4. A. Esmael, C. Nouar. Transitional flow of a yield-stress fluid in a pipe : Evidence of a robust coherent structure. *Phys. Rev. E.* 77, 057302 (2008).
5. M. Escudier, S. Rosa, R. Poole. Asymmetry in transitional pipe flow of drag-reducing polymer solutions. *J. non-Newtonian Fluid Mech.* 161, 19-29 (2009).
6. A. Meseguer. breakdown instability in pipe Poiseuille flow. *Phys. Fluids.* 15, 1203-1213 (2003).

Ondes non linéaires en écoulements en tuyau de fluides rhéofluidifiants : mise en évidence d'un effet stabilisant

Nicolas Roland, Emmanuel Plaut & Chérif Nouar

LEMMA, Nancy-Université & CNRS, 2 avenue de la Forêt de Haye, 54516 Vandœuvre cedex, France
emmanuel.plaut@ensem.inpl-nancy.fr

Nous nous intéressons à la modélisation de la transition vers la turbulence dans des écoulements en tuyau de fluides non newtoniens. Des études expérimentales [1,2,3] ont montré l'existence d'un retard à la transition, i.e., à l'apparition des « bouffées turbulentes » ('puffs'), dans les fluides non newtoniens. Dans ces expériences, alors qu'en fluide newtonien les bouffées turbulentes apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re , basé sur la vitesse débitante et le diamètre, de l'ordre de 2000, en fluide non newtonien elles apparaissent à partir d'un nombre de Reynolds Re_p , basé sur la vitesse débitante, le diamètre et la viscosité à la paroi, de l'ordre de 3000 à 8000. À notre connaissance la seule étude théorique existante est celle des simulations numériques de [4], qui se sont cependant focalisés sur des régimes à nombre de Reynolds élevé, $Re_p > 5200$, pour lesquels on a toujours (dans le cas des fluides étudiés) des bouffées turbulentes, voire même de la turbulence développée. Nous avons choisi l'approche par calcul d'ondes non linéaires mise au point, dans le cas d'écoulements en tuyau, par [5,6]. Cette approche, alternative à celle des simulations numériques directes, repose sur un forçage virtuel de l'équation de la quantité de mouvement permettant de déclencher une bifurcation qui, lorsqu'elle est suffisamment sous critique, peut conduire à de nouvelles solutions physiques ondes non linéaires. Ces ondes seraient des précurseurs et supports des bouffées turbulentes [7]. Ainsi leur seuil d'apparition en Reynolds, par des bifurcations nœud-col, serait une estimation par valeur inférieure du Reynolds d'apparition des bouffées turbulentes.

Nous avons développé un code pseudo spectral de type Petrov-Galerkin, qui représente d'une certaine manière une extension du code [8], pour calculer des ondes non linéaires tridimensionnelles en écoulements en tuyau d'un fluide obéissant à la loi de Carreau. Ce choix d'un fluide purement rhéofluidifiant permet d'éliminer tout effet élastique. Ce code a été validé, et a permis, par continuation à partir de calculs en fluides newtoniens, d'obtenir de premières solutions ondes en fluides de Carreau [9]. L'effet de la rhéofluidification est d'augmenter le Reynolds d'apparition de ces solutions.

Références

1. M. P. Escudier, F. Presti & S. Smith, Drag reduction in the turbulent pipe flow of polymers, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **81**, 197 (1999).
2. M. Escudier, R. Poole, F. Presti, C. Dales, C. Nouar, C. Desaubry, L. Graham & L. Pullum, Observations of asymmetrical flow behaviour in transitional pipe flow of yield-stress and other shear-thinning liquids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **127**, 143 (2005).
3. M. Escudier, S. Rosa & R. Poole, Asymmetry in transitional pipe flow of drag-reducing polymer solutions, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **161**, 19 (2009).
4. M. Rudman, H. M. Blackburn, L. J. W. Graham & L. Pullum, Turbulent pipe flow of shear-thinning fluids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **118**, 33 (2004).
5. H. Faisst & B. Eckhardt, Traveling waves in pipe flow, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 224502 (2003).
6. H. Wedin & R. Kerswell, Exact coherent structures in pipe flow : travelling wave solutions, *J. Fluid Mech.* **508**, 333 (2004).
7. F. H. Busse, Visualizing the dynamics of the onset of turbulence, *Science* **305**, 1574 (2004).
8. A. Meseguer & F. Mellibosky, On a solenoidal Fourier-Chebyshev spectral method for stability analysis of the Hagen-Poiseuille flow, *App. Num. Math.* **57**, 920 (2007).
9. N. Roland, E. Plaut & C. Nouar, Petrov-Galerkin computation of nonlinear waves in pipe flow of shear-thinning fluids : first theoretical evidences for a delayed transition, *Computers & Fluids* **39**, 1733 (2010).

Etude d'une équation de convection-réaction-diffusion en écoulement compressible

F. Bianco¹ & S. Chibbaro¹

Institut Jean Le Rond D'Alembert Université Pierre et Marie Curie 4, place jussieu 75252 Paris Cedex 05
sergio.chibbaro@upmc.fr

Cette étude concerne l'évolution d'une réaction chimique dans un écoulement stationnaire compressible et sujette à une réaction non-linéaire :

$$\partial_t \theta + \partial_x (u\theta) = D \nabla^2 \theta + \frac{f(\theta)}{\tau}, \quad (1)$$

où D représente la diffusion, τ le temps caractéristique de la chimie, et où la non-linéarité est représentée sous la forme classique d'un terme FKPP (après Fischer-Kolmogorov-Petrovskii-Piskunov[1]) $f(\theta) = \theta(1 + \theta)$. En faisant varier les nombres de Damkohler et de Peclet, qui sont les nombres adimensionnels pertinents[2], nous explorons l'espace de phase des solutions. Nous montrons dans quel régime il est possible d'assumer une localisation des particules autour de points fixes stable du système, ce qui conduit à la possibilité de résoudre l'équation de façon particulièrement simple par le moyen d'un formalisme probabiliste[3].

En dehors de ce régime, les caractéristiques de la solution sont analysées pour mettre en relief les différences par rapport au cas incompressible, pour lequel certains résultats analytiques sont bien connus. En outre, nous montrons comment la solution numérique peut introduire des perturbations importantes dans le cas où le champ de vitesse n'est pas assez lisse.

Enfin, la même analyse est menée pour une non-linéarité de type ignition $f(\theta) = (\theta - \theta_c)(1 + \theta)$, avec un seuil θ_c , qui est plus pertinente pour des problèmes de combustion.

Références

1. R.A. Fisher, Ann. Eugenics 7, 355 (1937). A. Kolmogorov, I. Petrovsky, N. Piskunov, Bull. Univ. Moscou Ser. Int. Se. A 1(6), 1 (1937).
2. N. Peters, Turbulent Combustion(CambridgeUniversity Press, Cambridge, UK, 2000).
3. S. Berti, D. Vergni and A. Vulpiani 2008 EPL 83 54003

La première rencontre du non-linéaire : Paris, 28-30 janvier 1933

Jean-Marc Ginoux¹ & Loïc Petitgirard²

¹ Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Institut de Mathématiques de Jussieu (UMR 7586), 175, rue du Chevaleret, F-75013 Paris, France

² Conservatoire National des Arts et Métiers, Case 600, 292 rue Saint Martin, 75141 Paris Cedex 3
jmginoux@orange.fr

Résumé. Du 28 au 30 janvier 1933 se tenait à l'Institut Henri Poincaré (Paris) la toute première conférence internationale de non-linéaire organisée à l'initiative du physicien hollandais Balthazar Van der Pol et du mathématicien russe Nikolai Dimitrievitch Papaleksi. La découverte de cet événement "oublié" et dont pratiquement aucune trace ne subsiste a pu être réalisée grâce au compte-rendu rédigé par Papaleksi[1] à son retour en U.R.S.S. Ce document a ainsi permis de révéler d'une part la liste des participants parmi lesquels se trouvaient Alfred Liénard, Élie et Henri Cartan, Henri Abraham, Eugène Bloch, Léon Brillouin, Yves Rocard, ... et, d'autre part le contenu des exposés et des discussions. L'analyse des minutes de cette conférence présentée ici pour la première fois lève le voile sur le rôle et l'implication de la communauté scientifique française dans l'élaboration et le développement de la Théorie des oscillations non linéaires.

Références

1. N. D. PAPALESKI, Conférence internationale de non-linéaire, *Zeitschrift für Technische Physik*, **4**, 209-213 (1934).

Asymétrie spectrale due à des effets de dispersion d'ordre trois dans des systèmes optiques hamiltonien et dissipatif

Stéphane Randoux¹, Nicolas Dalloz¹, Claire Michel², Antonio Picozzi² & Pierre Suret¹

¹ Laboratoire PHLAM - UMR 8523 - Université Lille 1 - 59655 Villeneuve d'Ascq

² Institut Carnot de Bourgogne - UMR 5209 CNRS - Université de Bourgogne, Dijon

pierre.suret@univ-lille1.fr

Les lasers Raman à fibre sont des sources délivrant un rayonnement partiellement cohérent (non monochromatique) fortement multimode. Le processus de formation de leur spectre optique résulte de l'interaction non linéaire (essentiellement due à l'effet Kerr) entre typiquement 10^5 à 10^8 modes. La physique fortement multimode de ce laser est aujourd'hui fréquemment modélisée à partir d'une équation de type Ginzburg-Landau et un traitement statistique, basé sur la théorie cinétique des ondes, a été récemment appliqué à ce modèle dans le but de décrire la formation du spectre d'un laser Raman oscillant dans une cavité de finesse élevée [1].

Dans la démarche de modélisation habituellement employée, on suppose les effets de dispersion (linéaires) vus par les différents modes ne trouvent leur origine que dans la propagation de la lumière dans la fibre optique[1]. A partir de résultats expérimentaux montrant que le spectre optique du laser Raman à fibre est asymétrique au voisinage du seuil, nous montrons que la dispersion des miroirs (réseaux de Bragg) utilisés pour fermer la cavité joue un rôle essentiel dans le l'interaction entre les modes du laser [2]

Nous décrivons les phénomènes observés à partir d'une équation de type Ginzburg-Landau incluant, en plus des termes habituels, un terme de dispersion d'ordre trois $\beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial t^3}$ responsable de l'asymétrie observée expérimentalement :

$$\frac{\partial A(T, t)}{\partial T} = -A + (1 - i\beta_2) \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \beta_3 \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} + i|A|^2 A + \bar{P}A. \quad (1)$$

Le terme $\beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}$ représente les effets dispersion d'ordre 2 de la cavité laser et $\bar{P}(I)$ est un terme de gain saturé par la variable globale $I = \int |A(t, T)|^2 dt$.

Nous montrons par ailleurs que les effets de dispersion d'ordre trois peuvent également induire une asymétrie du spectre optique dans des systèmes optiques non dissipatifs (i. e. en annulant les termes de perte, de gain et de diffusion dans l'Eq. (1)) [3]. Dans ce cas, on examine alors la propagation non linéaire d'un rayonnement partiellement cohérent fortement multimode au voisinage du zéro de dispersion d'une fibre optique. L'utilisation de la théorie cinétique des ondes révèle que l'asymétrie du spectre trouve son origine dans un phénomène de thermalisation anormale récemment mis en évidence dans certains systèmes d'ondes hamiltonien [4].

Nos résultats expérimentaux et théoriques sont qualitativement comparables. Nous présentons en outre une comparaison détaillée entre le phénomène de thermalisation (système hamiltonien) et la formation du spectre des lasers Raman (système dissipatif).

Références

1. S. A. Babin, D. V. Churkin, A. E. Ismagulov, S. I. Kablukov, and E. V. Podivilov, "Four-wave-mixing-induced turbulent spectral broadening in a long Raman fiber laser," *J. Opt. Soc. Am. B* **24**, 1729 (2007).
2. N. Dalloz, S. Randoux, and P. Suret, "Influence of dispersion of fiber Bragg grating mirrors on formation of optical power spectrum in Raman fiber lasers," *Optics Letters*, **35**, 2505 (2010)
3. C. Michel, P. Suret, S. Randoux, H. R. Jauslin, and A. Picozzi, "Influence of third-order dispersion on the propagation of incoherent light in optical fibers," *Optics Letters*, **35**, 2367 (2010)
4. P. Suret, S. Randoux, H. R. Jauslin, and A. Picozzi, "Anomalous Thermalization of Nonlinear Wave Systems," *Phys. Rev. Lett.* **104**, 054101 (2010).

Systeme de communication haut debit par chaos en phase utilisant un composant dedie : un interferometre a 3 ondes

Jérémy Oden, Roman Lavrov, & Laurent Larger

Département d'Optique, Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.

laurent.larger@univ-fcomte.fr

Depuis les premières démonstrations de synchronisation de systèmes chaotiques à retard [1] pour des applications à la sécurisation des communications optiques par chaos, les architectures physiques ont évolué de manière à proposer des performances compatibles avec les télécommunications optiques modernes. Les systèmes générant du chaos électro-optique en phase ont récemment fait leur apparition dans ce contexte [2] et ont permis d'obtenir des résultats expérimentaux très intéressants. En effet, plusieurs démonstrations de transmissions cryptées par chaos en phase à 10 Gb/s ont été réalisées sur des réseaux optiques installés, comme le réseau en anneau des frères "Lumière" de Besançon et le réseau métropolitain de la ville d'Athènes [3], surpassant ainsi le précédent état de l'art du domaine [4] qui semble limité par l'utilisation d'un chaos en intensité optique.

Bien que les résultats de ces démonstrations aient été plus que satisfaisants, la souplesse et la reconfigurabilité du montage sont des éléments importants qui permettent d'argumenter en faveur du potentiel de sécurité de cette approche cryptographique, grâce à la variété des clés physiques disponibles. Par exemple, la fonction non linéaire intervenant dans le dispositif peut être facilement modifiée. Dans le montage de base du chaos en phase [2], une fonction en \cos^2 est introduite par un démodulateur DPSK de type Mach-Zehnder. En vue d'accroître la complexité du chaos obtenu, des architectures possédant une non linéarité 2D [5] ont été proposées avec un chaos en intensité optique. C'est le cas du système à chaos en phase que nous présentons ici, dans lequel l'interféromètre à fibre de Mach-Zehnder a été remplacé par un interféromètre à trois ondes dont les différences de marches, les amplitudes et les phases relatives sont autant de paramètres indispensables à connaître lors de l'opération de décryptage [6].

Nos dernières études expérimentales ont permis de réaliser un système émetteur-récepteur de chaos en phase. Les méthodes mises au point pour les anciennes configurations permettent d'obtenir une synchronisation dont le rapport signal sur bruit est plus que satisfaisant. Nous exposons ici nos derniers résultats de transmission de données sans erreur ($\text{BER} < 10^{-12}$) à un débit de 3 Gb/s, ouvrant des perspectives de communications sécurisées à un débit de 10 Gb/s et démontrant ainsi la flexibilité recherchée de ce système à la dynamique chaotique très riche.

Références

1. G. VANWIGGEREN, R. ROY, Communicating with chaotic lasers, *Science* **279**, 1198–1200 (1998).
2. R. LAVROV, M. PEIL, M. JACQUOT, L. LARGER, V. UDALTSOV, AND J. DUDLEY, Electro-optic delay oscillator with nonlocal nonlinearity : Optical phase dynamics, chaos, and synchronization, *Phys. Rev. E* **80**, 026207 (2009).
3. R. LAVROV, M. PEIL, M. JACQUOT, "Nonlocal nonlinear electro-optic phase dynamics demonstrating 10 Gb/s chaos communications", *IEEE J. Quant. Electron.*, **46**, 1430–1435 (2010)
4. A. ARGYRIS, D. SYVRIDIS, L. LARGER, V. ANNOVAZZI-LODI, P. COLET, I. FISCHER, J. GARCIA-OJALVO, C. R. MIRASSO, L. PESQUERA, K. A. SHORE, Chaos-based communications at high bit rates using commercial fiber-optic links, *Nature*, **438**, 343–346 (2005).
5. M. NOURINE, M. PEIL, AND L. LARGER, Chaos généré par une non linéarité 2D et une dynamique à retard, *C.R. 12^e Rencontres du Non Linéaire*, 149–154, (2009).
6. Y.C. KOUOMOU, P. COLET, L. LARGER, N. GASTAUD, Mismatch-Induced Bit Error-Rate in Optical Chaos Communication Using Semiconductor Lasers with Electro-optical Feedback, *Phys. Rev. E*, **41**, 156–163 (2005).

Dynamique intégrro-différentielle en longueur d’onde optique, à retards multiples, pour le “Reservoir Computing”

Romain Martinenghi¹, Sergei Rybalko¹, Lennert Appeltant², Guy Van der Sand², Jan Danckaert², Maxime Jacquot¹, Yanne Chembo¹, & Laurent Larger¹

¹FEMTO-ST / dépt. Optique, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.

²Applied Physics Research Group (APHY), Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium.

laurent.larger@univ-fcomte.fr

Le “Reservoir Computing” est une discipline de recherche émergente qui est issue du domaine des calculateurs à réseau de neurones [1], et des sciences cognitives du cerveau [2]. Le principe consiste à exploiter le potentiel de calcul universel de systèmes dynamiques complexes (appelés alors *Réservoir*), lors de leur excitation par des données mises en forme pour être injectées dans le système dynamique. Le résultat du calcul, ou encore la solution au problème de l’analyse des données, s’obtient alors par une lecture “adéquate” de la trajectoire-réponse du *Réservoir* dans son espace des phases de grande dimension. Cette lecture consiste en l’apprentissage des localisations de cette trajectoire-réponse, propres à chacune des réponses possibles attendues. La localisation est très généralement effectuée par une séparation linéaire, c’est-à-dire par la recherche d’hyperplans de l’espace des phases qui permettent de mettre en évidence les solutions, celles-ci étant initialement cachées dans les données de départ. Le traitement effectué par le système dynamique complexe sur les données à analyser, peut alors être vu comme un étalement des données initiales, dans un espace de plus grande dimension, ce qui rend possible la séparation des informations initialement “trop” entremêlées.

Le “Reservoir Computing” en est encore à ses débuts, et les “investigations expérimentales” effectuées à ce jour se limitent dans la grande majeure partie des cas à des simulations numériques, où la dynamique complexe est soit un réseau de nœuds dynamiques à non linéarité de type sigmoïdale, soit à des réseaux plus proches des modélisations en neurosciences.

Nous proposons dans cette contribution de présenter les premiers résultats de réalisation d’un *Réservoir* sur la base d’un système dynamique à retards multiples, réalisé en optoélectronique. Dans ce dernier, le grand nombre de retards est destiné à augmenter la connectivité et donc la complexité, dans l’espace des phases de la dynamique à retard, espace de dimension infinie dans un sens similaire à celui des dynamiques spatio-temporelles [3]. Nous présenterons les résultats de caractérisation expérimentale de cette dynamique non linéaire à plusieurs centaines de retards, obtenue en combinant un système optoélectronique [4] à un retard multiple réalisé par un FPGA (composant logique programmable, *Fully Programmable Gate Array*). Le modèle dynamique est dérivé d’un filtre passe-bande (dynamique intégrro-différentielle). Des résultats de simulations numériques permettent de prévoir une efficacité de calcul sur la base d’un test standard NARMA (Nonlinear Auto-Regressive Moving Average) conduisant à une erreur quadratique normalisée inférieure à 0.3 (clairement en dessous du seuil de 0.4 qui est typiquement considéré comme la limite significative pour prétendre à une puissance de calcul sur la base de ce test NARMA).

Références

1. H. JAEGER, The “echo state” approach to analysing and training recurrent neural networks, *Technical Report GMD 148*, German National Research Center for Information Technology, (2001).
2. W. MAASS, T. NATSCHLÄGER, H. MARKRAM, Real-Time Computing Without Stable States : A New Framework for Neural Computation Based on Perturbations, *Neural Comput.* **14**, 2531–2560 (2002).
3. F.T. ARECCHI, G. GIACOMELLI, A. LAPUCCI, R. MEUCCI, Two-dimensional representation of a delayed dynamical system, *Phys. Rev. A* **45**, R4225 (1993).
4. J.-P. GOEDGEBUER, L. LARGER, H. PORTE, Optical cryptosystem based on synchronization of hyperchaos generated by a delayed feedback tunable laserdiode, *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 2249–2253 (1998).

Dynamique de la propagation d'impulsions dans les Lasers à Électrons Libres VUV/X

M. Labat¹, N. Joly², S. Bielawski³, C. Sz waj³, C. Bruni⁴, & M.-E. Couprie¹

¹ Synchrotron SOLEIL, Saint Aubin, BP 34, 91 192 Gif-sur-Yvette, France

² University of Erlangen-Nuremberg, Guenther-Scharowsky Strasse 1/bau 24, 91058 Erlangen, Germany

³ PhLAM, Bât. P5, Université Lille 1, 59655 Villeneuve d'Ascq, France

⁴ LAL, Université Paris-Sud 11, UMR 8607, bâtiment 200, 91898 Orsay Cedex, France

marie.labat@synchrotron-soleil.fr

Résumé. De nouvelles sources laser, utilisant des accélérateurs linéaires, commencent à apparaître depuis quelques années (comme FLASH en Allemagne, SCSS au Japon, SPARC et FERMI en Italie, LCLS aux USA, etc.). Ces sources, basées sur des amplificateur VUV-X à électrons libres au gain particulièrement élevé, sont extrêmement prometteuses. Cependant, la maîtrise de ces sources passe par la connaissance et la maîtrise de la dynamique de propagation des impulsions. Celle-ci est relativement complexe car elle implique des mouvement de type "oscillation du pendule" (avec une grande amplitude) pour chaque électron, auxquels sont couplées les amplitudes des champs électromagnétiques en formation (équations de Maxwell-Vlasov).

Nous présentons une étude numérique du comportement des impulsions laser lorsque qu'un tel amplificateur (Laser à Electrons Libres simple passage) est injecté par une source laser externe. Nous montrons en particulier que la propagation s'accompagne de phénomènes de *pulse-splitting* [1], et nous identifions un ensemble de paramètres réduits (rapports d'aspect) pertinents pour l'observation du phénomène. Ensuite nous présentons une étude numérique détaillée pour les valeurs de paramètres expérimentaux correspondant à deux Lasers à Electrons Libres qui viennent d'être mis en opération récemment : SPARC et FERMI.

Références

M. LABAT, N. JOLY S. BIELAWSKI, C. SZWAJ, C. BRUNI, AND M. E. COUPRIE, Pulse Splitting in Short Wavelength Seeded Free Electron Lasers *Phys. Rev. Lett.*, **103**, 264801 (2009).

Une nouvelle “sonde” pour l’étude de la dynamique spatio-temporelle des anneaux de stockage

C. Evain¹, C. Szwaj², M. LeParquier³, S. Bielawski³, M. Hosaka⁴, Y. Takashima⁴, M. Adachi⁵, H. Zen⁵, S. Kimura⁵, M. Katoh⁵, M. Shimada⁶, T. Hara⁷, A. Mochihashi⁷, & T. Takahashi⁸,

¹ Synchrotron SOLEIL, Saint Aubin, BP 34, 91 192 Gif-sur-Yvette, France

² Laboratoire PhLAM, UMR CNRS 8523, CERLA, Université Lille 1 F-59655 Villeneuve d’Ascq Cedex, France.

³ CERLA, FR CNRS 2416, Université Lille 1 F-59655 Villeneuve d’Ascq Cedex, France.

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

⁵ UVSOR Facility, Institute for Molecular Science, National Institutes of Natural Sciences, Okazaki 444-8585, Japan

⁶ High Energy Accelerator Research Organization, KEK, 305-0801, Tsukuba, Japan.

⁷ RIKEN Spring-8 centre, Harima Institute, Sayo-cho, Hyogo, 679-5148, Japan

⁸ Reactor Research Institute, Kyoto University, Kumatori-cho, Osaka, 590-0494, Japan

`clement.evain@synchrotron-soleil.fr`

Résumé. Dans les anneaux de stockage, les paquets d’électrons relativistes présentent une dynamique complexe (en particulier des instabilités spatio-temporelles), due à l’interaction entre les paquets et leur propre champ. Cependant, bien que la connaissance de cette dynamique soit d’un grand intérêt actuellement, les études expérimentales directes sont très délicates. D’une part, par les moyens habituels, on ne peut généralement observer qu’une projection des patterns (et en pratique seulement le spectre de ces projections). De plus, l’ingrédient fondamental, *l’interaction entre électrons* n’est pas directement accessible à l’expérience.

Notre stratégie consiste à obtenir de nouveaux résultats expérimentaux en étudiant la réponse du système à des perturbations sinusoïdales (effectuées au moyen d’un système laser [1,2]), de différents nombres d’onde. À partir de l’étude de la décroissance (et surtout de la croissance) de la réponse en fonction du nombre d’onde, sur l’anneau de stockage UVSOR-II (Japon) nous montrons que ce type d’étude permet un nouveau point de comparaison théorie-expérience. En particulier nous montrons que les résultats obtenus apportent des informations liées à *l’interaction entre électrons*, c’est-à-dire l’ingrédient fondamental de l’instabilité. Ces informations –bien qu’indirectes– seraient inaccessibles par les méthodes d’observation habituelles.

Références

1. S. BIELAWSKI, C. EVAIN, T. HARA, M. HOSAKA, M. KATOH, S. KIMURA, A. MOCHIHASHI, M. SHIMADA, C. SZWAJ, T. TAKAHASHI, AND Y. TAKASHIMA, Tunable narrowband terahertz emission from mastered laser-electron beam interaction *Nature Physics*, **4**, 390 (2008).
2. C. EVAIN, C. SZWAJ, S. BIELAWSKI, T. HARA, M. HOSAKA, M. KATOH, S. KIMURA, A. MOCHIHASHI, M. SHIMADA, T. TAKAHASHI, M. HOSAKA, Y. TAKASHIMA, M. SHIMADA, S. KIMURA, M. KATOH, A. MOCHIHASHI, T. TAKAHASHI, T. HARA, Laser-induced narrowband coherent synchrotron radiation : Efficiency versus frequency and laser power *Phys. Rev. ST AB*, **13**, 090703 (2010).

Des dynamiques temporelles aux diagrammes spatio-temporels : défauts, cohérence de phase et observabilité

Dalila Amroun Aliane¹, Luc Pastur² & Christophe Letellier³

¹ LEQ, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP 32, Bab Ezzouar, 16111 Alger

² LIMSI-CNRS, Université de Paris Sud, BP 133, Bât 508, 91403 Orsay cedex

³ CORIA-UMR 6614, Université de Rouen, BP 12, 76801 St-Etienne du Rouvray cedex
amroun_dalila@yahoo.fr

Les systèmes spatialement étendus sont habituellement étudiés en termes de diagrammes spatio-temporels et l'analyse se limite le plus souvent aux premières instabilités [1]. La dynamique résultante est rarement interprétée en utilisant les portraits de phase reconstruits à l'aide d'une variable mesurée localement, et ce à cause de l'absence d'un théorème du type de celui de Takens pour les systèmes spatio-temporels. Cette contribution propose un premier lien explicite entre les portraits de phase reconstruits à partir de mesures locales et la dynamique des défauts qui peuvent être observés dans les diagrammes spatio-temporels [2], lorsque les différents oscillateurs sont en synchronisation de phase. Les dynamiques locales sont alors globalement équivalentes entre elles, ce qui rend possible une étude des relations entre la dynamique d'un oscillateur choisi arbitrairement et la dynamique des défauts qui peuvent être observés dans les diagrammes spatio-temporels.

Le système étudié est un laser monomode à élargissement homogène où la diffraction est prise en compte [3]. Comme c'est généralement le cas, la dynamique du système laser est étudiée via l'intensité laser : c'est cette variable qui est utilisée tant pour construire les diagrammes spatio-temporels que les portraits de phases d'un oscillateur donné. On montre que l'observabilité très pauvre fournie par cette variable influence non seulement la structure des portraits de phase mais aussi l'apparition des défauts. Plus précisément, on montre que la visite du voisinage d'un point singulier dans l'espace reconstruit, où un fort défaut d'observabilité est obtenu se traduit par la présence de défauts dans les diagrammes spatio-temporels, que les régimes soient quasi-périodiques ou chaotiques [2].

Dans le système laser, la présence des défauts résulte de la perte d'observabilité qui rend impossible la définition d'une phase. La manière dont la trajectoire visite le voisinage où la perte d'observabilité est très forte étant à l'image de la dynamique sous-jacente, les défauts sont distribués de manière quasi-périodique ou chaotique, en accord avec ce qui est observé localement. Toutefois, en utilisant une chaîne de systèmes de Rössler, nous montrons qu'il est possible d'avoir des dynamiques chaotiques associées à des diagrammes réguliers (sans défaut), lorsque le chaos est avec cohérence de phase et sans problème d'observabilité.

Références

1. M. C. CROSS & P. C. HOHENBERG, Pattern formation outside of equilibrium, *Reviews of Modern Physics*, **65** (3), 851-1123, 1993.
2. D. AMROUN ALIANE, L. PASTUR & C. LETELLIER, Defects in spatio-temporal diagrams and their relations to phase coherence and lacks of observability, *Physics Review E*, submitted
3. D. AMROUN, M. BRUNEL, C. LETELLIER, H. LEBLOND & F. SANCHEZ, Complex intermittent dynamics in large-aspect-ratio homogeneously broadened single-mode lasers, *Physica D*, **203**, 185-197 (2005).

Transition pointe-jet à l'interface huile/solution de polymères dans des systèmes microfluidiques

Duboin¹, Malloggi², Monti¹, & Tabeling¹

¹ MMN, UMR Gulliver CNRS-ESPCI 7083, 10 rue Vauquelin 75005 Paris, FRANCE

² LIONS, CEA Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex, FRANCE

aurelien.duboin@espci.fr

L'introduction de fluides complexes dans des systèmes microfluidiques a permis, depuis quelques années, d'étudier la rhéologie de solutions de polymères [1], et de micelles géantes [2], et ainsi de mettre en évidence des propriétés impossibles à observer avec les techniques traditionnelles. Nous analysons ici la dynamique de l'interface entre deux fluides en mouvement, dans une géométrie de flux convergents, où la phase externe est un fluide complexe et la phase interne de l'huile minérale. Nous avons pu observer pour la première fois, que l'interface entre ces deux phases présente une forme de pointe. La formation de pointe dans des flux bi-phasiques n'est pas un phénomène nouveau, de nombreuses études ayant été menées pour comprendre leur comportement [3] [4]; ici, on analyse ce phénomène dans un système microfluidique et une géométrie rectangulaire, dans des conditions particulièrement bien contrôlées.

Les expériences sont réalisées dans des systèmes microfluidiques présentant une géométrie de flux convergents, dont les canaux rectangulaires mesurent 50 μm de hauteur et typiquement 200 μm de largeur; et les écoulements sont observés au moyen d'un microscope inversé Leica. Le microsystème est fabriqué en polydiméthylsiloxane. Les microcanaux sont rendus hydrophiles par un traitement au plasma à oxygène, avant fermeture du système par une lamelle de verre. Le système est piloté par une source de pression (Fluigent) permettant de contrôler les flux avec une précision de 1 mbar.

Dans nos expériences, on injecte l'huile par le canal central, tandis que la solution de polymère (PolyOxyEthylène, POE) est injectée par les canaux latéraux. À basses pressions d'huile et de POE, on observe une interface huile/POE de forme circulaire, dans la partie centrale de la zone de convergence. Lorsqu'on augmente la pression externe, l'interface est déformée progressivement pour adopter la forme d'une pointe stationnaire; après une plus forte augmentation, l'interface subit une transition : le fluide interne se trouve entraîné, et émet un jet circulaire à partir de la pointe.

Nous avons suivi l'évolution de l'interface pour différentes pressions interne et externe. Dans le régime de pointe stationnaire, on met en évidence des lois de puissance au voisinage d'un point critique. Nous avons ensuite étudié la transition pointe-jet, et le jet formé. Nous observons une transition sous-critique, au delà de laquelle le diamètre du jet adopte une valeur fixée. En réduisant la hauteur du microsystème et la largeur de la zone de convergence, on peut produire des jets aussi fins que 10 μm , stables sur plus de 10^4 fois leur taille, sans contact avec les parois.

Pour conclure, dans cette contribution, nous montrons l'existence de pointes, leur caractère singulier, et décrivons la formation du microjet, notamment la nature sous critique de la transition qui n'avait jamais été montrée. Le phénomène présenté ici peut avoir des conséquences intéressantes dans l'industrie pétrolière, en particulier dans le domaine de la récupération assistée du pétrole.

Références

1. Degre, G. and Joseph, P. and Tabeling, P. and Lerouge, S. and Cloitre, M. and Ajdari, A. Rheology of complex fluids by particle image velocimetry in microchannels, *Applied Physics Letters*, 89, 2, 2009, 024104
2. Nghe, P. and Degré, G. and Tabeling, P. and Ajdari, A. High shear rheology of shear banding fluids in microchannels *Applied Physics Letters*, 93, 2008, 204102
3. Eggers, J. Air entrainment through free-surface cusps, *Physical Review Letters*, 86, 19, 2001, 4290-4293
4. Cohen, I. and Nagel, S. R. Scaling at the Selective Withdrawal Transition through a Tube Suspended above the Fluid Surface, *Physical Review Letters*, 88, 7, 2002, 074501

Nouvelles vagues solitaires à la surface de l'eau

Leroux Alphonse¹, Clamond Didier² et Rajchenbach Jean¹

¹ Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (CNRS-UMR 6622),

² Laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné (CNRS-UMR 6621)

Université de Nice – Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 2

Jean.Rajchenbach@unice.fr

Grâce à l'excitation paramétrique d'ondes de surfaces dans une cellule de Hele-Shaw, nous mettons en évidence deux nouveaux types de vagues solitaires. Il s'agit de vagues stationnaires très localisées, l'une étant de symétrie paire, l'autre de symétrie impaire. Elles diffèrent du 'clapotis' localisé mis en évidence en canal étroit par Wu *et coll.* [1], ou de l'oscillon qui apparaît lorsque l'excitation paramétrique est composée de deux fréquences [2]. De plus, à notre connaissance, aucune vague solitaire impaire n'avait été mis en évidence jusqu'à ce jour à la surface de l'eau.

Références

1. J. Wu, R. Keolian, and I. Rudnick, Phys. Rev. Lett. 52, 1421 (1984).
2. H. Arbell, J. and Fineberg, Phys. Rev. Lett. 85, 756 (2000).

Etude de la forme du front de fissure dans les plaque mince et épaisses par la méthode du champ de phase.

H. Henry

PMC, Ecole Polytechnique CNRS, 91128 PALAISEAU, France
herve.henry@polytechnique.edu

Le phénomène de propagation de la fissure implique à la fois une échelle microscopique (à laquelle la rupture du matériau se produit effectivement) et une échelle macroscopique (celle du problème mécanique qui induit de grandes déformations à la pointe de la fissure). Cette séparation d'échelle s'ajoute à la complexité des phénomènes impliqués dans la rupture à l'échelle microscopique et rend difficile la construction de modèles qui ne soient pas phénoménologiques.

Dans cette optique l'approche classique a été de considérer que la région de grande déformation où les lois de l'élasticité linéaire ne sont plus valables est réduite à un point. Ainsi le champ des déformations présente une singularité à la pointe de la fissure qui peut être décrite par trois nombres : les facteurs d'intensité des contraintes. La loi d'avancée de la fissure est alors une relation phénoménologique qui lie *a priori* les facteurs d'intensité des contraintes à la vitesse de la fissure[1]. Cette approche bien qu'adaptée à de nombreuses situations (fracture unique bidimensionnelle ou presque) présente comme défauts de ne pas décrire les instabilités qui ont lieu dans la zone de forte déformation et aboutissent au branchement par exemple. Par ailleurs son extension aux problèmes tridimensionnels n'est pas évidente.

Le modèle dit de champ de phase[2] (qui s'apparente aux modèles d'endommagement non local de la mécanique) permet de décrire les instabilités de type branchement[3] et la forme des fronts de fissure tridimensionnels[4]. Après une rapide présentation du modèle de champ de phase de la fracture, une de ses applications au problème de la fissure tridimensionnelle est présentée : la forme d'un front de fissure traversant une plaque élastique avec des bords libres est déterminée. Il apparaît que la forme du front de fissure est elliptique dans le cas des plaques minces et en forme de V dans le cas des plaques épaisses. Ce dernier résultat est en bon accord (tant qualitatif que quantitatif) avec les résultats théoriques de Bazant[5]. Des simulations préliminaires montrent par ailleurs que le modèle permet de reproduire des structures de branchement complexes similaires à ce qui peut-être observé expérimentalement.

Références

1. L. B. FREUND *Dynamic fracture Mechanics* Cambridge University Press (1990)
2. A. KARMA, D. KESSLER and H. LEVINE *Phase-Field Model of Mode III Dynamic Fracture* Physical Review Letters **87** p45501
3. H. HENRY *Study of the branching instability using a phase field model of inplane crack propagation*. Europhysics Letters **83** p160004
4. H. HENRY *Study of three-dimensional crack fronts under plane stress using a phase field model* Europhysics Letters **92** p46002
5. Z.P. Bazant and L.F. Estenssoro, *Surface singularity and crack propagation* International journal of solids and structure **15** pages 405-426

Instabilité micro-onde dans les paquets d'électrons relativistes sur anneaux de stockage

C. Evain¹, M.-E. Couprie¹, M.-A. Tordeux¹, A. Loulergue¹, R. Nagaoka¹, J. Barros¹, L. Manceron¹, G. Creff¹, P. Roy¹, & J.-B. Brubach

Synchrotron SOLEIL, Saint Aubin, BP 34, 91 192 Gif-sur-Yvette, France
`clement.evain@synchrotron-soleil.fr`

Résumé. Dans les centres de rayonnement synchrotron, l'interaction d'un paquet d'électrons avec le rayonnement qu'il émet entraîne des comportements dynamiques complexes. En particulier, des instabilités spatio-temporelles apparaissent typiquement lorsque la charge dépasse une valeur seuil, ce qui représente une limitation fondamentale dans les performances des anneaux de stockage (comme SOLEIL). En parallèle ces effets sont également étudiés car ils permettent d'obtenir une émission de rayonnement cohérent térahertz. Des expériences menées à SOLEIL, en combinaison avec des simulations numériques, montrent que cette instabilité, appelée instabilité micro-onde, est due à la formation par intermittence de micro-structures dans les paquets d'électrons. Ces travaux indiquent une dynamique riche, faisant intervenir des processus d'amplification de structures, d'amortissement et de diffusion dans un espace des phases (au sens thermodynamique) en rotation.

Dynamique du seuil d’excitabilité des neurones

J. Platkiewicz¹ & R. Brette^{2,3}

¹ Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, UPMC Univ Paris 06, UMR 7222, Paris, France

² Laboratoire Psychologie de la Perception, CNRS and Université Paris Descartes, Paris, France

³ Département d’Etudes Cognitives, Ecole Normale Supérieure, Paris, France

platkiewicz@isir.upmc.fr

Les neurones émettent des potentiels d’action selon une loi dite “tout-ou-rien” : une impulsion électrique est générée et propagée si l’intensité de la stimulation est suffisamment grande, c’est-à-dire au-delà du seuil d’excitabilité ; autrement aucun signal n’est propagé. Le mécanisme biophysique et la description mathématique de ce phénomène ont été établis pour l’axone du calamar par Hodgkin et Huxley [1]. A partir d’une analyse de type système dynamique, Fitzhugh et Nagumo ont proposé un modèle synthétique de système excitable, mimant en particulier le comportement dynamique du modèle Hodgkin-Huxley [2], [3].

Néanmoins, pour décrire la réponse d’un neurone cortical, le modèle Hodgkin-Huxley tel quel s’avère être inapproprié. Pour résoudre cela, il est possible d’adopter une modélisation multi-compartimentale, où chaque compartiment est associé à un ensemble d’équations de type Hodgkin-Huxley. Le modèle résultant donne lieu à un très grand nombre d’équations non-linéaires et est donc difficilement étudiable analytiquement. Une autre approche consiste à considérer des modèles à seuil explicite, dit intègre-et-tire, donnant une description beaucoup plus synthétique du comportement des neurones. Cependant, cette description phénoménologique ne prend pas en compte les caractéristiques biophysiques des neurones.

A partir d’une analyse similaire à celle de Fitzhugh et Nagumo, nous avons proposé une équation permettant de prédire la valeur du seuil d’excitabilité à partir de celle des variables biophysiques [4]. Motivés par des résultats expérimentaux *in vivo* récents, nous avons mis en évidence une variabilité et une dynamique significative du seuil dans des modèles multi-compartimentaux de neurones corticaux. Nous avons de plus montré que l’équation proposée permet de prédire avec précision ces observations. A partir de cette équation et d’une analyse biophysique plus détaillée, nous avons pu proposer un modèle bidimensionnel à seuil explicite permettant de reproduire le phénomène de dynamique du seuil [5]. Un aspect intéressant de ce modèle est que les non-linéarités du système n’interviennent plus que dans la condition de déclenchement des impulsions : les variables sont instantanément réinitialisées dès franchissement du seuil. Enfin, nous avons montré que ce modèle permet de prédire avec précision des données électrophysiologiques *in vitro* [6]. Un tel modèle constitue une voie possible pour réconcilier les deux approches de modélisation mentionnées.

Références

1. A. L. HODGKIN AND A. F. HUXLEY, A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve, *J Physiol*, **117**, 500-544 (1952).
2. R. FITZHUGH, Impulses and Physiological States in Theoretical Models of Nerve Membrane, *Biophys J*, **1**, 445-466 (1961).
3. J. NAGUMO, S. ARIMOTO AND S. YOSHIZAWA, An active pulse transmission line simulating nerve axon, *Proc IRE*, **50**, 2061-2070 (1962).
4. J. PLATKIEWICZ AND R. BRETTE, A threshold equation for action potential initiation, *PLoS Comput Biol*, **6** (7), e1000850. doi :10.1371/journal.pcbi.1000850 (2010).
5. J. PLATKIEWICZ AND R. BRETTE, Impact of Sodium Channel Inactivation on Spike Threshold Dynamics and Synaptic Integration, *Submitted* (2011).
6. C. ROSSANT, D. F. M. GOODMAN, J. PLATKIEWICZ AND R. BRETTE, Automatic fitting of spiking neuron models to electrophysiological recordings, *Front Neuroinformatics*, **4** (2), doi :10.3389/neuro.11.002 (2010).

Etude d'un canal stratifié différentiellement chauffé

Podvin¹ & Le Quéré²

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

Nous considérons l'écoulement de convection naturelle dans un canal vertical différentiellement chauffé et stratifié en deux dimensions. Nous avons dérivé une équation de Ginzburg-Landau à partir des équations du mouvement et comparé les prédictions du modèle avec les observations de la simulation numérique directe. Nous montrons que le modèle de Ginzburg-Landau permet de représenter correctement la dynamique de l'écoulement au-dessus de la bifurcation à des nombres de Rayleigh modérés. Suffisamment au-delà de la bifurcation, on observe un comportement fortement non-linéaire de l'écoulement avec des ondes cnoidales.

Etude expérimentale de l'écoulement de Couette-Taylor avec modulation de fréquence

M. Gassa Feugaing, O. Crumeyrolle & I. Mutabazi

LOMC, FRE 3102, CNRS-Université du Havre, B.P. 540, 76058 Le Havre Cedex
gassam@univ-lehavre.fr

L'excitation paramétrique dans des systèmes hydrodynamiques fait l'objet de plusieurs études [2]. Nous avons revisité l'étude de l'écoulement de Couette-Taylor avec modulation de fréquence de rotation du cylindre intérieur $\Omega(t) = \Omega_0 [1 + \epsilon \cos(2\pi ft)]$. Le cylindre extérieur de rayon extérieur $b = 5.08$ cm est fixe. Une solution aqueuse avec 30% de glycérol de viscosité cinématique ν est confinée dans l'espace annulaire de largeur $d = 0.62$ cm. Les paramètres de contrôle de l'écoulement sont : le rapport des rayons $\eta = 0.878$, le rapport d'aspect $\Gamma = 97$, le nombre de Taylor $Ta = (\Omega_0 ad/\nu) (d/a)^{1/2}$, l'amplitude relative de la modulation ϵ et la fréquence de modulation $\sigma = 2\pi f d^2/\nu$.

Nous avons mené des études pour des valeurs de ϵ comprises entre 0.10 et 10. Les valeurs de σ varient de 4 à 192, bien au delà des valeurs expérimentales et numériques disponibles dans la littérature [1,3,4]. La visualisation de l'écoulement a permis de recenser différents états en fonction des paramètres de contrôle. Pour les basses fréquences de modulation ($\sigma < 16.98$), l'écoulement de Couette modulé bifurque vers des rouleaux de Taylor non stationnaires avec dislocations. Ces vortex apparaissent et disparaissent sur une période. Ils deviennent plus intenses lorsque le nombre de Taylor augmente au-delà du seuil. Pour de grandes valeurs de Ta , la nature et l'ordre d'apparition de l'instabilité dépendent de l'amplitude de la modulation. Dans le cas de hautes fréquences ($\sigma \geq 16.98$), l'instabilité primaire se manifeste par l'apparition de rouleaux de Taylor stationnaires axisymétriques. Les rouleaux sont plus énergétiques lorsque la vitesse du cylindre intérieur est maximale puis leur intensité décroît entre deux périodes consécutives sans se dissiper entièrement. La modulation de fréquence diminue le seuil d'apparition de la première instabilité, cette déstabilisation est mesurée par le paramètre $\Delta(\epsilon, \sigma) = [Ta_c(\epsilon, \sigma) - Ta_c(\epsilon = 0)]/Ta_c(\epsilon = 0) < 0$.

Ces résultats sont en accord avec les travaux expérimentaux de [4] et les données numériques de [1,3]. Pour de grandes valeurs de l'amplitude de modulation, la déstabilisation est indépendante de la fréquence de modulation, le nombre de Taylor critique $Ta_c(\epsilon, \sigma)$ augmente avec la fréquence de modulation jusqu'à une valeur plateau. Ceci est en accord avec les prédictions numériques de [3]. La fréquence des motifs ne dépend ni du nombre de Taylor, ni de l'amplitude de la modulation ; elle est synchronisée à la fréquence de modulation. Le nombre d'onde axial du motif diminue à la fois avec l'augmentation du nombre de Taylor et de la fréquence de modulation, tandis que le nombre d'onde azimutal augmente.

Références

1. C.F. BARENGHI & C.A. JONES, Modulated Taylor-Couette flow, *J. Fluid. Mech.*, **208**, 127-160, (1989).
2. S. H. DAVIS, The stability of time-periodic flows, *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, **8**, 57-74 (1976).
3. A. GANSKE, T. GEBHARDT & S. GROSSMANN, Taylor-Couette flow with modulated inner cylinder velocity, *Phys. Lett. A*, **192**, 75-78 (1994).
4. T.J. WALSH & R.J. DONNELLY, Stability of modulated Couette flow, *Phys. Rev. Lett.*, **58**, 2543-2546, (1988a)

Instabilités centrifuges dans un écoulement de cavité : décomposition en modes dynamiques

Ch. Douay^{1,2}, F. Gueniat^{1,3}, L. Pastur^{1,3}, F. Lusseyran¹, & Th. Faure^{1,2}

¹ LIMSI CNRS B.P 133 Bât.508 rue J. Von Neumann 91403 Orsay

² Université Pierre & Marie Curie, Université Pierre et Marie Curie 4 place Jussieu 75005 Paris

³ Université Paris Sud 11, 91405 Orsay Cedex

christelle.douay@limsi.fr

On s'intéresse au développement d'instabilités centrifuges dans un écoulement cisailé de cavité ouverte. Ces instabilités, de type Taylor-Görtler, sont engendrées par la courbure de la recirculation intracavitaire et forment, à saturation, des paires de tourbillons toriques contrarotatifs qui se greffent à l'écoulement de base. La dynamique de ces structures dépend des paramètres de l'expérience — nombre de Reynolds basé sur la profondeur et rapport de forme —, et révèle, pour certaines conditions, une dérive des tourbillons vers les bords latéraux de la cavité sous l'effet du pompage d'Eckman en paroi. Dans les spectres de Fourier obtenus par la mesure locale d'une composante de la vitesse dans la couche cisailée, cette dynamique est associée aux très basses fréquences, a contrario des oscillations auto-entretenues de la couche de mélange qui correspondent aux hautes fréquences de l'écoulement (typiquement de l'ordre d'une dizaine de Hz).

Pour isoler ces structures et déterminer précisément les fréquences associées à leur dynamique, nous avons utilisé la technique dite de « décomposition en modes dynamiques », récemment introduite dans la communauté de la mécanique des fluides [1,2]. La décomposition est appliquée aux champs de vitesse ou du moment cinétique normalisé (critère Γ_2).

La décomposition en modes de Koopman repose sur l'hypothèse de l'existence d'un opérateur d'évolution entre les réalisations successives d'une observable (ici le champ de vitesse ou le champ Γ_2). Les modes propres (de Koopman) de cet opérateur, qui isolent des structures spatiales du champ considéré, et les fréquences qui leur sont associées, sont caractéristiques de l'écoulement. Nous présentons sur cette affiche les modes de Koopman associés aux tourbillons de Taylor-Görtler et présentons les caractéristiques dominantes de leur dynamique.

Références

1. P. Schmid, *J. Fluid Mech.* **656**, pp.5-28 , 2010
2. C. Rowley et al., *J. Fluid Mech.* **641**, pp. 115-127, 2009

Opérateur de Koopman et identification de structures cohérentes : application à un écoulement de cavité

F. Guéniat¹, J. Basley¹, C. Douay¹, L. Pastur¹, F. Lusseyran¹, & T. Faure¹

LIMSI CNRS
BP 133
91403 Orsay CEDEX, France
florimond.gueniat@limsi.fr

Un système physique ouvert possède, potentiellement, un nombre infini de degrés de liberté. Néanmoins les écoulements sont le plus souvent organisés autour de diverses structures cohérentes, jouant un rôle décisif dans la dynamique. Ces structures invitent à chercher des moyens de réduction de la dimension effective des écoulements, et ainsi conserver la validité des approches orientées vers l'analyse de système dynamique réduit.

Une idée classique est de rechercher une base vectorielle, constituée de modes, capable de décrire les réalisations des champs mesurés. Ces méthodes types sont par exemple la décomposition en modes de Fourier, la décomposition suivant les axes principaux (modes POD), des champs solutions des équations de Navier-Stokes linéarisées autour d'un état de base stationnaire (modes globaux). Récemment, Schmid [2] et Rowley [1] ont proposé une nouvelle méthode de décomposition, basée sur un opérateur décrit par Koopman, permettant théoriquement d'extraire directement les informations de la dynamique intrinsèquement non-linéairement saturée de l'écoulement.

Dans cette contribution, nous présentons la méthode en détail et l'illustrons sur un écoulement de cavité cisailé. Notamment, nous vérifions une conjecture de Mezic et Rowley [1] selon laquelle, lorsque la dynamique évolue sur un attracteur, les modes de Koopman convergent vers les modes spatiaux obtenus par transformée de Fourier discrète en temps.

Références

1. C.W. ROWLEY AND AL., Spectral analysis of non linear flows *J. Fluid Mechanics*, **641** (1), 115-127 (2009).
2. P. SCHMID, Dynamic mode decomposition of numerical and experimental data *J. Fluid Mechanics*, **656** (1), 5-28 (2010).
3. J. BASLEY, L. PASTUR, F. LUSSEYRAN, T. FAURE, N. DELPRAT, Investigation of the spatial organization of spectral dynamics in an incompressible cavity flow using time-resolved high-speed PIV *8th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Melbourne, Australia*, (2009).

Solution périodique exacte d'une dynamo non-linéaire pour un écoulement Keplerien

J. Herault¹ & F. Rincon²

¹ Laboratoire de physique statistique ENS Paris

² Laboratoire d'astrophysique Toulouse-Tarbes

jherault@lps.ens.fr

La génération de structures cohérentes magnétiques dans les écoulements de fluides conducteurs d'électricité est depuis longtemps une problématique fondamentale en magnétohydrodynamique, qui a été la plupart du temps étudiée en terme d'analyse linéaire en champ moyen (Moffat 1977). L'analyse des processus dynamo via l'étude de structures cohérentes est une voie prometteuse (Rincon 2007) pour l'étude des écoulements cisailés et alternative aux méthodes d'analyse en champ moyen. Le problème de la dynamo-magnétorotationnelle (MRI Balbus 1998) pour un écoulement Keplerien offre un cadre particulièrement intéressant pour démontrer la pertinence de la description en terme de structures cohérentes.

Dans ce résumé, nous exposons la découverte numérique de la première solution cyclique exacte d'une dynamo 3D non-linéaire à nombre de Reynolds cinétique et magnétique modérés pour un écoulement Keplerien. Nous avons utilisé une approche numérique type "shearing box" pour les écoulements en rotation différentielle.

Les précédents travaux ont montré que deux modes étaient nécessaires à la dynamo (Rincon 2008) : un champ magnétique grande échelle support de la MRI ainsi que des ondes de cisaillement entretenant le champ magnétique grande échelle. Nous démontrons que l'ajout d'un nouveau mode médiateur axisymétrique régénérant les ondes de cisaillement, permet et suffit à l'auto-entretien de la dynamo.

Afin de restreindre la dynamique turbulente du système, nous avons initié et forcé numériquement le système à évoluer dans une sous-symétrie introduite dans un article de Nagata (1986). Nous avons alors convergé vers un cycle limite en modifiant le rapport de forme du volume de simulation afin de permettre l'accrochage entre la fréquence de cisaillement des ondes et la fréquence du champ magnétique grande échelle. Finalement, un solveur Newton-Krylov nous a assuré la convergence précise vers un cycle limite.

L'identification du cycle nous a permis de comprendre l'interaction des trois modes physiques cités précédemment et donc de décrire précisément un processus dynamo en terme de structure non-linéaire cohérente. Le cycle est caractérisé par une hélicité moyenne quasiment nulle et une relation non-linéaire entre la force électromotrice et le champ magnétique grande échelle. Ces deux points montrent que le formalisme en terme de dynamo α est complètement inapproprié pour ce type de dynamo. De plus, ce cycle montre des propriétés de transport de moment cinétique comparables aux valeurs obtenues avec des simulations de configurations similaires (Fromang 2008), résultats prometteur pour le problème du transport dans les disques d'accrétion.

Références

- Moffat H. K. , *Magnetic field generation in electrically conducting fluids* (1977)
Rincon, F. and Ogilvie, G. I. and Proctor, M. R. E., *Physical Review Letters*, (2007)
Balbus, S. A. and Hawley J. F. , *Rev. Mod. Phys.*, (1998)
Rincon, F. and al. , *Astronomische Nachrichten*, (2008)
Nagata, M., *Journal of Fluid Mechanics*, (1986)
Fromang, S. and Papaloizou, J. and Lesur, G. and Heinemann, T. , *A & A*, (2008)

Bifurcation de H-planforms dans le plan hyperbolique en relation avec un modèle de perception des textures d'images par le cortex visuel

Pascal Chossat¹ & Grégory Faye²

¹ laboratoire J-A Dieudonné, UMR CNRS 6618, UNSA, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 02

² Laboratoire NeuroMathComp, INRIA/ENS Paris/CNRS, 2004 Route des Lucioles, 06902 Sophia-Antipolis, France

pascal.chossat@unice.fr

Je présente de nouveaux résultats obtenus en collaboration avec Grégory Faye et Olivier Faugeras (projet NeuroMathComp, www-sop.inria.fr/neuromathcomp) sur la bifurcation de structures périodiques dans le plan hyperbolique. La relation avec le traitement des images reçues par la rétine dans le cortex visuel provient de deux hypothèses. L'une, expérimentale, est que chaque portion d'image suffisamment petite est traitée par une petite portion du cortex visuel (aire V1) qu'on appelle une hyper-colonne. L'autre hypothèse, "naturelle", est que les textures locales de l'image sont caractérisés de façon satisfaisante par le *tenseur de structure* de l'image que l'on a introduit dans ce contexte dans un article paru dans *PLoS Computational Biology* (2009), voir aussi Chossat, Faugeras, *Compte-Rendus RNL 2010*. Dans cette présentation on se focalisera sur la partie "traitement mathématique" du problème de bifurcation. On rappelle ici les caractéristiques essentielles de la modélisation à l'origine du problème. L'espace \mathcal{V} des tenseurs de structure est un espace riemannien feuilleté par des plans hyperboliques. Le potentiel d'action d'une hyper-colonne satisfait une équation intégro-différentielle qu'il est naturel de supposer invariante (en première approximation) par le groupe G des isométries de cet espace riemannien, dans le cas où cette hyper-colonne est isolée de son environnement et ne reçoit pas d'input de la rétine. Mais même dans ce cas, si le gain de la réponse nonlinéaire à une fluctuation est suffisant, une instabilité peut se développer et donner lieu à un "pattern" du potentiel d'action sur \mathcal{V} . C'est une origine possible des hallucinations. Si de plus on cherche des solutions de cette équation qui sont "spatialement" périodiques, c'est-à-dire invariantes par l'action d'un sous-groupe discret H du groupe des isométries de \mathcal{V} tel que le quotient \mathcal{V}/H soit un espace compact, alors on se ramène à une situation où les méthodes classiques de la théorie des bifurcations (réduction de Lyapounov-Schmidt, variété centrale...) s'appliquent et de plus on peut réduire l'étude à celle d'un problème posé sur le plan hyperbolique. Nous appelons les solutions de ce type qui satisfont au "lemme de bifurcation équivariante" (donc qui ont une propriété d'universalité pour les problèmes de bifurcation posés dans le plan hyperbolique) des *H-planforms*. Le groupe H , contrairement au cas euclidien, est d'ordre fini et dépend de façon cruciale du polygône fondamental qui engendre le pattern périodique. Nous avons déterminé toutes les H-planforms dans le cas où ce polygône est un octogone régulier (le cas le plus simple dans cette classe de problèmes). Nous avons pu calculer numériquement un certain nombre d'entre elles et faire ainsi apparaître leur structure (symétrie résiduelle) interne.

A non-linear sigma model to represent two-component Bose-Einstein condensates

Peter Mason¹ & Amandine Aftalion²

¹ IJLRDA, UPMC, Paris VI

² LMV, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines

mason@dalembert.upmc.fr

Bose-Einstein condensates possess many interesting and intriguing properties and phenomena. They are new states of matter and represent quantum mechanical effects on a macroscopic scale. In the mean-field regime in which all bosons occupy a single spatial mode, the Bose-Einstein condensate can be described in terms of a macroscopic order parameter. A cubic non-linear Schrödinger equation encapsulates well many aspects of this order parameter, particularly the dynamics and energetic properties. Being inspired by the many experimental works currently produced in the domain, mathematicians and physicists have recently sought to better explain some of the remarkable reported phenomena.

A complete classification of the ground states and topological defects of two-dimensional twocomponent condensates is reported when the orders of the intracomponent coupling strengths, the intercomponent coupling strength and particle numbers are varied and rotation is taken within the physically permissible range. Numerical phase diagrams are produced which show the boundaries between the regions of co-existence, spatial separation and symmetry breaking. Defects such as triangular coreless vortex lattices, square coreless vortex lattices and giant skyrmions are classified. Various aspects of the phase diagrams can be explained in terms of a non-linear σ -model that represents the condensate in terms of the total density.

Un équivalent particulière de l'équation de Kuramoto-Sivashinsky

François James¹, Phung Thanh-Tam¹, & Pascal Brault²

¹ MAPMO, CNRS & Université d'Orléans, BP 6759, 45067 Orléans Cedex 2

² GREMI, CNRS & Université d'Orléans, BP 6744, 45067 Orléans Cedex 2

francois.james@univ-orleans.fr

L'équation de Kuramoto-Sivashinsky est couramment utilisée dans divers modèles de croissance d'interface. En dimension 1 d'espace, elle prend la forme suivante, où h est la hauteur de l'interface :

$$\partial_t h + \frac{|\partial_x h|^2}{2} = -\partial_{xx} h - \partial_{xxxx} h. \quad (1)$$

Il est loisible d'interpréter le gradient en espace de la solution, $u = -\partial_x h$, comme un champ de vitesse, et de suivre une population de particules qui évoluent en suivant ce champ. On constate alors clairement [1] que la dynamique comporte une partie "particules collantes", couplée à des oscillations. L'enjeu est ici de proposer un système de particules dont les trajectoires sont analogues, et qui, moyennant certains scalings, redonne l'équation (1) à la limite. Un tel système peut s'obtenir à l'aide d'une force dépendant des vitesses des particules, et non de leurs positions, comme dans [2].

Références

1. T. BORH, A. PIKOVSKY, Anomalous Diffusion in the Kuramoto-Sivashinsky Equation, *Physical review letters*, **70** (1993), n° 19, 2892-2895
2. M. ROST, J. KRUG, A particle model for Kuramoto-Sivashinsky equation, *Physica D*, **88** (1995), 1-13

Identification des paramètres du modèle de Lorenz en contexte perturbé, par une approche de stratégie d'évolution

Mangiarotti¹ & Schoenauer²

¹ CESBIO, UMR 5126 UPS/CNRS/CNES/IRD, Observatoire Midi-Pyrénées, 18 Av. Edouard Belin, 31401 TOULOUSE, France

² INRIA Saclay Ile-de-France, LRI, Université Paris Sud, 91405 Orsay cedex, France
`sylvain.mangiarotti@cesbio.cnes.fr`

Un algorithme de stratégie d'évolution est testé à l'identification d'un modèle chaotique de petite dimension. Le modèle de Lorenz est choisi comme banc d'essai. La structure du modèle est supposée connue et la variable x est prise comme seule source d'information complémentaire. Différentes approches d'identification sont considérées, basées sur une optimisation directe ou adaptative et en appliquant (ou non) un ajustement de trajectoire par un schéma très simple d'assimilation de données. Les approches sont comparées en termes de robustesse au bruit. Les résultats sont analysés en fonction du type de perturbation appliqué (bruits additif, multiplicatif ou combinés) et de la taille des séries utilisées en entrée.

Étude des bifurcations d'un circuit RLC non linéaire soumis à une excitation sinusoïdale

Mohamed-Hédi AMRI

École Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace
12 rue des Frères Lumières, F 68093 MULHOUSE CEDEX, France.
mohamed-hedi.amri@uha.fr

Il s'agit d'étudier les phénomènes de bifurcations des solutions périodiques d'un circuit RLC non linéaire en faisant varier l'une des conditions initiales. Ce travail fournit une classification basée sur l'analyse du spectre et la section de Poincaré.

Dans la première partie une étude de l'équation différentielle régissant le comportement du circuit RLC à inductance saturable a été élaborée pour pouvoir mettre en évidence la diversité et la non unicité des réponses de celui-ci.

Une diversité de phénomènes de bifurcations, dans la deuxième partie, a été abordée en utilisant la méthode de la section de Poincaré.

Références

1. Amri M., Benrejeb M. *Modélisation par approche neuronale des anomalies de fonctionnement d'un circuit RLC non linéaire*. JTEA'06 Hammamet, 2006.
2. Khammari H. *Sur le comportement complexe des oscillations forcées des systèmes non linéaires soumis à une excitation sinusoïdale*. Thèse de Doctorat, E.N.I.T, Tunis, 1999.
3. Benrejeb M. *Synchronisation des systèmes continus non linéaires en régime forcé*. Thèse de Doctorat Ingénieur, Lille, 1976.
4. Krishnaiah J., Kumar C.S., Faruqi M.A. *Modelling and control of chaotic processes through their bifurcation Diagrams generated with the help of recurrent neural Network models : Part 1 simulation studies*. Journal of Process Control 16, pp 53-66, 2006.
5. Khammari H., Carcasses J.P., Benrejeb M. *Sur une structure particulière de bifurcations des solutions périodiques d'un circuit RLC série*. pp224-231, JTEA-Hammamet, 1997.
6. Cannas B., Cincotti S., Marchesi M., Pilo F. *Learning of Chua's circuit attractors by locally recurrent neural networks*. Chaos, Solitons and Fractals 12, pp 2109-2115, 2001.

Des mouvements récurrents de Birkhoff aux régimes quasi-périodiques

Jean-Marc Ginoux¹ & Christophe Letellier²

¹ Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Institut de Mathématiques de Jussieu (UMR 7586), 175, rue du Chevaleret, F-75013 Paris, France

² CORIA UMR 6614, Université de Rouen, Av. de l'Université, B.P. 12, F-76801 Saint-Etienne du Rouvray cedex, France

jmginoux@orange.fr

Les régimes quasi-périodiques — cas particulier des mouvements récurrents de Birkhoff — sont souvent observés tant dans les systèmes conservatifs que les systèmes dissipatifs. Leur découverte s'est réalisée dans le cadre des techniques d'approximation des solutions par des séries, une approche naturellement employée en mécanique céleste. A travers différents développements autour de ces régimes quasi-périodiques, nous montrons que non seulement une école française s'est développée dans le sillage des travaux de Henri Poincaré, mais encore qu'un pont entre, d'une part, les mathématiques et la mécanique céleste (cas des systèmes conservatifs) et, d'autre part, la radiotechnique (cas des systèmes dissipatifs) a été établie notamment par Hervé Fabre, Nikolai Krylov et Nikolai Bogolyobov. L'étude des régimes périodiques se situe à l'interface entre dynamiques conservatives et dissipatives, et conduisent respectivement au théorème KAM et au chaos.

'Venting' dans un milieu granulaire immergé

Valérie Vidal, Germán Varas & Jean-Christophe Géménard

Laboratoire de Physique, Université de Lyon, Ecole Normale Supérieure de Lyon - CNRS

46 Allée d'Italie, 69364 Lyon cedex 07, France

valerie.vidal@ens-lyon.fr

L'émission de gaz ou de fluides en surface des sédiments, dans les fonds océaniques, est un phénomène répandu connu sous le nom de 'venting'. Les gaz émis sont principalement des hydrocarbures, dont l'extraction présente des intérêts économiques évidents [1,2]. D'un point de vue biologique, l'écosystème des fonds marins près de ces points d'émission bénéficie d'un environnement privilégié pour se développer, grâce aux minéraux apportés par ces émissions [3]. D'un point de vue géophysique, enfin, la compréhension des régimes d'écoulement de fluide à travers une couche de sédiments est fondamentale, car ils déterminent, par exemple, les conditions de liquéfaction des sols (glissements de terrain) ou les éruptions de boue [1,4].

La formation d'instabilités lors d'écoulement de fluide dans une couche de grains immergés (système diphasique) a largement été étudiée, tant du point de vue physique que géophysique [5,6,7]. Ces études ont montré que les canaux formés à travers la couche de grains ne sont pas stationnaires, mais migrent au cours du temps [8] et finissent, à temps long, par fluidifier le milieu [5]. L'injection de gaz dans un milieu granulaire immergé (système triphasique) montre une dynamique plus complexe qui, à l'heure actuelle, n'est pas encore entièrement caractérisée.

Nous présentons ici l'étude de la dynamique de remontée et d'émission de gaz dans un milieu granulaire immergé, lorsque de l'air est injecté de manière ponctuelle à la base d'un tel système. Dans un système 3D (cuve cylindrique), nous avons caractérisé la localisation des émissions de gaz en surface du milieu. Dans un système 2D (cellule de Hele-Shaw), nous avons effectué une analyse des chemins explorés lors de la remontée de l'air. Un modèle analytique et numérique permet d'expliquer, aux temps longs, la géométrie de la zone fluidifiée comme un phénomène de diffusion [9]. Enfin, nous présentons des résultats préliminaires obtenus en 2D, expérimentalement et numériquement, sur l'évolution de la géométrie de la zone fluidifiée lorsque l'on change la gravité dans le système ('tilt' de la cellule expérimentale).

Références

1. T. MÖRZ, E. A. KARLIK, S. KREITER & A. KOPF, An experimental setup for fluid venting in unconsolidated sediments : New insights to fluid mechanics and structures, *Sedimentary Geology*, **196**, 251-267 (2007).
2. L. NAUDTS *et al.*, Anomalous sea-floor backscatter patterns in methane venting areas, Dnepr paleo-delta, NW Black Sea, *Marine Geology*, **251**, 253-267 (2008).
3. G. BOHRMANN *et al.*, Widespread fluid expulsion along the seafloor of the Costa Rica convergent margin, *Terra Nova*, **14**, 69-79 (2002).
4. E. G. FLEKKØY, A. MALTHER-SØRENSSEN & B. JAMTVEIT, Modeling hydrofracture, *Journal of Geophysical Research*, **107**, 2151 (2002).
5. T. WILHELM & K. WILMAŃSKI, On the onset of flow instabilities in granular media due to porosity inhomogeneities, *International Journal of Multiphase Flow*, **28**, 1929-1944 (2002).
6. P. RIGORD, A. GUARINO, V. VIDAL & J.-C. GÉMÉNARD, Localized instability of a granular layer submitted to an ascending liquid flow, *Granular Matter*, **7**, 191-197 (2005).
7. F. ZOUESHTIAGH & A. MERLEN, Effects of a vertically flowing water jet underneath a granular bed, *Physical Review E*, **75**, 056313 (2007).
8. A. MAZZINI *et al.*, Complex plumbing systems in the near subsurface : Geometries of authigenic carbonates from Dolgovskoy Mound (Black Sea) constrained by analogue experiments, *Marine and Petroleum Geology*, **25**, 457 (2008).
9. G. VARAS, V. VIDAL & J.-C. GÉMÉNARD, Venting dynamics of an immersed granular layer, *Physical Review E*, in press (2011).

Le volant de badminton

Cohen Caroline^{[1][2]} & Darbois Texier Baptiste^{[1][2]}

¹ PMMH, ESPCI, 10 rue vauquelin 75005 Paris

² LadHyx Ecole polytechnique 91128 Palaiseau Cedex

baptiste.darbois@espci.fr

Le volant de badminton est un objet à part entière dans le milieu du sport. En effet, sa forme évasée ne trouve pas d'équivalent dans les autres sports. Dans l'idée de comprendre la géométrie du volant nous nous sommes intéressés à sa dynamique. Cette dynamique est riche car les forces aérodynamiques mises en jeu sont importantes vis-à-vis du poids du volant. De plus ces forces ne s'appliquent pas au centre de gravité du volant ce qui oblige à ne pas le considérer comme un point matériel et à évaluer son mouvement propre. L'étude expérimentale des trajectoires du volant, de son impact sur la raquette ainsi que des mesures en soufflerie nous ont permis de comprendre en quoi un volant est optimisé pour le jeu de badminton.

Frottement de surfaces texturées et perception tactile

Georges Debrégeas

Laboratoire de Physique Statistique, ENS/CNRS/UPMC

Lorsque nous explorons tactilement une surface, l'information dont dispose le système nerveux est entièrement contenue dans les vibrations de la peau induite lors du frottement du doigt sur la surface. Ces vibrations sont converties en signaux nerveux par des terminaisons mécanoréceptrices qui se trouvent environ 1mm sous la surface de la peau. Afin d'étudier ce processus, nous avons développé un dispositif biomimétique du doigt humain sous la forme d'un ensemble de micro-capteurs de force de type MEMS recouvert d'une membrane élastique. Ce doigt artificiel est frotté contre des surfaces micro-texturées. Ce dispositif nous a permis de mesurer la fonction de réponse d'un tel système qui lie topographie du substrat et signal de force sous-cutané. Nous avons en particulier établi la dépendance de cette fonction avec les conditions d'exploration, et notamment la position du capteur de force au sein du contact substrat/peau. Nous avons par ailleurs identifié un rôle possible des empreintes digitales : nous avons montré qu'une structuration régulière de la surface de la peau conduisait à l'amplification sélective de modulations des contraintes cutanées à une fréquence particulière. Dans les conditions naturelles d'exploration tactile, cette fréquence correspond au maximum de sensibilité des corpuscules de Pacini, les mécanorécepteurs impliqués dans la perception des textures fines.

Élastocapillarité : une goutte d'eau peut-elle déformer une structure flexible ?

José Bico

PMMH, ESPCI

Bien que négligeables à grande échelle, les forces capillaires prédominent lorsque l'échelle sub-millimétrique des Micro-Systèmes-Electro-Mécaniques (MEMS) sont considérés. Nous décrirons diverses situations dans lesquelles les forces capillaires déforment des structures flexibles. Nous définirons les différentes échelles pertinentes dans les problèmes d'élasto-capillarité. Nous nous intéresserons particulièrement au cas de structures élancées (lamelles, tiges, feuilles) et décrirons comment est fixée la taille d'une mèche de cheveux humides, à quelle condition une brindille peut traverser une interface ou encore l'évolution d'une goutte d'eau déposée sur une feuille. Ces résultats peuvent se généraliser à des situations similaires impliquant une énergie d'adhésion ou de fracture, ouvrant ainsi la gamme d'applications possibles : systèmes biologiques, élaboration de micro-structures tridimensionnelles, formation de cloques dans des films minces.

Prédire les catastrophes ?

Yves Pomeau¹, Martine Le Berre², Jean-Louis Le Mouél³, Clement Narteau³ & Patrice Fromy³

¹ Department of Mathematics, University of Arizona, Tucson, USA.

² Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay ISMO-CNRS, Univ. Paris-Sud, Bat. 210, 91405 Orsay Cedex.

³ Institut de Physique du Globe de Paris, 1 rue Jussieu, 75 238 Paris, Cedex 05.

⁴ Direction Informatique, Univ. Paris-Sud, Bat. 210, 91405 Orsay Cedex.

Martine.le-berre@u-psud.fr

Nous proposons une description générique de systèmes dynamiques déterministes, puis stochastiques, sujets à une transition d'amplitude finie lorsqu'un paramètre à variation lente traverse un seuil critique. Un tremblement de terre dû au mouvement lent des plaques tectoniques est un exemple d'une telle transition, qui n'est pas induite par une catastrophe externe, mais par une dynamique intrinsèque (celle du glissement lent/seculaire des plaques) à laquelle s'ajoute toujours un petit bruit extérieur de sources très diverses (variation de la pression intersticielle, chocs des vagues sur les côtes, etc.). Nous montrons que la réponse du système à ces sources de bruit, qui est en géophysique le signal microsismique, peut être utilisée pour prédire la catastrophe.

Négligeant tout d'abord le bruit, le glissement des plaques conduit à des contraintes seuils induisant un glissement rapide, le tremblement de terre. Ce phénomène montre clairement deux échelles de temps, celle (lente) de la tectonique et celle (rapide) du tremblement de terre lui-même. Ceci donne l'idée de le représenter par un flot de gradient subissant une bifurcation noeud-col lors de la variation d'un paramètre. Dans une bifurcation noeud-col deux équilibres, l'un stable, l'autre instable se confondent pour faire disparaître ensuite localement tout équilibre, au moins en codimension 1, ce qui conduirait génériquement à une divergence de la solution. Faisant varier maintenant très lentement le paramètre de contrôle, on obtient une dynamique qui reste "fortement" non autonome au voisinage de la transition. Approchant cette dynamique par un mouvement aristotélien très amorti dans un potentiel localement cubique, on obtient une équation du mouvement locale sans paramètre, intégrable, non-autonome et non linéaire. Nous étudions cette transition et son raccordement avec la dynamique lente aux temps longs : la présence d'un nouvel état d'équilibre stable impose d'introduire un terme non linéaire supplémentaire qui permet d'éliminer la divergence, mais introduit un paramètre sans dimension.

Dans un cadre général ce modèle permet de se poser de façon rationnelle la question de la possibilité de prédire la transition par des observations. Dans de nombreux cas, dont celui de la tectonique, un bruit extérieur existe, aux effets souvent détectables, ce qui conduit à étudier un système stochastique. Nous montrons que la réponse du système à ces sources de bruit (le signal microsismique) subit des changements importants juste avant la transition : son amplitude augmente, et sa fréquence typique devient plus basse, en raison du rappel de plus en plus faible vers l'équilibre quand la transition noeud-col approche. Dans le cas de la tectonique des plaques la grandeur caractéristique est le déplacement horizontal relatif des deux bords de la faille, et l'existence d'un nouvel état d'équilibre introduit un paramètre sans dimension très petit, qui peut être estimé comme le rapport de la durée d'un tremblement de terre à l'intervalle entre séismes. On mesure le bruit microsismique avec des accéléromètres très sensibles, mesures dont on peut corrélérer le résultat avec le déplacement GPS lent géodésique. Les données semblent bien faire apparaître un lien entre bruit microsismique et déplacement GPS. On peut penser à d'autres applications de notre modèle de transition "catastrophique" par dynamique intrinsèque, par exemple pour certaines éruptions volcaniques ou des phénomènes socio-politiques, que l'on évoquera.

Cascade inverse et turbulence d'ondes en déclin

Luc Deike & Eric Falcon

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), Université Paris Diderot, CNRS UMR 7057

10 rue A. Domon et L. Duquet 75 013 Paris, France, UE

luc.deike@univ-paris-diderot.fr ; eric.falcon@univ-paris-diderot.fr

La turbulence d'ondes étudie les propriétés statistiques et dynamiques d'un ensemble d'ondes en interaction non linéaire. Son domaine d'application est très large : ondes internes ou de surface en océanographie, ondes dans les plasmas en astrophysique, ondes de spins dans les solides, ondes non linéaires en optique [1]. Contrairement à la turbulence usuelle, la théorie de turbulence d'ondes, développée à la fin des années 60, permet d'obtenir des résultats analytiques dont le plus marquant est sans doute l'existence de solutions stationnaires pour le spectre de l'amplitude des ondes. L'expression de ce spectre est en général une loi de puissance de l'échelle [1], de façon similaire à la cascade phénoménologique de Kolmogorov en turbulence usuelle. Des expériences de turbulence d'ondes à surface d'un fluide ont récemment mis en évidence les cascades *directes* d'énergie d'ondes gravito-capillaires [2].

L'existence d'une cascade *inverse* en turbulence d'ondes est prédit [1,3] mais n'avait jamais été observée expérimentalement jusqu'à présent. Nous présenterons la première observation d'une cascade inverse en turbulence d'ondes de gravité des petites vers les grandes échelles.

Par la suite, nous présenterons la turbulence d'ondes en déclin, c'est-à-dire une fois que l'émission d'ondes est arrêtée. Nous montrons expérimentalement que le spectre de la turbulence d'ondes capillaires en déclin décroît de façon auto-similaire. L'exposant du spectre dans ce régime instationnaire est trouvé proche de celui en régime stationnaire de la turbulence d'ondes capillaires. Nous comparerons ces résultats aux prédictions [4] de la turbulence d'ondes en déclin, et à de précédentes expériences menées dans des systèmes différents [5,6].

Références

1. S. Nazarenko *Wave Turbulence*, (Lecture Notes in Physics Vol. 825, Springer, Berlin, 2010) ; V. E. Zakharov, G. Falkovich & V. S. L'vov, *Kolmogorov Spectra of Turbulence I : Wave Turbulence* (Springer, Berlin, 1992).
2. E. Falcon, C. Laroche & S. Fauve, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 094503 (2007) ; C. Falcón, E. Falcon, U. Bortolozzo & S. Fauve, *EPL* **86**, 14002 (2009) ; E. Falcon, *Discret. Contin. Dyn. Syst. B* **13**, 819 (2010).
3. A. O. Korotkevitch, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 074504 (2008)
4. G. E. Falkovich, I. Ya. Shapiro, L. Shtilman, *Europhys. Lett.* **29**, 1 (1995) ; G. V. Kolmakov, *JETP Letters* **83**, 58-63 (2005)
5. G. V. Kolmakov *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 074501 (2004)
6. B. Bigot, S. Galtier, H. Politano, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 074502 (2008)

Calculateur inspiré par le cerveau : démonstration en photonique par une dynamique non linéaire à retard

Laurent Larger, Miguel C. Soriano, Daniel Brunner, Ingo Fischer, & Claudio R. Mirasso

FEMTO-ST / dépt. Optique, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.
IFISC, CSIC, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, Espagne.

laurent.larger@univ-fcomte.fr

Les travaux de recherche dans le domaine des calculateurs à réseau de neurones, et ceux des sciences cognitives du cerveau, ont mis à jour indépendamment au début des années 2000 de nouveaux principes permettant de disposer d'une machine de calcul universelle. Cette approche de conception d'un calculateur est fondamentalement différente des machines de Turing implémentées actuellement dans nos ordinateurs. Elle est de plus basée sur les propriétés des systèmes dynamiques complexes (typ. des réseaux de neurone), qui constituent dans ces machines de calcul l'élément central appelé le "Réservoir". Ces nouveaux calculateurs sont actuellement référencés dans la littérature de manière générique sous le terme *Reservoir Computing*, mais les premières publications ont proposé les termes "Echo State Network" [1], ou encore "Liquid State Machine" [2].

À ce jour, très peu de réalisations pratiques de ces calculateurs ont été tentées, et les recherches sont essentiellement menées sur des plans théoriques et numériques, en simulant des *Réservoirs* correspondant à des réseaux complexes de nœuds dont les dynamiques sont définies par des modèles simples de non linéarités "sigmoïdales", ou bien de manière plus complexe, par des modèles plus proches des neurones biologiques. Le problème de la réalisation technologique efficace d'un "Reservoir Computer" est donc une question essentielle dans le développement pratique de cette nouvelle architecture de machine de calcul. C'est précisément l'objet du projet Européen PHOCUS [6] sur lequel nous travaillons depuis Janvier 2010, avec pour but d'explorer le potentiel de "Réservoirs" photoniques, envisagés à partir de la grande complexité d'une famille particulière de systèmes dynamiques bien connus en optique [3,4,5], les dynamiques non linéaires à retard.

Nous proposons de présenter les principes de base du "Reservoir Computing", et de montrer en quoi les dynamiques à retard sont potentiellement intéressantes pour remplir le rôle du "Réservoir". Nous présenterons ensuite comment nous avons réalisé ce "Réservoir" sur la base d'une dynamique électro-optique à retard, et quels critères nous avons utilisés pour ajuster les paramètres de ce système dynamique. Le potentiel calculatoire de ce type de "Réservoir" a ensuite été évalué par un test standard, la reconnaissance de chiffres prononcés. Malgré le manque de maturité de notre approche, des résultats dépassant l'état de l'art ont été obtenus avec cette première réalisation photonique d'une *machine à état liquide*, avec une reconnaissance parfaite sur l'ensemble des 500 chiffres prononcés de la base de donnée du test standard.

Références

1. H. JAEGER, The "echo state" approach to analysing and training recurrent neural networks, *Technical Report GMD 148*, German National Research Center for Information Technology, (2001).
2. W. MAASS, T. NATSCHLÄGER, H. MARKRAM, Real-Time Computing Without Stable States : A New Framework for Neural Computation Based on Perturbations, *Neural Comput.* **14**, 2531–2560 (2002).
3. K. IKEDA Multiple-Valued Stationary State and its Instability of the Transmitted Light by a Ring Cavity System, *Optics Commun.* **30**, 257–261 (1979).
4. B. DORIZZY, B. GRAMMATICOS, M. LE BERRE, Y. POMEAU, E. RESSAYRE ET A. TALLET, Statistics and dimension of chaos in differential delay systems, *Phys. Rev. A*, **35**, 328-339 (1986).
5. L. LARGER, J.M. DUDLEY, "Optoelectronic chaos", *Nature, News & Views*, **465**, 41–42, (6 May 2010).
6. C.R. MIRASSO *et al.*, towards a PHOtonic liquid state machine based on delay-CoUpled Systems, <http://ifisc.uib-csic.es/phocus/index.php> (2010).

Forme et persistance de tourbillons lenticulaires dans les écoulements stratifiés tournants : du laboratoire à la Tâche Rouge de Jupiter !

Aubert O.¹, Le Bars M.¹, Le Gal P.¹ & Marcus P.S.²

¹ I.R.P.H.E., 49 rue F. Joliot-Curie, 13384, Marseille, France

² Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, CA94720, USA

aubert@irphe.univ-mrs.fr

Résumé. La Grande Tâche Rouge de Jupiter et les meddies de l'océan Atlantique sont les exemples les plus connus de tourbillons anticycloniques lenticulaires existant dans les écoulements stratifiés tournants. Leurs formes et leurs persistance restent cependant énigmatiques alors que l'existence de la Tâche Rouge de Jupiter est déjà mentionnée par Cassini au 17^{ème} siècle. Les meddies persistent quant à eux pendant plusieurs années dans l'océan Atlantique en ayant encapsulé de l'eau méditerranéenne. Grâce à l'équilibre des différentes forces agissant sur le fluide à l'intérieur des tourbillons, il nous a été possible de comprendre leur persistance et de prédire leur rapport d'aspect vertical qui est proportionnel au rapport f/N de la fréquence de rotation et de la fréquence de Brunt-Väisälä, multiplié par la racine du nombre de Rossby. Nos expériences montrent que cette loi d'échelle est respectée par ces tourbillons depuis l'échelle du laboratoire jusqu'à la Tâche Rouge de Jupiter.

Simplifying the complexity of pipe flow

Dwight Barkley

University of Warwick, UK

When fluid flows through a pipe, channel, or duct, there are two basic forms of motion : smooth laminar motion and complex turbulent motion. The discontinuous transition between these states is a fundamental problem that has been studied for more than 125 years. I will recall some of the history of hydrodynamic stability theory with a view to explaining why even the simplest case, pipe flow, is both a fascinating and difficult problem. I will then discuss recent developments in theory and experiments that are finally resolving the transition to turbulence in pipe flow.