

---

**Comptes-rendus de la 23<sup>e</sup>**

**Rencontre du Non Linéaire**

**Paris 2020**

---

Université de Paris  
Amphithéâtre Buffon



## **Annulation de la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire**

Le Comité d'Organisation de la RNL est au regret de devoir annuler la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire 2020 dans le contexte de la propagation de la maladie à coronavirus COVID-19 en France et en Europe.

Depuis le 8 mars, le gouvernement a interdit les rassemblements de plus de 1 000 personnes en France, ce qui épargnait pour l'instant la RNL, qui rassemble de l'ordre de 100 à 200 personnes. Le 11 mars 2020, la Présidente de l'Université de Paris a toutefois décidé de suspendre tous les colloques et les manifestations événementielles jusqu'à nouvel ordre, dont la RNL qui se déroule dans ses murs. La sécurité des participants et de la population doit être effectivement une préoccupation majeure et elle demande de tout faire pour freiner la propagation du virus.

Nous sommes bien conscients des frais que vont entraîner les annulations des missions des participants à la suite de cette décision et nous en sommes désolés. Par ailleurs, envisager une visio-conférence en direct, diffusée depuis l'amphithéâtre avec les participants intervenant à distance n'est pas, à notre avis, réalisable avec 103 exposés cette année. Le livre de l'ensemble des résumés sera prochainement édité et disponible au téléchargement sur le site internet de la conférence. Nous examinerons les possibilités de reporter la manifestation à une date ultérieure.

Pour le Comité d'Organisation,

Éric Falcon, Coordinateur de la RNL 2020

## **Cancellation of 23rd Rencontre du Non-Linéaire**

The RNL Organizing Committee regrets having to cancel the 23rd Rencontre du Non-Linéaire 2020 in the context of the spread of the coronavirus COVID-19 in France and Europe.

Since March 8th, the government has banned gatherings of more than 1,000 people in France, which for the time being spared the RNL, which gathers around 100 to 200 people. However, on March 11th 2020, the President of the Université de Paris decided to suspend all symposia and events until further notice, including the RNL, which takes place within its walls. The safety of the attendees and the population has indeed to be a primary concern, and it asks that everything possible must be done to curb the spread of the virus.

We are well aware of the costs that the cancellation of the attendees' missions as a result of this decision will generate, and we apologize for this. In addition, we do not believe that a live video-conference broadcast from the amphitheater with participants speaking remotely is feasible with 103 presentations this year. The book of all the abstracts will soon be edited and available for download on the conference website. We will examine the possibilities of postponing the event to a later date.

On behalf of the Organizing Committee,

Eric Falcon, Coordinator of 2020 RNL



É. FALCON, M. LEFRANC  
F. PÉTRÉLIS, C.-T. PHAM  
ÉDITEURS

---

Résumés de la 23<sup>e</sup>  
Rencontre du Non-Linéaire  
Paris 2020

---

Université de Paris  
Non-Linéaire Publications



# 23<sup>e</sup> RENCONTRE DU NON-LINÉAIRE

Université de Paris

25–27 Mars 2020

Nous remercions vivement pour leur soutien matériel et financier l'université de Paris, le CNRS, le Laboratoire de Physique de l'École normale supérieure, le laboratoire Matière et Systèmes Complexes de l'Université de Paris, le Labex Laboratoire Systèmes et Ingénierie du Plateau de Saclay (LaSIPS) de l'Université Paris-Saclay, le Laboratoire de Physique de l'École normale supérieure de Lyon, le GDR Mephy.

Le comité scientifique est composé de :

Elsa BAYART	LP – ENS Lyon
Julien BARRÉ	MAPMO – Orléans
Éric FALCON	MSC – Université de Paris
David GÉRARD-VARET	IMJ – Université de Paris
Marie-Christine FIRPO	LPP – École Polytechnique
Régis MARCHIANO	IJLRDA – Sorbonne Université
Philippe MARCQ	PMMH – ESPCI
François PÉTRÉLIS	LP – ENS Paris
Chi-Tuong PHAM	LIMSI – Paris-Saclay
Salima RAFAI	LIPhy – UJF Grenoble
Benoît ROMAN	PMMH – ESPCI
Pierre SURET	PhLAM – Lille

Les Rencontres du Non-Linéaire sont organisées par :

Éric FALCON	MSC – Paris Diderot
Marc LEFRANC	PhLAM – Lille
François PÉTRÉLIS	Laboratoire de Physique – ENS Paris
Chi-Tuong PHAM	LIMSI – Paris-Saclay

Le mini-colloque « *Géométrie et Élasticité* » est organisé par :

Benoît ROMAN PMMH – ESPCI

Les comptes-rendus des années précédentes sont disponibles auprès de :

Non-Linéaire Publications, Avenue de l'université, BP 12  
76801 Saint-Étienne du Rouvray cedex

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

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

Renseignements :

[rnl@univ-lille1.fr](mailto:rnl@univ-lille1.fr)





# Sommaire

---

## Exposés invités

---

<b>Life and fate of a bubble in a constricted Hele-Shaw channel</b> <i>Anne Juel</i> .....	3
<b>De Newton à Boltzmann, fluctuations et grandes déviations</b> <i>Isabelle Gallagher</i> .....	4
<b>Active turbulence</b> <i>Jean-François Joanny</i> .....	5
<b>The planetary motions beyond their predictability horizon</b> <i>Jacques Laskar</i> .....	6

---

## Exposés du Mini-colloque « Géométrie et Élasticité »

---

<b>De la physique non linéaire à la bio-mécanique</b> <i>Martine Ben Amar</i> .....	9
<b>Simulating nonlinear phenomena for films, fashion, and physics</b> <i>Florence Bertails-Descoubes</i> .....	10
<b>Floating folds: Periodic and localized structures in thin elastic plates</b> <i>Fabian Brau</i> .....	11
<b>Mécanique des nœuds : étude expérimentale du frottement entre deux tiges élastiques</b> <i>Paul Grandgeorge, Changyeob Baek, Paul Johanns, Tomohiko Sano, Harmeet Singh, John Maddocks, Pedro M. Reis</i> .....	12
<b>Statics of rods as a dynamical system</b> <i>Sébastien Neukirch</i> .....	13
<b>Happy catastrophe: Analysis and exploitation of elastic instabilities</b> <i>Ahmer Wadde</i> .....	14
<b>Les dérivées objectives comme dérivées covariantes sur la variété des métriques</b> <i>Boris Kolev, Rodrigue Desmorat</i> .....	15
<b>Photomotile elastic structures</b> <i>Basile Audoly, Kevin Korner, Kaushik Bhattacharya</i> .....	16
<b>Quelle force pour courber un livre ?</b> <i>Samuel Poincloux, Tian Chen, Basile Audoly, Pedro Reis</i> .....	17
<b>Stretching vs. bending in thin plates: the decay of transverse curvature in curved strips</b> <i>Thomas Barois</i> .....	18
<b>Buckling-load prediction of a damaged Coke can</b> <i>Anaïs Abramian, Emmanuel Viot, Emilio Lozano, Tobias Schneider, Shmuel Rubinstein</i> .....	19

<b>Compression uniaxiale et flambage d’une feuille confinée : la spirale élastique</b> <i>Stéphanie Deboeuf, Eytan Katzav</i> .....	20
<b>Parametric wrinkling instabilities of 1D structures in spatially periodic elastic states</b> <i>Arnaud Lazarus</i> .....	21
<b>Dynamique d’une barre d’Ericksen régularisée bistable : vers un modèle de déploiement de rubans bistables</b> <i>Stéphane Bourgeois, Nicolas Favrie, Bruno Lombard</i> .....	22
<b>Morphological and topological evolution of contact clusters</b> <i>Vladislav A. Yastrebov, Andrei G. Shvarts</i> .....	23
<b>Wrinkling to crinkling transitions in magnetoelastic film substrate systems</b> <i>Kostas Danas</i> .....	24
<hr/>	
<b>Exposés longs de la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire</b>	
<hr/>	
<b>Émergence d’un mode géostrophique dans une expérience de turbulence en rotation forcée par des ondes d’inertie</b> <i>Pierre-Philippe Cortet, Maxime Brunet, Basile Gallet</i> .....	27
<b>La vision dans les modèles de mouvements collectifs</b> <i>Renaud Bastien, Pawel Romanczuk</i> .....	28
<b>Génération de topographie aux interfaces glace–océan</b> <i>Louis-Alexandre Couston, Eric Hester, Benjamin Favier, Adrian Jenkins, Paul Holland</i> .....	29
<b>Un nouveau modèle de striations des plasmas radio-fréquence</b> <i>Victor Désangles, Jean-Luc Raimbault, Alexandre Poyé, Pascal Chabert, Nicolas Plihon</i> .....	30
<b>Mouvement humain et mouvement brownien</b> <i>Tom Maddalena, Christophe Clanet, Caroline Cohen</i> .....	31
<b>Les gouttes ne tombent pas en ligne droite : un modèle de croissance des stalagmites</b> <i>Justine Parmentier, Tristan Gilet</i> .....	32
<b>A growth model driven by curvature reproduces geometric features of arboreal termite nests</b> <i>Giulio Facchini, Alexandre Lazarescu, Andrea Perna, Stéphane Douady</i> .....	33
<b>The hydrodynamic genesis of colloidal creatures</b> <i>Blaise Delmotte, Michelle Driscoll, Alexandar Donev, Paul Chaikin</i> .....	34
<b>Déformation d’une structure origami induite par un écoulement</b> <i>Tom Marzin, Emmanuel de Langre, Sophie Ramananarivo</i> .....	35
<b>Quand le vent lève des vagues solitaires...</b> <i>Marc Rabaud, Marine Aulnette, Frédéric Moisy</i> .....	36
<b>Capillary disks: sliding friction, capillary attraction and wave-driven propulsion</b> <i>Giuseppe Pucci, Ian Ho, Daniel M. Harris</i> .....	37
<b>Walkers in a wave field with memory</b> <i>Olivier Devauchelle, Eric Lajeunesse, François James, Christophe Josserand, Pierre-Yves Lagrée</i> .	38
<hr/>	
<b>Exposés courts de la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire</b>	
<hr/>	
<b>Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints</b> <i>Sébastien Aumaître, Stephan Fauve</i> .....	41

<b>Automodulation de phase et conservation de l'énergie</b> <i>Pierre Béjot, Jérôme Kasparian</i> . . . . .	42
<b>Instability of a vortex roll-up at a fluid-fluid interphase</b> <i>Gabriel Le Doudic, Isabelle Cantat, Arnaud Saint-Jalmes, Corentin Trégouët, Stéphane Perrard, Matthieu Labousse, Matthieu Roché</i> . . . . .	43
<b>Self-similarity breakdown induced by viscosity contrast during the coarsening of a two phase fluid</b> <i>Hervé Henry</i> . . . . .	44
<b>Simulation numérique directe de la turbulence induite par les bulles à haut nombre de Reynolds</b> <i>Alice Jaccod, Alessio Innocenti, Stéphane Popinet, Sergio Chibbaro</i> . . . . .	45
<b>Playing with a rope on the ground: a toy-model for dynamical elastic contacts</b> <i>Benoît Seron, Gregory Kozyreff</i> . . . . .	46
<b>Des ondes de dépression de Scott Russell aux eaux-mortes de Nansen et Ekman</b> <i>Johan Fourdrinoy, Julien Dambrine, Madalina Petcu, Morgan Pierre, Germain Rousseaux</i> . . . . .	47
<b>Machine Learning of Commitor Functions for Predicting High Impact Climate Events</b> <i>Dario Lucente, Stefan Duffner, Joran Rolland, Corentin Herbert, Freddy Bouchet</i> . . . . .	48
<b>Écoulements dans les batteries à métaux liquides</b> <i>Wietze Herreman, Caroline Nore</i> . . . . .	49
<b>Piégeage actif de micro-nageurs dans une mousse</b> <i>Florence Elias, Quentin Roveillo, Julien Dervaux, Yuxuan Wang, Florence Rouyer, Drazen Zanchi, Laurent Seuront</i> . . . . .	50
<b>Confidence collapse in a multi-household DSGE Model</b> <i>Federico Morelli, Michael Benzaquen, Marco Tarzia, Jean-Philippe Bouchaud</i> . . . . .	51
<b>Impact et fragmentation d'une goutte au bord d'un plan incliné, un modèle de la dispersion des pathogènes en agriculture</b> <i>Sophie Lejeune, Tristan Gilet</i> . . . . .	52
<b>Dynamics of drops-on-a-string for viscoelastic solutions</b> <i>Hrishikesh Pingulkar, Jorge Peixinho, Olivier Crumeyrolle</i> . . . . .	53
<b>Modal acoustic velocimetry: a new technique for rapidly rotating gas – Application to zonal flows</b> <i>Sylvie Su, David Cébron, Henri-Claude Nataf, Philippe Cardin</i> . . . . .	54
<b>Supercontinuum generation in carbon disulfide liquid's core-photonic crystal fiber</b> <i>Mohamed Lamine Ferhat, Lies Bahloul, Lynda Cherbi</i> . . . . .	55
<b>Pattern formation in photo-controlled bioconvection</b> <i>Aina Ramamonjy, Julien Dervaux, Philippe Brunet</i> . . . . .	56
<b>Un modèle d'approximation différentielle pour la turbulence bidimensionnelle</b> <i>Pierre Morel, Shaokang Xu, Yang Li, Özgür D. Gürçan</i> . . . . .	57
<b>Ondes de gravité dans un référentiel tournant : L'instabilité d'Ekman-Stokes</b> <i>Kannabiran Seshasayanan, Basile Gallet</i> . . . . .	58
<b>Étude numérique efficace des effondrements et développements rares de la turbulence de paroi transitionnelle.</b> <i>Joran Rolland</i> . . . . .	59

<b>Transient growth of perturbation energy in conservative systems</b> <i>Kevin Ha, Jean-Marc Chomaz, Sabine Ortiz</i> .....	60
<b>À la recherche de l'origine de l'intermittence dans les écoulements turbulents</b> <i>Hugues Faller, Paul Debue, T. Chaabo, Damien Geneste, Valentina Valori, Adam Cheminet, Yasar Ostovan, Jean-Philippe Laval, Caroline Nore</i> .....	61
<b>Transfert de masse à partir d'une particule noyau-coque sous écoulements stationnaires et non stationnaires</b> <i>Clément Bieliniski, Badr Kaoui</i> .....	62
<b>Vers un séparateur de faisceau pour les gouttes marcheuses</b> <i>Loïc Tadrast, Tristan Gilet</i> .....	63
<b>Crises endogènes de liquidité</b> <i>Antoine Fosset, Jean-Philippe Bouchaud, Michael Benzaquen</i> .....	64
<b>Effets de la non convexité des interactions sur la dynamique des solitons dans un modèle de FK déformable.</b> <i>Aurélien Serge Tchakoutio Nguetcho, Jean-Marie Bilbault, Serge Dos Santos</i> .....	65
<b>Perception d'images subliminales utilisant la Résonance vibrationnelle</b> <i>Morfu Saverio, Usama Bello Ibrahim, Marquié Patrick</i> .....	66
<b>Stabilité marginale dans les économies critiques en réseau</b> <i>Théo Dessertaine, José Moràn, Jean-Philippe Bouchaud, Michael Benzaquen</i> .....	67
<b>The evolution of the large-scale flow in magnetoconvection</b> <i>Till Zürner, Felix Schindler, Tobias Vogt, Sven Eckert, Jörg Schumacher</i> .....	68
<b>Croissance d'arbre soumis à des règles d'allocation de ressource</b> <i>Olivier Bui, Xavier Leoncini</i> .....	69
<b>Oscillation quasi-biennale : expérience et modèle</b> <i>Benoît Semin, François Pétrélis, Stephan Fauve</i> .....	70
<b>Étude expérimentale et numérique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé</b> <i>Valentin Ageorges, Jorge Peixinho, Gaële Perret, Ghislain Lartigue, Vincent Moureau</i> .....	71
<b>Analyse linéaire de stabilité d'un jet de ferrofluide</b> <i>Romain Canu, Marie-Charlotte Renoult</i> .....	72
<b>Acoustic monitoring of damages in cemented granular materials under uniaxial loading</b> <i>Vincent Canel, Xiaoping Jia, Michel Campillo, Ioan R. Ionescu</i> .....	73
<b>Non-linéarités liées à un jet de liquide viscoélastique</b> <i>Louise Cottier, Günter Brenn, Christophe Dumouchel, Marie-Charlotte Renoult</i> .....	74
<b>Diffusion-limited interface collisions</b> <i>Bastien Marquet, Olivier Pierre-Louis</i> .....	75
<b>Transitions spontanées « portance-trainée » d'un pendule en soufflerie</b> <i>Ariane Gayout, Nicolas Plihon, Mickaël Bourgoïn</i> .....	76
<b>Ségrégation granulaire : influence des conditions initiales et du champ gravitationnel, application aux astéroïdes</b> <i>Jérémy Sautel, Nicolas Taberlet</i> .....	77
<b>Transition to turbulence in plane Couette-Poiseuille flow with external noise</b> <i>Tao Liu, Lukasz Klotz, Benoît Semin, Ramiro Godoy-Diana, José Eduardo Wesfreid, Tom Mullin</i> .	78

<b>Statistical transition to turbulence in plane channel flow</b> <i>Sébastien Gomé, Laurette S. Tuckerman, Dwight Barkley</i> .....	79
<b>Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov–Maxwell</b> <i>Aurélien Cordonnier, Xavier Leoncini, Guilhem Dif-Pradalier</i> .....	80
<b>Axisymmetric internal wave super-harmonics</b> <i>Samuel Boury, Thomas Peacock, Philippe Odier</i> .....	81
<b>Swift–Hohenberg equation with third order dispersion for optical fiber resonators</b> <i>A. Hariz, L. Bahloul, L. Cherbi, K. Panajotov, M. Clerc, M. A. Ferré, B. Kostet, E. Averlant, M. Tlidi</i> .....	82
<b>Simulation numérique d’instabilités de Rayleigh–Taylor amenant à la formation de gouttes dans un bain de corium</b> <i>Raphaël Zanella, Romain Le Tellier, Hervé Henry</i> .....	83
<b>Cisaillement d’un ensemble de films de savon</b> <i>Raphaël Poryles, Adrien Bussonnière, Isabelle Cantat</i> .....	84
<b>Self-organization of vegetation patterns in arid- semi-arid ecosystems</b> <i>Maroua Messaoudi M. Khaffou A. Makhoute, M. Tlidi</i> .....	85
<b>Formation de motifs sur la surface inférieure d’une couche mince de liquide</b> <i>Harunori N. Yoshikawa, Christian Mathis, Shinya Takagi, Shu Satoh, Yuji Tasaka</i> .....	86
<b>Dynamique de sédimentation de particules</b> <i>David De Souza, Till Zürner, Anne Dejoan, Romain Monchaux</i> .....	87
<b>Numerical modeling of a phase change material in a rectangular cavity: role of natural convection to the energy balance</b> <i>Marlene Crumeyrolle–Smieszek, Innocent Mutabazi, Olivier Crumeyrolle</i> .....	88
<b>Convection thermoélectrique dans une couche horizontale de fluide diélectrique</b> <i>Elhadj B. Barry, Changwoo Kang, Harunori Yoshikawa, Innocent Mutabazi</i> .....	89
<b>Mesure complète et ultra-rapide de structures non-linéaires générées par l’instabilité modulationnelle en optique</b> <i>Alexandre Lebel, Alexey Tikan, Stéphane Randoux, Pierre Suret, François Copie</i> .....	90
<b>Effects of large scale advection and small scale turbulence on vertical phytoplankton dynamics</b> <i>Vinicius Beltram Tergolina, Stefano Berti, Gilmar Mompean</i> .....	91
<b>Let’s deflate that beach ball</b> <i>Gwennou Coupier, Adel Djellouli, Catherine Quilliet</i> .....	92
<b>Fiber networks rectify and amplify active stresses</b> <i>Pierre Ronceray, Chase Broedersz, Martin Lenz</i> .....	93
<b>La théorie de la double solution de Louis de Broglie définie par les fonctions d’onde externe et interne</b> <i>Michel Gondran, Alexandre Gondran</i> .....	94
<b>Génération et observation d’un gaz de solitons dans des expériences d’hydrodynamique</b> <i>Stéphane Randoux, P. Suret, F. Copie, A. Tikan, G. El, A. Gelash, G. Prabhudesai, G. Michel, A. Cazaubiel, E. Falcon, G. Ducrozet, F. Bonnefoy</i> .....	95
<b>From Molecules to Helical Ribbons – Shape and Shape Fluctuations</b> <i>Doron Grossman</i> .....	96

<b>Modèle de force basé sur les dynamiques transitoires de sillage dans le « pinball fluide »</b>	
<i>Nan Deng, Luc R. Pastur, Bernd R. Noack, Guy Cornejo Maceda, François Lusseyran, Jean-Christophe Loiseau, Marek Morzyński</i> .....	97
<b>Génération de tsunami par effondrement granulaire : du laboratoire au terrain</b>	
<i>Manon Robbe-Saule, Cyprien Morize, Yann Bertho, Anthony Hildenbrand, Alban Sauret, Philippe Gondret</i> .....	98
<b>Transfert de chaleur dans un écoulement chauffé par le rayonnement solaire</b>	
<i>Gerardo Ruiz Chavarria</i> .....	99
<b>Vélocimétrie dans le régime de longueur de mélange de convection prédit par Spiegel : vitesse de chute libre et anomalie de dissipation</b>	
<i>Vincent Bouillaut, Simon Lepot, Benjamin Miquel, Sébastien Aumaître, Basile Gallet</i> .....	100
<b>Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors-équilibre.</b>	
<i>M. Lamèche, Antoine Naert</i> .....	101
<b>Ondes acoustiques ioniques dans une colonne de plasma magnétisée</b>	
<i>Simon Vincent, Vincent Dolique, Nicolas Plihon</i> .....	102
<b>Volatile active drops on liquid baths</b>	
<i>Benjamin Reichert, Arnaud Saint-Jalmes, Jean-Benoît Le Cam, Giuseppe Pucci</i> .....	103
<b>Turbulence hydrodynamique 3D engendrée par des particules magnétiques</b>	
<i>Annette Cazaubiel, Claude Laroche, Jean-Claude Bacri, Michael Berhanu, Eric Falcon</i> .....	104
<b>Structure et morphogenèse de réseaux réticulés dans l’argile</b>	
<i>Paul Jeammet, Paul Valcke, Philippe Bonnin, Julien Derr, Stéphane Douady</i> .....	105
<b>Instabilities and pattern formation in a generalized Cahn–Hilliard model with 2+1 components</b>	
<i>Mahdi Mcheik, Simon Villain-Guillot</i> .....	106
<b>Génération périodique de bulles à partir d’un anneau de savon immergé dans un écoulement d’air</b>	
<i>Jonathan Arredondo Macias, Anne Cros</i> .....	107
<b>Dynamic stabilization of a liquid layer against Rayleigh–Taylor instability and buoyant effects</b>	
<i>Filip Novkoski, Benjamin Apffel, Antonin Eddi, Emmanuel Fort</i> .....	108
<b>Critical transition in fast-rotating turbulence within highly elongated domains</b>	
<i>Adrian van Kan, Alexandros Alexakis</i> .....	109
<b>Boundary-layer streaming in viscoelastic fluids</b>	
<i>S. Amir Bahrani, Maxime Costalonga, Nicolas Périnet, Laurent Royon, Philippe Brunet</i> .....	110
<b>Dynamics of spheres falling in quiescent flows</b>	
<i>Facundo Cabrera, Nicolas Plihon, Mickaël Bourgoin</i> .....	111
<b>Stabilité d’un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux anneaux cylindriques en rotation différentielle</b>	
<i>Antoine Meyer, Romain Canu, Marie-Charlotte Renoult, Innocent Mutabazi</i> .....	112
<hr/>	
<b>Annexes</b>	
<hr/>	
<b>Index des auteurs</b> .....	115
<b>Programmes du Mini-colloque et de la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire</b> .....	119

---

## Exposés invités

---





# Life and fate of a bubble in a constricted Hele-Shaw channel

Anne Juel

School of Physics and Astronomy and MCND, University of Manchester, Oxford Road, Manchester M13 9PL, UK

`anne.juel@manchester.ac.uk`

We study experimentally and numerically the propagation of an air bubble through a fluid-filled, geometrically-perturbed Hele-Shaw channel; a system which supports several stable modes of steady bubble propagation. During its transient evolution, a bubble may undergo several topological changes in the form of breakup and coalescence, depending on both initial conditions and control parameters. Long-term, either a single bubble is recovered or else multiple bubbles remain, whose relative separation increases with time. Despite its apparent complexity the bubbles' transient behaviour is organised by a number of weakly unstable invariant solutions of the system, so-called edge states. An unusual feature of the system is that changes in topology due to bubble break up or coalescence lead to changes in the invariant-solution structure during temporal evolution. Families of two-bubble and single-bubble invariant solutions can be related in the sense that their propagation speeds are identical, but there are two-bubble solutions that do not have single-bubble equivalents. We also explore how the bubble becomes increasingly sensitive to initial conditions and roughness of the channel and exhibits long and disordered transients as the flow rate increases. We suspect that this increase in complexity is due to a subcritical transition to disorder above a threshold that depends on the roughness of the channel, reminiscent of the transition to turbulence in shear flow.

## De Newton à Boltzmann, fluctuations et grandes déviations

Isabelle Gallagher

Département de Mathématiques et Applications, Ecole Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05, France  
gallagher@math.ens.fr

I will report on a recent work, joint with Th. Bodineau, L. Saint-Raymond and S. Simonella, in which we develop a rigorous theory of macroscopic fluctuations for a hard sphere gas outside thermal equilibrium, in the Boltzmann-Grad limit: in particular we study deviations from the Boltzmann equation (describing the asymptotic dynamics of the empirical density) and provide, for short kinetic times, both a central limit theorem and large deviation bounds.

## Active turbulence

Jean-François Joanny

Collège de France, 11 place Marcelin Berthelot, 75005 Paris, France  
jean-francois.joanny@college-de-france.fr

A landmark of turbulence is the emergence of universal scaling laws, such as Kolmogorov's  $E(q) q^{-5/3}$  scaling of the kinetic energy spectrum of inertial turbulence with the wave vector  $q$ . In recent years, active fluids have been shown to exhibit turbulent-like flows at low Reynolds number. However, the existence of universal scaling properties in these flows has remained unclear. To address this issue, here we propose a minimal defect free hydrodynamic theory for two-dimensional active nematic fluids at vanishing Reynolds number. By means of large-scale simulations and analytical arguments, we show that the kinetic energy spectrum exhibits a universal scaling  $E(q) 1/q$  at long wavelengths. We find that the energy injection due to activity has a peak at a characteristic length scale, selected by a nonlinear mechanism. In contrast to inertial turbulence, energy is entirely dissipated at the scale where it is injected, thus precluding energy cascades. Nevertheless, the non-local character of the Stokes flow establishes long-ranged velocity correlations, which lead to the scaling behavior.

We discuss two examples of active turbulent fluids: tissue monolayers studied in the group of P. Silberzan at Institut Curie and active nematic layers studied in the group of F. Sagues in Barcelona.

# The planetary motions beyond their predictability horizon

Jacques Laskar

IMCCE, CNRS-UMR 8028, Observatoire de Paris, PSL University, Sorbonne Université, 77 avenue  
Denfert-Rochereau, 75014 Paris, France  
[jacques.laskar@obspm.fr](mailto:jacques.laskar@obspm.fr)

---

Exposés du Mini-colloque « Géométrie  
et Élasticité »

---



## De la physique non linéaire à la bio-mécanique

Martine Ben Amar

Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université,  
Université de Paris, F-75005 Paris, France  
benamar@lps.ens.fr

La physique non linéaire vise à établir des comportements génériques à la fois en temps et en espace pour des systèmes physiques variés. Elle s'est attachée à relier les disciplines entre elles : les motifs de convection de laboratoire, rappelant les pelages de certains animaux (le zèbre) ou la structure de la peau des rhinocéros, par exemple. Si l'analyse des seuils de bifurcations relève vraiment du système physique, les faibles non-linéarités ont un caractère générique que l'on retrouve dans le gonflement ou la croissance de couches minces élastiques. Pour les instabilités développées, le problème semble différent et ceci est probablement dû à la complexité des mathématiques, venant surtout de la géométrie, y compris lorsqu'elle est restreinte au plan. Les études de la croissance en physique doivent beaucoup à deux prototypes que sont l'instabilité de Saffman–Taylor et l'instabilité dendritique qui ont permis de comprendre la croissance des interfaces. En élasticité dite finie, chaque cas d'étude semble une particularité que l'on a peine à analyser. Dans cet exposé j'essaierai de montrer qu'il est possible d'aborder la croissance bio-mécanique en s'appuyant sur les études de croissance Laplacienne, comme me l'avait suggéré Yves Couder.

*Nonlinear physics aims to establish generic behaviors in both time and space for various physical systems. It has focused on linking disciplines together: laboratory convection patterns, reminiscent of the coats of certain animals (the zebra) or the skin structure of rhinos, for example. While the analysis of bifurcation thresholds is really a matter of the physical system, weak non-linearities have a general character as shown in swelling of soft material or growth of thin elastic layers. For developed instabilities, the problem seems to be different and this is probably due to a certain complexity in the mathematics, mostly coming from the geometry, including when it is plane-restricted. Growth studies in physics owe much to two prototypes, Saffman–Taylor's instability and dendritic instability, which have led to some understanding of interface growth. In terms of finite elasticity, each case study seems to be a particularity that is difficult to analyze. In this talk I will try to show that it is possible to approach biomechanical growth by relying on Laplacian growth studies, as it was suggested by Yves Couder.*

## Simulating nonlinear phenomena for films, fashion, and physics

Florence Bertails-Descoubes

ELAN, Inria Grenoble Rhône-Alpes, 655 avenue de l'Europe, 38 334 Saint Ismier Cedex, France  
florence.descoubes@inria.fr



# Floating folds: Periodic and localized structures in thin elastic plates

Fabian Brau

Université libre de Bruxelles (ULB), Nonlinear Physical Chemistry Unit, Faculté des Sciences, CP231, 1050 Brussels, Belgium  
`fabian.brau@ulb.ac.be`

Many types of patterns emerging spontaneously can be observed in systems involving a thin sheet subjected to external or internal stresses (compression, differential growth, shearing, tearing, etc.). One of the simplest among such systems is a bilayer composed of a thin plate resting on a thick deformable substrate. Upon slight compression, periodic undulations (wrinkles) with a well-defined wavelength emerge on the thin layer. We will show that, as the compression increases, this periodic state is unstable and that a second order transition to a localized state (fold) occurs when the substrate is a dense fluid.

# Mécanique des nœuds : étude expérimentale du frottement entre deux tiges élastiques

Paul Grandgeorge<sup>1</sup>, Changyeob Baek<sup>1,2</sup>, Paul Johanns<sup>1</sup>, Tomohiko Sano<sup>1</sup>, Harmeet Singh<sup>3</sup>, John Maddocks<sup>3</sup> & Pedro M. Reis<sup>1</sup>

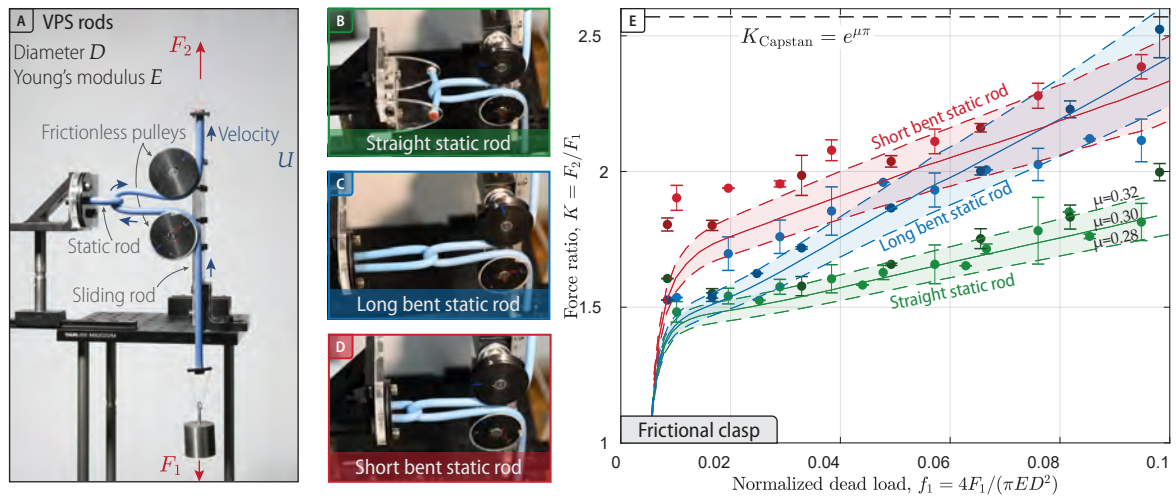
<sup>1</sup> Laboratoire des Structures Flexibles, Institut de Génie de Mécanique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA

<sup>3</sup> Laboratory for Computation and Visualization in Mathematics and Mechanic, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

paul.grandgeorge@epfl.ch

Dans l'industrie navale, l'escalade ou encore dans le contexte chirurgical, les nœuds sont utilisés sur une large gamme d'échelles. Mais bien qu'une vaste connaissance empirique ait été acquise à leur sujet au fil des siècles, peu de modèles permettent d'en prédire la réponse mécanique. Et pour cause, les fibres nouées, intriquées par construction, présentent de fortes non-linéarités géométriques et matériaux, des topologies complexes et des forces de frottements localisées aux zones de contact entre fibres dont la section peut fortement se déformer. Pour prédire la stabilité mécanique de différents nœuds, Maddocks et Keller [1] utilisent la loi classique de perte de tension de cabestan  $T = T_0 e^{\mu\alpha}$ . Seulement, cette loi ne décrit pas précisément le comportement de tiges fortement courbées en contact. Pour réduire ce problème à son essence, nous étudions expérimentalement le comportement mécanique de deux tiges élastiques en contact et glissant l'une sur l'autre. Appuyés par des images 3D acquises par tomographie à rayons X et par des essais mécaniques, nous mettrons le couplage non trivial entre géométrie et mécanique de frottement en exergue dans ce système modèle.



**FIGURE 1.** Setup expérimental et résultats expérimentaux et numériques (simulations par éléments finis) du comportement de tiges élastiques en contact frictionnel.

## Références

1. J. H. MADDOCKS & J. B. KELLER, Ropes in equilibrium, *SIAM J. Appl. Math.*, **47**, 1185–1200 (1987).

## Statics of rods as a dynamical system

Sébastien Neukirch

Institut Jean le Rond d'Alembert, Sorbonne Université, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05  
sebastien.neukirch@upmc.fr

The equations for the statics of elastic rods consist of a system of ODEs (Ordinary Differential Equations) where the independent variable is the arc-length along the rod. As a result the statics of rods and dynamical system share many common aspects which I will illustrate: bifurcation diagrams, boundary value problems as opposed to initial value problems, basin of attraction, boundary layers and homoclinic orbits, numerical methods and continuation softwares.

## Happy catastrophe: Analysis and exploitation of elastic instabilities

Ahmer Wadee

Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London, UK  
[a.wadee@imperial.ac.uk](mailto:a.wadee@imperial.ac.uk)

Recent progress is presented on a topic that lies at the heart of both structural engineering and nonlinear science. The emphasis is on subcritical instabilities in thin elastic structures without a nearby stable post-buckled state, a canonical example being an axially-loaded cylindrical shell. Such structures are difficult to design and certify since imperfections or natural disturbances trigger buckling at loads well below the threshold of linear instability. A resurgence of interest in structural instability phenomena has arisen from a recognition that sudden changes in static equilibrium configurations can be practically advantageous in real engineering components; examples being in aeronautical structures and elements that absorb energy from impact or blast. An overview of the state of the art is presented on analytical, numerical and experimental methods. Several examples at different length scales are discussed; cylinder buckling, the behaviour of a cable-stayed pre-stressed column alongside examples of modal nudging, adaptive structures and functional auxetic materials.

# Les dérivées objectives comme dérivées covariantes sur la variété des métriques

Boris Kolev<sup>1</sup> & Rodrigue Desmorat<sup>2</sup>

LMT UMR8535, Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS.  
boris.kolev@math.cnrs.fr

La source de cet exposé est un article de Paul Rougée [1] qui met en valeur le rôle primordial joué par la variété des métriques riemanniennes en mécanique des solides déformables et qui se situe dans le cadre plus général de l'utilisation de la géométrie différentielle de dimension infinie en Mécanique des Milieux Continus (cf. [2] pour les fluides).

Rougée nous suggère que c'est la variété des métriques riemanniennes sur le body  $\text{Met}(\mathcal{B})$  plutôt que la variété des plongements  $\text{Emb}(\mathcal{B}, \mathcal{E})$  du body  $\mathcal{B}$  dans l'espace affine euclidien  $\mathcal{E}$  qui joue le rôle clef en Mécanique des Milieux Continus. A chaque plongement  $p$  correspond, par pull-back, une métrique riemannienne sur  $\mathcal{B}$  de courbure nulle  $\gamma = p^*\mathbf{q}$ ,  $\mathbf{q}$  désignant la métrique euclidienne définie sur  $\mathcal{E}$ .

Cette formulation permet d'interpréter les lois de comportement élastiques comme des champs de vecteurs sur la variété des métriques riemanniennes  $\text{Met}(\mathcal{B})$ . Parmi celles-ci, les lois hyper-élastiques correspondent aux champs de type gradient pour une métrique riemannienne sur  $\text{Met}(\mathcal{B})$ . Le parallèle avec la relativité générale devient alors évident.

Ce cadre géométrique général nous permet ensuite de formuler le concept d'objectivité (ou indépendance matérielle) de manière mathématiquement plus précise. Les dérivées objectives introduites en hypo-élasticité, comme celles d'Oldroyd [3], de Truesdell [4], de Zaremba–Jaumann [5,6], de Green–Naghdi [7], ... sont alors interprétées comme des dérivées covariantes sur  $\text{Met}(\mathcal{B})$ .

## Références

1. P. ROUGÉE, An intrinsic Lagrangian statement of constitutive laws in large strain, *Comput. & Struct.*, **84**, 1125–1133 (2006).
2. V. I. ARNOLD, Sur la géométrie différentielle des groupes de Lie de dimension infinie et ses applications à l'hydrodynamique des fluides parfaits, *Ann. Inst. Fourier*, **16**, 319–361 (1966).
3. J. G. OLDROYD, On the formulation of rheological equations of state, *Proc. R. Soc. Lond. A*, **200**, 523–541 (1950).
4. C. TRUESDELL, Hypo-elasticity, *J. Ration. Mech. Anal.*, **4**, 83–133 (1955).
5. S. ZAREMBA, Sur une forme perfectionnée de la théorie de la relaxatio, *Bull. Int. Acad. Sci. Cracovie*, 534–614 (1903).
6. C. JAUMANN, Geschlossenes system physikalischer und chemischer differentialgesetze, *Sitzber. Akad. Wiss. Wien (IIa)*, **120**, 385–530 (1911).
7. A. GREEN & P. NAGHDI, A general theory of an elastic-plastic continuum, *Arch. Ration. Mech. Anal.*, **18**, 251–281 (1965).
8. B. KOLEV & R. DESMORAT, Éléments de géométrie pour la mécanique des milieux continus, pré-publication [hal-02343934v1](#) (2019).

## Photomotile elastic structures

Basile Audoly<sup>1</sup>, Kevin Korner<sup>2</sup> & Kaushik Bhattacharya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de mécanique des solides, CNRS, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France

<sup>2</sup> Division of Engineering and Applied Science, California Institute of Technology, USA

`basile.audoly@polytechnique.edu`

Specially crafted polymers can acquire a residual strain of a few percents upon illumination. In recent experiments, it has been reported that thin beams or rings made up of such polymers can be set in permanent motion by shining light onto them. With the aim to explain this surprising feature, we derive and solve a beam model whose natural curvature is coupled to the intensity and the relative direction of the incident light.

# Quelle force pour courber un livre ?

Samuel Poincloux<sup>1</sup>, Tian Chen<sup>1</sup>, Basile Audoly<sup>2</sup> & Pedro Reis<sup>1</sup>

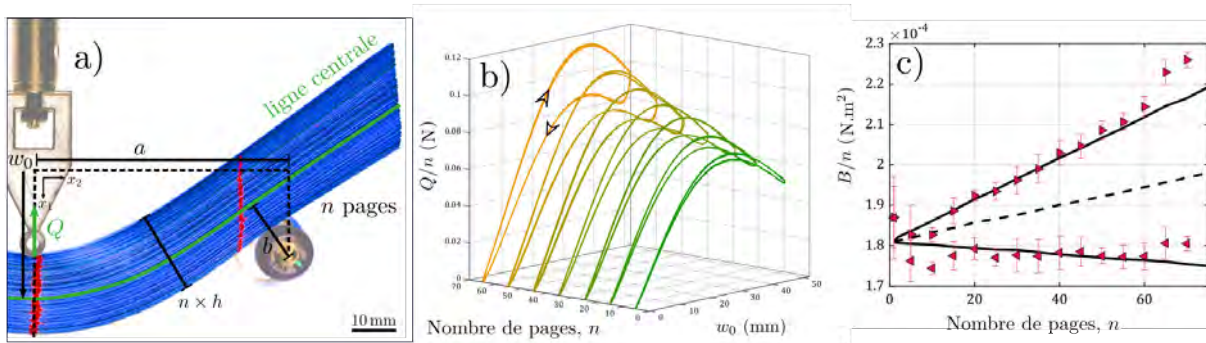
<sup>1</sup> Flexible Structures Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse

<sup>2</sup> Laboratoire de Mécanique des Solides, École Polytechnique, Palaiseau, France

samuel.poincloux@epfl.ch

Les structures constituées de plusieurs couches collées ensemble sont régulièrement mises à profit en ingénierie pour leur combinaison de rigidité et de légèreté. Si, en revanche, du glissement inter-couches intervient, la réponse mécanique de ces structures va résulter du couplage entre la déformation des couches et leurs interactions [1]. On s'intéresse ici à l'assemblage d'un grand nombre de plaques élastiques empilées et interagissant par frottement, ou à peu de chose près, un livre. Ce « livre » est soumis à des cycles de chargement-déchargement sur une géométrie de flexion 3-points (Fig. 1 (a)). La problématique soulevée est alors naturellement formulée : « Quelle est la rigidité en flexion de ce livre ? »

Pour mettre en évidence le rôle du frottement dans la réponse mécanique, la courbe force-déplacement est renormalisée par  $n$ , le nombre de pages (Fig. 1 (b)). Une asymétrie croissante se développe entre la réponse au chargement et au déchargement, avec en particulier, une rigidité en flexion par pages montrant une évolution affine avec  $n$  mais avec des pentes différentes suivant le sens de chargement (Fig. 1 (c)). Pour rendre compte et prédire ces observations, la réponse élastique du livre est d'abord obtenue par réduction dimensionnelle sur sa ligne centrale. Ensuite, le frottement est traité par perturbations en utilisant les forces et déplacements inter-pages obtenus par la résolution purement élastique du problème. La réponse mécanique d'un livre découle donc d'un subtil couplage entre élasticité, non-linéarités géométriques et frottements, qui est validée par le très bon accord trouvé entre prédiction et mesures expérimentales.



**FIGURE 1.** (a) Photo du montage expérimental de la flexion 3-points d'un « livre » contenant  $n = 50$  pages en plastique (PET). Chaque page, d'épaisseur  $h = 300 \mu\text{m}$ , est courbée sur une distance  $a = 65 \text{ mm}$ . Le déplacement vertical  $w_0$  est imposé et la force correspondante  $Q$  est mesurée. (b) Courbes force-déplacement du chargement et déchargement d'assemblages contenant différents nombres de pages  $n$ , normalisées par  $n$ . (c) Mesure expérimentale de la rigidité en flexion  $B$  lors du chargement ( $\triangleright$ ) et du déchargement ( $\triangleleft$ ), là aussi normalisée par  $n$ . Si la réponse mécanique de la pile se limitait à la simple somme de la réponse d'une page, la quantité  $B/n$  resterait constante. La ligne pointillée est la prédiction élastique de notre modèle réduit, les lignes continues, la prédiction en considérant une approche par perturbation du frottement entre pages.

## Références

1. G. WANG *et al.*, Bending of Multilayer van der Waals Materials, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 116101 (2019).

## Stretching vs. bending in thin plates: the decay of transverse curvature in curved strips

Thomas Barois

Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine,  
Univ. Bordeaux, CNRS, LOMA, UMR 5798, F-33405 Talence, France  
thomas.barois@u-bordeaux.fr

If one compares the energy cost of stretching vs. bending for a thin elastic plate, one finds that the stretching deformations are orders of magnitude above the bending deformations (typically  $10^6$  for a paper sheet). As a consequence, the Rayleigh principle states that such thin objects will deform *under ordinary circumstances* (in the words of Rayleigh) without stretching deformations. The family of deformations without stretching are the isometric or the developable transformations.

In this presentation, I will discuss some situations in which pure bending deformations are not observed for thin elastic plates. I will present a simple experiment (see Fig. 1) in which a flat elastic strip is pressed against a circular cylinder. Although a cylinder is a developable surface, the strips does not follow it, and after a finite distance of the cylinder, the strip is flat.



**Figure 1.** Side view a rectangular elastic strip (length 30 cm, width 20 cm, thickness 3 mm) pressed against a circular cylinder of radius 10 cm.

I will present a 1D-model that predicts quantitatively the finite persistence length of the curved region. This model describes the sheet surface by the transverse curvature function  $c(x)$ .

## References

1. T. BAROIS, L. TADRIST, C. QUILLIET & Y. FORTERRE, How a Curved Elastic Strip Opens, *Phys. Rev. Lett.*, **113**, 214301 (2014).



# Buckling-load prediction of a damaged Coke can

Anaïs Abramian<sup>1</sup>, Emmanuel Virot<sup>2,3</sup>, Emilio Lozano<sup>3</sup>, Tobias Schneider<sup>3</sup> & Shmuel Rubinstein<sup>2</sup>

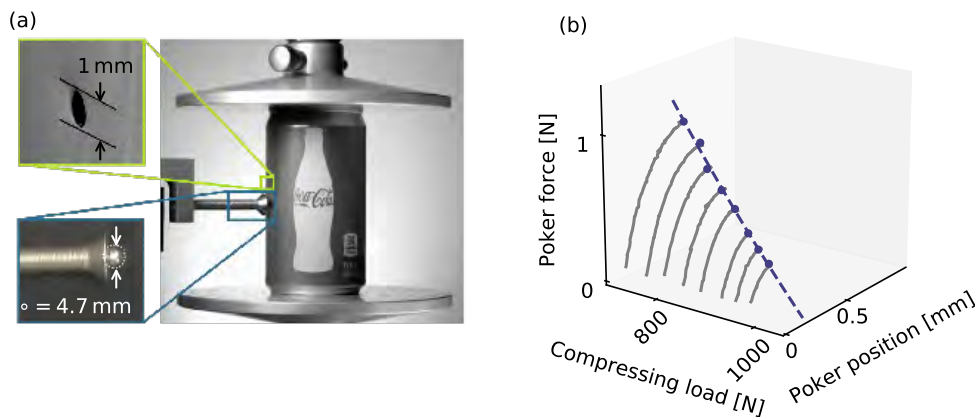
<sup>1</sup> Institut Jean le Rond d'Alembert, Sorbonne Université, Paris, France

<sup>2</sup> SEAS, Harvard University, Cambridge, USA

<sup>3</sup> ECPS, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland

anaïs.abramian@upmc.fr

When we compress a cylindrical shell, such as a Coke can, from its top, it remains stable over considerable weights until it eventually buckles at a critical load. The shell then deforms and loses all its useful mechanical properties. What controls this critical load is complex: it stochastically varies from one can to the other because it strongly depends on the shell's imperceptible defects [1]; it thus remains unpredictable without a prior knowledge of these imperfections. Here, we propose an alternative approach to measure this load. We introduce a defect in a commercial can, namely a hole of 1 mm in its mid plane, small enough that the initial imperfections still control the buckling load. Then, we compress the can and poke it close to this hole (Fig. 1 (a)). While the poker slowly advances, the force it exerts on the shell increases and reaches a maximum [2] (each grey line, Fig. 1 (b)). By stopping the poker before it triggers buckling, we show that this maximum decreases with the compressing load, and vanishes at the buckling one, which we thus predict without damaging the can. This method provides a promising framework to understand the buckling of a shell, and more generally, imperfection-sensitive instabilities.



**Figure 1.** (a) Experimental setup: can compressed between two plates and poked just below a drilled hole. Close view on the hole and on the poker. (b) Procedure to measure the can's buckling load : poker force and poker position as a function of the compressing load. The amplitude of the force decreases with the compressing load and vanishes at the buckling one.

## References

1. P. SEIDE, V. I. WEINGARTEN & E. J. MORGAN, *The development of design criteria for elastic stability of thin shell structures*, Space Technology Laboratories, Report STL/TR-60-0000-19425 (1960).
2. E. VIROT, T. KREILOS, T. M. SCHNEIDER & S. M. RUBINSTEIN, Stability landscape of shell buckling, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 224101 (2017).

# Compression uniaxiale et flambage d'une feuille confinée : la spirale élastique

Stéphanie Deboeuf<sup>1</sup> & Eytan Katzav<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Jean Le Rond d'Alembert (CNRS UMR 7190, Sorbonne Université), Paris, France

<sup>2</sup> Racah Institute of Physics (The Hebrew University), Jerusalem, Israel

sdeboeuf@dalembert.upmc.fr

Dans notre expérience, une feuille est confinée dans une boîte rectangulaire de hauteur constante mais limitée et de longueur variable décroissante : la feuille initialement plane est ainsi compactée uniaxialement et flambe sous les contraintes de réduction et restriction de l'espace disponible (cf. Fig. 1). Les premiers motifs de flambage, quasi-périodiques et quasi-symétriques, sont des motifs de type sinusoïdaux déjà bien étudiés [1]. Ceux-ci sont observés jusqu'à l'apparition spontanée d'une spirale élastique, motif caractéristique des morphologies de tiges ou plaques très fortement compactées.

D'une part, nous caractérisons expérimentalement le flambage sous confinement d'après la morphologie de ces motifs et la réponse mécanique de la feuille. D'autre part, nous réalisons des calculs théoriques d'après l'équation de l'Elastica d'Euler-Bernoulli pour les tiges élastiques, inspirés des travaux de Chai [2]. La comparaison systématique expériences versus calculs théoriques permet de distinguer quels régimes observés expérimentalement sont bien décrits par l'Elastica linéarisé et l'Elastica exact respectivement, ainsi que d'identifier les ingrédients essentiels à l'apparition d'une telle spirale. Étonnamment la prédiction de la spirale ne nécessite pas la prise en compte du frottement, même si celui-ci a une influence.

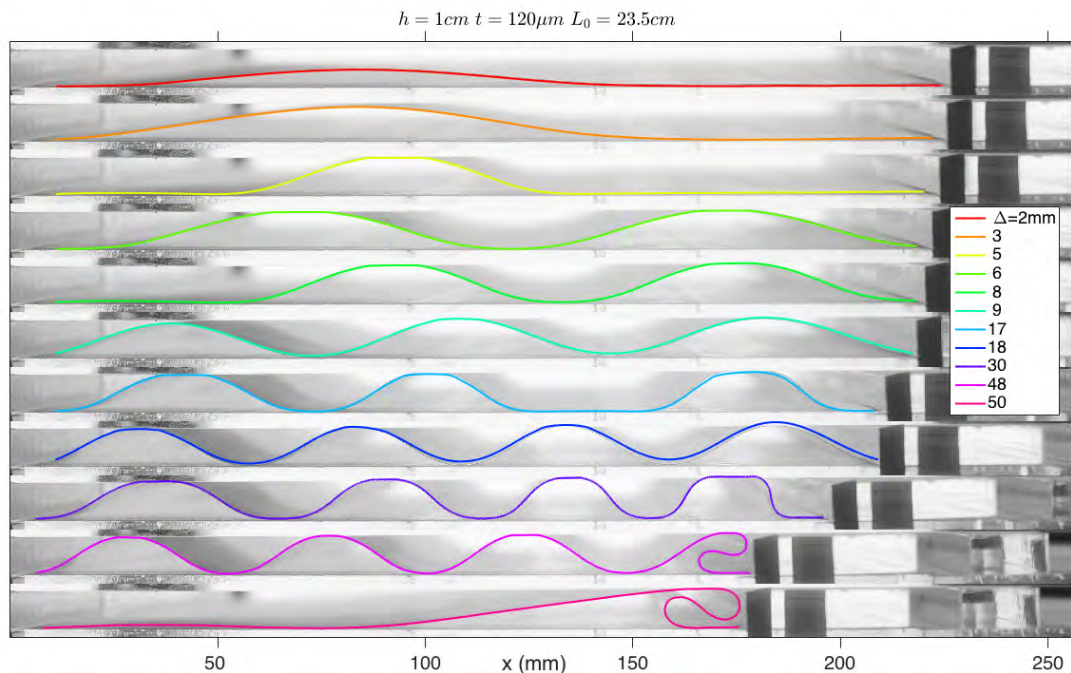


FIGURE 1. Motifs sinusoïdaux et spirale élastique observés lors de la compression uniaxiale d'une feuille confinée.

## Références

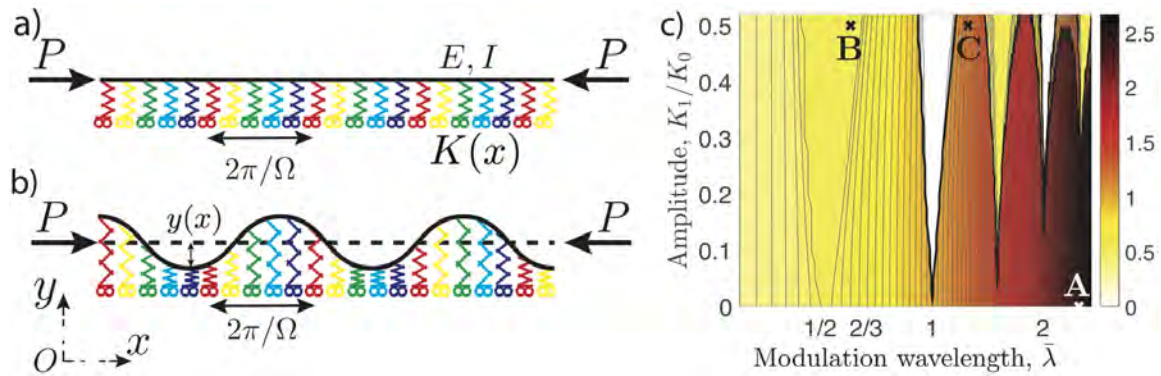
1. B. ROMAN & A. POCHEAU, Postbuckling of bilaterally constrained rectangular thin plates, *J. Mech. Phys. Solids*, **11**, 2379–2401 (2002).
2. H. CHAI, The post-buckling response of a bi-laterally constrained column, *J. Mech. Phys. Solids*, **46**, 1155–1181 (1998).

# Parametric wrinkling instabilities of 1D structures in spatially periodic elastic states

Arnaud Lazarus

Sorbonne Université, CNRS, UMR 7190, Institut Jean le Rond d'Alembert, Paris, France  
arnaud.lazarus@upmc.fr

Parametric instabilities, that can appear in linear time-periodic systems, are the consequences of the eventual frequency lock-in of the Floquet Forms (FFs) of a linear Ordinary Differential Equation with periodic coefficient [1]. They are sometimes exploited to perform interesting functionalities in structural dynamics such as amplifiers [2] or large-band energy harvester in Micro Electromechanical Systems [3]. One strong limitation though, in fully exploiting parametric instabilities in dynamical systems governed by Initial Value Problems, is that they rapidly disappear with inherent friction forces. Here, we investigate what would be the analog of FFs lock-in in Boundary Value Problems and whether it could be interesting for the stability of structures. We illustrate, throughout the academic problem of a compressed beam on a periodically varying Winkler foundation [4], the mechanics of wavenumber lock-in of Floquet forms and highlight with a more practical structural stability problem, how it could be exploited to enrich the spectrum of elastic buckling patterns.



**Figure 1.** (a, b) Sketch of an infinite compressed beam lying on a Winkler foundation with elastic springs that are harmonically varying in space. The harmonic modulation is characterized by an amplitude  $K_1$  and a wavelength  $\lambda$ . (a) Undeformed and (b) deformed configuration. (c) Evolution of the fundamental wavelength of the buckling pattern as a function of modulation parameters  $\lambda$  and  $K_1$ . For certain regions, analogous to Mathieu's tongues, the buckling pattern is not quasi-periodic but  $2\lambda$  (yellow) or  $\lambda$ -periodic (white).

## References

1. B. BENTVELSEN & A. LAZARUS, Modal and stability analysis of structures in periodic elastic states: application to the Ziegler column, *Nonlinear Dyn.*, **91**, 1349–1370 (2018).
2. O. THOMAS, F. MATHIEU, W. MANSFIELD, C. HUANG, S. TROLIER-MCKINSTRY & L. NICU, Efficient parametric amplification in micro-resonators with integrated piezoelectric actuation and sensing capabilities, *Appl. Phys. Lett.*, **102**, 163504 (2013).
3. Y. JIA, S. DU & A. A. SESHIA, Twenty-eight orders of parametric resonance in a microelectromechanical device for multi-band vibration energy harvesting, *Sci. Rep.*, **6**, 30167 (2016).
4. M. EISENBERGER, D. Z. YANKELEVSKY & J. CLASTORNIK, Stability of beams on elastic foundation, *Comput. Struct.*, **24**, 135–139 (1986).

# Dynamique d'une barre d'Ericksen régularisée bistable : vers un modèle de déploiement de rubans bistables

Stéphane Bourgeois<sup>1</sup>, Nicolas Favrie<sup>2</sup> & Bruno Lombard<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA

<sup>2</sup> IUSTI Polytech Marseille, 13453 Marseille

<sup>3</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA

[lombard@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:lombard@lma.cnrs-mrs.fr)

On s'intéresse aux rubans qui ont la particularité d'avoir deux états stables : une configuration enroulée et une configuration déroulée. Lors du déploiement d'un tel ruban préalablement enroulé, la déformée présente à chaque instant une partie déroulée et une partie enroulée (figure 1), avec une zone de transition qui se propage le long du ruban [4]. Un récent travail a montré une analogie entre le comportement d'un ruban classique (non bistable) et le modèle 1D de barre d'Ericksen régularisé [5]. On montre ici qu'un modèle 1D de barre d'Ericksen bistable et régularisée permet de reproduire un tel comportement dynamique. Il est cependant nécessaire de résoudre un système dispersif et conditionnellement hyperbolique, ce qui pose des problèmes théoriques et numériques. Afin de construire un modèle numérique efficace, le Lagrangien du modèle d'Ericksen bistable régularisé est enrichi [1, 3]. Le système hyperbolique non-homogène obtenu est résolu par splitting et par une méthode de volumes finis. Des simulations numériques illustrent l'influence des paramètres sur la largeur de la zone de transition et sur la vitesse de propagation de la zone de transition. L'influence de la dissipation d'énergie est également examinée .



FIGURE 1. Déploiement dynamique d'un ruban bistable.

## Références

1. F. DHAOUADI & N. FAVRIE & S. GAVRILYUK, Extended Lagrangian approach for the defocusing nonlinear Schrödinger equation, *Stud. Appl. Math.*, **142**, 336–358 (2019).
2. J. L. ERICKSEN, *Introduction to the thermodynamics of solids*, Springer (1998).
3. N. FAVRIE & S. GAVRILYUK, A rapid numerical method for solving Serre–Green–Naghdi equations describing long free surface gravity waves, *Nonlinearity*, **30**, 2718–2736 (2017).
4. F. GUINOT, S. BOURGEOIS, B. COCHELIN & L. BLANCHARD, A rod model with flexible thin-walled cross-section : application to the folding of tape springs, *Int. J. Solids Struct.*, **49**, 73–86 (2012).
5. M. MARTIN, S. BOURGEOIS, B. COCHELIN & F. GUINOT, Planar folding of tape springs: the rod model with flexible cross-section revisited as a regularized Ericksen bar model, *Int. J. Solids Struct.*, sous presse (2019).

# Morphological and topological evolution of contact clusters

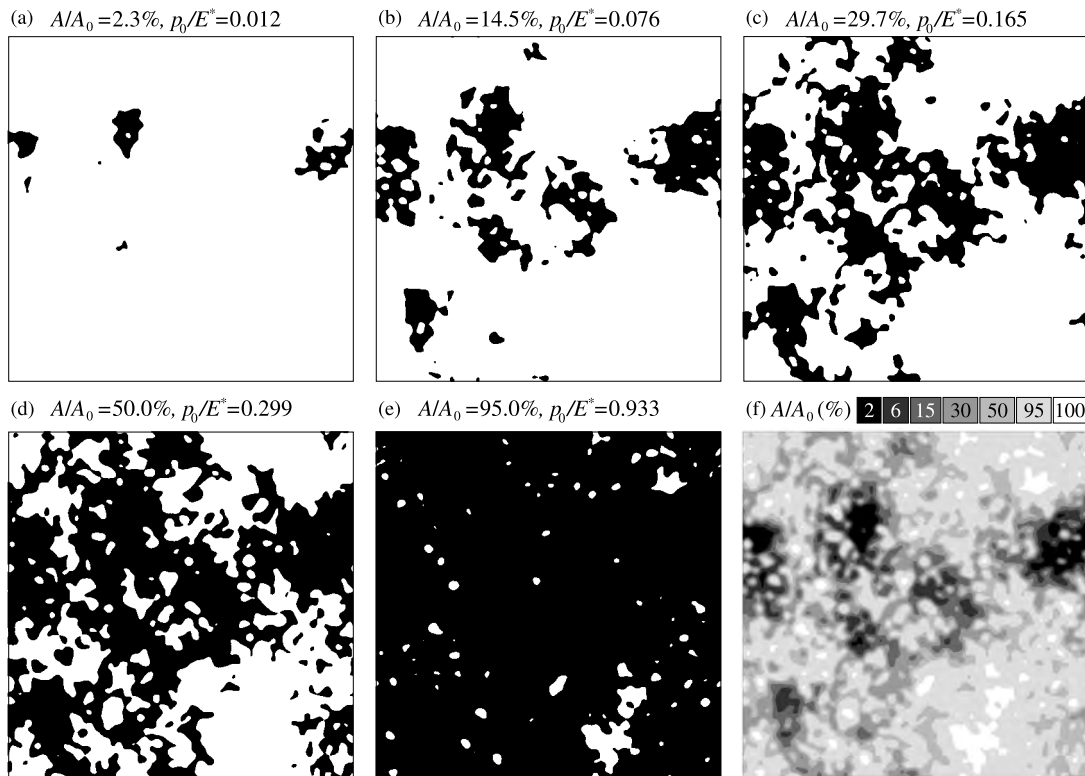
Vladislav A. Yastrebov<sup>1</sup> & Andrei G. Shvarts<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MINES ParisTech, PSL Université, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, Evry, France

<sup>2</sup> University of Glasgow, James Watt School of Engineering, Glasgow, Royaume-Uni

vladislav.yastrebov@mines-paristech.fr

When two rough surfaces come in contact, they touch over small zones that represent the true area of contact. Under the increasing pressure, these zones grow, change in shape, meet and change their topology (see Fig. 1) [1]. All of these changes are affected by the mechanical behavior of the underlying materials as well as by the rheology of the fluid that separates the contacting surfaces. In this study, we make an attempt to characterize (i) the shapes of contact clusters and (ii) the topological changes that they can undergo. In addition we will make a link between these geometrical aspects and the parameters of the surface roughness, material models and the properties of the interface fluid. The percolation properties of the contact clusters will be also studied as well as the effect of the fluid (compressible or incompressible) trapped in the contact zones [2]. A link is made between the topological characteristics of contact clusters and the self-consistent mean-field model for the permeability of contact interfaces.



**Figure 1.** Evolution of the true contact area  $A = A_0$  under the increasing normalized pressure  $p_0/E$ .

## References

1. V. A. YASTREBOV, G. ANCIAUX & J. F. MOLINARI, The role of the roughness spectral breadth in elastic contact of rough surfaces, *J. Mech. Phys. Solids*, **107**, 469–493 (2017).
2. A. G. SHVARTS & V. A. YASTREBOV, Trapped fluid in contact interface, *J. Mech. Phys. Solids*, **119**, 140–162 (2018).

## Wrinkling to crinkling transitions in magnetoelastic film substrate systems

Kostas Danas

Laboratoire de Mécanique des Solides, École Polytechnique, CNRS UMR 7649, 91128 Palaiseau Cedex, France  
konstantinos.danas@polytechnique.edu

In this talk, I will present our work on magnetorheological elastomers (MREs) including experiments, theory and numerical implementation. MREs are composite materials comprising metallic soft (e.g. iron) or hard (e.g. NdFeB) magnetic micron-sized particles. Out of these materials one can devise a number of interesting meso- and macrostructures slender or not that can lead to a number of functionalities such as surface patterning, negative or positive swelling, network activation, negative Poisson ratio, evolving anisotropic magnetic properties, hierarchical buckling and others. The main idea lies in the ability to drive the systems by using two external loads, i.e. mechanical and magnetic ones and in particular to harness the resulting instabilities that are natural in magnetic structures. This allows, in turn, to reach a critically stable state by applying one of the fields (e.g. mechanical) and trigger patterning and instabilities at low energetic cost with the other (e.g. magnetic). As an example, we will discuss in more detail a recently obtained pattern, called crinkling. This pattern appears in slender magnetic structures such as MRE films bonded to soft (non-)magnetic substrates that are subjected to a combination of mechanical pre-compression and transverse to the film magnetic loads. In particular, the initial wrinkles evolve into crinkles, a bifurcation mode that is defined by the accompanied curvature localization and significant shearing of the side faces of the wrinkled geometry. Interestingly, the presence of the magnetic field prohibits the formation of creases and folds.

---

Exposés longs de la 23<sup>e</sup> Rencontre du  
Non-Linéaire

---





# Émergence d'un mode géostrophique dans une expérience de turbulence en rotation forcée par des ondes d'inertie

Pierre-Philippe Cortet<sup>1</sup>, Maxime Brunet<sup>1</sup> & Basile Gallet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, CNRS, FAST, 91405, Orsay, France

<sup>2</sup> Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, Service de Physique de l'État Condensé, 91191, Gif-sur-Yvette, France  
ppcortet@fast.u-psud.fr

Les fluides en rotation, à travers l'action de la force de Coriolis, permettent la propagation d'ondes internes dispersives et anisotropes, appelées ondes d'inertie. Celles-ci constituent un des ingrédients majeurs de la dynamique des écoulements géophysiques et astrophysiques. En régime non-linéaire, ces ondes et les structures tourbillonnaires peuvent s'intriquer de différentes manières conduisant à un vaste paysage de régimes possibles pour la turbulence en rotation. Parmi ceux-ci, le régime de turbulence d'ondes, pour lequel de nombreuses prédictions analytiques existent, n'a pour l'instant jamais été observé.

Dans ce travail, nous présentons les résultats d'une expérience de turbulence en rotation ayant l'originalité d'être forcée uniquement par des ondes d'inertie. Notre système consiste en un jeu de 32 cylindres oscillants organisés régulièrement sur la surface d'une sphère virtuelle de 80 cm de diamètre dans un aquarium rempli d'eau placé sur une plateforme tournante. La propagation des faisceaux d'ondes émis par les cylindres permet de venir déposer, au cœur de la sphère, l'énergie dans une assemblée de nombreuses ondes d'inertie.

Pour une amplitude de forçage modérée, une partie de l'énergie des ondes forcées est transférée à des ondes sous-harmoniques selon le processus d'instabilité par résonance triadique [1]. Ce phénomène est en accord avec le scénario proposé par la théorie de la turbulence d'ondes, où une cascade d'énergie vers les basses fréquences est portée par des interactions triadiques résonantes. Toutefois, pour des amplitudes de forçage plus grandes, le système ne tend pas vers un régime de turbulence d'ondes. Au lieu de cela, nous mettons en évidence que la majorité de l'énergie se condense dans un mode géostrophique, invariant verticalement. L'émergence de ce mode est tout à fait remarquable car les interactions triadiques résonantes sont théoriquement incapables de transférer de l'énergie vers un tel mode 2D.

En nous inspirant des travaux de Smith et Waleffe [2], nous proposons une description théorique de nos observations s'appuyant sur un développement de l'équation de Navier-Stokes en rotation au troisième ordre en nombre de Rossby et non plus simplement au deuxième ordre comme proposé dans la théorie de la turbulence d'ondes. Nous montrons que l'assemblée d'ondes d'inertie que nous forçons expérimentalement peut conduire à travers une instabilité à quatre ondes résonantes à l'émergence d'un mode géostrophique. Cette instabilité « quartetique » a pour conséquence de court-circuiter la cascade d'énergie par résonances triadiques prévue par la théorie de la turbulence d'ondes.

Nous montrons toutefois qu'il est possible d'inhiber l'instabilité quartetique en introduisant une dissipation sélective du mode géostrophique ouvrant potentiellement la voie à l'exploration du régime de turbulence d'ondes d'inertie.

## Références

1. G. BORDES, F. MOISY, T. DAUXOIS & P.-P. CORTET, Experimental evidence of a triadic resonance of plane inertial waves in a rotating fluid, *Phys. Fluids*, **24**, 014105 (2012).
2. L. M. SMITH & F. WALEFFE, Transfer of energy to two-dimensional large scales in forced, rotating three-dimensional turbulence, *Phys. Fluids*, **11**, 1608 (1999).

# La vision dans les modèles de mouvements collectifs

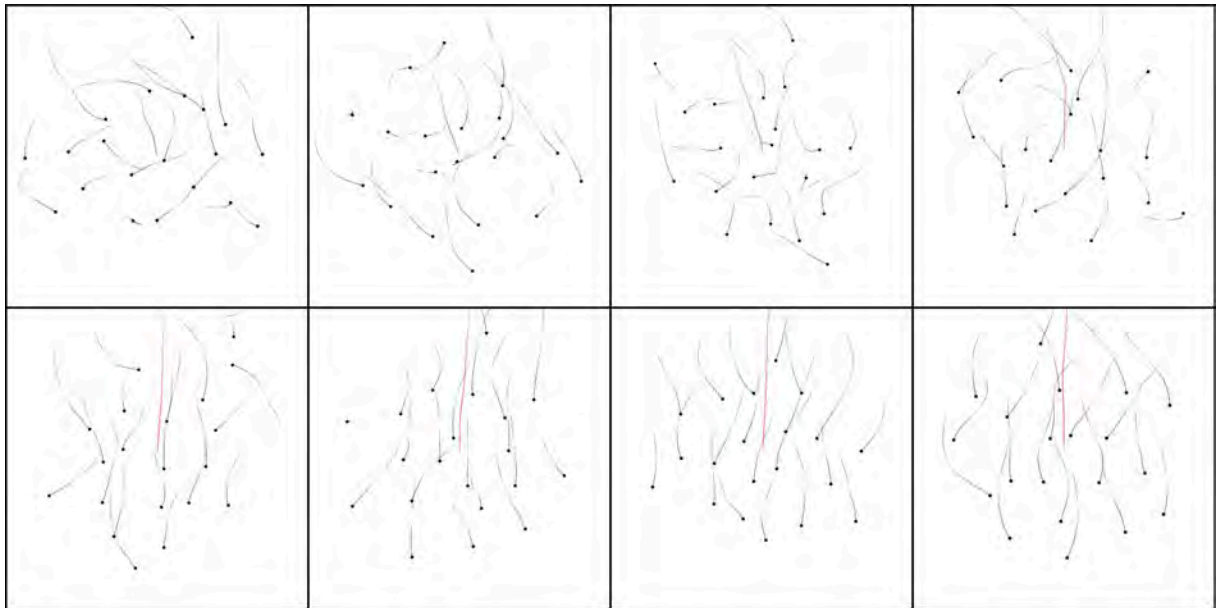
Renaud Bastien<sup>1</sup> & Pawel Romanczuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches Interdisciplinaires, Paris, France

<sup>2</sup> Department of Biology, Institute for Theoretical Biology, Humboldt Universität zu Berlin, and Bernstein Center for Computational Neuroscience Berlin, Germany

renaud@unred.org

Les modèles classiques de comportement collectif sont souvent construits autour d'informations sociales qui ne sont pas directement accessibles aux individus [1], par exemple le nombre de plus proches voisins ou leurs distances respectives. Malgré le pouvoir explicatif de ces modèles, il est maintenant proposé qu'une compréhension plus fine doit inclure la réalité sensorielle de l'interaction, i.e. comment les informations externes et internes sont transformées. La vision apparaît comme une propriété centrale qui permet l'obtention d'informations dans l'environnement et d'influencer le comportement collectif d'un groupe. Nous proposons la construction d'un modèle général de mouvements collectifs basé uniquement sur la vision des individus [2]. Dans cadre, le modèle le plus simple, basé sur un champ visuel binaire, est suffisant pour l'émergence de comportements collectifs organisés en l'absence de représentation spatiale ou de collisions (Fig. 1). Il devient ainsi possible de discuter comment des propriétés visuelles sont combinées pour créer des interactions basiques entre individus, à la fois en 2D et en 3D, ainsi que l'existence de représentation de l'espace et des autres. Nos travaux proposent une approche pour la formulation explicite d'un cadre mathématique permettant l'exploration des interactions basés sur la perception et de leurs différences avec les interactions purement physiques.



**FIGURE 1.** Dans le sens de la lecture, partant d'une configuration désordonnée, les individus se polarisent uniquement au travers de leur vision, en l'absence de collisions ou d'alignement explicite. La taille du système est directement donnée par la taille des individus, les images sont centrées sur le centre de masse du groupe. Le mouvement du centre de masse est donné par la courbe rouge.

## Références

1. T. VICSEK & A. ZAFEIRIS, Collective motion, *Phys. Rep.*, **517**, 71–140 (2012).
2. R. BASTIEN & P. ROMANCUK, A model of collective behavior based purely on vision, *Sci. Adv.*, sous presse, (2020).

# Génération de topographie aux interfaces glace–océan

Louis-Alexandre Couston<sup>1,2</sup>, Eric Hester<sup>3</sup>, Benjamin Favier<sup>4</sup>, Adrian Jenkins<sup>1</sup> & Paul Holland<sup>1</sup>

<sup>1</sup> British Antarctic Survey, Cambridge, UK

<sup>2</sup> Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge, Cambridge, UK

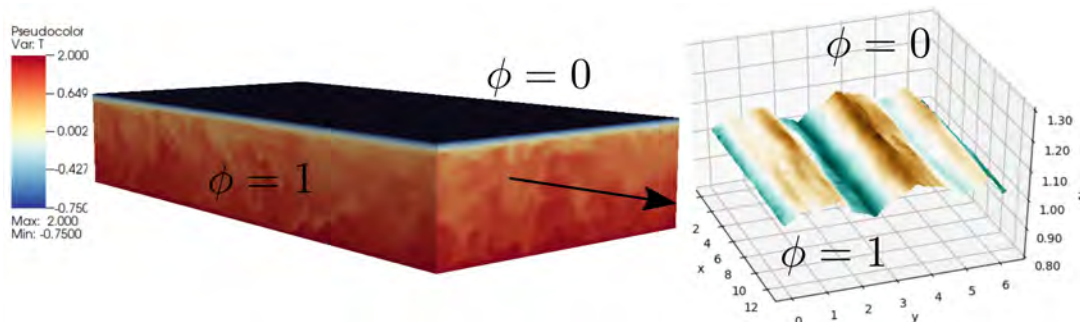
<sup>3</sup> Department of Mathematics and Statistics, University of Sydney, Australia

<sup>4</sup> Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre, Aix-Marseille Université, Marseille, France

loton@bas.ac.uk

Les interactions glace–océan contrôlent la vitesse de fonte des plateformes glaciaires antarctiques, dont la contribution à la montée du niveau des mers est importante et pourrait s’accroître au cours des prochaines décennies. Le taux de fonte des plateformes glaciaires dépend de la dynamique des couches limites océaniques ainsi que de la rugosité des interfaces glace–océan. Aujourd’hui, ce taux de fonte est mal connu car notre connaissance de la topographie basale des plateformes glaciaires est limitée.

Au cours de cet exposé je présenterai un modèle basé sur la méthode du champ de phase [1] permettant d’étudier l’évolution d’un solide à changement de phase au contact d’un écoulement turbulent et stratifié en température (cf. Fig. 1). Des résultats de simulations numériques directes à petits nombres de Stefan (chaleur latente) et de Reynolds (vitesse de l’écoulement) et pour le cas d’un écoulement de Poiseuille seront présentés. Dans ce régime, je montrerai que des canaux alignés dans le sens de l’écoulement se créent spontanément par changement de phase à l’interface liquide–solide qui est initialement plane. Je discuterai de l’importance des conditions aux limites et de la stabilité de la stratification en densité sur la formation des canaux et le taux de fonte de l’interface. Enfin, j’évoquerai l’effort numérique nécessaire pour étudier l’impact de motifs topographiques 3D en forme d’alcôves prédits théoriquement [2] et observés en laboratoire [3] sur la fonte des glaces.



**FIGURE 1.** Résultats préliminaires de génération de topographie glaciaire spontanée. La figure de gauche montre le champ de température pour un écoulement cisailé au contact d’une couche de glace. La température est supérieure à  $0^{\circ}\text{C}$  (en rouge) dans le liquide, où la variable d’état du modèle champ de phase est  $\phi = 1$ , et inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$  (en bleu sombre) dans le solide où  $\phi = 0$ . La figure de droite montre un exemple de topographie d’interface obtenue à l’équilibre. Les canaux (quilles) en rouge (bleu) représentent les zones de fonte forte (faible) de la glace.

## Références

1. B. FAVIER, J. PURSEED & L. DUCHEMIN, Rayleigh–Bénard convection with a melting boundary, *J. Fluid Mech.*, **858**, 437–473 (2019).
2. P. CLAUDIN, O. DURÁN & B. ANDREOTTI, Dissolution instability and roughening transition, *J. Fluid Mech.*, **832**, R2 (2017).
3. M. BUSHUK, D. M. HOLLAND, T. P. STANTON, A. STERN & C. GRAY, Ice scallops: a laboratory investigation of the ice–water interface, *J. Fluid Mech.*, **873**, 942–976 (2019).

# Un nouveau modèle de striations des plasmas radio-fréquence

Victor Désangles<sup>1</sup>, Jean-Luc Raimbault<sup>2</sup>, Alexandre Poyé<sup>1</sup>, Pascal Chabert<sup>2</sup> & Nicolas Plihon<sup>1</sup>

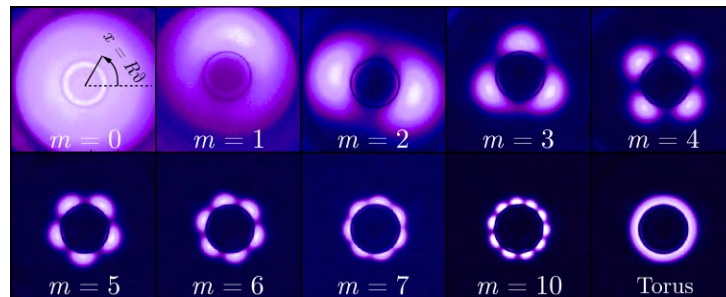
<sup>1</sup> Laboratoire de Physique, ENS de Lyon, Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique des Plasmas, CNRS, Sorbonne U., U. Paris Sud, École Polytechnique  
nicolas.plihon@ens-lyon.fr

L'auto-organisation des décharges plasma continues a été observée dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle se traduit par des modulations régulières de l'intensité lumineuse émise, dues à une instabilité d'ionisation liée à des non-linéarités de la fréquence d'ionisation en fonction de la densité électronique [1]. Des modulations analogues ont aussi été observées depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle dans des décharges radio-fréquence (RF), mais dont l'origine restait inexplicée [2].

Nous proposons un nouveau mécanisme d'instabilité permettant l'explication de cette auto-organisation grâce à un modèle fluide pour le plasma, dont les coefficients de transport électronique sont calculés par un modèle cinétique [3]. Pour un plasma quasi-neutre, le flux d'électrons  $\Gamma_e$  et le flux d'énergie  $H_e$  peuvent être exprimés en fonction des gradients de densité électronique  $\nabla n_e$  et de température électronique  $\nabla T_e$  en fonction de paramètres de transport  $D_a, \mu_e, \chi_e$  et  $\kappa_e$  selon :  $\begin{pmatrix} \Gamma_e \\ H_e \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} D_a & \mu_e \\ \chi_e & \kappa_e \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \nabla n_e \\ \nabla T_e \end{pmatrix}$ . Lorsque la fonction de distribution est non Maxwellienne — usuellement le cas à basse pression — les termes non diagonaux sont non nuls. Lorsque ceux-ci sont négatifs, le système devient instable, et des modulations de densité électronique peuvent se développer, conduisant à des modulations d'intensité lumineuse.

En utilisant un modèle cinétique pour un plasma d'argon à basse pression, nous avons montré que les termes non diagonaux peuvent être suffisamment négatifs pour déstabiliser les effets de diffusion classique pour des pressions inférieures à 150 Pascal. Ces résultats expliquent un ensemble d'observations expérimentales dans un plasma RF d'argon à basse pression (entre 0 et 300 Pascal) en géométrie annulaire : (i) une brisure de l'axisymétrie est observée au delà d'une pression seuil, (ii) des modulations azimuthales de l'intensité lumineuse sont observées, dont le nombre d'onde augmente avec la pression, (iii) l'axisymétrie est restaurée pour les pressions les plus élevées (cf. Fig. 1).



**FIGURE 1.** Intensité lumineuse d'un plasma annulaire, pressions croissantes de gauche à droite et de haut en bas. Le nombre d'onde  $m$  des modulations  $e^{im\theta}$  augmente avec la pression ; l'axisymétrie est restaurée à haute pression.

## Références

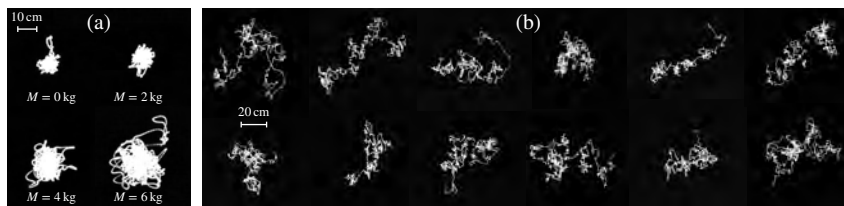
1. V. I. KOLOBOV, *J. Phys. D*, **39**, R487 (2006).
2. A. S. PENFOLD, J. A. THORNTON & R. C. WARDER, *Czech. J. Phys. B*, **23**, 431–435 (1973).
3. V. DÉSANGLES, J.-L. RAIMBAULT, A. POYÉ, P. CHABERT & N. PLIHON, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 265001 (2019).

# Mouvement humain et mouvement brownien

Tom Maddalena<sup>1</sup>, Christophe Clanet<sup>1</sup> & Caroline Cohen<sup>1</sup>

LadHyX, École polytechnique, Route de Saclay, 91120 Palaiseau  
tom.maddalena@ladhyx.polytechnique.fr

En sport ou lorsqu'il est question de mouvements humains en général, on peut quantifier la performance par le niveau de force, de vitesse et/ou encore de précision. Dans cette étude, on s'intéresse à la dernière : comment un archer est-il capable de viser le centre de la cible (aligner son viseur avec un disque de 12 cm à 70 m de distance) en exerçant une force de 250 N sur son arc ? Afin de caractériser et comprendre les mécanismes en jeu dans le contrôle et la précision des mouvements humains, nous réalisons une expérience modèle relativement simple. Une personne vise une cible à l'aide d'un pointeur laser, et nous filmons sa trajectoire. Certaines d'entre elles sont représentées sur la figure 1 (a). Elles peuvent rappeler les trajectoires du pointeur lors de la présentation d'un chercheur un peu stressé en conférence. Le mouvement semble partiellement aléatoire et forme une pelote centrée sur la cible. Cela suggère qu'il existe un bruit (musculaire) qui écarte le laser de la cible, et un contrôle qui tend à l'en rapprocher. En plaçant des masses de musculation de masse  $M$  sur le poignet de la personne qui réalise l'expérience, nous augmentons le bruit, et donc la taille des pelotes. Si l'on demande à la personne de réaliser la même expérience mais en fermant les yeux afin de supprimer le contrôle, les trajectoires — représentées sur la figure 1 (b) — deviennent alors remarquables. Le pointeur laser ne reste plus centré sur la cible et s'en écarte progressivement. Ces trajectoires ne sont pas sans rappeler le mouvement brownien d'une particule de taille micrométrique à la surface d'un liquide, étudié par Jean Perrin en 1910 [1].



**FIGURE 1.** Trajectoires d'un pointeur laser, obtenues en demandant à une personne de viser une cible le bras tendu (a) les yeux ouverts et (b) les yeux fermés.

En s'inspirant de la théorie développée par Langevin [2] puis complétée plus tard par Ornstein et Uhlenbeck [3], et de la méthode d'analyse présentée dans [4], nous montrons comment nous pouvons remonter à l'équation de Langevin qui régit le mouvement de la visée humaine. Cela nous permet notamment de mesurer à partir de la trajectoire macroscopique, des paramètres microscopiques qui caractérisent le système psychomoteur humain. Nous discutons enfin les potentiels applications de cette expérience pour le diagnostic de maladies affectant le système neuronal ou musculaire.

## Références

1. J. PERRIN, Mouvement brownien et molécules, *J. Phys. Theor. Appl.*, **9**, 5–39 (1910).
2. P. LANGEVIN, Sur la théorie du mouvement brownien, *C. R. Acad. Sci.*, **146**, 530–533 (1908).
3. G. E. UHLENBECK & L.S. ORNSTEIN, On the theory of the brownian motion, *Phys. Rev.*, **36**, 823–841 (1930).
4. J. N. PEDERSEN *et al.*, How to connect time-lapse recorded trajectories of motile microorganisms with dynamical models in continuous time, *Phys. Rev. E*, **94**, 062401 (2016).

## Les gouttes ne tombent pas en ligne droite : un modèle de croissance des stalagmites

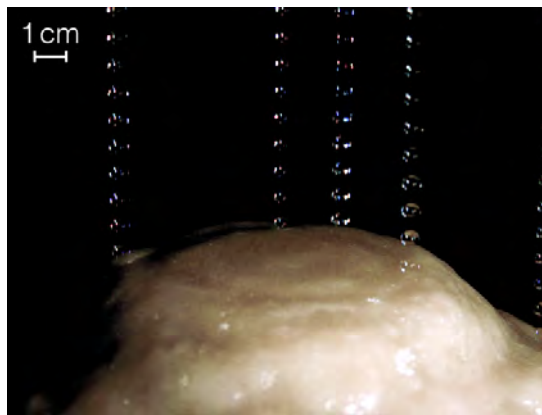
Justine Parmentier & Tristan Gilet

Microfluidics Lab, Département d'Aérodynamique et Mécanique, Université de Liège, Liège, Belgique  
jparmentier@uliege.be

De toutes les tailles et de toutes les formes, les stalagmites jonchent le sol de nombreuses grottes à travers le monde. Bien souvent millénaires, elles témoignent des conditions climatiques passées. Toutefois, si la cinétique de précipitation de la calcite menant à la croissance des stalagmites est bien comprise [1], l'influence de la mécanique des fluides sous-jacente reste méconnue.

En filmant des stalagmites à l'aide d'une caméra rapide, nous avons remarqué que le point d'impact des gouttes, qui tombent d'une seule et même stalactite, est aléatoire et dispersé de façon axisymétrique autour du centre de la stalagmite (cf. Fig. 1). La goutte dévie d'une trajectoire verticale au cours de sa chute. L'écart-type de cette dispersion augmente avec la hauteur de chute et peut atteindre plusieurs centimètres. Les flux d'air provenant des entrées/sorties de la grotte ne suffisent pas à expliquer ces déviations qui sont aussi observées en laboratoire en l'absence de courants d'air.

La responsable de ces déviations n'est autre que la force aérodynamique qui agit sur la goutte tombante. Les centaines de tourbillons d'air émis dans le sillage de la goutte interagissent avec celle-ci, la poussant dans une direction aléatoire. Après plusieurs mètres de chute, la marche au hasard ainsi constituée suffit à dévier une goutte de 2,5 mm de rayon sur plusieurs centimètres. À l'aide d'un modèle de type Langevin sans paramètre non-contraint, nous décrivons la chute des gouttes en réponse à la gravité et aux forces aérodynamiques. Nous relierons ensuite la dispersion du point d'impact à la hauteur de chute. Nous montrons enfin que la largeur moyenne de diverses stalagmites est corrélée à l'écart-type de cette dispersion.



**FIGURE 1.** Les gouttes tombant d'une stalactite n'atterrissent pas au même endroit sur la stalagmite située dessous. Montage de vidéos prises à Orgnac (France), images séparés de  $740 \mu\text{s}$ . Crédit : *The Royal Society* 2019 [2].

### Références

1. W. DREYBRODT, *Processes in Karst Systems*, Springer, Berlin (1988).
2. J. PARMENTIER, S. LEJEUNE, M. MARÉCHAL, F. BOURGES, D. GENTY, V. TERRAPON, J.-C. MARÉCHAL & T. GILET, A drop does not fall in a straight line: a rationale for the width of stalagmites, *Proc. R. Soc. A*, **475**, 20190556 (2019).

# A growth model driven by curvature reproduces geometric features of arboreal termite nests

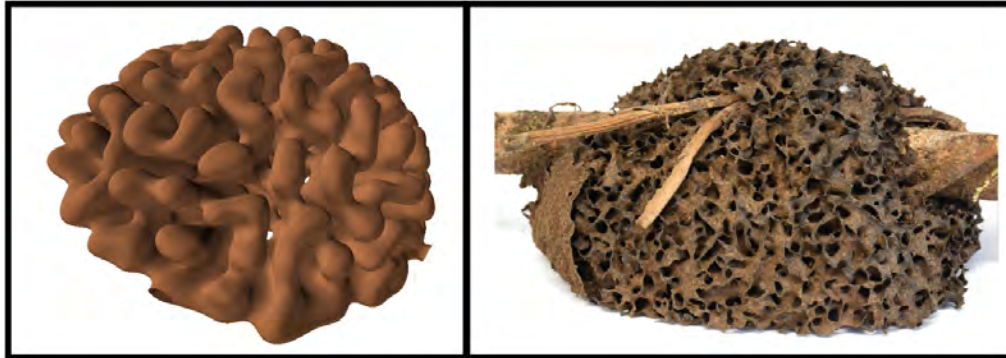
Giulio Facchini<sup>1</sup>, Alexandre Lazarescu<sup>2</sup>, Andrea Perna<sup>1</sup> & Stéphane Douady<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Life Sciences Department, University of Roehampton, London, UK

<sup>2</sup> Centre de Physique Théorique (CPHT), École Polytechnique, Paris, France

<sup>3</sup> Laboratoire Matière et Systèmes Complexe, Université Paris Diderot, Paris, France

giulio.facchini@roehampton.ac.uk



**Figure 1.** Numerical simulation of our growth model (left) and fragment of an arboreal nest of *Nasutitermes ephratae* collected from the field (right).

We present a simple three-dimensional model to describe the autonomous expansion of a substrate which grows driven by the local mean curvature of its surface. The model aims to reproduce the nest construction process in arboreal *Nasutitermes* termites [1], whose cooperation may be similarly mediated by the shape of the structure they are walking on, for example focusing the building activity of termites where local mean curvature is high. We adopt a phase-field model where the nest is described by one continuous scalar field and its growth can be described with a single non-linear equation with one adjustable parameter  $d$ . When  $d$  is large enough the equation is linearly unstable and fairly reproduces a growth process where the initial walls expand, branch and merge, while progressively invading all the available space, which is consistent with the intricate structures of real nests (cf. Fig. 1). Interestingly, the linear problem associated to our growth equation is analogous to the buckling of a thin elastic plate under in-plane compression which is known to produce rich patterns [2] through non linear and secondary instabilities [3]. We validate our model by collecting nests of two species of arboreal *Nasutitermes* from the field and imaging their structure with a micro-CT scanner. We find a strong resemblance between real and simulated nests, characterised by the emergence of a characteristic length-scale and by the abundance of saddle-shaped surfaces with zero-mean curvature which validates the choice of the driving mechanism of our growth model.

## References

1. R. J. JONES, Expansion of the nest of *Nasutitermes costalis*, *Insectes Sociaux*, **26**, 332–342 (1979).
2. N. BOWDEN *et al.*, Spontaneous formation of ordered structures in thin films of metals supported on an elastomeric polymer, *Nature*, **393**, 146–149 (1998).
3. B. AUDOLY *et al.*, Secondary buckling patterns of a thin plate under in-plane compression, *Eur. Phys. J. B*, **27**, 7–10 (2002).

# The hydrodynamic genesis of colloidal creatures

Blaise Delmotte<sup>1</sup>, Michelle Driscoll<sup>2</sup>, Alexandar Donev<sup>3</sup> & Paul Chaikin<sup>2</sup>

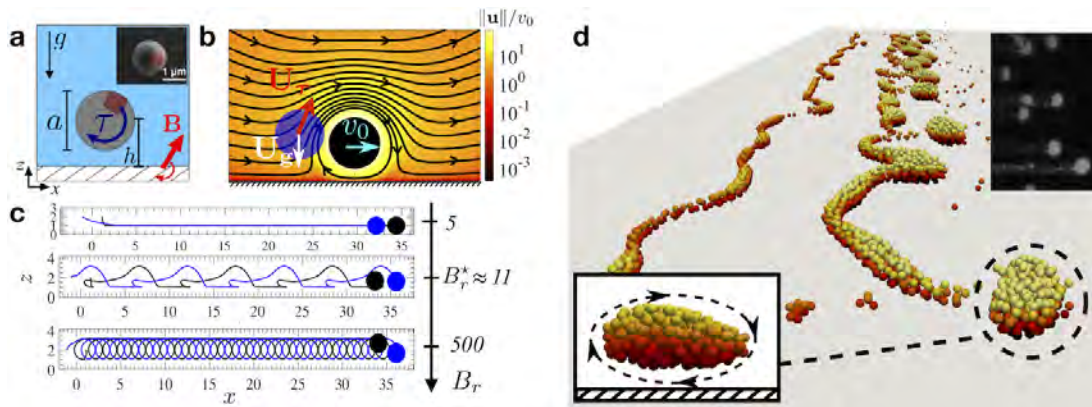
<sup>1</sup> LadHyX, CNRS/École Polytechnique, Palaiseau, France

<sup>2</sup> Department of Physics, New York University, New York 10003, USA

<sup>3</sup> Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York 10012, USA

delmotte@ladhyx.polytechnique.fr

Combining experiments, simulations and continuum models, we show that the strong hydrodynamic coupling between torque-driven particles, called microrotors, leads to the emergence of compact motile clusters, made of thousands of microrotors [1]. These “colloidal creatures” form an attractor of the system and demonstrate that self-assembly can be achieved without potential interactions.



**Figure 1.** (a) Sketch of a microrotor rotating above the floor. Inset: SEM image. (b) Flow field around a microrotor (simulation). Colorbar: flow speed  $\|\mathbf{u}\|$  normalized by the self-induced speed  $v_0$ . (c) Trajectories of a pair of microrotors for  $B_r = 5, 11$  and  $500$ . (d) Emergence of stable clusters from a fingering instability. Particle coloring: translational speed. Top inset: top view of experiments. Bottom inset: side view of a cluster.

Microrotors are suspended in a sealed chamber and sediment near the floor at an equilibrium height  $h \approx 1 \mu\text{m}$ . They are rotated by a magnetic field,  $\mathbf{B}$ , rotating parallel to the floor (Fig. 1 (a)). Hydrodynamic coupling plays a crucial role in the dynamics of this system. The self-induced speed of an isolated particle,  $v_0$ , is much smaller than the velocity it induces on neighboring particles:  $\|\mathbf{u}\|/v_0 \gg 1$  (Fig. 1 (b)). This strong coupling leads to hydrodynamic bound states whose existence is conditioned by a dimensionless number:  $B_r = U_\tau/U_g = \tau/mga$ , where  $\tau$  is the magnetic torque and  $m$  the particle mass. When  $B_r \gg 1$ , the upward torque-induced flow,  $U_\tau$ , can overcome downward gravity,  $U_g$ , and lead to periodic orbits (Fig. 1 (b)). A dynamical system description for a pair of microrotors shows that there is a critical value,  $B_r^* \approx 11$ , above which the pair exhibits a leapfrog limit cycle (Fig. 1 (c)), whose basin of attraction increases with  $B_r$  [2]. When many particles are involved, these leapfrog orbits lead to the emergence of stable motile clusters, made of thousands of particles, translating at high speeds (Fig. 1 (d)). A stability analysis shows that the width of these creatures is controlled by the wavelength of the fingering instability from which they detach. Our system offers promising applications for guided particle transport in microfluidic environments.

## References

1. M. DRISCOLL, B. DELMOTTE, M. YOUSSEF, S. SACANNA, A. DONEV & P. CHAIKIN, *Nat. Phys.*, **13**, 375–379 (2017).
2. B. DELMOTTE, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 044302 (2019).



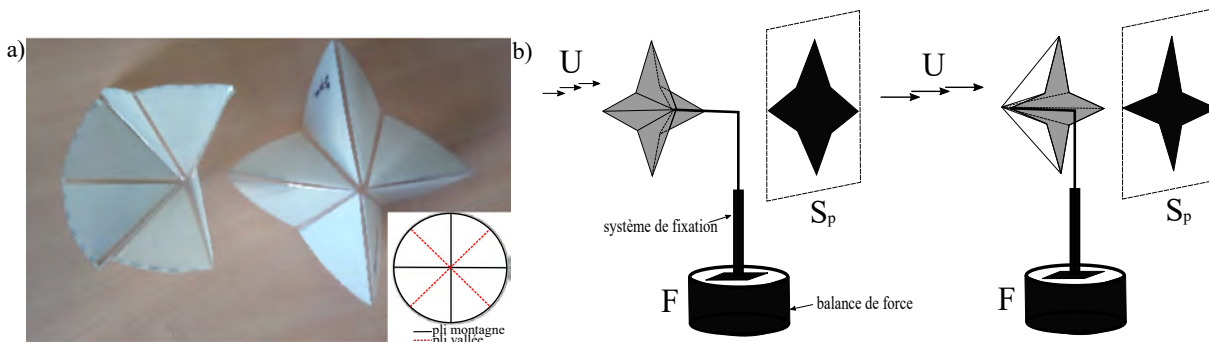
# Déformation d'une structure origami induite par un écoulement

Tom Marzin, Emmanuel de Langre & Sophie Ramananarivo

LadHyX, Department of Mechanics, Ecole polytechnique, Institut polytechnique de Paris, France  
marzin@ladhyx.polytechnique.fr

L'élasticité d'une structure sous écoulement permet sa reconfiguration engendrant une réduction des forces de traînée [1]. Les structures pliées inspirées par les origamis sont une opportunité intéressante afin d'élargir le domaine de la reconfiguration contrôlée.

Ici, nous étudions la reconfiguration d'un pliage « waterbomb ». Ce motif élémentaire [2] présente la particularité d'être bistable et d'exhiber une grande variation de forme durant sa cinétique.



**FIGURE 1.** (a) Base « waterbomb » avec faces rigides dans deux positions d'équilibre, composée d'un assemblage de deux types de mylar. (b) La structure est placée sous écoulement normal, passé une certaine vitesse elle se retourne vers sa seconde position d'équilibre. Le processus de reconfiguration génère une large variation de surface projetée  $S_p$  et de traînée  $F$  mesurée par une balance de force

Expérimentalement nous avons fabriqué des origamis à faces rigides en utilisant la superposition de mylar de différentes épaisseurs (fin pour les plis et épais pour les faces) et nous avons aussi fait varier les paramètres géométriques (tailles, angles d'ouverture) et élastiques (raideur des plis) de nos structures. Nous soumettons alors nos systèmes à un écoulement normal issu d'une soufflerie en veine ouverte. Nos expériences permettent de quantifier l'effet des grandes variations géométriques lors de la cinématique du système sur la traînée.

Nous avons conçu un modèle analytique reposant sur un équilibre énergétique  $E = E_{el} + W_p$ , où  $E_{el}$  est un terme potentiel élastique qui définit chaque pli comme un ressort de torsion. Le deuxième terme  $W_p$  correspond au travail effectué par les forces de pression agissant sur chacune des faces. Après avoir équilibré le bilan énergétique nous arrivons à une bonne cohérence entre notre modèle et nos expériences, rendant la réponse de la structure prédictible et contrôlée. Ce système pourrait représenter une stratégie intéressante pour les valves passives ou diodes hydrauliques.

## Références

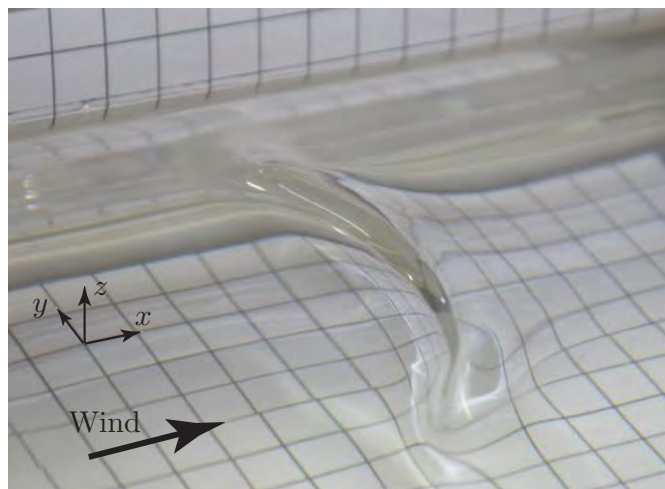
1. F. GOSSELIN, E. DE LANGRE & B. A. MACHADO-ALMEIDA A., Drag reduction of flexible plates by reconfiguration, *J. Fluid Mech.*, **650**, 319–341 (2009).
2. B. HANNA B *et al.*, Waterbomb base: a symmetric single-vertex bistable origami mechanism, *Smart Mater. Struct.*, **23**, 094009 (2014).

## Quand le vent lève des vagues solitaires...

Marc Rabaud, Marine Aulnette & Frédéric Moisy

Université Paris-Saclay, CNRS, FAST, 91405, Orsay, France.  
 marc.rabaud@universite-paris-saclay.fr

Habituellement, lorsque le vent souffle suffisamment fort à la surface d'un liquide, il y génère des trains d'ondes progressives, régulières au début et dont les amplitudes croissent vers l'aval [1]. Mais le comportement est différent lorsque le liquide est très visqueux [2]. On observe dès le seuil la formation rapide d'ondes localisées, isolées les unes des autres et dont la forme est pratiquement inchangée lorsqu'elles se propagent vers l'aval (figure 1). Nous appelons ces structures fortement non linéaires des « solitons visqueux ».



**FIGURE 1.** Photographie d'un soliton visqueux, crée et poussée par le vent, se propageant à la surface d'un bain d'huile de silicone mille fois plus visqueuse que l'eau. Le quadrillage du fond est centimétrique.

Nous décrivons la naissance de ces ondes, leur dynamique, leur forme saturée et comment elles meurent. En particulier leur dynamique montre que ces structures sont issues d'une instabilité sous-critique dont nous avons mesuré le seuil et l'hystérésis. Des visualisations par PIV dans l'huile montrent que ces structures ne se déplacent pas simplement comme un pli à la surface d'un tapis car elles sont accompagnées dans l'huile par un large tourbillon.

Nous terminerons par quelques questions posées par ces structures non-linéaires : quelle est la transformation de l'écoulement dans l'air lorsque ces structures se forment, pourquoi existe-t-il une viscosité minimum pour que de telles structures soient observées, a-t-on à faire à une vraie instabilité de Kelvin-Helmholtz visqueuse ?

## Références

1. A. PAQUIER, F. MOISY & M. RABAUD, Viscosity effects in wind wave generation, *Phys. Rev. Fluids*, **1**, 083901 (2016).
2. M. AULNETTE, M. RABAUD & F. MOISY, Wind sustained viscous solitons, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 084003 (2019).

# Capillary disks: sliding friction, capillary attraction and wave-driven propulsion

Giuseppe Pucci<sup>1,2</sup>, Ian Ho<sup>1</sup> & Daniel M. Harris<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Brown University, School of Engineering, 184 Hope St., Providence (RI), United States

<sup>2</sup> Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) UMR 6251, F35000 Rennes, France  
giuseppe.pucci@univ-rennes1.fr

A body can be supported at the water-air interface by virtue of the equilibrium among its weight, surface tension and hydrostatic forces [1]. Quantifying the forces experienced by small floating bodies is of critical importance for understanding the motion of living organisms at the water-air interface [2] and can inform the design of aerial-aquatic microrobots for environmental exploration and monitoring [3]. We present recent work on the statics and dynamics of capillary disks.

In the first part, we experimentally show that the motion of centimetric *sliders* is dominated by skin friction due to the boundary layer that forms in the fluid beneath the body, which results in a friction force  $F_D \propto v^{3/2}$  [4]. We develop a simple model that considers the boundary layer as quasi-steady, and is able to capture the experimental behaviour for a range of body sizes, masses, shapes and fluid viscosities. We define a dimensionless sliding number as the ratio between the fluid inertia and the body inertia, which allows us to assess the regime of validity of our model. Furthermore, we demonstrate that friction can be reduced by modification of the body's shape or bottom topography.

In the second part, we directly measure and rationalize the *capillary attraction* force between centimetric disks resting at the air-water interface [5]. We use an applied magnetic force to perform direct measurements of the capillary force, and characterize how this force depends on the disk mass, diameter, and relative spacing. Our measurements are compared to numerical simulations that solve the non-linear Young-Laplace equation by taking into account the disk's vertical displacement and spontaneous tilt, showing that both effects are necessary to describe the attraction force for short distances. We develop a scaling law that captures the observed dependence of the capillary force on the experimental parameters.

In the third part, we show that a capillary disk self-propels on the surface of a vibrating bath when the rotational symmetry of the disk is broken. We show that self-propulsion may be ascribed to the asymmetric pressure radiated by the capillary waves emitted by the oscillating disk. These self-propelled *surfers* interact with one another through their mutual capillary wavefield and resultant fluid flows, and exhibit a rich set of collective modes characterized by a discrete number of equilibrium spacings for a given set of experimental parameters. Collections of surfers thus have promise as a new wave-mediated active system at the fluid interface.

## References

1. J. B. KELLER, Surface tension force on a partly submerged body, *Phys. Fluids*, **10**, 3009–3010 (1998).
2. J. W. M. Bush & and D. L. Hu, Walking on water: biolocomotion at the interface, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **38**, 339–369 (2006).
3. Y. CHEN *et al.*, Controllable water surface to underwater transition through electrowetting in a hybrid terrestrial-aquatic microrobot, *Nat. Commun.*, **9**, 2495 (2018).
4. G. PUCCI , I. HO & D. M. HARRIS, Friction on water sliders, *Sci. Rep.*, **9**, 4095 (2019).
5. I. HO , G. PUCCI & D. M. HARRIS, Direct measurement of capillary attraction between floating disks, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 254502 (2019).

## Walkers in a wave field with memory

Olivier Devauchelle<sup>1</sup>, Eric Lajeunesse<sup>1</sup>, François James<sup>2</sup>, Christophe Josserand<sup>3</sup> & Pierre-Yves Lagrée<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut de Physique du Globe de Paris, F-75238 Paris, France

<sup>2</sup> Institut Denis Poisson, Université d'Orléans, Université de Tours, CNRS UMR 7013, BP 6759, F-45067 Orléans Cedex 2, France

<sup>3</sup> LadHyX, CNRS and École Polytechnique, UMR 7646, IP Paris, 91128 Palaiseau, France

<sup>4</sup> Sorbonne Université, CNRS, Institut Jean Le Rond d'Alembert, F-75005 Paris, France

devauchelle@ipgp.fr

In 2005, Couder *et al.* discovered that droplets bouncing on a vibrated bath mimics a variety of quantum phenomena, as the Faraday wave they generate propels them across the bath [1, 2]. Inspired by the experiments that ensued [3, 4], and the ever more refined models that represent them [5, 6], we propose a continuous model which encapsulates its essential features into a system of three basic differential equations. We find that self-propelled walkers exist in this simple framework, like in the original experiments. When the source particle is much smaller than the Faraday wavelength, we can analytically approach the walker's velocity, and numerically simulate its trajectory in a box of arbitrary shape. The phase lag between the particle's vibration and that of the wave surrounding it proves a prime control on the walker's velocity. More surprisingly, for specific values of this phase, the particle's shape also matters, even when its size vanishes. Finally, making use of the model's familiar formulation, we suggest that a particle coupled with a propagating wave—as opposed to a standing Faraday wave—should behave much like a bouncing droplet.

## References

1. Y. COUDER, S. PROTIÈRE, E. FORT & A. BOUDAUD, Dynamical phenomena: Walking and orbiting droplets, *Nature*, 437, 208 (2005).
2. J. W. M. BUSH, Quantum mechanics writ large, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **107**, 17455–17456 (2010).
3. S. PROTIÈRE, A. BOUDAUD & Y. COUDER, Particle–wave association on a fluid interface, *J. Fluid Mech.*, **554**, 85–108 (2006).
4. Y. COUDER & E. FORT, Single-particle diffraction and interference at a macroscopic scale, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 154101 (2006).
5. E. FORT, A. EDDI, A. BOUDAUD, J. MOUKHTAR & Y. COUDER, Path-memory induced quantization of classical orbits, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **107**, 17515–17520 (2010).
6. P. A. MILEWSKI, C. A. GALEANO-RIOS, A. NACHBIN & J. W. M. BUSH, Faraday pilot-wave dynamics: modelling and computation, *J. Fluid Mech.*, **778**, 361–388 (2015).

---

Exposés courts de la 23<sup>e</sup> Rencontre du  
Non-Linéaire

---



# Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints

Sébastien Aumaître<sup>1</sup> & Stephan Fauve<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Service de Physique de l'État Condensée, Direction des Sciences de la Matière, CEA-Saclay, CNRS UMR 2464, 91191 Gif-sur-Yvette cedex, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure, CNRS UMR 8023, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France

sebastien.aumaitre@cea.fr

In its seminal work on turbulence, Kolmogorov used dimensional arguments to determine the Power Spectral Density of the velocity field in turbulent flows [1, 2]. However to our knowledge, the constraints that stationary processes impose on the fluctuations of the energy flux have never been used in the context of turbulence. Here we first recall how the Power Density Spectra of the fluctuations of the injected power, the dissipated power and the energy flux have to converge at vanishing frequency [3]. Then we show that these constraints cannot be easily satisfied in the non intermittent framework of the 1941 Kolmogorov theory (K41). Yet there are fulfilled by the intermittent GOY shell model [4, 5]. Hence constraints on the power fluctuations seems to force some intermittency. Indeed we show that these constraints imply a relation between the scaling exponents that is fulfilled by the GOY shell model and in agreement with the She–Leveque formula. It also fixes the intermittent parameter of the log-normal model to a realistic value. Some possible extensions to real turbulence are drawn in the concluding remarks.

## References

1. U. FRISH, *Turbulence: The Legacy of A. N. Kolmogorov*, Cambridge University Press (1995).
2. A. S. MONIN & A. M YAGLOM, *Statistical Fluid Mechanics, Mechanics of turbulence*, vol. 2, Edited by J. L. Lumley, The MIT Press (1981).
3. B. APPFEL, A. NAERT & S. AUMAÎTRE, *J. Stat. Mech.*, **2019**, 013209 (2019).
4. K. OHKITANI & M. YAMADA, *Progr. Theor. Phys.*, **81**, 329–341 (1989).
5. E. LEVEQUE & Z.-S SHE, *Phys. Rev. E*, **55**, 2789–2799 (1997).

# Automodulation de phase et conservation de l'énergie

Pierre Béjot<sup>1</sup> & Jérôme Kasparian<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS/Université Bourgogne Franche-Comté, 21078 Dijon, France

<sup>2</sup> Groupe de physique appliquée, Université de Genève, Chemin de Pinchat 22, 1211 Genève 4, Suisse

<sup>3</sup> Institut des sciences de l'environnement, for Environmental Sciences, Université de Genève, Bd Carl Vogt 66, 1211 Genève 4, Suisse

jerome.kasparian@unige.ch

La génération de supercontinuum est l'un des phénomènes les plus spectaculaires de l'optique non linéaire. Elle a été observée dès 1970 par Alfano and Shapiro [1,2], qui l'ont identifiée comme un mélange à quatre ondes [1], ainsi que comme de l'automodulation de phase [2]. La mise au point de l'amplification à dérive de fréquence a permis un élargissement spectral encore plus spectaculaire, et son observation dans des gaz, y compris dans l'air à pression atmosphérique.

Le mélange à quatre ondes décrit l'élargissement spectral comme l'interaction d'ondes planes monochromatiques. Deux photons à des fréquences  $\omega_1$  et  $\omega_2$  interagissent à travers la susceptibilité non linéaire  $\chi^{(3)}$  pour générer deux photons à  $\omega_3$  et  $\omega_4$ . La conservation de l'énergie impose alors  $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4$ , de sorte que le spectre devrait s'élargir symétriquement. De plus, le mélange à quatre ondes impose la conservation du nombre de photons dans chaque tranche temporelle.

Le même élargissement spectral est aussi décrit en termes d'automodulation de phase, comme une déformation de la porteuse l'impulsion. Après propagation sur une distance  $z$ , son décalage spectral s'écrit

$$\Delta\omega(t) = -k_0 z n_2 I'(t) z, \quad (1)$$

où le prime représente la dérivation temporelle,  $k_0 = n_0 \omega / c$ ,  $n_0$  et  $n_2 = 3\chi^{(3)} / 4n_0 \epsilon_0 c$  sont respectivement les indices de réfraction linéaire et non linéaire,  $\omega$  la pulsation de l'impulsion incidente,  $I$  son intensité et  $c$  la vitesse de la lumière. Ce décalage spectral est temporellement asymétrique : dans la plupart des milieux usuels, tels que l'air ou le verre,  $n_2 > 0$ , de telle sorte que l'avant de l'impulsion est décalé vers le rouge, tandis que l'arrière est décalé vers le bleu. Un tel décalage spectral est incompatible avec la conservation simultanée de l'énergie et du nombre de photons dans chaque tranche temporelle, qui sont pourtant imposés par le formalisme du mélange à quatre ondes.

Le but de cette communication est de résoudre ce paradoxe. En prenant en compte le décalage induit par l'automodulation de phase entre l'impulsion et la polarisation du milieu de propagation, nous montrons que ce dernier emmagasine transitoirement de l'énergie au début de l'impulsion, pour la « rendre » à l'arrière de l'impulsion. Expliciter ce transfert d'énergie de l'avant vers l'arrière de l'impulsion permet de restaurer la conservation de l'énergie. À l'inverse, prendre en compte dans le mélange à quatre ondes la rapide variation d'intensité restaure le décalage spectral prévu par l'automodulation de phase [3]. Nous discuterons également l'implication de ces résultats sur le signe de  $n_2$ .

## Références

1. R. R. ALFANO & S. L. SHAPIRO, Emission in the region 4000 to 7000 Å via four-photon coupling in glass, *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 584–587 (1970).
2. R. R. ALFANO & S. L. SHAPIRO, Observation of self-phase modulation and small-scale filaments in crystals and glasses, *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 592–594 (1970).
3. P. BÉJOT & J. KASPARIAN, Energy conservation in self-phase modulation, *Phys. Rev. A*, **97**, 63835 (2018).



# Instability of a vortex roll-up at a fluid-fluid interphase

Gabriel Le Doudic<sup>1</sup>, Isabelle Cantat<sup>2</sup>, Arnaud Saint-Jalmes<sup>2</sup>, Corentin Trégoût<sup>2</sup>, Stéphane Perrard<sup>3</sup>,  
Matthieu Labousse<sup>4</sup> & Matthieu Roché<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Matière et Systèmes Complexes, Université de Paris, CNRS UMR 7057, Paris, France

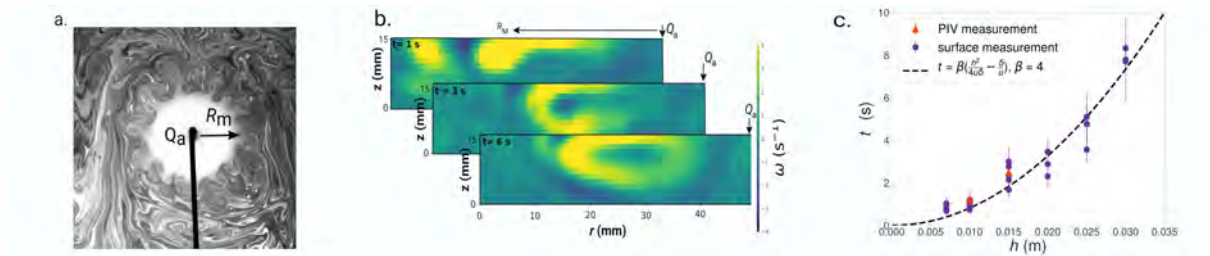
<sup>2</sup> Institut de Physique de Rennes, Université Rennes 1, Rennes, France

<sup>3</sup> Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure, Université PSL, Paris, France

<sup>4</sup> Gulliver, CNRS UMR 7083, ESPCI Paris and PSL University, Paris, France

gabriel.le-doudic@univ-paris-diderot.fr

A local deposition of a droplet of soluble surfactant solution on a water layer creates a surface tension difference along air/water interphase. The resulting surface tension gradients sets the fluid in motion on each side of the interphase. This effect is called the Marangoni effect. A continuous injection  $Q_a$  of the surfactant solution (TTAB) at the interphase leads to a quasi-steady Marangoni flow of finite size  $R_M$ .  $R_M$  results from the competition between the transport of the surfactant molecules by the flow and their diffusion into the bulk water after their desorption from the interphase. The Marangoni flow has been well characterised in Refs. [1,2]. In this abstract, we present results corresponding to the study of the



**Figure 1.** (a) Top view of a continuous Marangoni flow created at a constant molar flow rate  $Q_a = 1.8 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$  and height of water  $h = 15 \text{ mm}$ . (b) Vortex strength fields deduced from LS-PIV measurements in a single plane.  $Q_a = 0.5 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$  at  $h = 15 \text{ mm}$ . The boundary layer rolls up at  $t = 1 \text{ s}$ , near the fluid-fluid interphase. At  $t = 3 \text{ s}$ , the roll-up has diffused in the bulk. At  $t = 6 \text{ s}$  it touches the bottom and start destabilising. (c) Comparison between experimental emission time and the theoretical predictions up to a prefactor.

outer region of the Marangoni flow *i.e.* the region beyond  $R_M$ . We use tracers,  $50 \mu\text{m}$  olive oil droplets, to visualise the surface flow (Fig. 1. (a)). It shows several pairs of in-plane vortices growing outwards along the perimeter of the Marangoni border. These vortices are emitted periodically with a period  $t_w$  (Fig. 1. (b)).  $t_w$  depends mostly on the thickness of the water layer  $h$  (Fig. 1.(c)). It highlights the need to investigate the flow in the bulk. To do so, we use a laser-scanning particle image velocimetry (LS-PIV) that allows to reconstruct 3D maps of the velocity field. The existence of a recirculation in the bulk is confirmed by the measurements (Fig.1.b.). The boundary layer starts to roll-up near the interphase at time  $t_0$ , then diffuses into the bulk towards the bottom of the tank. Growth occurs until roll-up size is comparable to  $h$ , at which point, the roll-up interacts with the bottom of the tank and destabilises. The duration of this process is similar to  $t_w$ . The predictions of the characteristic times  $t_w$  obtained from the roll-up are in good agreements with the experimental data (Fig1.c.). Future work will consist in studying the stability of the roll-up in the framework of the Rayleigh criterion [3]. In addition we would like to compare the experimental results to numerical simulations.

## References

1. M. ROCHÉ *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **20**, 208302 (2014).
2. S. LE ROUX, M. ROCHÉ, I. CANTAT, A. SAINT-JALMES. *Phys. Rev. E*, **93**, 013107 (2016).
3. P.G. DRAZIN, *Introduction to Hydrodynamic Stability*, Cambridge University Press (2002).

# Self-similarity breakdown induced by viscosity contrast during the coarsening of a two phase fluid

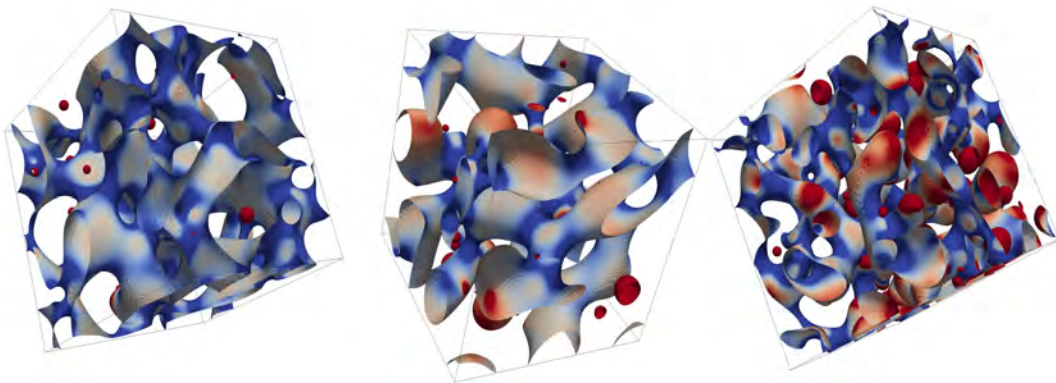
Hervé Henry

Laboratoire Physique de la matière Condensée, École Polytechnique,, Institut Polytechnique de Paris, CNRS, rte de saclay, 91128 Palaiseau, France  
 herve.henry@polytechnique.edu

In many multiphase solid materials, the spacial organisation of the multiple phases (the microstructure), has dramatic effects on their properties (mechanical, electrical...). The formation of the microstructure can occur during the solidification processes or during thermal treatment as in metals. It can also take place before the solidification itself. For instance in glasses spontaneous phase separation can take place at a temperature above the glass transition [1]. In this case the spontaneous phase separation induces the formation of a multiphase fluid that consists of two entangled phases with a very small characteristic length scale (and a very large surface area) [2]. The evolution of the microstructure is then, after some time governed by the flow of the two phases that is induced by surface tension.

We have studied numerically how the transport properties (i.e. their viscosities here) of the two phases affect the micro-structure. It appears that for moderate departure from the perfectly symmetric regime (i.e. same viscosity and same volume fraction of the two phases) the self-similar bicontinuous regime is robust [3]. However, the connectivity of one phase decreases when its volume fraction decreases or when it is becoming less viscous than the complementary phase. Eventually we observe the transition from a state where the two phases are entangled to a state where the matrix of one phases contains inclusions of the other phase [4].

From the study of different patterns close to the transition and from the elementary mechanism that leads to the coarsening we give a rationale to this *transition*



**Figure 1.** Typical images of the interface between the phases for different parameters. Color corresponds to Gaussian curvature.

## References

1. D. BOUTTES, E. GOILLART & D. VANDEMBROUCQ, Topological symmetry breaking in viscous coarsening, *Phys. Rev. Lett.*, **117**, 145702 (2016).
2. J. W. CAHN & J. E. HILLIARD, Free energy of a nonuniform system. I. Interfacial Free Energy, *Journal Chem. Phys.*, **28**, 258–267 (1958).
3. H. HENRY & G. TEGZE, Self-similarity and coarsening rate of a convecting bicontinuous phase separating mixture: Effect of the viscosity contrast, *Phys. Rev. Fluids*, **3**, 074306 (2018).
4. H. HENRY, G. TEGZE, Kinetics of coarsening have dramatic effects on the microstructure: Self-similarity breakdown induced by viscosity contrast, *Phys. Rev. E*, **100**, 013116 (2019).

# Simulation numérique directe de la turbulence induite par les bulles à haut nombre de Reynolds

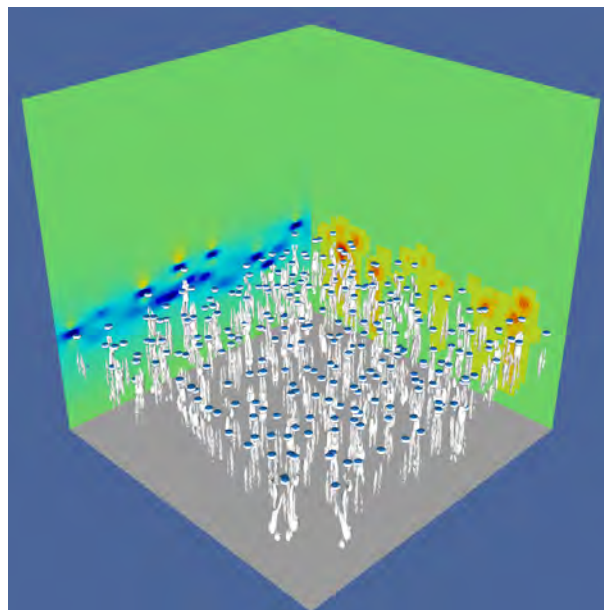
Alice Jaccod, Alessio Innocenti, Stéphane Popinet, Sergio Chibbaro

Sorbonne Université, CNRS, Institut Jean Le Rond d'Alembert, F-75005 Paris, France  
alice.jaccod@upmc.fr

Parmi les différents écoulements multiphasiques, les écoulements à bulles représentent un sujet important à la fois pour la particularité de la dynamique et les nombreux applications possibles. Dans les dernières années plusieurs études expérimentales ont été conduites pour comprendre l'agitation produite par le mouvement collectif de bulles, mais il manque encore une compréhension précise de ce phénomène.

Dans ce travail, nous présentons les résultats de la première étude numérique complète du phénomène, réalisée par des simulations numériques bidimensionnelles et tridimensionnelles de bulles, qui montent sous l'effet de la gravité (flottabilité). Les bulles, initialement placées au repos au fond d'un canal, une fois en mouvement génèrent des sillages dans le fluide qui interagissent entre eux à cause de la fraction volumique importante des bulles. Il en résulte une agitation du fluide, appelé aussi pseudo-turbulence pour certaines caractéristiques en commun avec la turbulence fluide.

Nous avons analysé en détail cette phénoménologie et nous avons dévoilé les mécanismes physiques sous-jacents à travers l'analyse statistique et une analyse multi-échelle. Notamment, l'étude des spectres d'énergie et de la fonction de densité de probabilité des fluctuations de la vitesse a été réalisée. Enfin, l'analyse à diverses échelles du transfert d'énergie met en évidence la présence de différents types de cascades soutenues par l'injection d'énergie due aux bulles.



**FIGURE 1.** Instantané de la simulation 3D. Les bulles, initialement au repos montent en générant les sillages (contours gris).

# Playing with a rope on the ground: a toy-model for dynamical elastic contacts

Benoît Seron & Gregory Kozyreff

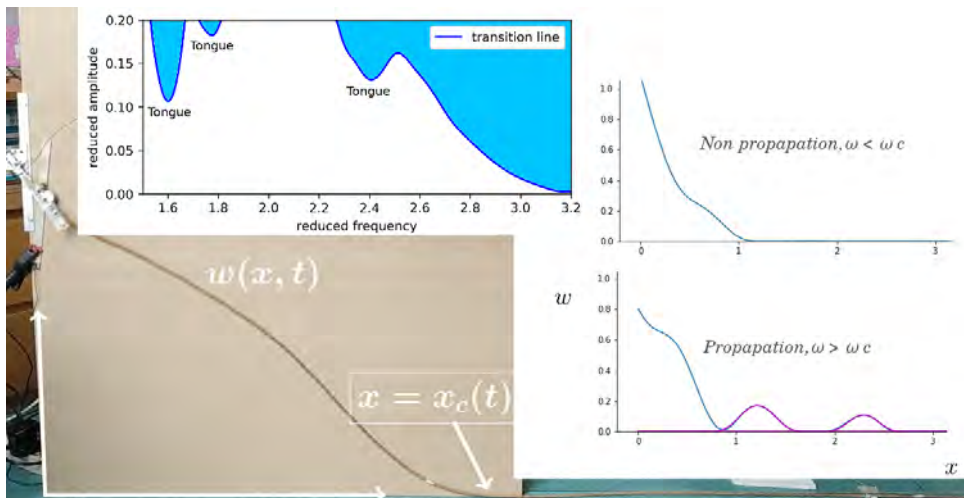
Service d'Optique Non-linéaire Théorique, Département de Physique, Université Libre de Bruxelles, Campus de la Plaine Boulevard du Triomphe.

gkozyreff@ulb.ac.be

We study theoretically, numerically, and experimentally the dynamics of a rope laid on the ground when one end is lifted and harmonically vibrated vertically with a small amplitude around a given value. Intuitively, at small frequencies, only the part of the rope that is lifted should be set into motion, the rest of it remaining inert. Meanwhile, the location of the first contact with the ground,  $x_c(t)$ , should advance and recede, following the up and down motion at the lifted end of the rope. Next, a critical frequency is expected, above which waves are radiated along the rope away from the vibrated end. Our study confirms this intuition and yields the critical frequency of this transition. In the limit of small excitations  $0 < \epsilon \ll 1$ , we find that

$$x_c \sim x_{c,0} \left[ 1 + \frac{\epsilon}{2} \frac{\pi\omega/\omega_c}{\sin(\pi\omega/\omega_c)} \cos(\omega t) + O(\epsilon^2) \right], \quad \omega_c = \left( \frac{\pi^2 g}{2Z_0} \right)^{1/2}.$$

The above result indicates that the response diverges as  $\omega \rightarrow \omega_c$ . As one approaches the resonant pulsation  $\omega_c$ , the amplitude of vibration of the rope increases to such an extent that the rope can enter in contact with the ground at an intermediate location  $x^*$  which leads to a propagating bump as expected. Thus, a dynamical transition is observed between a state of localised oscillations and a state of wave radiation along the rope. This dynamical scenario is confirmed both experimentally and by numerical simulations using Moreau's algorithm.



**Figure 1.** The dynamic experiment (left) and simulations (right), where one can observe both regimes, above and below the critical frequency.

The full story, however, is far richer than anticipated. The contact point  $x_c$  behaves very erratically, having an infinite number of resonances  $\omega_n = n\omega_c$ . This infinite set of resonances indicates that the rope is a more complicated dynamical object than a simple pendulum: They are the signature of delayed interactions mediated by waves travelling up and down the rope.

Even more interestingly we showed that an infinity of secondary critical frequencies exist below  $\omega_c$  and that the stability diagram is actually covered by Arnold's tongues. This runs against the intuition of a simple mechanical system with a single critical frequency. The richness of Arnold's tongues has been checked numerically with great accuracy.

# Des ondes de dépression de Scott Russell aux eaux-mortes de Nansen et Ekman

Johan Fourdrinoy<sup>1</sup>, Julien Dambrine<sup>2</sup>, Madalina Petcu<sup>2</sup>, Morgan Pierre<sup>2</sup> & Germain Rousseaux<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS, Université de Poitiers, ISAE-ENSMA, Institut Pprime. 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, Futuroscope 86073 Poitiers Cedex 9, France

<sup>2</sup> Université de Poitiers, Laboratoire de Mathématiques et Applications. 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, Futuroscope 86073 Poitiers Cedex 9, France

johan.fourdrinoy@univ-poitiers.fr

L'expérience de John Scott Russell en 1844 [1], dans laquelle le scientifique écossais plonge une masse dans un canal à surface libre avec une faible épaisseur d'eau, permet d'observer plusieurs régimes d'ondes de surface. Le plus fameux d'entre eux correspond au soliton de polarité positive (d'élévation) et non topologique (la hauteur d'eau est identique de part et d'autre de la structure), plus connu sous le nom de soliton de Scott Russell. Ce dernier est une solution non linéaire décrite par les équations de Boussinesq et Korteweg–de Vries [2, 3]. Ceux-ci ont démontré que ce soliton pouvait être de polarité positive ou négative (dépression), bien que cette dernière ne puisse être observée dans le cas habituel d'une petite profondeur d'eau. Néanmoins, Falcon, Laroche & Fauve [4] ont réalisé une expérience dans un film mince de mercure et ont observé pour la première fois grâce aux effets capillaires la solution non linéaire de polarité négative non topologique.

Cependant, que se passait-il lorsque John Scott Russell retirait la masse précédemment plongée et créait une dépression de la surface libre dans l'eau ? Et que se passerait-il si le fluide était stratifié avec une marche de densité ? Dans cette présentation, nous allons tâcher de répondre à ces questions et nous établirons un lien inédit entre les structures de polarité négative que nous avons observées au laboratoire supportées par des calculs numériques et le phénomène d'eaux-mortes rencontré par l'explorateur Fridjof Nansen [5] puis étudié par le physicien-océanographe Vagn Walfrid Ekman [6, 7] il y a plus d'une centaine d'années.

## Références

1. J. SCOTT RUSSELL, Report on wave, *Report of the fourteenth meeting of the British Association for the Advancement of Science*, 311–390 (1844).
2. J. BOUSSINESQ, Essai sur la theorie des eaux courantes, *ACAD. SCI. INST. NAT. FRANCE*, 1–680, (1877).
3. D. J. KORTEWEG & G. DE VRIES, On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal, and on a new type of long stationary waves, *Phil. Mag.*, **39**, 422–443 (1895).
4. E. FALCON, C. LAROCHE & S. FAUVE, Observation of depression solitary surface waves on a thin fluid layer, *Physical Rev. Lett.*, **89**, 204501 (2002).
5. F. NANSEN & O. N. SVERDRUP, *Farthest North*, Archibald Constable (1897).
6. V. W. EKMAN, On dead water, *Norwegian North Polar Expedition 1893–1896* Longmans, Green and Co., London (1904).
7. M. MERCIER, R. VASSEUR & T. DAUXOIS, Resurrecting dead-water phenomenon, *Nonlinear Process. Geophys.*, **18**, 193–208 (2011).

# Machine Learning of Committor Functions for Predicting High Impact Climate Events

Dario Lucente<sup>1</sup>, Stefan Duffner<sup>2</sup>, Joran Rolland<sup>1</sup>, Corentin Herbert<sup>1</sup> & Freddy Bouchet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique, Ens de Lyon, Université Claude Bernard, Université de Lyon, CNRS, F-69342 Lyon, France

<sup>2</sup> Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, LIRIS, UMR5205, Villeurbanne, France

dario.lucente@ens-lyon.fr

The low frequency modes of variability of the climate system, for instance ENSO, have a huge impact on nature and human societies, through their local or global signatures. Rare events, such as heat waves, floods, or hurricanes, may also have a huge impact. Predicting the occurrence of such events is thus a major challenge. Because the dynamics of the climate system is chaotic, one usually distinguishes between time scales much shorter than a Lyapunov time for which a deterministic weather forecast is relevant, and time scales much longer than a mixing times beyond which any deterministic forecast is irrelevant and only climate averaged or probabilistic quantities can be predicted. However, for most applications cited above, the largest interest is for intermediate time scales for which some information, more precise than the climate averages, might be predicted, but for which a deterministic forecast is not relevant. We call this range of time scales *the predictability margin*. As a paradigmatic example, we study in this work the probability that El-Niño might occur following year. Another example could be : What is the probability of a heat wave of a given amplitude to happen next summer, given the state of the atmosphere, ocean, and soil moisture, in Spring?

We stress in this talk that the prediction problem at the predictability margin is of a probabilistic nature. Indeed, such time scales might typically be of the order of the Lyapunov time scale or larger, where errors on the initial condition and model errors limit our ability to compute deterministically the evolution. However, we stress that the Lyapunov time scale, a global quantity, is clearly not the relevant dynamical quantity for this predictability problem. By contrast, at the predictability margin, the predictability clearly depends on the current state of the system. What is then the relevant mathematical concept? Our first aim is to introduce in the field of climate the notion of the committor function. A committor function is the probability that an event will occur or not in the future, as a function of the current state of the system. For the El-Niño case, this committor function will be the probability that an observable  $\mathcal{O}$  of the system reaches a given threshold within a time  $T$ .

The first result of this talk is to demonstrate, using the committor function, that a predictability margin exists for El-Niño. This demonstration is performed within the Jin and Timmermann model, a low dimensional model proposed to explain the decadal amplitude changes of El-Niño. From the computed committor function for the Jin and Timmerman model, we obtain the second main result. This result is the characterisation of regions of the phase space with qualitatively different predictability properties. Firstly, regions of perfect predictability, where the event will occur with probability 0 or 1, respectively. Secondly, regions with good predictability properties where a value of the probability  $0 < q < 1$  can clearly be predicted with very mild dependence with respect to initial condition. We call this area the *probabilistically predictable region*. Thirdly, regions which are unpredictable in practice, because the strong dependence with respect to the initial condition prevents any practical prediction, either deterministic or probabilistic. The existence of such features, and especially the new and most interesting *probabilistically predictable region*, should be generic for most prediction problems in climate dynamics.

We will explain that committor functions solve Dirichlet problems. However such partial differential equations are extremely difficult to solve especially for high-dimensional systems. Could we compute it directly from data? There is currently a growing interest to estimate relevant dynamical quantities directly from available data, for instance using machine learning techniques. The second aim of this talk is to propose two different machine learning approaches to compute committor functions. We conclude by discussing the feasibility of the computation of a committor function using machine learning techniques for the Jin and Timmerman model, and for more complex data sets related to other climate applications.

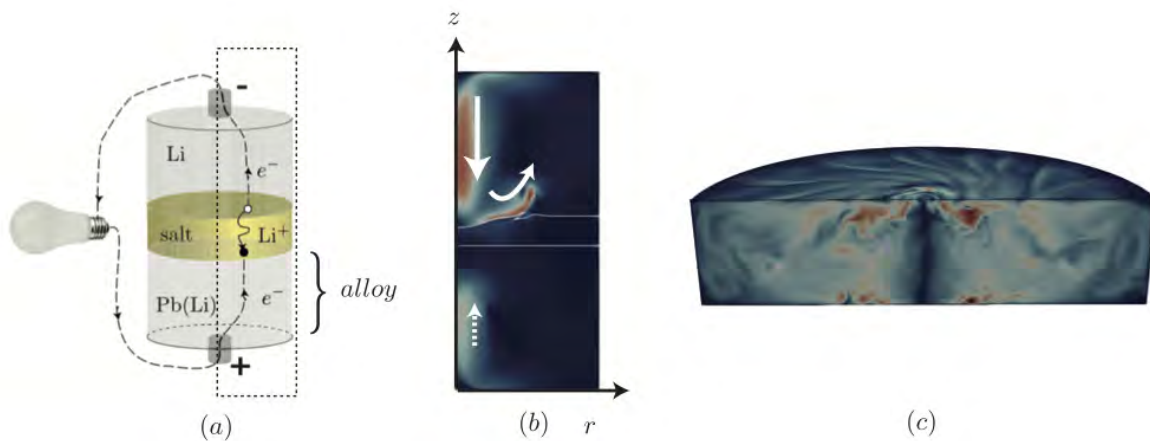
# Écoulements dans les batteries à métaux liquides

Wietze Herreman & Caroline Nore

Université Paris-Saclay, CNRS, LIMSI, 91400 Orsay, France  
wietze@limsi.fr

Comme le montre la figure 1 (a), une batterie à métaux liquides est conçue avec trois couches de fluides (métal léger (Li, ..), sel fondu, alliage lourd (Pb(Li), ...) superposées. Cet ensemble est chauffé à haute température ( $T > 400^\circ\text{C}$ ) et traversé par des courants électriques intenses. On peut imaginer de tels dispositifs à grande échelle (quelques mètres) et on souhaite les fabriquer avec des matériaux abondants sur terre, ce qui rendrait la technologie intéressante pour le stockage massif d'énergie électrique.

Dans cette présentation, je vous donne un aperçu de nos études sur les écoulements dans ces batteries. En combinant simulations numériques multiphasiques (code SFEMaNS) avec une modélisation théorique poussée (linéaire et non linéaire), on caractérise finement comment les différentes phases bougent à l'intérieur de ces batteries [1,2]. Des écoulements trop intenses peuvent déformer les interfaces entre les couches (cf. Fig. 1 (b)) et provoquer des court-circuits. A plus faible intensité, les écoulements peuvent contribuer à un meilleur mélange de l'alliage (cf. Fig. 1 (c)) ce qui augmente la performance de la batterie.



**FIGURE 1.** (a) Batterie à métaux liquides Li-Pb pendant la décharge. (b) Intensité de l'écoulement electrovortex dans un plan méridien et interfaces. (c) Intensité de l'écoulement dans l'alliage pour le cas d'un écoulement electrovortex tournant.

## Références

1. W. HERREMAN, C. NORE, J.-L. GUERMOND, L. CAPPANERA, N. WEBER, G. M. HORSTMANN, Perturbation theory for metal pad roll instability in cylindrical reduction cells, *J. Fluid Mech.*, **878**, 598–546 (2019).
2. W. HERREMAN, C. NORE, P. ZIEBELL RAMOS, L. CAPPANERA, J.-L. GUERMOND, N. WEBER, Numerical simulation of electrovortex flows in cylindrical fluid layers and liquid metal batteries, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 113702 (2019).

## Piégeage actif de micro-nageurs dans une mousse

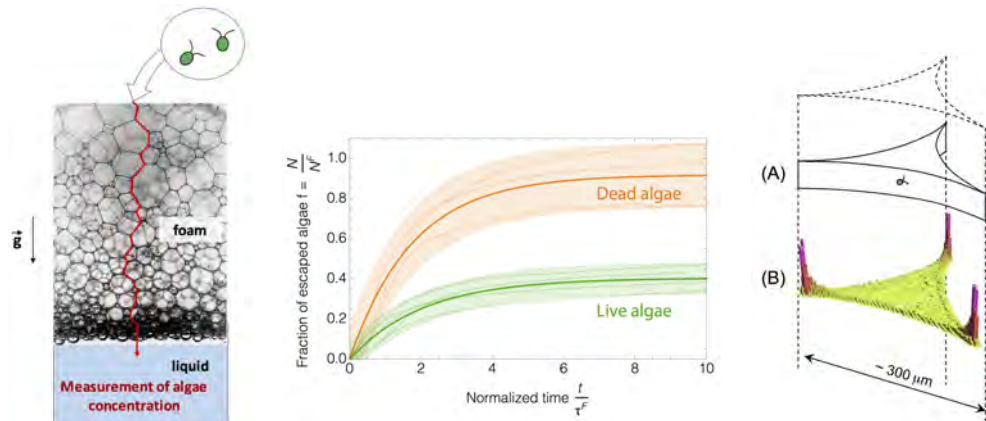
Florence Elias<sup>1</sup>, Quentin Roveillo<sup>1</sup>, Julien Dervaux<sup>1</sup>, Yuxuan Wang<sup>1</sup>, Florence Rouyer<sup>2</sup>, Drazen Zanchi<sup>1</sup> & Laurent Seuront<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Univ. Paris et CNRS UMR 7057

<sup>2</sup> Laboratoire Navier, CNRS UMR 8205, Marne-la-Vallée

<sup>3</sup> Laboratoire d’Océanologie et de Géosciences, CNRS UMR 8187, Wimereux

florence.elias@u-paris.fr



**FIGURE 1.** Sédimentation de micro-algues motiles dans une mousse liquide. À gauche : principe de l’expérience ; au centre : dynamique d’évolution du nombre d’algues échappées de la mousse ; à droite : (A) schéma d’un micro-puits ayant la forme de la section d’un canal de mousse (bord de Plateau), et (B) distribution de probabilité d’un micronageur dans le puits.

En nous inspirant de la problématique de la production massive de mousses aquatiques et de leurs conséquences sur les écosystèmes planctoniques, nous avons étudié en laboratoire la sédimentation d’un micronageur dans une mousse liquide. Nous avons incorporé l’algue modèle unicellulaire bi-flagellée *Chlamydomonas reinhardtii* (CR) dans une mousse stabilisée avec des protéines biocompatibles, et mesuré la dynamique de sédimentation de cellules hors de la mousse. Une mousse fraîchement formée est un système dynamique hors équilibre : en raison de la gravité, le liquide contenu dans la mousse s’écoule vers le bas, advectant des particules solides. Les cellules s’échappent ainsi de la mousse lorsqu’elles atteignent le liquide sous-jacent. En comparant la dynamique d’échappement des cellules CR vivantes et mortes, on constate que les cellules mortes sont totalement advectées par le flux de liquide vers le fond de la mousse, comme attendu pour des particules solides passives de cette taille ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ). En revanche, les cellules CR vivantes motiles sédimentent beaucoup plus lentement : une fraction significative de cellules reste bloquée dans la mousse aux temps longs, alors que 95 % du volume de liquide contenu initialement dans la mousse a été évacué. En observant la nage des cellules CR dans des micro-puits ayant la forme de la section d’un bord de Plateau, nous avons montré que les micronageurs ont une probabilité importante de présence dans les coins des micropuits. Ce piégeage à l’échelle microscopique pourrait expliquer en partie la rétention macroscopique des micro-nageurs dans la mousse.

## Références

1. Q. ROVEILLO, J. DERVAUX, Y. WANG, F. ROUYER, D. ZANCHI, L. SEURONT & F. ELIAS, Unexpected trapping of swimming microalgae in foam, *preprint*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02446242> (2020).



# Confidence collapse in a multi-household DSGE Model

Federico Morelli<sup>1,2,3</sup>, Michael Benzaquen<sup>1,3,4</sup>, Marco Tarzia<sup>2</sup> & Jean-Philippe Bouchaud<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Ladhys, UMR CNRS 7646 & Department of Economics, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>2</sup> LPTMC, UMR CNRS 7600, Sorbonne Université, 75252 Paris Cedex 05, France

<sup>3</sup> Chair of Econophysics and Complex Systems, Ecole polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>4</sup> Capital Fund Management, 23-25, Rue de l'Université 75007 Paris, France

<sup>5</sup> Académie des Sciences, Quai de Conti, 75006 Paris, France

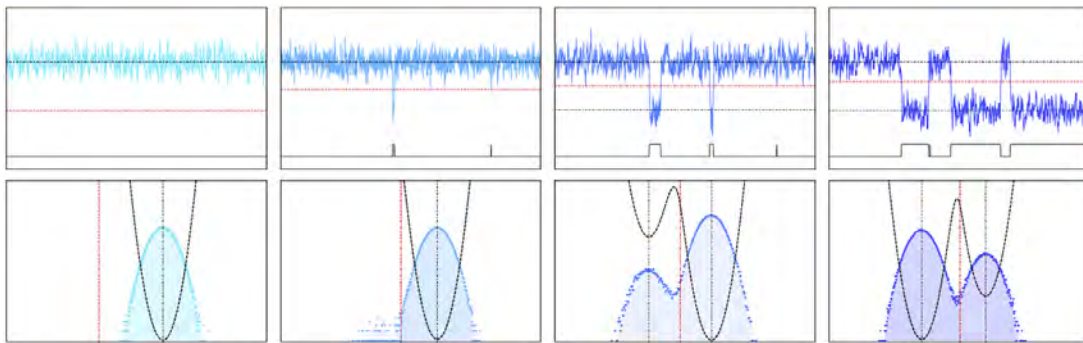
federicog.morelli@gmail.com

In spite of their poor performance during the Global Financial Crisis, Dynamics Stochastic General Equilibrium (DSGE) models still constitute the workhorse of monetary policy models around the world. While some missing ingredients have been added since then to mitigate the distance to reality, DSGE models continue to describe a purely exogenous economy with one single equilibrium.

$$U_i = \log(c_t^i) - \gamma_i(n_t^i)^2 \quad (1)$$

$$U_i = f \left( \sum_{j \neq i} J_{ij} c_{t-1}^j \right) \log(c_t^i) - \gamma_i(n_t^i)^2 \quad (2)$$

In this talk, we present a variation of the original DSGE model (described by the utility function  $U$  shown in (1) in which the household's utility consumption term has a feedback proportional to the past aggregate consumption (2).



**Figure 1.** Dynamic of the aggregate consumption for different values of the confidence threshold.

This mechanism allows for the possibility that a relatively mild drop in economic conditions leads to a confidence collapse and a steep decline in economic activity. In other words it introduces different phases where the probability of having an economical crisis depends strongly on the people sensitivity to external shocks and their level of confidence, getting rid of both the single equilibrium paradigm and the merely exogenous nature of the economy described by DSGE models.

## References

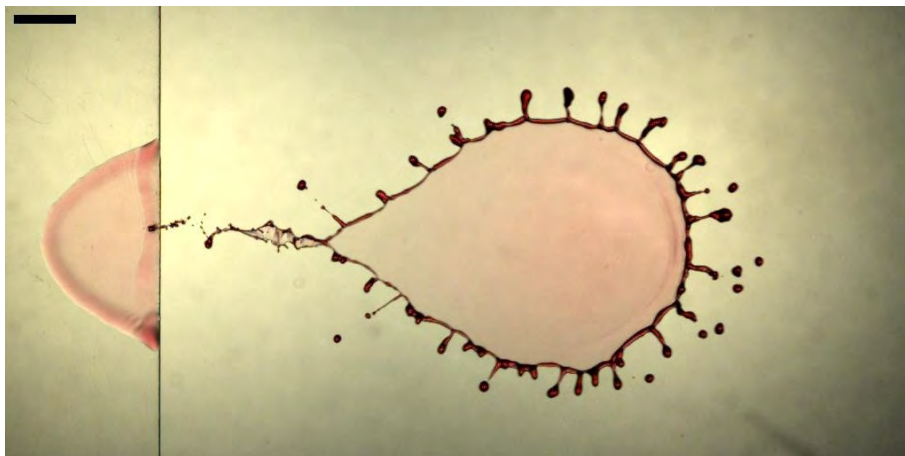
1. J. GALI, *Monetary policy, inflation, and the business cycle: an introduction to the new Keynesian framework and its applications*, Princeton University Press (2015).
2. R. SHILLER, Narrative economics, *Am. Econ. Rev.*, **107**, 967–1004 (2017).

# Impact et fragmentation d'une goutte au bord d'un plan incliné, un modèle de la dispersion des pathogènes en agriculture

Sophie Lejeune & Tristan Gilet

Microfluidics Lab, Département Aérospatiale et Mécanique, Université de Liège, Belgique  
Tristan.Gilet@uliege.be

Les impacts de la pluie sur les feuilles des plantes sont responsables de la propagation de nombreuses maladies foliaires en agriculture [1]. En effet, lorsqu'il pleut, les feuilles se recouvrent de gouttes et de films d'eau dans lesquels les pathogènes peuvent être mis en suspension. L'impact d'une goutte de pluie au voisinage du liquide contaminé peut fragmenter ce dernier en gouttelettes éjectées vers les plantes voisines [2]. Nous avons réalisé des expériences d'impact de goutte à proximité du bord horizontal d'un substrat plan incliné. Cette configuration générique d'impact est un modèle expérimental des impacts plus complexes sur des feuilles de plantes, dont elle partage les caractéristiques essentielles. Nous avons étudié l'évolution et la fragmentation du feuillet formé lorsque le liquide s'étend au delà du bord du substrat [3]. En s'effondrant, celui-ci peut générer une cascade : il forme un second feuillet dans un plan perpendiculaire, qui s'effondre à son tour et crée un troisième feuillet, etc. Nous avons varié le nombre de Weber de l'impact, la distance du point d'impact au bord et l'inclinaison du substrat. Nous avons analysé leur influence sur la cinématique du feuillet liquide et sur la distribution des gouttelettes éjectées.



**FIGURE 1.** Impact d'une goutte ( $Weber = 2115$ ) près du bord inférieur d'un substrat incliné à  $60^\circ$ . Un feuillet liquide est formé au delà du bord, et des gouttelettes s'échappent du bourrelet qui l'entoure. La barre d'échelle est de 5 mm.

## Références

1. B. D. L. FITT *et al.*, The role of rain in dispersal of pathogen inoculum, *Annu. Rev. Phytopathol.*, **27**, 241–270 (1989).
2. T. GILET & L. BOUROUBA, Fluid fragmentation shapes rain-induced foliar disease transmission, *J. R. Soc. Interface*, **12**, 20141092 (2015).
3. S. LEJEUNE & T. GILET, Drop impact close to the edge of an inclined substrate : Liquid sheet formation and breakup, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 053601 (2019).

# Dynamics of drops-on-a-string for viscoelastic solutions

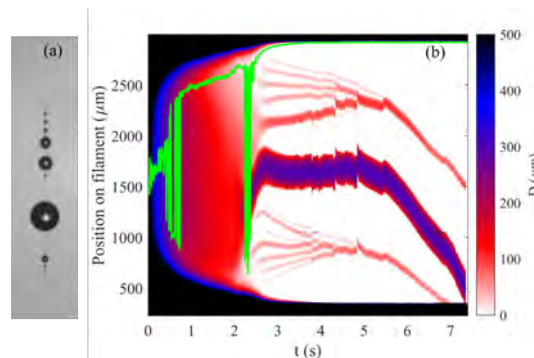
Hrishikesh Pingulkar<sup>1</sup>, Jorge Peixinho<sup>1,2</sup> & Olivier Crumeyrolle<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, CNRS and Université Le Havre Normandie, 76600 Le Havre, France

<sup>2</sup> Laboratoire PIMM, CNRS, Arts et Metiers, CNAM, HESAM Université, 75013 Paris, France

hrishikesh.pingulkar@etu.univ-lehavre.fr

The thinning of filaments, formed by viscoelastic polymer solutions, is slower than that of Newtonian fluids. When the concentration of the polymers is right, these filaments form drops-on-a-string, as shown in Fig. 1 (a). The viscoelastic solutions are formed using the high molecular weight poly-ethylene oxide (PEO) and poly-ethylene glycol (PEG) polymers. By stretching the liquid bridge formed in-between the plates of capillary breakup extensional rheometer (CaBER), the less-understood phenomena such as formation of the filaments and the drops-on-a-filament are investigated using high-speed digital video microscopy. Then, a diameter-space-time diagram, as shown in Fig. 1 (b), is developed in order to monitor the spacial and temporal evolution of viscoelastic threads, its filament thinning, and then the migration, coalescence of drops. In addition, the position of the minimum diameter on filament is determined, along with quantification of the number of drops, their positions, the diameters of drops ( $D$ ) and the filament breakup time. The calculated extensional viscosity, obtained from minimum diameter, indicates the effect of polymer concentration and direction of filament thinning. The present study is the extension of the previous work carried out by Oliveira *et al.* [1] and, in addition, gives the accurate measurements of the drop diameters and their positions. Further analysis of drops indicates that the maximum number of drops on the filament can be predicted using Deborah number, which is a dimensionless number indicating the viscoelastic behaviour of the solution. The effect of plate diameter, the stretching height and the stretching speed of capillary bridge on the number of drops and size of the drops will be discussed.



**Figure 1.** (a) The drops-on-a-string phenomenon for PEO1000 solution (1000 ppm of PEO in degassed water). (b) Diameter-space-time diagram for PEO1000 solution.  $t = 0$  is when the separation of the plates of CaBER starts. The green line represents the position of the minimum diameter on the filament (Pingulkar *et al.* [2])

## References

1. M. S. N. OLIVEIRA, R. YEH & G. H. MCKINLEY, Iterated stretching, extensional rheology and formation of beads-on-a-string structures in polymer solutions, *J. Non-Newt. Fluid Mech.*, **137**, 137–148 (2006).
2. H. PINGULKAR, J. PEIXINHO & O. CRUMEYROLLE, Drop dynamics of viscoelastic filaments, *Phys. Rev. Fluids*, **5**, 011301 (2020).

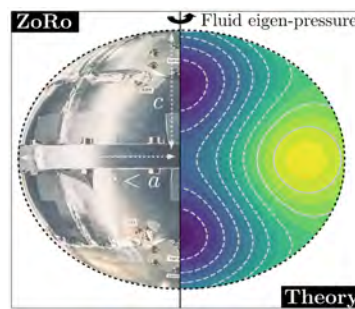
# Modal acoustic velocimetry: a new technique for rapidly rotating gas – Application to zonal flows

Sylvie Su, David Cébron, Henri-Claude Nataf & Philippe Cardin

ISTerre, Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, IRD, IFSTTAR, 38000 Grenoble, France  
 sylvie.su@univ-grenoble-alpes.fr

We present a new laboratory experiment built to study zonal flows induced by thermal convection, called ZoRo (Zonal flows in Rotating fluids, TuDy ANR). ZoRo is a rapidly rotating spheroid (sphere flattened along the rotation axis) filled with air. Any seeds are thus rapidly centrifugated, disabling usual visualisation techniques (e.g. smoke). The velocity measurements are thus challenging. To tackle this problem, we implemented a new non-intrusive velocimetry technique based on acoustic resonances of the fluid cavity, the modal acoustic velocimetry (MAV) [1]. MAV allows a global 3D determination of the fluid flow from surface non-intrusive measurements. MAV should work for any enclosed fluid, including opaque ones. In order to accurately extract the flows, a good understanding of the acoustic spectrum is needed. We use a perturbation theory to predict the resonance frequency of the fluid [2], taking into account geometry [3], dissipation [4], rotation and flows [5].

We can then retrieve the flow velocity field using acoustic frequencies through a linear inverse problem. We test this method against both synthetic cases and real experimental flows measured in ZoRo. We prove that we are able to image a turbulent flow with MAV, a promising innovative method.



**Figure 1.** Left: Photo of the Zoro set-up. Right: Theoretical prediction of an acoustic mode pressure [2].

## References

1. S. A. TRIANA, D. S. ZIMMERMAN, H.-C. NATAF, A. THORETTE, V. LEKIC & D. P. LATHROP, Helioseismology in a bottle: modal acoustic velocimetry, *New J. Phys.*, **16**, 113005 (2014).
2. J. VIDAL, S. SU & D. CÉBRON, D., Compressible fluid modes in rigid ellipsoids: towards modal acoustic velocimetry, *J. Fluid Mech.*, **885**, A39 (2020).
3. J. B. MEHL, Acoustic resonance frequencies of deformed spherical resonators, *J. Acoust. Soc. Am.*, **71**, 1109–1113 (1982).
4. M. R. MOLDOVER, J. B. MEHL & M. GREENSPAN, Gas-filled spherical resonators: Theory and experiment, *Journal Acous. Soc. Am.*, **79**, 253–272 (1986).
5. C. AERTS, J. CHRISTENSEN-DALSGAARD & D. W. KURTZ, *Asteroseismology*, Springer Science & Business Media (2010).

# Supercontinuum generation in carbon disulfide liquid's core-photonic crystal fiber

Mohamed Lamine Ferhat, Lies Bahloul & Lynda Cherbi

Instrumentation Laboratory (LINS), University of Sciences and Technology Houari Boumediene (USTHB), BP 32 Bab Ezzouar, 16111, Algiers, Algeria  
ferhat.mlamine@gmail.com

In this work, we propose a design of a highly nonlinear and flattened chromatic dispersion photonic crystal fiber with two closely zero dispersion wavelengths at 1542 nm and 1706 nm wavelengths. The optimized PCF has an anomalous chromatic dispersion around 1650 nm wavelength with a value of 8.63 ps/nm·km, and a dispersion slope of  $\pm 0.004$  ps/nm<sup>2</sup>·km in the wavelength range 1500–1700 nm. In addition, the nonlinear coefficient at 1650 nm wavelength can be up to 750 W<sup>-1</sup>·km<sup>-1</sup>. We model pulses propagation in the PCF using generalized nonlinear Schrödinger equation (Eq. (1)), with hyperbolic secant shape input pulses parameters of 1650 nm central wavelength, 75 fs temporal width, and a peak power of 700 W.

$$i\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}A - \left(\sum_{n \geq 2} \beta_n \frac{i^{n+1}}{n!} \frac{\partial^n A}{\partial T^n}\right) = i\gamma_{NL}\left(1 + \frac{i}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial T}\right) \left[ A(z, T) \int_{-\infty}^{\infty} R(T') |A(z, T - T')|^2 dT' \right] \quad (1)$$

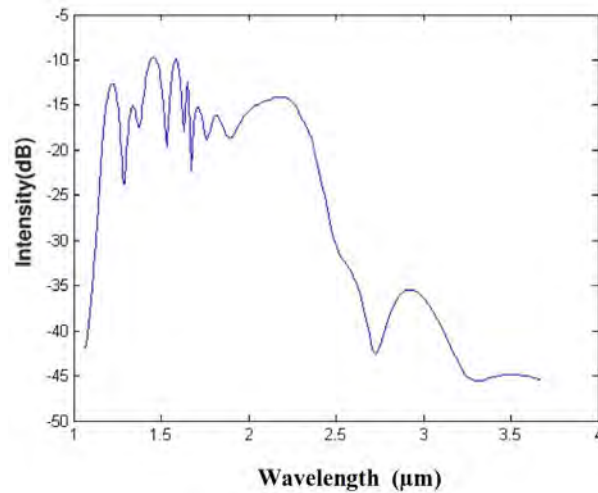


Figure 1. Supercontinuum generation

Numerical simulations show supercontinuum of 1200 nm spectral bandwidth in only 30 mm fiber length.

## References

1. G. P. AGRAWAL, *Nonlinear Fiber Optics*, 5th edition, Academic Press (2013).
2. J. P. BERENGER, A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves, *J. Comp. Phys.*, **114**, 185–200 (1994).
3. J. M. DUDLEY, G. GENTY & S. COEN, Supercontinuum generation in photonic crystal fiber, *Rev. Mod. Phys.*, **78**, , 1135–1184 (2006).
4. R. ZHANG, J. TEIPEL & H. GIESSEN, Theoretical design of a liquid-core photonic crystal fiber for supercontinuum generation, *Opt. Express*, **14**, 6800–6812 (2006).

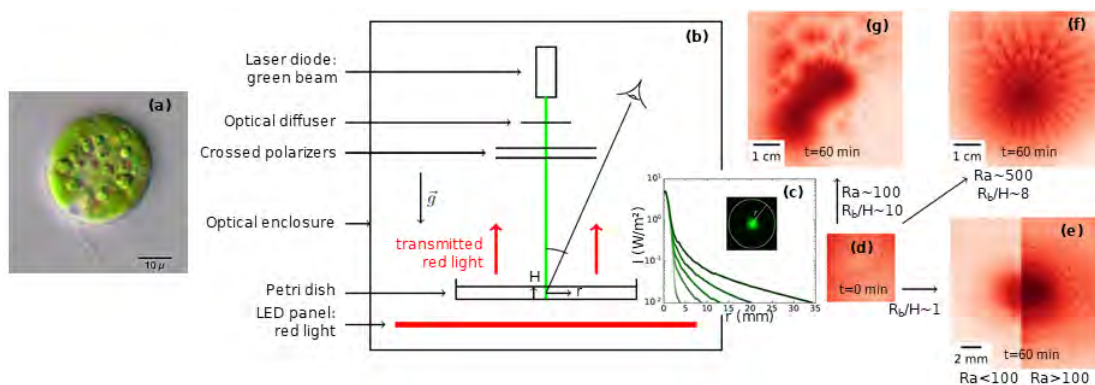
# Pattern formation in photo-controlled bioconvection

Aina Ramamonjy<sup>1</sup>, Julien Dervaux<sup>1</sup> & Philippe Brunet<sup>1</sup>

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, CNRS et Université Paris Diderot, 10, rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75013 Paris

aina.ramamonjy@univ-paris-diderot.fr

We attract and accumulate phototactic microalgae *Chlamydomonas Reinhardtii* (CR) around a laser beam. This accumulation creates inhomogeneous buoyancy forces in the suspension which results in macroscopic recirculation flows referred to as bioconvection flows. We study the associated concentration patterns. Spontaneous (without light excitation) bioconvection occurs in suspensions of on average upward swimming organisms only above a critical dimensionless Rayleigh number. This number compares buoyancy-driven convection over diffusion. When using a localized laser beam excitation to attract the algae, bioconvection is triggered far below the critical Rayleigh number. Some studies have focused on the case of a thin light beam [1,2]. Here we control both the Rayleigh number  $Ra$  and the dimensionless beam width  $R_b/H$  to control bioconvection patterns and investigate their phase diagram.



**Figure 1.** (a), *Chlamydomonas* individual cell. (b), A thin layer of a suspension of CR cells lays in a horizontal Petri dish. A green laser beam points at the center of the Petri dish to attract CR. A red light panel is placed below the Petri dish and the transmitted red light is visualized from the top with a camera to access the concentration field. (c) Green light intensity radial profiles of different widths. (d, e, f, g) Top views of the concentration field. Starting homogeneous concentration (d), stationary radially symmetric pattern and travelling waves (e), stationary dendrites (f) and unstationary directional growth (g).

In Ref. [1], stationary radially symmetric patterns and travelling waves are observed at  $R_b/H \sim 1$  (Fig. 1 (d)). Here we show that when the beam width exceeds the suspension depth ( $R_b/H > 1$ ), the concentration field exhibits remarkable and up-to-now unreported symmetry breakings. Stationary dendrites with well-defined wavelength (Fig. 1 (f)) and unstationary directional growth (Fig. 1 (g)) are uncovered. We also analyse theoretically how this depends on the relative importance of convection, and both lateral and possible vertical phototaxes. This study illustrates how the richness of nonlinear physics in active fluids both motivates and helps to understand the behaviour of microorganisms.

## References

1. J. DERVAUX *et al.*, Light-controlled flows in active fluids, *Nat. Phys.*, **13**, 306–312 (2017).
2. J. ARRIETA *et al.*, Light control of localized photobioconvection, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 158101 (2019).

# Un modèle d'approximation différentielle pour la turbulence bidimensionnelle

Pierre Morel<sup>1</sup>, Shaokang Xu<sup>1</sup>, Yang Li<sup>1</sup> & Özgür D. Gürçan<sup>1</sup>

Laboratoire de Physique des Plasmas, École polytechnique, route de Saclay, 91128 alaiseau Cedex  
pierre.morel@lpp.polytechnique.fr

Dans l'hypothèse d'une turbulence bidimensionnelle locale et isotrope, un modèle d'approximation différentielle est proposé, basé sur la structure en crochet de Poisson du terme non-linéaire, ainsi que sur des arguments dimensionnels [1]. Ce même modèle peut également être obtenu en prenant la limite continue de modèles en couches. Cette approximation différentielle permet de reformuler les termes non-linéaires d'une grande variété de systèmes turbulents, sous la forme de la divergence d'un flux non-linéaire d'énergie dans l'espace de Fourier [2].

Appliqué à l'équation de Navier–Stokes, le modèle obtenu se confond avec le modèle de Leith [3], et permet donc de capturer la cascade directe d'enstrophie ainsi que la cascade inverse d'énergie. La résolution numérique sur une grille logarithmique en nombre d'onde permet de couvrir six décades d'échelles turbulentes pour un coût numérique modique.

Dans le cas couplant l'évolution d'une quantité scalaire passive à l'équation de Navier-Stokes, nous montrons comment le spectre turbulent de l'énergie du scalaire passif peut être affecté par la localisation en nombre d'onde de l'injection choisie, et la grande variété de spectres en découlant, parmi lesquels ceux de Batchelor [4] et de Corrsin–Obukhov [5, 6] sont retrouvés.

Enfin, une dernière application s'intéresse à la turbulence de Nastrom-Gage [7], pour laquelle l'énergie présente une cascade duale inversée spectralement, avec une cascade directe d'enstrophie des grandes échelles vers les échelles intermédiaires à laquelle se superpose une cascade inverse prenant source aux petites échelles et remontant vers les échelles intermédiaires. Le cas d'un scalaire passif sera finalement discuté dans cette configuration.

## Références

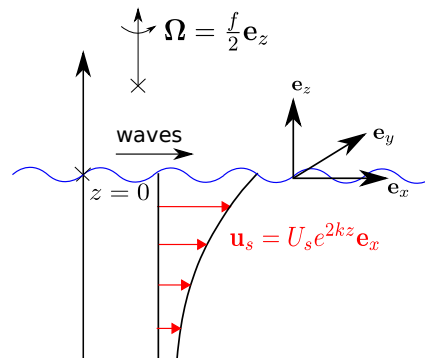
1. P. MOREL, SHAO KANG XU & Ö. D. GÜRÇAN, A differential approximation model for passive scalar turbulence, [arXiv:1910.02868](https://arxiv.org/abs/1910.02868).
2. L. S. G. KOVASZNYI, *J. Aero. Sci.*, **15**, 745–753 (1948).
3. C. E. LEITH, *Phys. Fluids*, **11**, 671–673 (1968).
4. G. K. BATCHELOR, *J. Fluid Mech.*, **5**, 113–133 (1959).
5. A. M. OBUKHOV, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Geogr. Geofiz.*, **13**, 58–63 (1949).
6. S. CORRSIN, *J. Appl. Phys.*, **22**, 469–473 (1951).
7. G. D. NASTROM, K. S. GAGE & W. H. JASPERSON, *Nature*, **310**, 36–38 (1984).

# Ondes de gravité dans un référentiel tournant : L'instabilité d'Ekman-Stokes

Kannabiran Seshasayanan & Basile Gallet

Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, SPEC, 91191, Gif-sur-Yvette, France  
 kannabiran.seshasayanan@cea.fr

Nous nous intéressons aux propriétés de l'écoulement moyen engendré par des ondes de gravité se propageant à la surface d'un fluide, dans un référentiel tournant. Une moyenne sur la période des ondes conduit aux équations de Craik–Leibovich (CL), qui gouvernent l'évolution d'écoulement moyen [1]. Nous étudions ce système lorsque les ondes sont monochromatiques, comme représenté en Fig. 1. Les équations de CL dans un référentiel tournant admettent une solution stationnaire sous la forme d'un écoulement moyen qui ne dépend que de la profondeur. Cet écoulement moyen est appelé spirale d'Ekman-Stokes, de par sa ressemblance avec la spirale d'Ekman classique [2]. Son profil est contrôlé par deux nombre sans dimensions, le nombre d'Ekman  $E = \frac{\nu}{f\lambda^2}$  et le nombre de Rossby  $Ro = \frac{U_s}{f\lambda}$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde,  $U_s$  est l'amplitude de la dérive de Stokes associée aux ondes,  $f$  est le paramètre de Coriolis et  $\nu$  est la viscosité cinématique.



**FIGURE 1.** Schéma du problème considéré : des ondes monochromatiques se propagent à la surface d'un fluide dans un référentiel en rotation, engendrant une dérive de Stokes ainsi qu'un écoulement Eulerien.

Par une combinaison de méthodes numériques et asymptotiques, nous montrerons que la spirale d'Ekman–Stokes est sujette à une instabilité au-delà d'une valeur critique du nombre de Rossby. Des simulations numériques directes du problème non linéaire montrent que l'écoulement moyen devient chaotique loin du seuil. Dans ce régime, des méthodes de bornes supérieures nous permettent alors de montrer que cet écoulement chaotique 3D dissipe peu d'énergie cinétique, à un taux laminaire. Cet écoulement est donc bien plus lent que les écoulements de type « anti-Stokes » invoqués pour ce problème dans la littérature. Les ondes contribueraient alors de façon beaucoup plus importante à la dispersion de traceurs dans la couche supérieure de l'océan.

## Références

1. A. D. D. CRAIK & S. LEIBOVICH, A rational model for langmuir circulations, *J. Fluid Mech.*, **73**, 401–426 (1976).
2. J. A. POLTON, D. M. LEWIS & S. E. BELCHER, The role of wave-induced Coriolis-Stokes forcing on the wind-driven mixed layer, *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 444–457 (2005).



# Étude numérique efficace des effondrements et développements rares de la turbulence de paroi transitionnelle.

Joran Rolland

Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon, UMR CNRS 5672, Univ. Lyon, Univ. Claude Bernard Lyon 1, France  
 joran.rolland@ens-lyon.fr

L'écoulement de Couette plan, d'un fluide de viscosité cinématique  $\nu$ , entre deux plaques situées en  $y = \pm h$  en mouvement à vitesse  $\pm U \mathbf{e}_x$  est un exemple typique d'écoulement de paroi. Ces écoulements sont linéairement stables pour tout nombre de Reynolds  $R = \frac{hU}{\nu}$ . Par conséquent, des conditions initiales localisées d'amplitude finie sont nécessaires pour les faire évoluer vers la turbulence. Ces particularités se retrouvent aussi dans des écoulements de paroi d'intérêt en aérodynamique, en météorologie ou en biophysique, ce qui motive des études d'écoulements académiques. Le fait qu'il faille partir d'une condition initiale d'amplitude finie pour développer de la turbulence est lié à l'existence d'une « séparatrice » entre écoulement laminaire et turbulent, vus dans l'espace des phases [1]. Ce problème peut alors être vu comme un système bistable : sous un forçage l'écoulement laminaire peut évoluer vers la turbulence, tandis qu'un écoulement turbulent peut s'effondrer et naturellement redevenir laminaire. Dans cette communication, je présente l'étude de cette bistabilité dans l'écoulement de Couette plan.

Lorsque le taux d'injection d'énergie du forçage est réduit, le temps d'attente avant le développement de la turbulence croît exponentiellement rapidement. De même lorsque le nombre de Reynolds ou la taille  $L_x \times L_z$  du système sont augmentés, le temps de vie de la turbulence augmente exponentiellement. Dans les deux cas, les événements d'intérêt sont rares. Je les étudie donc avec des approches dédiées, qui ont été testées sur des systèmes modèles [2], cette fois ci appliquées à des simulations de l'écoulement de Couette plan. L'utilisation de ces méthodes permet d'échantillonner de manière très rapide (par rapport à une simulation numérique directe) un très grand nombre de trajectoire conduisant aux événements rares et d'estimer les temps d'attentes correspondants. Des événements auparavant décrit sur quelques exemples peuvent alors devenir des faits statistiques.

En premier lieu, je présente le développement de la turbulence de paroi, partant d'un écoulement laminaire, sous un forçage stochastique de couleur prescrite. Ces calculs sont réalisés dans des domaines de taille restreints  $L_x \times L_z = 6h \times 4h$ , dits *minimal flow units* [3]. En faisant tendre vers zéro le taux d'injection d'énergie du forçage, on note la concentration des dynamiques de développement de la turbulence autour de chemin spécifiques, ce qui indique une phénoménologie d'instantons. Il apparaît aussi que la durée de ces trajectoires augmente exponentiellement rapidement avec le taux d'injection d'énergie, ce qui est très probablement une conséquence de la complexité de la séparatrice entre écoulement laminaire et turbulent.

En second lieu, je présente l'effondrement de la turbulence sous ses propres fluctuations. Ces calculs sont réalisés dans des domaines de taille croissante (jusqu'à  $L_x \times L_z = 36h \times 27h$ ), pour mettre en évidence le caractère spatial de l'effondrement de la turbulence dans l'écoulement de Couette plan [4]. La dynamique d'effondrement passe par la création d'un trou laminaire, puis son extension. De plus, d'un point de vue méthodologique, ces simulations représente un jalon, car elles sont l'une des premières applications donnant de bons résultats d'une méthode de calcul d'événements rares à une dynamique déterministe.

## Références

1. F. WALEFFE, *Phys. Fluids*, **7**, 3060–3066 (1995).
2. J. ROLLAND, *Phys. Rev. E*, **97**, 023109 (2018).
3. J. JIMENEZ & P. MOIN, *J. Fluid Mech.*, **225**, 213–240 (1991)
4. P. MANNEVILLE, *Fluid Dyn. Res.*, **43**, 065501 (2011).

# Transient growth of perturbation energy in conservative systems

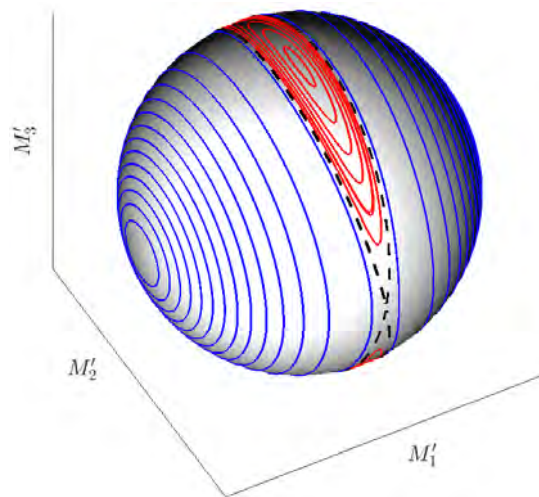
Kevin Ha<sup>1</sup>, Jean-Marc Chomaz<sup>1</sup> & Sabine Ortiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LadHyX, Ecole Polytechnique, CNRS UMR 7646, 91128 Palaiseau

<sup>2</sup> IMSIA, ENSTA Paristech, EDF/CNRS/CEA/ENSTA UMR 9219, F-91762 Palaiseau

kevin.ha@polytechnique.ladhyx.fr

When the classical problem of the rotation of a rigid body is considered, it is well-known that a rotation around the axis  $M_2$  corresponding to the intermediate moment of inertia  $J_2$  is unstable. We demonstrate in the present work that a rotation around the two other axis  $M_1, M_3$ , which are known to be stable, exhibits transient growth of perturbation energy. This transient growth becomes extremely large if the moment of the stable axis considered ( $J_1$  or  $J_3$ ) is close to  $J_2$ . This initial transient growth of the perturbation leads to an extremely extended nutation of the rotation axis around the considered axis when the initial perturbation is optimized. In the case of a rotation around  $M_3$  with  $J_3$  close to  $J_2$ , the leading initial perturbation is along the initial axis  $M_1$ . When its initial amplitude  $M_1$  reaches a threshold of order  $\sqrt{J_3/J_2 - 1}$ , the trajectory changes from a nutation around the  $M_3$  axis toward a trajectory where the initial rotation is periodically transferred from the  $M_3$  to the  $M_2$  direction. The same mechanism of large transient growth of perturbation is generic to any conservative systems and in particular to the triadic resonance in wave systems such as inertial waves.



**Figure 1.** Energy sphere in a  $(M'_1, M'_2, M'_3)$ -space with  $M'_n = M_n/\sqrt{J_n}$  when  $J_3 = J_2(1 + \varepsilon)$  with  $\varepsilon \ll 1$ . The  $M_1$  and  $M_3$  axes are circled by blue and red ellipses which are the line intersections between the energy sphere and the momentum ellipsoid for  $\mathcal{M}^2 \in ]2J_1\mathcal{E}, 2J_2\mathcal{E}]$  and  $\mathcal{M}^2 \in ]2J_2\mathcal{E}, 2J_3\mathcal{E}]$  respectively. The lines of equation  $\mathcal{M}^2 = 2J_2\mathcal{E}$  represented in dash-dotted dark lines separate the two previous basins of solutions.

## References

1. H. K. MOFFATT, Note on the triad interactions of homogeneous turbulence, *J. Fluid Mech.*, **741**, 1469–7645 (2014).
2. L. VAN DAMME, P. MARDESIC & D. SUGNY, The tennis racket effect in a three-dimensional rigid body, *Physica D*, **318**, 17–25 (2017).

# À la recherche de l'origine de l'intermittence dans les écoulements turbulents

Hugues Faller<sup>1</sup>, Paul Debue<sup>1</sup>, T. Chaabo<sup>2</sup>, Damien Geneste<sup>1</sup>, Valentina Valori<sup>1</sup>, Adam Cheminet<sup>1</sup>, Yasar Ostovan<sup>2</sup>, Jean-Philippe Laval<sup>2</sup> & Caroline Nore<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SPEC, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay, Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup> Univ. Lille, CNRS, ONERA, Arts et Métiers ParisTech, Centrale Lille, FRE 2017-LMFL-Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille-Kampé de Fériet, F-59000, Lille, France

<sup>3</sup> LIMSI, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, Orsay, France

hugues.faller@normalesup.org

Les limites de la théorie de turbulence de Kolmogorov 1941 ont vite émergées : les mesures d'écartement des distributions des dérivées de la vitesse  $\alpha(n) = (\overline{\partial_x^n u})^4 / [(\overline{\partial_x^n u})^2]^2$  illustrent une croissance de  $\alpha$  avec  $n$  ou bien le Reynolds  $Re$ . Ceci vient du fait que l'énergie associée aux grands nombres d'ondes n'est pas répartie de manière homogène, l'hétérogénéité étant maintenue par les transferts d'énergie.

Ce premier résultat ne concernant que les échelles dissipatives, la théorie plus générale de Kolmogorov 1962 implique une nouvelle loi d'échelle pour les fonctions de structures de la vitesse liée aux fluctuations de la dissipation locale d'énergie. Une interdépendance forte entre régions de forte dissipation et modification des lois d'échelles pour les fonctions de structures est ainsi établie. Les zones de grande dissipation étant observées proche des filaments ou nappes de vorticité, de nombreux travaux [1, 2] ont essayé de mettre en rapport les structures cohérentes de vorticité avec les exposants d'intermittence. Les conclusions sont que la vorticité impacte les exposants d'intermittence via son action sur le développement de la cascade énergétique. Ainsi les transferts d'énergie doivent être pris en compte.

Pour ce faire nous utilisons un bilan d'énergie inter-échelle proposé par Duchon & Robert [3] :

$$\partial_t E^\ell(\mathbf{x}, t) + \nabla \cdot \mathbf{j}^\ell(\mathbf{x}, t) = -\Pi_{\text{DR}}^\ell(\mathbf{x}, t) - \Pi_\nu^\ell(\mathbf{x}, t). \quad (1)$$

L'énergie cinétique à l'échelle  $\ell$   $E^\ell$  est transportée par  $\mathbf{j}^\ell$ , et varie selon  $\Pi_{\text{DR}}^\ell$  qui modélise les interactions non-linéaire envoyant de l'énergie vers des échelles plus petites et  $\Pi_\nu^\ell$  qui représente les effets visqueux.

Des observations dans un écoulement turbulent expérimental [4] montrent un lien direct entre les exposants d'intermittence et le terme de transfert inter-échelle d'énergie. Les mesures n'ont été prises que dans un plan, et ne permettent qu'une mesure partielle du terme non linéaire, sans mesurer la vorticité. De nouvelles mesures et simulations numériques nous permettent désormais de disposer de données tri-dimensionnelles. Les mesures expérimentales de vélocimétrie par image de particules sont limitées à un petit volume et légèrement bruitées mais permettent de bonnes statistiques. Les données numériques donnent accès à de bonnes résolutions en espace mais sont limitées en temps, ce qui limite l'analyse statistique, mais permet un calcul fiable des de quantités comme l'hélicité ou la vorticité.

Mêler mesures expérimentales et simulations numériques permet de profiter des avantages de chaque méthode. Le but de cette présentation est de présenter les résultats et examiner en détail les corrélations entre l'intermittence, le transfert d'énergie inter-échelle, et la vorticité.

## Références

1. P. CHAINAIS *et al.*, Intermittency and coherent structures in a swirling flow : A wavelet analysis of joint pressure and velocity measurements, *Phys. Fluids*, **11**, 3524–3539 (1999).
2. J. PARET, Intermittency in the two-dimensional inverse cascade of energy : Experimental observations, *Phys. Fluids*, **10**, 3126–3136 (1998).
3. J. DUCHON & R. ROBERT, Inertial energy dissipation for weak solutions of incompressible Euler and Navier–Stokes equations, *Nonlinearity*, **13**, 249–255 (2000).
4. B. DUBRULLE, Beyond Kolmogorov cascades, *J. Fluid Mech.*, **867**, P1 (2019).

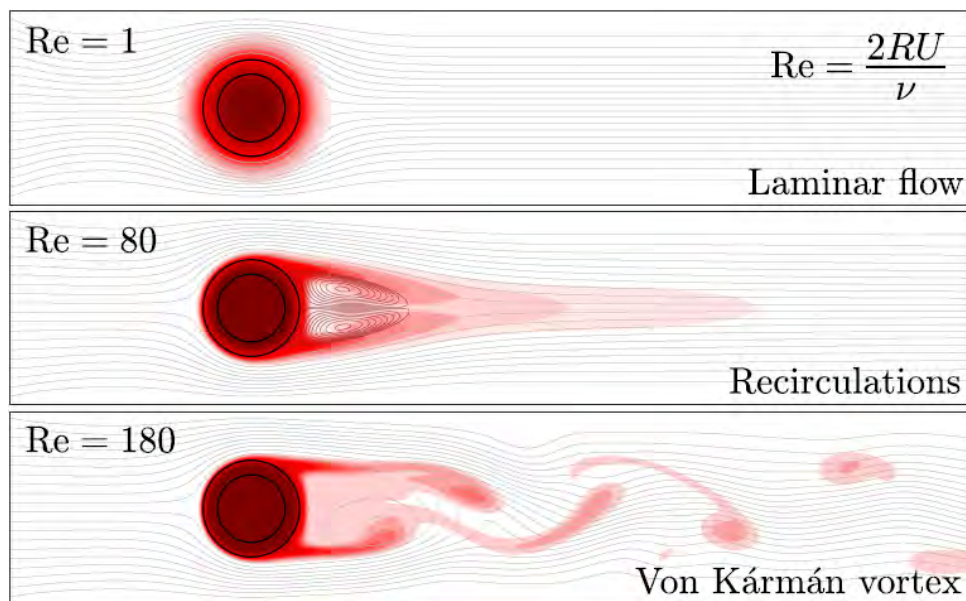
## Transfert de masse à partir d'une particule noyau-coque sous écoulements stationnaires et non stationnaires

Clément Bielinski & Badr Kaoui

Laboratoire Biomécanique et Bioingénierie, CNRS, Université de technologie de Compiègne, 60200 Compiègne, France

badr.kaoui@utc.fr

Le transfert de masse à partir d'une particule de type noyau-coque confinée dans un canal en présence d'un écoulement est étudié numériquement. L'écoulement du solvant et l'advection-diffusion du soluté sont tous deux calculés par la méthode de Boltzmann sur réseau (voir référence [1] pour plus de détails). Cette étude couvre un intervalle de nombre de Reynolds plus large que l'étude précédente [1]. La transition de l'écoulement stationnaire vers un écoulement non stationnaire avec une allée de von Kármán altère l'efficacité du transfert de masse (cf. Fig. 1), qui est quantifiée par le nombre de Sherwood (coefficient de transfert de masse adimensionnel). Une corrélation empirique non linéaire prenant en compte la contribution de la perméabilité de la coque est extraite à partir de données numériques. Elle met en évidence des caractéristiques différentes de celles des corrélations classiques qui sont limitées à des cylindres sans coque, et à des conditions aux limites constantes et uniformes sur leur surface. La corrélation ainsi proposée dans cette étude peut être utilisée dans de nombreuses applications pratiques comme le relargage ou l'absorption contrôlés d'un soluté par des réservoirs cylindriques dotés d'une coque.



**FIGURE 1.** Transition d'un écoulement stationnaire vers un écoulement non stationnaire et son impact sur la distribution du soluté relargué.

### Références

1. B. KAOUÏ, Flow and mass transfer around a core-shell reservoir, *Phys. Rev. E*, **95**, 063310 (2017).

# Vers un séparateur de faisceau pour les gouttes marcheuses

Loïc Tadrisk<sup>1</sup> & Tristan Gilet<sup>1</sup>

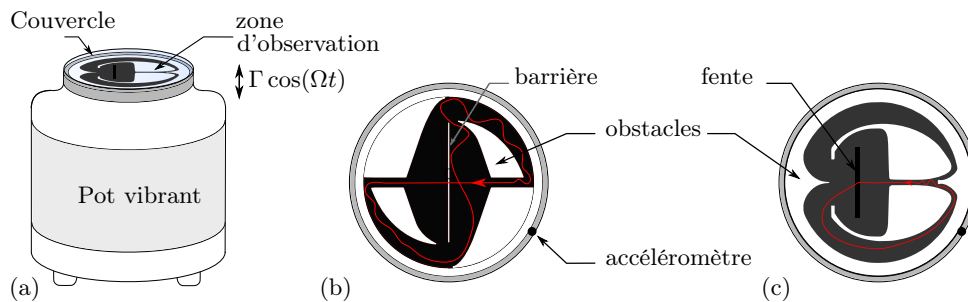
Microfluidics lab, Université de Liège, allée de la Découverte 9, 4000 Liège, Belgique.  
loic.tadrisk@uliege.be

La dualité onde-corpuscule reste difficile à concevoir pour la plupart des physiciens *réalistes*. En 2005, la découverte d'un objet macroscopique dual, à la fois onde et particule, avait soulevé des espoirs importants. Cet objet, un marcheur, est une petite goutte rebondissant sur un bain vibré verticalement. Les rebonds successifs créent des ondes à la surface du bain qui guident en retour la gouttelette [1–3].

Malgré quelques analogies intéressantes, notamment sur la quantification des rayons orbitaux dans un potentiel harmonique [4], ou bien sur l'occupation d'une cavité circulaire [5], certains résultats fondamentaux de la mécanique quantique n'ont pas été retrouvés. La diffraction par deux fentes par exemple est différente chez les marcheurs. Au delà de l'expérience des fentes d'Young, d'autres expériences de mécanique quantique (Hong-Ou-Mandel, intrication,...) ne sont pas accessibles pour les marcheurs pour une raison technique : il n'existe pas de séparateur de faisceau de marcheurs.

Nous investiguons deux configurations expérimentales pour séparer un faisceau de marcheurs. La première configuration est la passage au dessus d'une barrière submergée. Nous montrons que le franchissement de la barrière n'est pas uniquement lié à l'énergie cinétique du marcheur mais dépend aussi des autres paramètres de phase. La seconde configuration est symétrique à la précédente. Le marcheur passe au dessus d'une fente plus profonde. La vibration verticale est réglée de telle sorte qu'une onde stationnaire (onde de Faraday) soit piégée dans la fente. Les marcheurs rebondissent sur la pente de l'onde de Faraday qui sépare le faisceau.

Nous mettons l'accent sur la reproductibilité de cette expérience.



**FIGURE 1.** Schéma expérimental (a) L'accélération du pot vibrant est  $\Gamma \cos(\Omega t)$ . Le bain est protégé des courants d'air par un couvercle. (b) and (c) vue de dessus. (b) Les marcheurs traversent ou sont réfléchis par la barrière (ligne blanche). (c) Les marcheurs sont déviés lors de leur passage au dessus de la fente (ligne noire).

## Références

1. Y. COUDER, S. PROTIÈRE, E. FORT & A. BOUDAUD, Dynamical phenomena: Walking and orbiting droplets, *Nature*, **437**, 208 (2005).
2. J. W. BUSH, Pilot-wave hydrodynamics, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **47**, 269–292 (2015).
3. L. TADRISK, J. B. SHIM, T. GILET & P. SCHLAGHECK Faraday instability and subthreshold Faraday waves: surface waves emitted by walkers, *J. Fluid Mech.*, **848**, 906–945 (2018).
4. S. PERRARD, M. LABOUSSE, M. MISKIN, E. FORT & Y. COUDER, Self-organization into quantized eigenstates of a classical wave-driven particle, *Nat. Commun.*, **5**, 1–8 (2014).
5. D. M. HARRIS, J. MOUKHTAR, E. FORT, Y. COUDER & J. W. BUSH, Wavelike statistics from pilot-wave dynamics in a circular corral, *Phys. Rev. E*, **88**, 011001 (2013).

## Crises endogènes de liquidité

Antoine Fosset<sup>1,2</sup>, Jean-Philippe Bouchaud<sup>2,3</sup> & Michael Benzaquen<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Ladhyx, UMR CNRS 7646, Ecole polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>2</sup> Chair of Econophysics & Complex Systems, Ecole polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>3</sup> Capital Fund Management, 23-25, Rue de l'Université 75007 Paris, France

antoine.fosset@ladhyx.polytechnique.fr

Pourquoi les marchés financiers sont-ils si sujets aux crises de liquidité et aux krachs? Motivés par le « *flash-crash* » du 6 mai 2010 (cf. Fig. 1) où la liquidité à l'achat *i.e.* la quantité disponible à l'achat avait disparu, nous avons analysés les données empiriques des ordres exécutés sur les marchés.

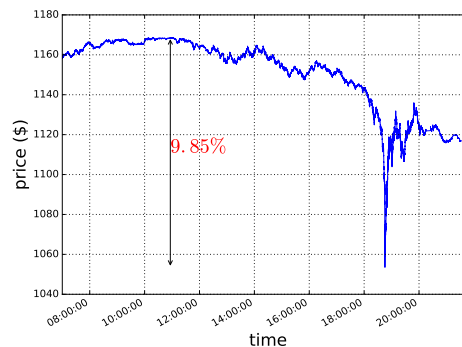


FIGURE 1. Évolution du prix du futur sur le S&P500, le 6 mai 2010.

Celles-ci révèlent que les taux des différents types d'ordres (dépositions, annulations et ordres marché) sont influencés par les changements de prix passés. En particulier, nous montrons que les annulations ont tendance à augmenter avec la volatilité passée et l'évolution des prix. Un tel mécanisme de rétroaction contribue à affaiblir la liquidité, ce qui à son tour augmente la volatilité et ainsi de suite, ce qui peut conduire à une disparition de la liquidité. Une caractérisation précise de cette rétroaction montre la présence d'un terme quadratique en l'évolution des prix passés, introduit par Blanc, Donier & Bouchaud [2] et essentiel à la compréhension des crises de liquidité. En tenant compte de ces effets dans un modèle stylisé de carnet d'ordres, nous montrons qu'il existe une transition de la phase de second ordre d'un régime stable à faible rétroaction à un régime à forte rétroaction dans lequel les crises de liquidité surviennent avec une probabilité un. Nous caractérisons les exposants critiques de cette transition, qui semblent appartenir à une nouvelle classe d'universalité. S'il est pertinent pour les marchés réels, un tel scénario de transition de phase exige que le système se situe en dessous, mais très près du seuil d'instabilité (criticalité auto-organisée), ou bien que l'intensité de la rétroaction soit elle-même dépendante du temps et visite occasionnellement la région instable. Pour renforcer notre intuition, nous développons un modèle simple de dynamique de propagation faisant intervenir les processus de Hawkes non linéaires. Ce scénario alternatif possède un régime métastable avec des crises de liquidité occasionnelles « activées », sans introduire de dépendance temporelle dans l'intensité de la rétroaction.

## Références

1. A. FOSSET, J.-P. BOUCHAUD & M. BENZAQUEN, Endogenous Liquidity Crises, [arXiv:1912.00359](https://arxiv.org/abs/1912.00359) (2019).
2. P. BLANC, J. DONIER & J.-P. BOUCHAUD, Quadratic Hawkes processes for financial prices, *Quant. Finance*, **17**, 171–188 (2017).

# Effets de la non convexité des interactions sur la dynamique des solitons dans un modèle de FK déformable.

Aurélien Serge Tchakoutio Nguetcho<sup>1,2</sup>, Jean-Marie Bilbault<sup>2</sup> & Serge Dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences et Sciences Appliquées du Sahel (LISSAS), Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Maroua, BP 814 Cameroun

<sup>2</sup> Laboratoire ImViA, Université de Bourgogne Franche-Comté, BP 47870 - 21078 Dijon Cedex

<sup>3</sup> INSA Centre Val de Loire, 3 Rue de la Chocolaterie CS 23410, F-41034 Blois, Inserm U1253, Université de Tours

nguetchoserge@yahoo.fr

La dynamique des ondes localisées est étudiée dans un modèle de Frenkel-Kontorova (FK) avec des interactions interparticulaires non-convexes [1–6] plongé dans un potentiel de substrat à profil variable [1, 2, 6, 8]. Le cas d'un potentiel de substrat déformable permet une adaptation théorique du modèle à différents autres phénomènes physiques réels. Les interactions non convexes ont des effets cruciaux sur la réponse des excitations non linéaires qui peuvent se propager le long de tels systèmes. De plus, l'inclusion d'interactions non-convexes n'est pas seulement intéressante d'un point de vue de la physique, elle fournit également un modèle mathématique extraordinaire, une nouvelle famille d'équations différentielles de seconde classe possédant plusieurs paramètres clés et plusieurs droites singulières. La dynamique autour de ces singularités donne de nouvelles informations d'un grand intérêt ; ils permettent notamment de mieux expliquer la formation de fissures résultant des dislocations observées dans les hétérostructures et semi-conducteurs qui, jusqu'ici n'avaient pas d'explications théoriques [6–8]. Par la théorie des bifurcations soutenue par les trajectoires de phase, nous dérivons une riche variété de solutions exotiques dont les différentes conditions d'existences sont bien définies. Dans certaines situations paramétriques, nous donnons diverses conditions suffisantes conduisant au seuil de dislocation. Nous remarquons que la déformabilité du potentiel de substrat ne joue qu'un rôle mineur [9]. Les résultats de nos analyses théoriques sont validés et complétés par des simulations numériques.

## Références

1. M. REMOISSENET, *Waves called Solitons*, 3<sup>e</sup> édition, Springer-Verlag, Berlin (2003).
2. O. M. BRAUN & Y. S. KIVSHAR, *The Frenkel-Kontorova Model, Concepts, Methods, and Applications*, Springer-Verlag, Heidelberg New York (2004).
3. A. MILCHEV & I. MARKOV, The effect of anharmonicity in epitaxial interfaces: I. Substrate-induced dissociation of finite epitaxial islands, *Surf. Sci.*, **136**, 503 (1984).
4. A. MILCHEV, Solitary waves in a Frenkel-Kontorova model with non-convex interactions, *Physica D*, **41**, 262 (1990).
5. B. A. MALOMED & A. MILCHEV, Interaction of dislocations with a local defect in an atomic chain with a nonconvex interparticle potential, *Phys. Rev. B*, **41**, 4220 (1990).
6. A. S. TCHAKOUTIO NGUETCHO, J. B. LI & J. M. BILBAULT, Bifurcations of phase portraits of a singular nonlinear equation of the second class, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.*, **19**, 2590 (2014).
7. A. S. TCHAKOUTIO NGUETCHO, G. M. NKEUMALEU & J. M. BILBAULT, Behavior of gap solitons in anharmonic lattices, *Phys. Rev. E*, **96**, 022207 (2017).
8. JIBIN LI, *Singular nonlinear traveling wave equations: bifurcations and exact solutions*, Beijing : Science Press (2013).
9. J. PATUREJ, A. MILCHEV, V. G. ROSTIASHVILI & T. A. VILGIS, Polymer chain scission at constant tension – an example of force-induced collective behaviour, *J. Chem. Phys.*, **134**, 224901 (2011).

## Perception d'images subliminales utilisant la Résonance vibrationnelle

Morfu Saverio<sup>1</sup>, Usama Bello Ibrahim<sup>2</sup> & Marquié Patrick<sup>3</sup>

ImViA EA 7535, Univ Bourgogne Franche-Comté, Aile des sciences de l'ingénieur, BP 47870, 21078 Dijon Cedex  
smorfu@u-bourgogne.fr

De nombreux domaines de recherche consacrent une partie de leurs études à l'analyse de la réponse des systèmes non linéaires. Une grande diversité de propriétés ont ainsi pu être mises en évidence pour expliquer certains comportements observés dans la nature. Parmi ces propriétés, la moins intuitive est sans conteste la Résonance Stochastique (R.S.) où une quantité appropriée de bruit va permettre d'améliorer la réponse d'un système non linéaire à un signal d'excitation [1]. Dans le contexte de la dynamique des climats, cet effet a permis d'expliquer la récurrence des ères glaciaires [2] tandis que dans le domaine des neurosciences, il a permis d'expliquer comment les neurones utilisent le bruit pour améliorer la détection d'information [3] ou encore comment le bruit peut participer à la perception d'images subliminales [4–6]. La Résonance Vibrationnelle (R.V.) est un autre phénomène sur lequel continuent de porter bon nombre d'études [7, 8]. Ce phénomène fait intervenir une perturbation haute fréquence qui va permettre d'améliorer la réponse d'un système non linéaire à une excitation basse fréquence. En effet, pour une valeur optimum de la perturbation haute fréquence, l'amplitude de la composante basse fréquence en sortie du système est maximum. Tout comme l'effet très ressemblant de résonance stochastique, la R. V. a été montrée dans des circuits électroniques [9], dans les systèmes neuronaux [10] avec la possibilité d'effectuer de la détection de signaux de faibles amplitudes. Cependant, contrairement à la résonance stochastique, il n'a pas encore été établi que la résonance vibrationnelle pouvait intervenir dans la perception d'images subliminales. C'est l'objet de cette communication qui présente comment une perturbation haute fréquence peut, au travers d'un dispositif à seuil, améliorer la détection d'informations contenues dans une image [11].

### Références

1. L. GAMMAITONI, P. HÄNGGI, P. JUNG & F. MARCHESONI, Stochastic resonance, *Rev. Mod. Phys.*, **70**, 223–287 (1998).
2. R. BENZI, A. SUTERA & A. VULPIANI, The mechanism of stochastic resonance in climatic changes, *Tellus*, **14** 453–457 (1982).
3. K. WIESENFELD & F. MOSS, Stochastic resonance and the benefits of noise: from ice ages to crayfish and SQUIDS, *Nature*, **373**, 33–36 (1995).
4. E. SIMONOTTO, M. RIANI, C. SEIFE, M. ROBERTS, J. TWITTY & F. MOSS, Visual Perception of Stochastic Resonance, *Phys. Rev. Lett.*, **78**, 1186–1189 (1997).
5. E. ITZCOVICH, M. RIANI & W. G. SANNITA, Stochastic resonance improves vision in the severely impaired, *Sci. Rep.*, **7**, 12840 (2017).
6. S. MORFU, P. MARQUIÉ, B. NOFIELE & D. GINHAC, Nonlinear systems for image processing, *Adv. Imag. Electron Phys.*, **152**, 79–153 (2008).
7. P. S. LANDA & P. V. E. MCCLINTOCK, Vibrational Resonance, *J. Phys. A*, **33**, L433–L438 (2000).
8. M. BORDET & S. MORFU, Experimental and numerical study of noise effects in a FitzHugh–Nagumo system driven by a biharmonic signal, *Chaos Soliton Fract.*, **54**, 82–89 (2013).
9. M. BORDET & S. MORFU, Experimental and numerical enhancement of Vibrational Resonance in neural circuit, *Electron. Lett.*, **48**, 903–905 (2012).
10. Y. REN, Y. PAN, F. DUAN, F. CHAPEAU-BLONDEAU & D. ABBOTT, Exploiting vibrational resonance in weak-signal detection, *Phys. Rev. E*, **96**, 022141 (2017).
11. S. MORFU, B. I. USAMA, P. MARQUIÉ, Perception enhancement of subthreshold noisy image with vibrational resonance, *Electron. Lett.*, **55**, 650–652 (2019).



# Stabilité marginale dans les économies critiques en réseau

Théo Dessertaine<sup>13</sup>, José Moràn<sup>23</sup>, Jean-Philippe Bouchaud<sup>34</sup> & Michael Benzaquen<sup>134</sup>

<sup>1</sup> LadHyx, Ecole polytechnique, Route de Saclay 91120 Palaiseau

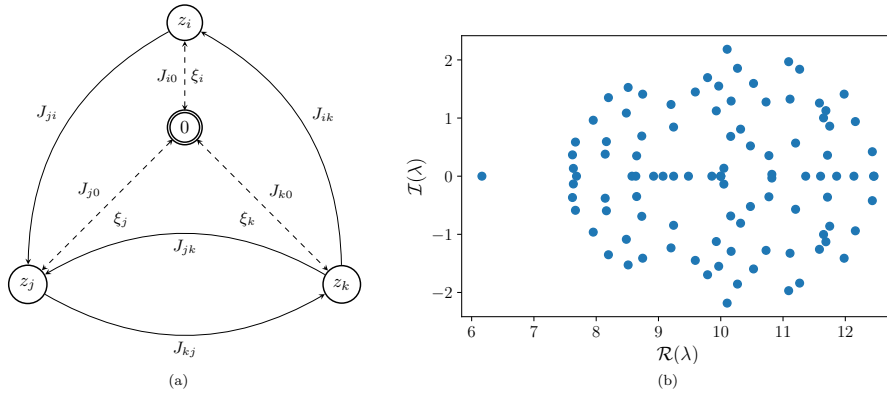
<sup>2</sup> École des hautes études en sciences sociales, 54 Boulevard Raspail, 75005 Paris

<sup>3</sup> Chair of Econophysics and Complex Systems, Ecole polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>4</sup> Capital Fund Management, 23 Rue de l'Université, 75007 Paris

dessertainetheo@gmail.com

Nous essayons de comprendre le problème « *small shocks, large business cycles* » introduit par Bernanke *et al.* Ce problème est issu de l'observation que les petits chocs subis par les entreprises résultent en de très larges fluctuations des quantités agrégées d'une économie (comme le PIB par exemple). Cela va à l'encontre d'une intuition classique voulant que de très nombreux petits chocs microscopiques finissent par se moyennent au niveau macroscopique en invoquant le théorème central limite. Nous essayons de faire sens de ses observations en explorant l'intuition d'Acemoglu [2] qui explique cette large volatilité par la propagation et l'amplification des chocs sur la chaîne de production.



**FIGURE 1.** (a) Représentation graphique de l'économie. (b) Valeurs propres de la représentation matricielle  $M_{ij} = z_i \delta_{ij} - J_{ij}$  de l'économie, les parties réelles doivent être positives pour satisfaire (HS).

Nous modélisons alors notre économie par  $n$  entreprises, interagissant par l'achat et la vente sur un graphe de matrice d'adjacence  $J$ , et un ménage représentatif, travaillant pour les entreprises et consommant leurs biens. On démontre facilement [1] que l'économie présente un équilibre compétitif (profits  $\mathcal{P}_i$  et balances de production  $e_i$  nuls) admissible (prix et productions d'équilibre positifs) si la condition dite de Hawkins–Simons (HS) est satisfaite. Pour comprendre la propagation des chocs le long de la chaîne de production, nous devons considérer le comportement transitoire de l'économie après une déviation de l'équilibre. Pour cela, nous munissons l'économie des règles suivantes d'actualisation des prix  $p_i(t)$  et des productions  $\gamma_i(t)$

$$p_i(t+1) = p_i(t) \left( 1 - \alpha_i \frac{e_i(t)}{z_i p_i(t) \gamma_i(t)} \right) \quad \gamma_i(t+1) = \gamma_i(t) \left( 1 + \beta_i \frac{\mathcal{P}_i(t)}{z_i \gamma_i(t)} \right) \quad (1)$$

En exprimant les différentes quantités, on obtient un système non linéaire couplé. On montre alors que la saturation de la condition de Hawkins–Simons est synonyme de stabilité marginale pour le système, permettant l'accumulation des chocs sur le réseau.

## Références

1. J. MORAN, JOSÉ & J.-P. BOUCHAUD, May's instability in large economies, *Phys. Rev. E*, **100**, 032307 (2019).
2. D. ACEMOGLU, V. CARVALHO, A. OZDAGLAR & A. TAHBAZ-SALEHI, The network origins of aggregate fluctuations, *Econometrica*, **80**, 1977–2016 (2012).

# The evolution of the large-scale flow in magnetoconvection

Till Zürner<sup>1,3</sup>, Felix Schindler<sup>2</sup>, Tobias Vogt<sup>2</sup>, Sven Eckert<sup>2</sup> & Jörg Schumacher<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Thermodynamics and Fluid Mechanics, Technische Universität Ilmenau, Postfach 100565, D-98684 Ilmenau, Germany

<sup>2</sup> Department of Magnetohydrodynamics, Institute of Fluid Dynamics, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, D-01328 Dresden, Germany

<sup>3</sup> IMSIA, ENSTA Paris, CNRS, CEA, EDF, Institut Polytechnique de Paris, 828 Boulevard des Maréchaux, 91120 Palaiseau, France

till.zuerner@ensta-paris.fr

Rayleigh–Bénard convection (RBC) in electrically conducting fluids can be influenced by applying external magnetic fields. It is known that a vertical magnetic field suppresses convective flows [1]. Experimental investigations on this topic are scarce [2], since the most suitable working fluids are liquid metals. These pose a considerable challenge for the measurement of the flow structure due to their opaque nature. We present experimental data on the large-scale flow structure as well as the heat and momentum transport in a RBC system with an imposed vertical magnetic field using the liquid metal alloy gallium-indium-tin (Prandtl number  $Pr = 0.029$ ) [3].

The set-up consists of a cylindrical cell with height and diameter of 180 mm, i.e., aspect ratio 1. The bottom plate is made of copper and is heated by an electrical heating pad. The top is cooled by water in a copper heat exchanger. The external magnetic field is generated by the MULTIMAG facility [4] which produces a vertical magnetic field up to 140 mT. With this set-up Rayleigh numbers  $10^6 \leq Ra \leq 6 \times 10^7$  and Hartmann numbers  $0 \leq Ha \leq 1000$  can be covered.

The flow structure is reconstructed from direct velocity measurements using ultrasound Doppler velocimetry (UDV) and an array of temperature sensors distributed in a semi-circle at half-height of the cell. Without an applied magnetic field, the convective flow is turbulent and consists of a single large-scale circulation roll (LSC). This flow structure exhibits periodic and coherent deformations [5], the so-called torsion and sloshing modes, which are well known from experiments in water. By increasing the Hartmann number we find that the overall flow intensity is continually decreased. At first the LSC is stabilised by the suppression of turbulent fluctuations and regular oscillation modes. Once the magnetic field crosses a critical value, the LSC breaks down into a complex structure comprised of multiple convection cells. A further increase of  $Ha$  fully suppresses the flow in the centre of the cell but not near the side walls. Even after crossing the theoretical onset of convection for an infinite layer [1] a flow can still be detected. This destabilising effect of electrically insulating side walls on magnetoconvection has been predicted in theory [6] and direct numerical simulations [7], but is now shown experimentally for the first time.

## References

1. S. CHANDRASEKHAR, *Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability*. Dover Publications, Inc., New York (1961).
2. T. ZÜRNER, W. LIU, D. KRASNOV & J. SCHUMACHER, Heat and momentum transfer for magnetoconvection in a vertical external magnetic field, *Phys. Rev. E*, **94**, 043108 (2016).
3. T. ZÜRNER, F. SCHINDLER, T. VOGT, S. ECKERT & J. SCHUMACHER, Flow regimes of Rayleigh–Bénard convection in a vertical magnetic field, [arXiv:2002.07414](https://arxiv.org/abs/2002.07414) [[physics.flu-dyn](https://arxiv.org/abs/2002.07414)] (2020).
4. J. PAL, A. CRAMER, T. GUNDRUM & G. GERBETH, MULTIMAG—A MULTIpurpose MAGnetic system for physical modelling in magnetohydrodynamics, *Flow Meas. Instrum.*, **20**, 241–251 (2009).
5. T. ZÜRNER, F. SCHINDLER, T. VOGT, S. ECKERT & J. SCHUMACHER, Coherent large-scale flow in turbulent liquid metal convection, *J. Fluid Mech.*, **849**, R2 (2018).
6. B. C. HOUCHEMS, L. MARTIN WITKOWSKI & J. S. WALKER, Rayleigh–Bénard instability in a vertical cylinder with a vertical magnetic field, *J. Fluid Mech.*, **469**, 189–207 (2002).
7. W. LIU, D. KRASNOV & J. SCHUMACHER, Wall modes in magnetoconvection at high Hartmann numbers, *J. Fluid Mech.*, **849**, R2 (2018).

# Croissance d'arbre soumis à des règles d'allocation de ressource

Olivier Bui & Xavier Leoncini

Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, CPT, Marseille, France  
olivi.bui@gmail.com

L'objet d'étude sont les réseaux de transport tels qu'ils peuvent exister en physique, en ingénierie et en biologie, par exemple pour le transport de l'eau, de l'électricité, de l'oxygène, etc. Une approche typique pour étudier ce type de systèmes est celle de l'optimisation. Toutefois, la construction d'un réseau n'est pas un acte immédiat et sa topologie peut résulter d'un passé : par exemple, on peut les considérer comme systèmes en évolution dont la croissance peut être façonné par des interactions locales comme se peut être le cas des rivières, plantes etc. Ainsi, nous construisons un modèle où un réseau croît dans le temps en fonction de la façon dont la ressource transportée est répartie dans ce même réseau. Les arbres biologiques sont un exemple de ce système, car la répartition du sucre sur lui-même influencerait la partie de l'arbre qui croît et, par conséquent, déterminerait sa géométrie et la topologie du réseau avec lequel l'arbre peut être représenté. Après avoir construit et analyser succinctement un tel modèle inspiré des plantes vasculaires [1], nous décidons de complexifier le système. D'abord, nous ajoutons des contraintes physiques simples, comme l'impossibilité pour deux branches d'occuper la même position, puis ajoutons des facteurs comme des contraintes mécaniques liées à la gravité ou une influence de la quantité de lumière intercepté sur la quantité de sucre qu'une feuille puisse produire. Nous étudions l'influence de chacun de ces facteurs sur la dynamique du système ainsi que sur la géométrie de notre arbre final.

## Références

1. O. BUI & X. LEONCINI, Growth of a tree with allocation rules. Part 1: kinematics, *Eur. Phys. J. B*, **92**, 151 (2019).

## Oscillation quasi-biennale : expérience et modèle

Benoît Semin<sup>1,2</sup>, François Pétrélis<sup>2</sup> & Stephan Fauve<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire PMMH, ESPCI CNRS, 7 quai saint-Bernard, 75005 Paris

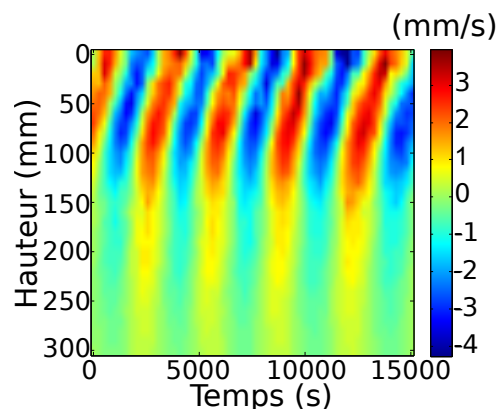
<sup>2</sup> LPENS, École Normale Supérieure, CNRS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

benoit.semin@espci.fr

L'oscillation quasi-biennale est le renversement périodique du vent dans la stratosphère équatoriale. La période de cette oscillation est de 28 mois en moyenne, et n'est pas liée à un forçage astrophysique. Ce vent est connu pour être engendré par des ondes atmosphériques, notamment des ondes internes de gravité.

Nous avons mis en en place une expérience qui reproduit ce phénomène en laboratoire, inspirée de celle de Plumb et McEwan [1, 2]. Un fluide stratifié (eau salée) est placé entre deux cylindres verticaux transparents. Des ondes internes sont engendrées à l'aide de 16 membranes situées au-dessus du fluide. Chaque membrane oscille sinusoidalement de manière verticale, en opposition de phase avec ses deux voisines : l'onde est stationnaire dans la direction azimutale. Quand l'amplitude de l'onde est suffisante, un écoulement moyen est engendré. Cet écoulement moyen oscille avec une période très supérieure à celle de l'onde (voir figure 1). Cette oscillation de l'écoulement moyen est similaire à celle observée dans l'atmosphère.

Nous avons également résolu analytiquement le modèle qui décrit cette expérience près du seuil de la bifurcation entre l'état sans écoulement moyen et celui où il est présent. Nous avons montré expérimentalement et théoriquement que la bifurcation est une bifurcation de Hopf qui est sous-critique ou supercritique, suivant la nature de la dissipation de l'écoulement moyen. Nous avons aussi montré expérimentalement et théoriquement que l'amplitude de l'écoulement moyen en fonction de la hauteur n'est pas une fonction monotone.



**FIGURE 1.** Diagramme spatio-temporel de l'écoulement moyen mesuré expérimentalement, pour une amplitude de forçage  $M = 13,5$  mm, une période de forçage  $T = 17$  s, une fréquence de Brunt-Väisälä  $N = 1,5$  rad.s<sup>-1</sup>. La période de l'écoulement moyen vaut  $T_{QBO} = 3\,200$  s.

### Références

1. R. PLUMB & A. MCEWAN, The instability of a forced standing wave in a viscous stratified fluid: A laboratory analogue of the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1827–1839 (1978).
2. B. SEMIN, G. FACCHINI, F. PÉTRÉLIS & S. FAUVE, Generation of a mean flow by an internal wave, *Phys. Fluids*, **28**, 096601 (2016).
3. B. SEMIN, N. GARROUM, F. PÉTRÉLIS & S. FAUVE, Nonlinear saturation of the large scale flow in a laboratory model of the quasibiennial oscillation, *Phys. Rev. Lett.*, **121**, 134502 (2018).

# Étude expérimentale et numérique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé

Valentin Ageorges<sup>1</sup>, Jorge Peixinho<sup>1,2</sup>, Gaële Perret<sup>2</sup>, Ghislain Lartigue<sup>3</sup> & Vincent Moureau<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, (LOMC) CNRS et Université Le Havre Normandie : UMR6294

<sup>2</sup> Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux [Paris] (PIMM) Arts et Métiers, CNAM, Hésam Université, CNRS : UMR8006

<sup>3</sup> COmplexe de Recherche Interprofessionnel en Aéothermochimie (CORIA), CNRS : UMR6614

valentin.ageorges@univ-lehavre.fr

L'évolution de la dynamique de l'écoulement et des phénomènes d'entraînement d'air dans le sillage d'une structure partiellement immergée [1, 2] est d'intérêt pour la conception de carène, de structures offshore et pour les systèmes d'énergies marines renouvelables [3]. Dans notre cas, l'étude réalisée porte sur la compréhension des efforts avec une problématique simplifiée en considérant un cylindre vertical partiellement immergé soumis à l'action d'un courant seul.

Nous présentons des résultats expérimentaux obtenus en canal, où le cylindre vertical partiellement immergé est tracté, ainsi que des résultats numériques 3D obtenus à l'aide du code YALES2. Ce code de calcul est basé sur le couplage d'une méthode des volumes finis et d'une méthode level-set pour la modélisation de l'interface. L'écoulement derrière le cylindre est gouverné par les nombres de Reynolds et de Froude, définis à l'aide du diamètre du cylindre caractérisant l'importance des effets inertiels et gravitaires. L'étude est réalisée pour des nombres de Reynolds compris entre 4 500 et 240 000 indiquant un sillage turbulent, et des nombres de Froude de 0.2 à 2.57 caractérisant une surface libre fortement déformée. L'attention est portée sur les fortes déformations de surface libre allant jusqu'à sa rupture et l'entraînement d'air [2, 4].

Une analyse des volumes d'air entraînés, des efforts adimensionnels, des champs de vorticité et de pression a été effectuée. Il a été observé que la diminution des efforts de traînée adimensionnels avec l'augmentation des nombres de Reynolds et de Froude, coïncide avec une inhibition de la dynamique tourbillonnaire sous la surface libre. La dynamique de la surface libre est cohérente avec la théorie des ondes capillaro-gravitaires [5, 6]. De plus, les zones de fortes instationnarités correspondent aux zones où se produit l'entraînement d'air. Ce travail étend la gamme de paramètres adimensionnels parcourus expérimentalement et numériquement, mettant en évidence le lien entre l'évolution de la surface libre, la dynamique de l'écoulement autour du cylindre et l'évolution des efforts de traînée.

## Références

1. K. HENDRICKSON, G. D. WEYMOUTH, X. YU & D. K.-P. YUE, Wake behind a three-dimensional dry transom stern. Part 1. Flow structure and large-scale air entrainment, *J. Fluid Mech.*, **875**, 854–883, (2019).
2. V. AGEORGES, J. PEIXINHO & G. PERRET, Flow and air-entrainment around a partially submerged vertical cylinders, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 064801 (2019).
3. I. LÓPEZ, J. ANDREU, S. CEBALLOS, I. M DE ALEGRÍA & I. KORTABARRIA, Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment, *Renew. Sust. Energy Rev.*, **27**, 413–434 (2013).
4. A. BENUSIGLIO, *Indiscrétions aux interfaces*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique (2013).
5. A. M. BINNIE, Solutions of the fish-line problem at intermediate velocities, *Br. J. Appl. Phys.*, **16**, 1755–1758 (2019).
6. F. MOISY & M. RABAUD, Mach-like capillary-gravity wakes, *Phys. Rev. E*, **90**, 023009 (2014)

# Analyse linéaire de stabilité d'un jet de ferrofluide

Romain Canu & Marie-Charlotte Renoult

Normandie Univ, UNIROUEN, INSA Rouen, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France  
renoultm@coria.fr

On étudie un jet de ferrofluide incompressible newtonien placé dans un champ magnétique stationnaire de forme générale. La réponse du ferrofluide par rapport au champ magnétique appliqué est considérée linéaire, homogène et isotrope. Des conditions isothermes sont supposées et la gravité ainsi que les effets du fluide environnant sont négligés. Enfin, une configuration axisymétrique est prise en compte. L'analyse de stabilité est effectuée en perturbant l'état de base au moyen d'une déformation monomode de l'interface de très faible amplitude. La relation de dispersion obtenue dépend de quatre nombres sans dimension : le nombre d'onde adimensionné, le nombre d'Ohnesorge, la perméabilité magnétique relative et le nombre de Bond magnétique ; mais également de la forme du champ magnétique appliqué. La résolution de cette relation, en fonction du nombre d'onde, permet de retrouver l'allure des courbes des solutions capillaires et hydrodynamiques du cas standard d'un liquide newtonien non-magnétique [1] mais avec une modification du nombre d'onde de coupure et des nombres d'onde délimitant le régime oscillatoire. En particulier, la propriété de stabilisation d'un champ magnétique est retrouvée lorsque l'on considère le cas spécifique d'un champ axial, déjà examiné dans une étude antérieure pour un liquide magnétique non-visqueux [2].

## Références

1. J. GARCIA & H. GONZALEZ, Normal-mode linear analysis and initial conditions of capillary jets, *J. Fluid Mech.*, **602**, 81–117 (2008).
2. R. E. ROSENSWEIG, *Ferrohydrodynamics*, Dover Publications Inc, Mineola, New York (2014).

# Acoustic monitoring of damages in cemented granular materials under uniaxial loading

Vincent Canel<sup>1,2</sup>, Xiaoping Jia<sup>1</sup>, Michel Campillo<sup>2</sup> & Ioan R. Ionescu<sup>3</sup>

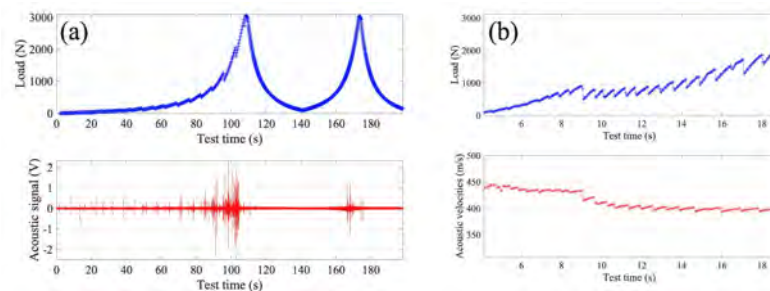
<sup>1</sup> Institut Langevin, CNRS, ESPCI Paris, PSL University, 75005 Paris France

<sup>2</sup> ISTERre, CNRS, Grenoble Alpes University, 38000 Grenoble France

<sup>3</sup> LSPM, CNRS, Paris 13 University, 93430 Villetaneuse France

vincent.canel@espci.fr

Earthquakes or fault core sliding occur naturally in response to long-term deformation produced by plate tectonics; they may also be triggered by human activities related to natural resource extraction by affecting the stress field and damaging the rocks. However, the way the damage and the cohesiveness of the rocks control the frictional slip is not well understood. It involves materials in very different states : from almost purely granular state in the highly damaged fault core [1] or in highly cracked materials close to injection or extraction sites, to almost completely cohesive state in distant host rocks. To address this issue, we perform controlled laboratory experiments and develop new numerical models of damage to study the transition from cohesive to granular states of synthetic rocks under various loadings, including direct shear [2]. Our rock models are made of cemented granular materials in which the packing density (glass beads or sand) and the nature and content of cements are tunable [3,4]. Here we present the results obtained in a uniaxial loading test where we focus on the fracture process that is spatially diffused without shear band. The fracturing of the rock samples to a purely granular state is acoustically monitored using both the passive detection of acoustic emission (Fig. 1 (a)) [5] and active ultrasonic measurements to study the macroscopic viscoelastic properties, e.g. with coherent waves (Fig. 1 (b)) [2,3]. The FEM modelling of damage and wave propagation is also made in 2D dense cemented disk packings with various cement contents and elasto-visco-plastic properties. The comparison between experiments and simulations will be discussed.



**FIGURE 1.** (a) Acoustic emission (bottom) in a cemented granular material during two cycles of loading and unloading (top) in oedometric configuration. (b) Acoustic monitoring of the material damage : stress drop (top) and related velocity decrease (bottom).

## Références

1. C. MARONE, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **26**, 643–696 (1998).
2. Y. KHIDAS & X. JIA, *Phys. Rev. E*, **85**, 051302 (2012).
3. V. LANGLOIS & X. JIA, *Phys. Rev. E*, **89**, 023206 (2014).
4. A. HEMMERLE & M. SCHROTER & L. GOEHRING, *Scient. rep.*, **6**, 35650 (2016).
5. P. A. JOHNSON *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 5627–5631 (2013).

# Non-linéarités liées à un jet de liquide viscoélastique

Louise Cottier<sup>1</sup>, Günter Brenn<sup>2</sup>, Christophe Dumouchel<sup>1</sup>, Marie-Charlotte Renoult<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Normandie Univ, UNIROUEN, INSA Rouen Normandie, CNRS, CORIA, 76000 Rouen, France

<sup>2</sup> Institute of Fluid Mechanics and Heat Transfer, Graz University of Technology, 8010 Graz, Austria  
renoulm@coria.fr

La viscoélasticité est une propriété potentiellement non-linéaire de certains liquides non-newtoniens. Cette propriété constitue un intérêt pour la communauté scientifique du fait qu'un nombre important de liquides industriels et biologiques sont viscoélastiques. Leur structure macromoléculaire leur confère un comportement particulier qui s'apparente à celui d'un solide élastique sur des temps de sollicitation relativement courts et à un liquide visqueux sur des temps plus longs. La modélisation d'un tel comportement représente une réelle difficulté ; plusieurs modèles rhéologiques ont jusqu'alors été développés parmi lesquels le modèle Oldroyd-B [1]. Ces modèles peuvent ainsi être utilisés pour étudier des écoulements de liquides viscoélastiques dans différentes configurations.

En particulier, une analyse de stabilité d'un jet de liquide viscoélastique est en cours de réalisation. Les non-linéarités induites à la fois par l'écoulement fluide, par sa géométrie et par la nature du liquide ne permettent pas de déterminer de façon exacte l'expression des grandeurs physiques relatives à l'écoulement (champ de vitesse, champ de pression, position de la surface libre du jet). Une telle analyse requiert alors l'utilisation de la méthode des perturbations aux petites amplitudes, que nous avons choisi d'appliquer jusqu'à l'ordre deux, comme il a été fait pour le cas newtonien [2].

Ce poster vise alors à présenter cette analyse faiblement non-linéaire de stabilité en mettant l'accent sur les non-linéarités évoquées précédemment. D'une part, les hypothèses et équations propres à l'étude du jet de liquide seront formulées. D'autre part, le modèle Oldroyd-B et ses particularités seront présentées. Enfin, ces éléments permettront d'identifier les différentes sources de non-linéarités qui interviennent, la façon dont celles-ci se manifestent et interagissent, et leurs influences sur l'évolution du jet.

## Références

1. R. B. BIRD, R. C. ARMSTRONG, & O. HASSAGER, *Dynamics of Polymeric Liquids*, Wiley Inter-science (1987)
2. M.-C. RENOULT, G. BRENN, G. PLOHL & I. MUTABAZI, Weakly nonlinear instability of a Newtonian liquid jet, *J. Fluid Mech.*, **856**, 169–201 (2018).



# Diffusion-limited interface collisions

Bastien Marguet & Olivier Pierre-Louis

Institut Lumière Matière, UMR5306 Université Lyon 1-CNRS, Université de Lyon 69622 Villeurbanne, France  
bastien.marguet@univ-lyon1.fr

In many growth processes, two-dimensional domains are nucleated, grow, and finally merge. This scenario can be found in diverse non-equilibrium processes, such as the quenching of magnetic systems [1], epitaxial growth of molecular or atomic monolayers [2], or growth of bacterial colonies [3]. While nucleation and growth have been studied extensively, less is known about the merging process. In order to investigate this process, we study in details the collision of two straight interfaces moving in opposite directions. When the interfaces interact only with short-range interactions [4], the interface which is formed by the collision was recently found to be asymptotically independent on the collision details (type of interaction, fluctuations during the collision, etc.). As a consequence, despite the complex nonlinear character of the collision process, simple universality emerges.

We focus on the case where interactions are induced by diffusing species, such as during the growth of two-dimensional materials (such as graphene), or during the growth of bacterial colonies competing for food. We use on-lattice Kinetic Monte Carlo Simulations and find that a Langevin model can reproduce the main results. As opposed to the intuitive expectations, we find that the roughness of the newly formed interface can be smaller when growth is faster. These results could help to minimize the roughness of grain boundaries of grown 2D materials, which have a strong influence on the thermal and electronic transport properties of these materials.

## References

1. L. KRUSIN-ELBAUM, T. SHIBAUCHI, B. ARGYLE, L. GIGNAC & D. WELLER, Stable ultrahigh-density magneto-optical recordings using introduced linear defects, *Nature*, **410**, 444-446, (2001).
2. L. GAO, J. R. GUEST & N. P. GUISSINGER, Epitaxial Graphene on Cu(111), *Nano Lett.*, **10**, 3512–3516 (2010).
3. A. BE'ER, H. P. ZHANG, E. L. FLORIN, S. M. PAYNE, E. BEN-JACOB & H. L. E. SWINNEY, Deadly competition between sibling bacterial colonies, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **106**, 428–433 (2009).
4. F. D. A. AARÃO REIS AND O. PIERRE-LOUIS, Interface collisions, *Phys. Rev. E*, **97**, 040801 (2018).

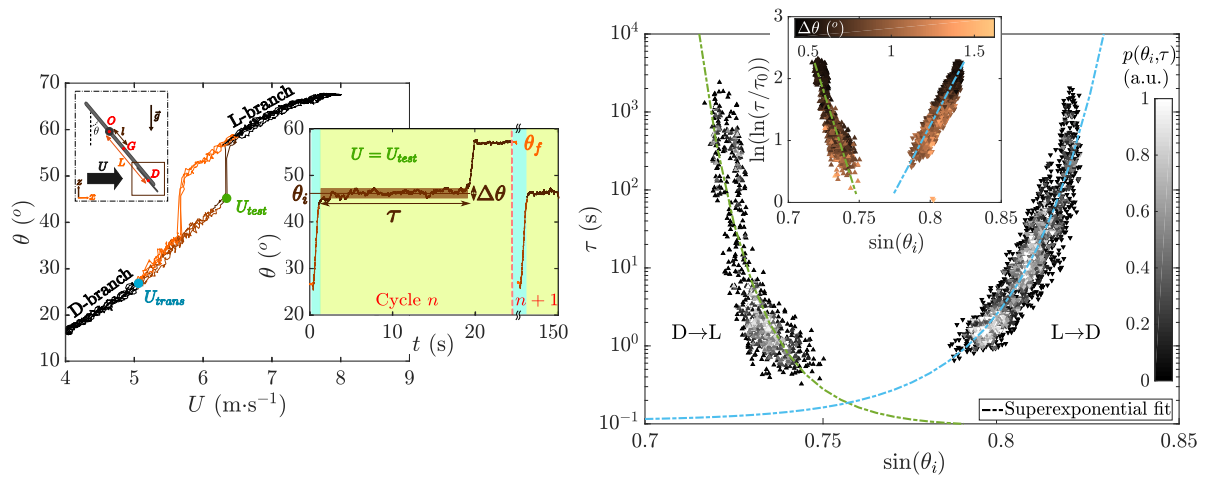
# Transitions spontanées « portance–traînée » d’un pendule en soufflerie

Ariane Gayout, Nicolas Plihon & Mickaël Bourgoïn

Laboratoire de Physique, ENS de Lyon, Univ Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS  
ariane.gayout@ens-lyon.fr

Modèle standard de la physique linéaire, le pendule, dans sa simplicité apparente, sait aussi présenter des aspects non linéaires complexes dans sa dynamique, dont le couplage avec un écoulement en est un bon exemple. Lorsque l’on place un pendule circulaire dans une soufflerie, le disque face au vent, sa position d’équilibre  $\theta$  est fixée par la compétition entre le poids et les deux forces aérodynamiques que sont la portance et la traînée, qui possèdent chacune une dépendance non linéaire en angle. En particulier, la résultante aérodynamique en fonction de  $\theta$  présente une prédominance de la traînée à faible angle tandis que la portance prévaut proche de l’horizontale. Ce changement, d’autant plus marqué par l’existence de l’angle de décrochage, est à l’origine d’une bifurcation sous-critique avec hystérésis au niveau de l’angle d’équilibre  $\theta$  en fonction de la vitesse d’écoulement  $U$  (Fig. 1, gauche), du fait de l’équilibre des couples du poids et aérodynamique (Eq. (1)) [1].

$$\Gamma_{\text{weight}} = mgl \sin(\theta) = \frac{1}{2} \rho S U^2 L C_N(\theta) = \Gamma_{\text{aero}} \quad (1)$$



**FIGURE 1.** À gauche : Cycle d’hystérésis observé pour le pendule. Au milieu : Exemple de signal temporel de transition spontanée. À droite : Distribution des temps de transition en fonction de l’angle.

À partir de cette bifurcation portance–traînée, des transitions spontanées à l’approche des limites de l’hysteresis ont été observées expérimentalement, qu’une réalisation systématique a permis d’étudier de manière statistique (Fig. 1, milieu). Par un balayage en vitesse (*i.e.* en angle) aux abords des valeurs critiques, les temps moyens de transitions ont été mesurés pour mettre en lumière une loi en superexponentielle (Fig. 1, droite), analogue à celle observée dans la transition vers la turbulence [2].

## Références

1. M. OBLIGADO, M. PUY & M. BOURGOÏN, Bi-stability of a pendular disk in laminar and turbulent flows, *J. Fluid Mech.*, **728**, R2 (2013).
2. N. GOLDENFELD, N. GUTTENBERG & G. GIOIA, Extreme fluctuations and the finite lifetime of the turbulent state, *Phys. Rev. E*, **81**, 035304(R) (2010).

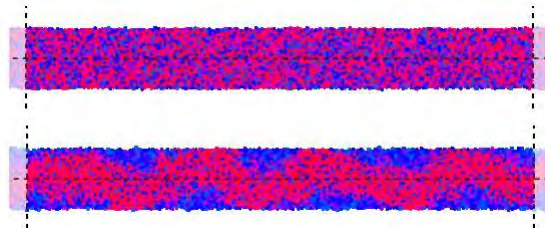
## Ségrégation granulaire : influence des conditions initiales et du champ gravitationnel, application aux astéroïdes

Jérémy Sautel & Nicolas Taberlet

Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon, 46 allée d'Italie, 69007 Lyon  
jeremy.sautel@ens-lyon.fr

Nous étudions la ségrégation granulaire (selon la taille des grains) dans les astéroïdes non monolithiques. Ceux-ci fournissent un environnement gravitationnel radicalement différent de celui que l'on rencontre à la surface de la Terre. Aussi, bien que le problème de l'effet « Noix du Brésil » ait déjà été au cœur de nombreuses études, la ségrégation dans un agrégat auto-gravitant reste peu explorée. Son étude est motivée par les observations récentes de la surface des astéroïdes granulaires (principalement dues aux missions Hayabusa et Hayabusa 2 de la JAXA), qui révèle la concentration des plus gros composants à la surface. On remarque cependant que cette concentration n'est pas uniforme, et que certaines parties de la surface sont recouvertes de composants beaucoup plus petits, allant jusqu'à de fines poussières. L'explication de ce phénomène est d'un intérêt majeur pour la compréhension de la géologie des astéroïdes, mais également dans l'optique de faire des prédictions quant à la composition des couches situées immédiatement sous la surface des astéroïdes granulaires. En effet, aucune mesure concernant ces couches plus profondes n'a pu être réalisée au cours des dernières missions.

À l'aide de simulations numériques, nous avons obtenu de nombreux résultats sur la ségrégation granulaire dans un agrégat à 2 dimensions périodiquement perturbé. Nous avons notamment pu quantifier l'influence des différents paramètres physiques (intensité de la perturbation, coefficient de frottement entre grains) sur la qualité et la rapidité de la ségrégation, et relier ces variables au déplacement moyens des « gros » et « petits » grains de l'agrégat. Dans un tel agrégat, le champ gravitationnel diffère de celui d'une expérience type « Noix du Brésil » par deux aspects : il n'est pas parallèle, puisque central, et son intensité n'est pas uniforme, puisque proportionnelle à la distance au centre de l'agrégat. Nous avons voulu distinguer les influences de ces deux effets, en réalisant de nouvelles simulations, dans lesquelles le champ est parallèle, mais d'intensité proportionnelle à la distance à une ligne de champ nul. Les grains évoluent donc au sein d'une bande horizontale à deux dimensions, fermée par des conditions aux limites périodiques (cf. Fig. 1). La ségrégation radiale d'un astéroïde est alors analogue à une ségrégation verticale dans la bande, tandis que la répartition inhomogène des grains en surface de l'astéroïde est analogue à une ségrégation horizontale.



**FIGURE 1.** Bande de 9000 grains à l'état initial (en haut) et après 9000 secousses (en bas). On voit la formation de lobes de gros grains.

Nos résultats font apparaître une ségrégation verticale, mais également une ségrégation horizontale, avec la formation de lobes de gros grains aux deux surfaces de la bande, selon une longueur d'onde ne dépendant pas de la largeur de la bande (voir la Fig. 1). Nous avons également étudié l'influence des conditions initiales, ce qui nous a confirmé la robustesse de ces résultats.

# Transition to turbulence in plane Couette-Poiseuille flow with external noise

Tao Liu<sup>1</sup>, Lukasz Klotz<sup>2</sup>, Benoît Semin<sup>1</sup>, Ramiro Godoy-Diana<sup>1</sup>, José Eduardo Wesfreid<sup>1</sup> & Tom Mullin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH), UMR 7636 CNRS, ESPCI, Paris, France

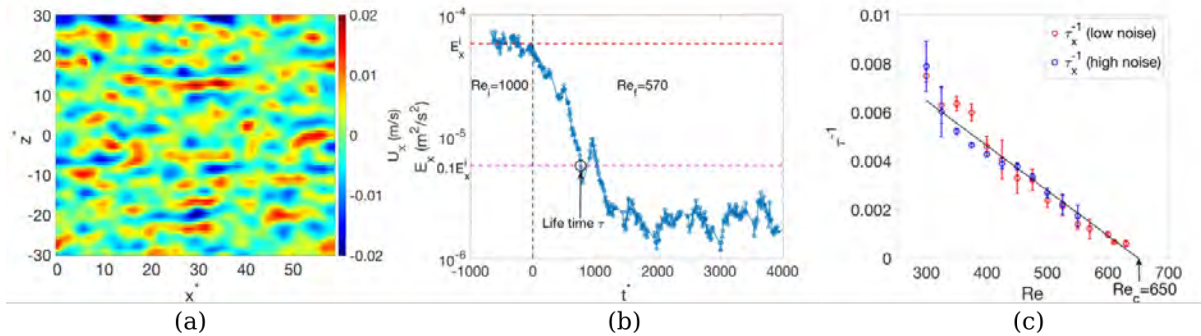
<sup>2</sup> Institute of Science and Technology Austria (IST Austria)

<sup>3</sup> Mathematical Institute, University of Oxford, Oxford, OX2 6GG, UK

tao.liu@espci.fr

The transition to turbulence in many confined shear flows, like plane Couette flow and circular Poiseuille flow, is characterized by the coexistence of laminar and turbulent regions. We have built such a water channel where one wall is fixed and the other is a moving belt: a plane Couette-Poiseuille flow with a zero mean flux [1]. The Reynolds number of this setup is defined as  $Re = U_{belt}h/\nu$ , where  $U_{belt}$  is the belt velocity,  $h$  is the half channel width with  $2h = 11$  mm and  $\nu$  is the kinematic viscosity of water. The aspect ratio is  $L_x/h = 390$  along streamwise direction and  $L_z/h = 90$  along spanwise direction.

We determine the critical Reynolds number  $Re_c$  by decreasing  $Re$  from a fully turbulent state ( $Re = 1000$ ) to a lower  $Re$  [2]. Fig. 1 (a) shows 2D streamwise velocity  $U_x$  snapshot after high-pass spatial filtering to remove large scale flows. The life time of turbulence  $\tau$  is defined as the first time where the streamwise energy  $E_x$  decreases to 10% of initial energy (see Fig. 1 (b)). In Fig. 1 (c), we can observe that the inverse of this life time  $\tau^{-1}$  decreases proportionally to  $Re_c - Re$  with  $Re_c = 650$ . This is similar to the observation for pipe flow [3] and plane Couette flow [4]. Turbulent spots are advected through the channel from the side tank, modifying the averaged amplitude in the permanent state after the transient decay. We have checked that  $Re_c$  is independent of this external noise by reducing it with grids installed at the entrance of the channel ('low noise' in Fig. 1 (c)). This shows that  $Re_c$  is an intrinsic property of the flow.



**Figure 1.** (a) Snapshot of 2D streamwise velocity field  $U_x$  measured by PIV with high-pass spatial filtering at  $Re = 1000$  measured in  $xy$  plane at  $y$  position where streamwise velocity is nearly zero in laminar state. (b) Temporal evolution of the streamwise energy  $E_x$  for  $Re_f = 570$ . (c) Inverse of life time  $\tau^{-1}$  as a function of Reynolds number for two different noise levels; error bars: standard deviation of 5 realizations.

## References

1. L. KLOTZ & J. E. WESFREID, *Phys. Rev. Fluids*, **2**, 043904 (2017).
2. R. MONCHAUX & D. DE SOUZA, *Comptes-rendus de la 22<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire*, 159 (2019).
3. J. PEIXINHO & T. MULLIN, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 094501 (2006).
4. S. BOTTIN & H. CHATÉ, *Eur. Phys. J. B*, **6**, 143–155 (1998).

# Statistical transition to turbulence in plane channel flow

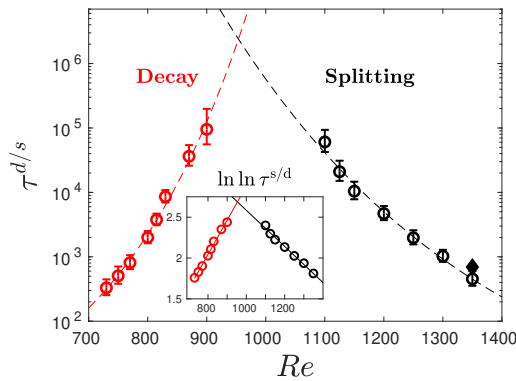
Sébastien Gomé<sup>1</sup>, Laurette S. Tuckerman<sup>1</sup> & Dwight Barkley<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH), CNRS, ESPCI Paris, PSL Research University, Sorbonne Université, Université Paris Diderot, Paris 75005, France

<sup>2</sup> Mathematics Institute, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom

sebastien.gome@espci.fr

Intermittent turbulent-laminar patterns characterize the transition to turbulence in pipe, plane Couette and plane channel flows. The time evolution of turbulent-laminar bands in plane channel flow is studied via direct numerical simulations using the parallel pseudospectral code ChannelFlow in a narrow computational domain tilted by  $24^\circ$  with respect to the streamwise direction. Depending on the Reynolds number, a turbulent band can either decay to laminar flow or split into two bands. As with past studies of other wall-bounded shear flows [1, 2], in most cases survival probability distributions are found to be exponential for both decay and splitting, indicating that the processes are memoryless. Statistically estimated mean lifetimes for decay and splitting are plotted as a function of the Reynolds number (Figure 1), leading to the estimation of a critical Reynolds number  $Re_{\text{cross}} \simeq 950$ , where decay and splitting lifetimes cross at greater than  $10^6$  advective time units.



**Figure 1.** Evolution of mean lifetimes (red) and splitting times (black) with Reynolds number  $Re$ . Insight:  $\ln \ln \tau^{s/d}$  versus  $Re$  and associated linear interpolations.

Laminarization of a turbulent band statistically proceeds by a sharp disappearance of small-scale structures (streaks and rolls) and by a slow decay of large-scale components, which become prominent after a specific time. The remaining large-scale flow is aligned with the disappearing band, and moves parallel to the band. In the case of a band splitting, the dynamics of large-scale spectral components seem to statistically follow the same pathway during the splitting of a turbulent band and may be considered as precursors of splitting.

## References

1. K. AVILA, D. MOXEY, A. DE LOZAR, M. AVILA, D. BARKLEY & B. HOF, The onset of turbulence in pipe flow, *Science*, **333**, 192–196 (2011).
2. L. SHI, M. AVILA & B. HOF, Scale invariance at the onset of turbulence in Couette flow, *Phys. Rev. Lett.*, **110** 204502 (2013).

# Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov–Maxwell

Aurélien Cordonnier<sup>1</sup>, Xavier Leoncini<sup>1</sup> & Guilhem Dif-Pradalier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ., Université de Toulon, CNRS, CPT, Marseille, France

<sup>2</sup> CEA, IRFM, F-13108 St. Paul-lez-Durance cedex, France

aurelien.cordonnier@cpt.univ-mrs.fr

Dans le cadre idéalisé du tokamak vu comme un tore à rapport d'aspect singulier (cylindre), nous considérons l'hamiltonien d'une particule test, afin d'étudier l'équilibre thermodynamique de plasmas. Compte tenu des symétries offertes par cette limite de champ magnétique cylindrique, le problème s'avère complètement intégrable. Par ailleurs, en considérant une approche sous contraintes, nous pouvons construire une fonction de distribution maximisant l'entropie et tenant compte des quantités conservées induites par la géométrie. Nous avons ainsi accès aux termes sources du plasma, ce qui, par différenciation du potentiel vecteur, en jauge de Coulomb, nous mène à une formulation auto-cohérente de la dynamique [1]. En effet, la forme des solutions des équations de Vlasov–Maxwell stationnaire est maintenant donnée par un système d'équations différentielles non-linéaires auto-cohérentes. D'une part, à partir de ce point de vue, nous pouvons construire des profils de densités raides [2] rappelant des profils confinants. D'autre part, nous pouvons obtenir des potentiels effectifs pouvant exhiber une séparatrice fournissant une source potentielle de chaos [2,3]. À partir des solutions ainsi obtenues, dans cette géométrie limite, nous pourrions alors envisager une future étude des trajectoires exactes de particules pour des rapports d'aspect fini.

## Références

1. E. LARIBI, S. OGAWA, G. DIF-PRADALIER, A. VASILIEV, X. GARBET & X. LEONCINI, Influence of Toroidal Flow on Stationary Density of Collisionless Plasmas, *Fluids*, **4**, 172 (2019).
2. B. CAMBON, X. LEONCINI, M. VITTOT, R. DUMONT & X. GARBET, Chaotic motion of charged particles in toroidal magnetic configurations, *Chaos*, **24**, 033101 (2014).
3. S. OGAWA, X. LEONCINI, A. VASILIEV & X. GARBET, Tailoring steep density profile with unstable points, *Phys. Lett. A*, **383**, 35–39 (2019).

# Axisymmetric internal wave super-harmonics

Samuel Boury<sup>1,2</sup>, Thomas Peacock<sup>2</sup> & Philippe Odier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Lyon, ENS de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA  
samuel.boury@ens-lyon.fr

Due to their relevance in mixing processes, numerous studies have been devoted to non-linear phenomena involving inertia-gravity waves. Of particular interest is the generation of waves at different frequencies from the primary wave field, as it is often associated with other wave numbers and therefore other scales to which energy can be transferred. Sub-harmonics generation, for example, has been the focus of various experimental and theoretical works through Triadic Resonant Interaction (TRI) [4]. The generation of super-harmonics, however, has been less extensively studied.

For plane waves considered in a cartesian geometry, non-linear self-interaction terms are null, preventing super-harmonics from existing in linearly stratified fluids. Super-harmonics are thus only expected to appear in non-linear stratifications and recent studies have delved further into this non-linear process [1]. In axisymmetric geometry, however, the description of the wave field in terms of Bessel functions yields non-zero self-interaction terms, even in a linear stratification, and theory therefore predicts spontaneous generation of super-harmonics.

Using an apparatus that has been proven capable of generating axisymmetric internal wave fields [2], we present an experimental observation of super-harmonics generation in linear stratified fluids. Excited at sufficiently low frequency, the wave field and its first harmonic are both propagating waves and we show that they remain axisymmetric and can be described by modes, or combination of modes. The selection of these modes is controlled by the doubly confined (lateral and vertical) geometry [3].

## References

1. L. E. BAKER, B. R. SUTHERLAND, The evolution of superharmonics excited by internal tides in non-uniform stratification, *J. Fluid Mech.*, in press (2020).
2. S. BOURY, T. PEACOCK & P. ODIER. Excitation and resonant enhancement of axisymmetric internal wave modes *Physical Review Fluids*, 4:034802, 2019.
3. S. BOURY, T. PEACOCK & P. ODIER. Experimental observation of axisymmetric internal wave harmonics *Phys. Rev. Fluids*, in preparation (2020).
4. S. JOUBAUD, J. MUNROE, P. ODIER & T. DAUXOIS, Experimental parametric subharmonic instability in stratified fluids, *Phys. Fluids*, **24**, 041703 (2012).

## Swift–Hohenberg equation with third order dispersion for optical fiber resonators

A. Hariz, L. Bahloul, L. Cherbi, K. Panajotov, M. Clerc, M. A. Ferré, B. Kostet, E. Averlant, M. Tlidi

Adresse non communiquée  
bikostet@ulb.ac.be

We investigate the dynamics of a ring cavity made of photonic crystal fiber and driven by a coherent beam working near to the resonant frequency of the cavity. By means of a multiple-scale reduction of the Lugiato-Lefever equation with high order dispersion, we show that the dynamics of this optical device, when operating close to the critical point associated with bistability, is captured by a real order parameter equation in the form of a generalized Swift–Hohenberg equation. A Swift–Hohenberg equation has been derived for several areas of nonlinear science such as chemistry, biology, ecology, optics, and laser physics. However, the peculiarity of the obtained generalized Swift–Hohenberg equation for photonic crystal fiber resonators is that it possesses a third-order dispersion. Based on a weakly nonlinear analysis in the vicinity of the modulational instability threshold, we characterize the motion of dissipative structures by estimating their propagation speed. Finally, we numerically investigate the formation of moving temporal localized structures often called cavity solitons.



# Simulation numérique d'instabilités de Rayleigh-Taylor amenant à la formation de gouttes dans un bain de corium

Raphaël Zanella<sup>1</sup>, Romain Le Tellier<sup>2</sup> & Hervé Henry<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire PMC, Ecole Polytechnique, CNRS, IP Paris, Palaiseau, France

<sup>2</sup> CEA, DEN, DTN/SMTA/LMAG, Cadarache, Saint Paul-lez-Durance, France

herve.henry@polytechnique.edu

Le corium est le résultat de la fusion accidentelle d'un cœur de réacteur nucléaire. On s'intéresse ici à la stratégie de rétention en cuve qui vise à maintenir le corium dans la cuve par renoyage du puit de cuve. Le corium est composé de différents éléments (Uranium, Zirconium, Oxygène, Fer, etc.) et se scinde en deux phases à l'équilibre thermodynamique, une phase riche en métal et une phase riche en oxydes [1]. La phase métal, formée à partir de structures métalliques fondues, est initialement au-dessus du mélange. L'expérience MASCA-RCW [2] suggère qu'elle se densifie à l'interface avec la phase oxyde en s'enrichissant d'Uranium et de Zirconium jusqu'à ce que des instabilités de Rayleigh-Taylor se forment et conduisent au détachement de gouttes de phase métal qui plongent dans la phase oxyde.

Cette phénoménologie est modélisée par un jeu d'équations couplées : l'équation de Cahn-Hilliard (déjà appliquée au cas du corium dans [3]) gouvernant la thermodynamique et la diffusion des espèces d'un côté et les équations de Navier-Stokes gouvernant la convection de l'autre. Les simulations numériques, réalisées avec un code de recherche pseudo-spectral, permettent de reproduire un régime où des gouttes de phase métal, générées par la diffusion, tombent à intervalles réguliers dans la phase oxyde. L'influence du paramètre d'épaisseur d'interface  $w_{int}$ , qui intervient dans ce modèle à interface diffuse, est étudiée. On observe une convergence du volume de phase métal transitant vers le fond de la cuve lorsque  $w_{int}$  s'approche de  $L/32$ , où  $L$  est la taille caractéristique du domaine. Ainsi, une valeur raisonnable de ce paramètre, au regard du raffinement de maillage nécessaire, est suffisante pour faire converger le modèle.

## Références

1. M. FISCHER, P. LEVI, G. LANGROCK, A. A. SULATSKY & E. V. KRUSHINOV, The impact of thermal chemical phenomena on the heat fluxes into the RPV during in-vessel melt retention, in *Proceedings of the International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP) 2011*, 1209–1218 (2011).
2. KURCHATOV INSTITUTE, Main Results of the First Phase of MASCA Project (2004).
3. C. CARDON, R. LE TELLIER & M. PLAPP, Modelling of liquid phase segregation in the Uranium–Oxygen binary system, *CALPHAD*, **52**, 47–56 (2016).

## Cisaillement d'un ensemble de films de savon

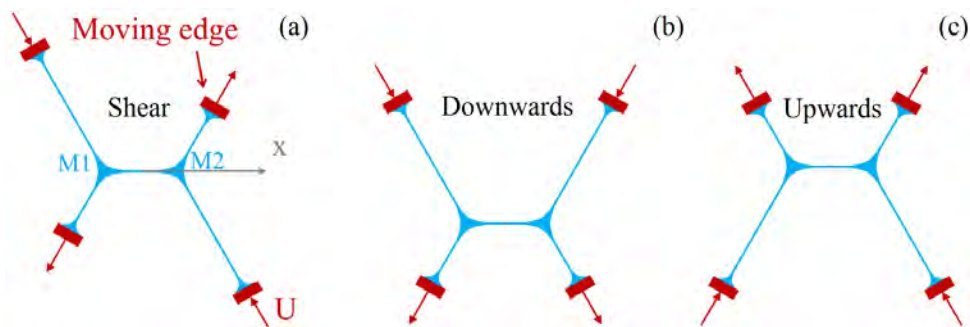
Raphaël Poryles, Adrien Bussonnière & Isabelle Cantat

Institut de Physique de Rennes, Université Rennes 1, 263 avenue du Général Leclerc, 35042 Rennes  
 raphael.poryles@univ-rennes1.fr

Le cisaillement du liquide interstitiel entre deux bulles est en partie responsable de l'importante viscosité effective des mousses et la compréhension des écoulements au niveau de ces films est nécessaire pour décrire la rhéologie complexe observée à l'échelle de l'ensemble de la mousse [1].

Pour cela, nous étudions la déformation d'un ensemble de cinq films de savon déposés sur un cadre déformable (Fig. 1 *bleu*). Les films sont formés d'une solution aqueuse de SDS et de dodécanol.

Les quatre films latéraux sont accrochés sur des moteurs indépendants (Fig. 1 *rouge*), permettant d'appliquer différentes déformations. Dans ce travail, nous nous concentrons sur trois types de déformations (Fig. 1 (a, b, c)), et nous observons l'influence de ces mouvements sur le film central. Par l'utilisation de caméra spectrales et d'une technique d'interférométrie, nous accédons à l'épaisseur des différents films. Cette mesure est couplée à une méthode de photo-blanchiment permettant d'obtenir le champs de vitesse dans le film central (de la fluorescéine est ajoutée à la solution). Finalement, la position des ménisques (M1 et M2) entre le film central et les films latéraux est mesurée par l'utilisation de deux caméras rapides (vues de coté et de dessus) [2].



**FIGURE 1.** Schéma de l'expérience. L'ensemble de cinq films de savon sont déformés en utilisant quatre moteurs indépendants. Nous étudions différentes déformations : (a) cisaillement ; (b) vers le bas ; (c) vers le haut.

Lorsque qu'une déformation est appliquée, nous mesurons un déplacement des ménisques, ce qui nous permet de remonter à la tension de surface de chacun des films. De plus, nous observons l'extraction depuis les bords de plateau d'un film de plus grande épaisseur (film de Frankel), et nous relierons cette dynamique aux vitesses et amplitudes de mouvement des films latéraux.

## Références

1. R. HOHLER & S. COHEN-ADDAD, Rheology of liquid foam, *J. Phys. Condens. Matter*, **17**, 1041–1069 (2005).
2. A. BUSSONNIÈRE *et al.*, Dynamical coupling between connected foam Films: Interface transfer across the menisci, *Phys. Rev. Lett.*, **124**, 018001 (2020).

# Self-organization of vegetation patterns in arid- semi-arid ecosystems

Maroua Messaoudi<sup>1,2</sup> M. Khaffou<sup>1</sup> A. Makhoute<sup>1,2</sup> & M. Tlidi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Dynamique des Systemes Complexes et Simulation Numérique, B.P. 11201, Zitoune, Meknès, Morocco

<sup>2</sup> Département de Physique, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles (U.L.B.), CP. 231, Campus Plaine, B-1050 Bruxelles, Belgium

maroua.messaoudi@ulb.ac.be

A spontaneous transition from a uniform cover of vegetation to a fragmented ecosystem constituted by a periodic spatial distribution of gaps, or patches is a common feature of arid and semi-arid landscapes [1, 2]. This process occurs either in water-limited resources and/or low nutrient territories. Large scale observations using remote-sensing have demonstrated that patterns morphologies (gaps, bands, spots) may display the change in wavelength under climate variations.

We present a generic non-local interaction-redistribution model [3] that focuses on plant-plant facilitative and the competitive interactions between individual plants that are responsible for the formation of periodic vegetation patterns. Besides, we study the effect of the Allometric factor that only relies on structural parameters [4] that can be measured with precision in the field. When the level of the aridity is increased, the uniformly vegetated cover undergoes isolated or randomly distributed vegetation gaps [2], this study shows that the vegetation patterns presented lies on the self-organization hypothesis that attributes their cause to interactions intrinsic to vegetation dynamics. Localized vegetation structures is a patterning phenomenon that occurs under the same condition as symmetry-breaking instability. However, for a moderate level of aridity, they tend to spread and to invade the whole space available in a given landscape. This bifurcation is referred to as curvature instability that deforms the circular shape of localized patches and provokes a self-replication phenomenon that can take place even in strictly isotropic environmental conditions [5, 6] This curvature instability may lead to the formation of another type of morphologies, such as arcs and spiral-like vegetation patterns [7].

## References

1. R. LEFEVER & O. LEJEUNE, *Bull. Math. Biol.*, **59**, 263 (1997).
2. M. TLIDI, R. LEFEVER & A. VLADIMIROV, *Lect. Notes Phys.*, **751**, 402 (2008).
3. R. LEFEVER & J. TURNER, *C. R. Mecanique*, **340**, 818 (2012).
4. J. CISTERNAS, D. ESCAFF, M. G. CLERC, R. LEFEVER & M. TLIDI, *Chaos Soliton Fract.*, **133**, 109617 (2020).
5. I. BORDEU, M. G. CLERC, P. COUTERON, R. LEFEVER & M. TLIDI, *Sci. Rep.*, **6**, 33703 (2016).
6. M. TLIDI, I. BORDEU, M. G. CLERC & D. ESCAFF, *Ecol. Indic.*, **94**, 534 (2018).
7. M. TLIDI, M. G. CLERC, D. ESCAFF, P. COUTERON, M. MESSAOUDI, M. KHAFFOU & A. MAKHOUTE, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, **376**, 20180026 (2018).

# Formation de motifs sur la surface inférieure d'une couche mince de liquide

Harunori N. Yoshikawa<sup>1</sup>, Christian Mathis<sup>2</sup>, Shinya Takagi<sup>3</sup>, Shu Satoh<sup>3</sup> & Yuji Tasaka<sup>3</sup>

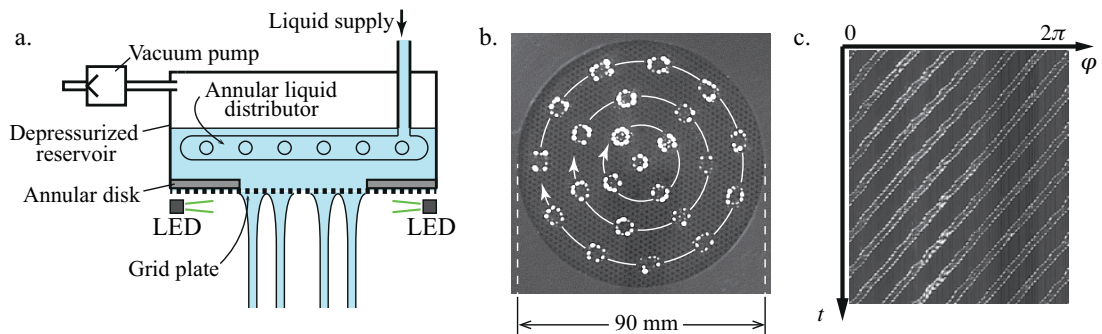
<sup>1</sup> Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice, 06100 Nice.

<sup>2</sup> Université Côte d'Azur, CNRS, UMR 7351, Laboratoire J.-A. Dieudonné, 06108 Nice

<sup>3</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University, N13W8, Sapporo 060-8628, Japan

Harunori.Yoshikawa@univ-cotedazur.fr

L'instabilité de Rayleigh-Taylor d'une couche mince de liquide, horizontale et circulaire, présente une riche capacité de formation de motifs, lorsque du liquide est fourni à la couche en continu et à un débit constant [1]. Sur la surface inférieure de la couche apparaît une instabilité et il se développe des ondes non linéaires, d'où du liquide est déchargé vers le bas. En fonction de la viscosité et de la tension superficielle, du débit d'alimentation de liquide et de l'extension latérale de la couche, la décharge peut se produire en différents modes avec une régularité surprenante. Par exemple, on observe les modes de réseaux hexagonaux de gouttes et de colonnes de liquide et le mode de nappes de liquide, spiralées et en rotation [2]. Nous rapportons nos expériences sur ce système riche en formation de motifs différents en mettant l'accent sur le régime de nappes spiralées et sur un autre régime dynamique où des colonnes de liquide se déplacent le long de chemins circulaires concentriques à vitesse constante (Fig. 1).



**FIGURE 1.** Illustration schématique du système étudié (a), colonnes de liquide tournantes en vue de dessus (b), et un diagramme spatio-temporelle montrant les positions azimutales des colonnes appartenant au deuxième cercle.

Le présent travail est partiellement soutenu par la Société japonaise pour la promotion de la science sous un projet JSPS KAKENHI 15KK0219.

## Références

1. C. PIRAT, C. MATHIS, P. MAÏSSA, & L. GIL, Structures of a continuously fed two-dimensional viscous film under a destabilizing gravitational force, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, 104501 (2004).
2. H. N. YOSHIKAWA, C. MATHIS, S. SATOH, & Y. TASAKA, Inwardly rotating spirals in a nonoscillatory medium, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 014502 (2019).

# Dynamique de sédimentation de particules

David De Souza<sup>1</sup>, Till Zürner<sup>1</sup>, Anne Dejoan<sup>2</sup> & Romain Monchaux<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut des Sciences de la Mécanique et Applications Industrielles (IMSIA),  
ENSTA-ParisTech/CNRS/CEA/EDF/Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France

<sup>2</sup> Unidad de Modelización y Simulación de Procesos, Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, Spain

david.de-souza@ensta-paris.fr

La dynamique de particules en écoulement turbulent présente des comportements riches. L'équation régissant le comportement d'une particule en écoulement turbulent étant complexe [1, 2], les modèles existants utilisent souvent des simplifications fortes, et de nouvelles expériences sont nécessaires. L'étude de ces systèmes est également compliquée par les relations existants entre les paramètres les régissant. Sont habituellement utilisés : le nombre de Reynolds (intensité de la turbulence), le nombre de Stokes (inertie des particules), le nombre de Rouse, le nombre de Froude (effets de la gravité), le rapport de masse volumique entre les particules et le fluide ainsi que la concentration globale en particules. Nous nous intéressons plus particulièrement aux phénomènes de modification de la vitesse de sédimentation et de concentration préférentielle. Dans ses travaux, Aliseda suggère que ceux-ci sont liés, les clusters de particules agissant comme des méta-particules responsables de l'altération de vitesse [3]. Des expériences [4] et simulations [5] plus récentes font des observations compatibles avec cette hypothèse.

Nous étudions ainsi expérimentalement la chute de particules solide dans de l'eau dans un réservoir surmonté d'une colonne pour injecter les particules. Nous avons deux principaux objectifs. Tout d'abord, nous voulons évaluer plus précisément l'influence relative de chacun des paramètres sur la modification de la vitesse de sédimentation. Pour cela nous avons préparé des populations de particules contrôlées en densité ( $\Gamma \in \{2,5; 4; 7,5; 15,6\}$ ) et en diamètre ( $d = 20\text{--}200 \mu\text{m}$ ). Nous voulons également observer les interactions locales entre le fluide et les particules pour tenter de mettre en évidence les méta-particules suggérées par Aliseda de manière expérimentale. À cette fin, nous avons mis en place un système de double mesure : suivi de particules pour avoir les positions et vitesse des particules sédimentant, et vélocimétrie par imagerie de particules pour les champs de vitesses du fluide.

Nous présentons ici des premières mesures effectuées sur des particules sédimentant dans un fluide initialement au repos. Outre l'étude de la sédimentation sans turbulence amont, ces mesures nous serviront par la suite de référence pour une campagne de mesure avec turbulence, afin de tenter de différencier les effets dus à la turbulence des effets collectifs. En parallèle, des simulations numériques directes avec une réaction des particules sur le fluide (dites 2-WAY) sont menées afin de comparer résultats expérimentaux et numériques.

## Références

1. R. GATIGNOL, The Faxén formulae for a rigid particle in an unsteady non uniform Stokes flow, *J. Mec. Theor. Appl.*, **1**, 143–150 (1983).
2. M. R. MAXEY & J. J. RILEY, Equation of motion for a small rigid sphere in a non uniform flow, *Phys. Fluids*, **26**, 883–889 (1983).
3. A. ALISEDA *et al.*, Effect of preferential concentration on the settling velocity of heavy particles in homogeneous isotropic turbulence, *J. Fluid Mech.*, **468**, 77–105 (2002).
4. P. D. HUCK *et al.*, The role of collective effects on settling velocity enhancement for inertial particles in turbulence, *J. Fluid Mech.*, **846**, 1059–1075 (2018).
5. R. MONCHAUX & A. DEJOAN, Settling velocity and preferential concentration of heavy particles under two-way coupling effects in homogeneous turbulence, *Phys. Rev. Fluids*, **2**, 104302 (2017).

# Numerical modeling of a phase change material in a rectangular cavity: role of natural convection to the energy balance

Marlene Crumeyrolle–Smieszek, Innocent Mutabazi & Olivier Crumeyrolle

Normandie Univ, UNIHAVRE, CNRS, LOMC, 76600 Le Havre, France  
olivier.crumeyrolle@univ-lehavre.fr

Convective flows with phase change material (PCM) is observed not only in nature e.g. melting of sea ice or basal melting [1] but also in built environment [2], technical applications [3] or thermal storage systems [4] when such equipment features a PCM layer. The case of a vertical cavity is both of interest for energy storage and geophysics [4, 5].

In the present work we take into account the temperature dependence of the physical properties of heptadecane, a widely used PCM in experimental investigations. In particular we have measured the heat of fusion by means of differentially scanning calorimetry. Finite thickness effects are taken into account by investigating numerically both the liquid domain and the solid domain.

We perform the study in COMSOL Multiphysics with the effective heat capacity method, where a modified heat capacity over the melting temperature range of the PCM is defined, blending heat capacity and latent heat of fusion. A 2d vertical geometry in agreement with the experimental setup is chosen. Nusselt numbers at boundaries and flow patterns are reported. Thermal imbalance is compared to solidification front displacement. A Kelvin–Helmholtz like instability is observed, with weak velocity according to the dispersion relation.

This work is part of the RIN-FIVATHE project, funded by the Region Normandie.

## References

1. B. FAVIER, J. PURSEED & L. DUCHEMIN, Rayleigh–Bénard convection with a melting boundary, *J. Fluid Mech.*, **858**, 437–473 (2019).
2. M. R. ANISUR, M. A. KIBRIA, M. H. MAHFUZ, R. SAIDUR & I. H. S. C. METSELAAR, Cooling of air using heptadecane phase change material in shell and tube arrangement: Analytical and experimental study, *Energ. Buildings*, **85**, 98–106 (2014).
3. J. JAGUEMONT, N. OMAR, P. VAN DEN BOSSCHE & J. MIERLO, Phase-change materials (PCM) for automotive applications: A review, *Appl. Therm. Eng.*, **132**, 308–320 (2018).
4. R. ZEINELABDEINA, S. OMER & G. GANA, Critical review of latent heat storage systems for free cooling in buildings, *Renew. Sust. Energy Rev.*, **82**, 2843–2868 (2018).
5. R. KERR & C. MCCONNOCHIE, Dissolution of a vertical solid surface by turbulent compositional convection, *J. Fluid Mech.*, **765**, 211–228 (2015).

# Convection thermoélectrique dans une couche horizontale de fluide diélectrique

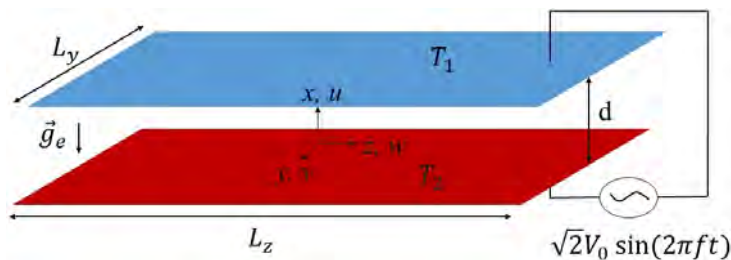
Elhadj B. Barry<sup>1</sup>, Changwoo Kang<sup>1</sup>, Harunori Yoshikawa<sup>2</sup> & Innocent Mutabazi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Normandie Université, UNIHAVRE, Laboratoire Onde et Milieux Complexes, UMR 6294 CNRS, 53 Rue de Prony – 76058 Le Havre cedex, France

<sup>2</sup> Institut de Physique de Nice, UMR 7010 – Université Côte d’Azur, 1361 Route des Lucioles, 06560 Valbonne, France

innocent.mutabazi@univ-lehavre.fr

L’application d’un champ électrique alternatif  $E$  à une couche horizontale de fluide diélectrique, de permittivité  $\epsilon$ , soumise à un gradient de température  $\Delta\theta$  induit une force volumique appelée force diélectrophorétique  $\mathbf{f}_{\text{DEP}} = -\frac{1}{2}\mathbf{E}^2\nabla\epsilon$ . Cette force comporte une partie non conservatrice ayant une gravité électrique effective proportionnelle à l’intensité du champ électrique. Elle est analogue à la poussée d’Archimède et peut déstabiliser un fluide initialement au repos suite à la mise en mouvement des particules fluides et donc induire un transfert de chaleur par convection. L’application du champ électrique à une couche de fluide diélectrique entre deux plaques horizontales permet d’étudier la convection thermoélectrique. Pour découpler les effets de la gravité électrique à ceux de la gravité terrestre, cette étude se focalise sur l’évolution du système dans des conditions de micro-gravité (absence de gravité terrestre Fig. 1).



**FIGURE 1.** Configuration géométrique : couche horizontale de fluide diélectrique soumise à un gradient de température et à un champ électrique alternatif dans des conditions de microgravité

L’intensité du champ électrique est donnée par le nombre de Rayleigh électrique  $L = \frac{\alpha\Delta\theta g_e d^3}{\nu\kappa}$ , où  $\alpha$  est le coefficient de dilatation thermique,  $\nu$  la viscosité cinématique du fluide,  $\kappa$  la diffusivité thermique et  $g_e$  la gravité électrique. L’analyse de stabilité linéaire nous a permis de déterminer le seuil d’instabilité thermoconvective  $L_c = 2128,696$  [1]. Les rouleaux convectifs correspondants sont stationnaires avec un nombre d’onde  $q_c = 3,227$  [2]. La simulation numérique directe montre qu’au delà du seuil critique différents modes d’instabilité apparaissent en fonction de la valeur de  $L$  : des modes stationnaires, des défauts ainsi que des régimes instationnaires. Le nombre de Nusselt, qui quantifie le transfert de chaleur, montre que la quantité de chaleur transférée par les rouleaux de convection thermoélectrique augmente en fonction de la valeur de  $L$ .

## Références

1. H. N. YOSHIKAWA, M. TADIE FOGAING, O. CRUMEYROLLE & I. MUTABAZI, Dielectrophoretic Rayleigh-Bénard convection under microgravity conditions, *Phys. Rev. E*, **87**, 043003 (2013).
2. P. J. STILES, Electro-thermal convection in dielectric liquids, *Chem. Phys. Lett.*, **179**, 311–315 (1991).

# Mesure complète et ultra-rapide de structures non-linéaires générées par l'instabilité modulationnelle en optique

Alexandre Lebel, Alexey Tikan, Stéphane Randoux, Pierre Suret & François Copie

Université de Lille, CNRS, UMR 8523 - Physique des Lasers Atomes et Molécules (PhLAM), Lille, France  
alexandre.lebel@univ-lille.fr

Le développement de techniques de mesures en temps réel pour des signaux optiques ultra-rapides a suscité une attention considérable ces dernières années, et a contribué à d'impressionnants progrès en recherche tant appliquée que fondamentale. Par exemple, le développement de systèmes appelés lentille temporelle (time-lens) a permis l'observation en intensité d'événements uniques, ultra-courts (ps) typiques de l'instabilité modulationnelle démarrant du bruit autour d'une onde monochromatique [1].

Dans nos travaux, une étape supplémentaire est franchie, grâce à l'enregistrement instantané du champ complexe résolu dans le temps à la sortie d'une fibre optique. Ceci est rendu possible grâce à notre dispositif de lentille temporelle amélioré donnant accès à la phase du champ électrique en plus de son intensité [2]. Il nous est alors possible de réaliser des acquisitions sur une large fenêtre temporelle de 200 ps avec une résolution de l'ordre de la picoseconde ce qui permet l'observation d'un grand nombre de structures non linéaire dont la taille typique est de l'ordre de la picoseconde. L'accès à la phase est rendu possible en créant un battement entre le signal à analyser et un signal de référence.

Nous étudions ici le cas d'une onde monochromatique déstabilisée par le bruit (un des scénarios les plus courant de l'instabilité modulationnelle), se propageant dans une fibre optique longue de plusieurs centaines de mètres. Dans ce système, l'apparition d'une grande variété de solutions exactes de l'équation de Schrödinger non linéaire (1D-NLSE) a été prédite théoriquement, notamment les solitons de Peregrine, les solitons de Kuznetsov–Ma ou les breathers d'Akhmediev [3]. Dans notre cas, nous avons mis à profit la grande fenêtre temporelle d'acquisition de notre système pour observer des structures similaires à ces derniers [4]. La mesure de l'amplitude et de la phase du champ permet en outre d'effectuer une analyse spectrale non linéaire basée sur la théorie de l'inverse scattering (IST). Nous avons pu reconstituer les distributions de probabilité des valeurs propres IST et les confronter aux résultats théoriques.

## Références

1. M. NÄRHI, B. WETZEL, C. BILLET, S. TOENGER, T. SYLVESTRE, J. M. MEROLLA, R. MORANDOTTI, F. DIAS, G. GENTY & J. M. DUDLEY, Real-time measurements of spontaneous breathers and rogue wave events in optical fibre modulation instability, *Nat. Comm.*, **7**, 13675 (2016).
2. A. TIKAN, S. BIELAWSKI, C. SZWAJ, S. RANDOUX & P. SURET, Single-shot measurement of phase and amplitude by using a heterodyne time-lens system and ultrafast digital time-holography, *Nat. Photon.*, **12**, 228–234 (2018).
3. S. TOENGER, T. GODIN, F. DIAS, M. ERKINTALO, G. GENTY & J. M. DUDLEY, Emergent rogue wave structures and statistics in spontaneous modulation instability, *Sci. Rep.*, **5**, 10380 (2015).
4. S. RANDOUX, P. SURET & G. EL, Inverse scattering transform analysis of rogue waves using local periodization procedure, *Sci. Rep.*, **6**, 29238 (2016).



# Effects of large scale advection and small scale turbulence on vertical phytoplankton dynamics

Vinicius Beltram Tergolina, Stefano Berti & Gilmar Mompean

Unité de Mécanique de Lille, Université de Lille, Cité Scientifique, Bat. Esprit - S3.59, Villeneuve-d'Ascq, 59650  
vinicius.beltram-tergolina@univ-lille.fr

When studying the life cycle of phytoplankton frequently one is interested in the survival or death conditions of a population (bloom/no bloom). These dynamics have been studied extensively in the literature through a range of modelling scenarios but in summary the main factors affecting the vertical dynamics are: Water column mixing intensity, solar energy distribution, nutrients availability and predatory activity. The later two can be represented by different biological models whereas the vertical mixing is usually parameterized by a diffusive process. Even though turbulence has been recognized as a paramount factor in the survival dynamics of sinking phytoplankton species, dealing with the multi scale nature of turbulence is a formidable challenge from the modelling point of view. In addition, convective motions are being recognized to play a role in the survival of phytoplankton throughout winter stocking [1]. With this in mind, in this work we revisit a theoretically appealing model [2] for phytoplankton vertical dynamics with turbulent diffusivity and numerically study how large-scale fluid motions affect its survival and extinction conditions. To achieve this and to work with realistic parameter values, we adopt a kinematic flow field to account for the different spatial and temporal scales of turbulent motions. The dynamics of the population density are described by a reaction-advection-diffusion model with a growth term proportional to sun light availability. Light depletion is modelled accounting for water turbidity and plankton self-shading; advection is represented by a sinking speed and a two-dimensional, multi scale, chaotic flow. Preliminary results show that under appropriate conditions for the flow, our model reproduces past results based on turbulent diffusivity. Furthermore, the presence of large scale vortices (such as those one might expect during winter convection) seems to hinder survival, an effect that is partially mitigated by turbulent diffusion.

## References

1. J. O. BACKHAUS *et al.*, Convection and primary production in winter, *Mar. Ecol. Prog. Series*, **251**, 1–14 (2003).
2. J. HUISMAN *et al.*, How do sinking phytoplankton species manage to persist?, *Am. Nat.*, **3**, 245–254 (2002).

## Let's deflate that beach ball

Gwennou Coupier<sup>1</sup>, Adel Djellouli<sup>2</sup> & Catherine Quilliet<sup>2</sup>

LIPhy, Grenoble

Catherine.Quilliet@univ-grenoble-alpes.fr

We investigate the relationship between pre-buckling and post-buckling states as a function of shell properties, within the deflation process of shells of an isotropic material. With an original and low-cost set-up that allows to measure simultaneously volume and pressure, elastic shells whose relative thicknesses span on a broad range are deflated until they buckle. We characterize the post-buckling state in the pressure-volume diagram, but also the relaxation toward this state. The main result is that before as well as after the buckling, the shells behave in a way compatible with predictions generated through thin shell assumption, and that this consistency persists for shells where the thickness reaches up to 0.3 the shell's midsurface radius.

# Fiber networks rectify and amplify active stresses

Pierre Ronceray<sup>1</sup>, Chase Broedersz<sup>2</sup> & Martin Lenz<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Princeton Center for Theoretical Science, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

<sup>2</sup> Arnold-Sommerfeld-Center for Theoretical Physics and Center for NanoScience, Ludwig-Maximilians-Universität München, D-80333 Munich, Germany

<sup>3</sup> Université Paris-Saclay, CNRS, LPTMS, 91405, Orsay, France

<sup>4</sup> PMMH, CNRS, ESPCI Paris, PSL University, Sorbonne Université, Université de Paris, F-75005, Paris, France

`martin.lenz@u-psud.fr`

Large-scale force generation is essential for biological functions such as cell motility, embryonic development, and muscle contraction. In these processes, forces generated at the molecular level by motor proteins are transmitted by disordered fiber networks, resulting in large-scale active stresses. Although these fiber networks are well characterized macroscopically, this stress generation by microscopic active units is not well understood. We theoretically study force transmission in these networks. We find that collective fiber buckling in the vicinity of a local active unit results in a rectification of stress towards strongly amplified isotropic contraction. This stress amplification is reinforced by the networks' disordered nature, but saturates for high densities of active units. Our predictions are consistent with experiments on reconstituted tissues and actomyosin networks and shed light on the role of the network microstructure in shaping active stresses in cells and tissue.

## References

1. P. RONCERAY & M. LENZ, Connecting local active forces to macroscopic stress in elastic media, *Soft Matter*, **11**, 1597–1605 (2015).
2. P. RONCERAY, C. BROEDERSZ & M. LENZ, Fiber networks amplify active stresses, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **113**, 2827–2832 (2016).
3. Y. L. HAN, P. RONCERAY, G. XU, A. MALANDRINO, R. D. KAMM, M. LENZ, C. P. BROEDERSZ & M. GUO, Cell contraction induces long-ranged stress stiffening in the extracellular matrix, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **115**, 4075–4080 (2018).
4. P. RONCERAY, C. BROEDERSZ & M. LENZ, Stress-dependent amplification of active forces in nonlinear elastic media, *Soft Matter*, **15**, 331–338 (2019).
5. P. RONCERAY, C. P. BROEDERSZ & M. LENZ, Fiber plucking by molecular motors yields large emergent contractility in stiff biopolymer networks, *Soft Matter*, **15**, 1481 (2019).

# La théorie de la double solution de Louis de Broglie définie par les fonctions d'onde externe et interne

Michel Gondran<sup>1</sup> & Alexandre Gondran<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences, Paris

<sup>2</sup> École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse

michel.gondran@polytechnique.org

Nous proposons une interprétation de la mécanique quantique conforme aux spécifications de la théorie de la double solution recherchée par Louis de Broglie [1]. On montre que la fonction d'onde d'un système quantique correspond à deux fonctions d'onde : une fonction d'onde externe liée à l'évolution de son centre de masse et une fonction d'onde interne décrivant l'évolution de sa structure interne dans le référentiel du centre de masse. La décomposition mathématique exacte n'est possible que dans certains cas car de nombreuses interactions relient ces deux parties. Ces deux fonctions d'onde vont avoir des sens et des interprétations différentes.

La fonction d'onde externe pilote le centre de masse du système quantique : elle correspond à l'*onde pilote* de l'interprétation de Broglie-Bohm. On démontre qu'elle découle mathématiquement de la convergence, lorsque l'on fait tendre la constante de Planck  $\hbar$  vers zéro, du carré du module et de la phase de la fonction d'onde externe vers une densité et une action classique vérifiant les équations statistiques d'Hamilton–Jacobi. Cette interprétation explique tous les résultats de mesure, comme les expériences d'interférences, de mesure du spin (Stern et Gerlach) et de non-localité (EPR-B) [1].

L'interprétation de la fonction d'onde interne que nous proposons correspond à celle proposée par Erwin Schrödinger au congrès Solvay de 1927. Pour lui, les particules sont étendues et le carré du module de la fonction d'onde (interne) d'un électron correspond à la densité de sa charge dans l'espace. Nous présentons les nombreux arguments en faveur de cette interprétation, qui comme celle de de Broglie-Bohm est réaliste et déterministe.

Nous montrons que cette double interprétation est une grille de lecture pour mieux comprendre les débats sur les interprétations de la mécanique quantique qui ne faisaient pas la différence entre les fonctions d'onde interne et externe. L'onde externe s'étale dans le temps et permet la continuité avec la mécanique classique en faisant tendre  $\hbar$  vers 0 tandis que l'onde interne ne s'étale pas dans le temps et permet la continuité avec la mécanique classique avec un  $\hbar$  non nul qui donne l'échelle de grandeur du système quantique. Cette nouvelle interprétation permet aussi de revoir sous une nouvelle grille de lecture les relations entre la relativité et la mécanique quantique.

## Références

1. L. DE BROGLIE, La mécanique ondulatoire et la structure atomique de la matière et du rayonnement, *J. Phys.*, **8**, 225–241 (1927).

# Génération et observation d'un gaz de solitons dans des expériences d'hydrodynamique

Stéphane Randoux<sup>1</sup>, P. Suret<sup>1</sup>, F. Copie<sup>1</sup>, A. Tikan<sup>1</sup>, G. El<sup>2</sup>, A. Gelash<sup>3</sup>, G. Prabhudesai<sup>4</sup>, G. Michel<sup>5</sup>, A. Cazaubiel<sup>6</sup>, E. Falcon<sup>6</sup>, G. Ducrozet<sup>7</sup> & F. Bonnefoy<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molecules, UMR-CNRS 8523, Université de Lille, France

<sup>2</sup> Department of Mathematics, Physics and Electrical Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, NE1 8ST, United Kingdom

<sup>3</sup> Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Université Paris-Diderot, Paris, France

<sup>5</sup> Sorbonne Université, CNRS, UMR 7190, Institut Jean Le Rond d'Alembert, F-75 005 Paris, France

<sup>6</sup> Université de Paris, Université Paris Diderot, MSC, UMR 7057 CNRS, F-75 013 Paris, France

<sup>7</sup> Ecole Centrale de Nantes, LHEEA, UMR 6598 CNRS, F-44 321 Nantes, France

stephane.randoux@univ-lille.fr

Nous présentons une expérience d'hydrodynamique réalisée dans un bassin de traction long de 140 mètres, large de 5 mètres et profond de 3 mètres. Nous considérons des régimes dans lesquels la propagation d'ondes de surface unidimensionnelles est décrite par l'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension (1D-NLS). Cette équation intégrable peut être résolue dans le formalisme de la méthode IST (Inverse Scattering Transform). En utilisant les méthodes numériques d'IST introduites dans la référence [1], nous avons d'abord généré numériquement des solutions de l'équation 1D-NLS dont le contenu purement solitonique est paramétré par  $N$  grandeurs complexes. Ces  $N$  grandeurs complexes représentent les valeurs propres du problème IST ; elles sont aussi des constantes du mouvement que nous avons disposé de manière aléatoire dans le plan complexe (gaz de solitons).

Les ondes non linéaires au contenu purement solitonique sont générées par le batteur et nous en observons la propagation grâce à 20 sondes réparties régulièrement le long du canal [2]. Outre l'observation de l'évolution spatio-temporelle, nous déterminons le spectre de Fourier et le spectre des valeurs propres IST pour différents valeurs de  $N$  ( $N = 16, 64, 128$ ) en différents points du canal. Les résultats obtenus constituent l'une des premières observations expérimentales d'un gaz de solitons [3] et participent au développement du champ de la turbulence intégrable [4].

## Références

1. A. GELASH & D. AGAFONTSEV, Strongly interacting soliton gas and formation of rogue waves, *Phys. Rev. E*, **98**, 042210 (2018).
2. F. BONNEFOY, A. TIKAN, F. COPIE, P. SURET, G. DUCROZET, G. PRADEHUSAI, G. MICHEL, A. CAZAUBIEL, E. FALCON, G. EL & S. RANDOUX, From Benjamin–Feir instability to focusing dam breaks in water waves, arXiv preprint [arXiv:1911.00053](https://arxiv.org/abs/1911.00053) (2019)
3. I. REDOR, E. BARTHÉLEMY, H. MICHALLET, M. ONORATO & N. MORDANT, Experimental Evidence of a Hydrodynamic Soliton Gas, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 214502 (2019).
4. V. E. ZAKHAROV, Turbulence in Integrable Systems, *Stud. Appl. Math.*, **122**, 219 (2009).

## From Molecules to Helical Ribbons – Shape and Shape Fluctuations

Doron Grossman

Adresse non communiquée

[doron.grossman@college-de-france.fr](mailto:doron.grossman@college-de-france.fr)

Self assembly of molecules into supramolecular structures is an important process through which non trivial structures are formed in nano-metric scale. The resulting structure depends on chemical and physical principles that govern the process, and may be sensitive to the exact conditions in which they are formed. Typically, such self assembled structures are residually stressed, due to mismatch of the constituent element. Identifying the principles and ways in which different structures are formed, affects significantly the ability to control, guide and manipulate self assembly. In this talk I will show how to relate chemical and physical properties of single (or few) molecules to the shape and mechanics of the resulting, residually stressed, elastic of structures. I will then continue to discuss the unique thermodynamics of the ribbons stemming from these residual stresses. Our predictions are quantitatively confirmed experimentally, suggesting a new framework for quantitative study of a large variety of self-assembled nanostructures.

# Modèle de force basé sur les dynamiques transitoires de sillage dans le « pinball fluide »

Nan Deng<sup>1,2</sup>, Luc R. Pastur<sup>1</sup>, Bernd R. Noack<sup>3,4</sup>, Guy Cornejo Maceda<sup>2</sup>, François Lusseyran<sup>2</sup>, Jean-Christophe Loiseau<sup>5</sup> & Marek Morzyński<sup>6</sup>

<sup>1</sup> IMSIA – UMR9219, ENSTA Paris, L’institut polytechnique de Paris, Palaiseau, France

<sup>2</sup> LIMSI – CNRS, Université Paris Saclay, Orsay, France

<sup>3</sup> Harbin Institute of Technology, China

<sup>4</sup> Technische Universität Berlin, Allemagne

<sup>5</sup> Laboratoire DynFluid, École Nationale Supérieure d’Arts et Métiers, Paris, France

<sup>6</sup> Poznań University of Technology, Poland

nan.deng@ensta-paris.fr

Dans ce travail, nous étudions numériquement la dynamique transitoire des forces induites par l’écoulement du « pinball fluide », et essayons d’obtenir un modèle de force basé sur les données. Nous présentons un modèle de moindre degré de liberté qui est dérivé des équations de Navier-Stokes pour un écoulement incompressible subissant deux bifurcations supercritiques successives, de Hopf et fourche, à nombre de Reynolds croissant, par simulations numériques directes (DNS) d’un écoulement de sillage bidimensionnel autour d’un groupe de trois cylindres disposés de façon équidistante sur les sommets d’un triangle équilatéral [1]. Les caractéristiques principales de la dynamique d’écoulement simulée par DNS sont reproduites par un système dynamique clairsemé de dimension cinq facilement interprétable. Pour mieux comprendre la dynamique transitoire, nous calculons les coefficients de portance  $C_L$  et de traînée  $C_D$  depuis l’état de base stationnaire symétrique instable jusqu’au champ moyen asymptotique, et étudions plus particulièrement les effets des degrés de liberté élémentaires du système dynamique sous-jacent sur les coefficients de traînée et de portance de l’écoulement fluide [2]. Basé sur l’équation de Poisson pour la pression [3], les degrés de liberté élémentaires ne contribuent qu’à l’un des coefficients de force  $C_L$  ou  $C_D$ , selon leur symétrie et l’asymétrie du champ d’écoulement. Un modèle de force basé sur la physique peut être dérivé de ces considérations de symétrie, puis les coefficients du modèle identifiées par une approche basée sur les données (caractéristiques des régimes transitoires et régression sous contrainte de modèle creux). Une méthode de régression clairsemée comme [4, 5] est utilisée, la dynamique de force du système original est bien reproduite par le modèle, depuis la dynamique transitoire jusqu’au régime asymptotique permanent. Cette approche basée sur les données nous aide dans une certaine mesure à comprendre les contributions aux force des principaux modes et leurs termes croisés.

## Références

1. N. DENG, B. R. NOACK, M. MORZYŃSKI & L. R. PASTUR, Low-order model for successive bifurcations of the fluidic pinball, *J. Fluid Mech.*, **884**, A37 (2020).
2. N. DENG, L. R. PASTUR, B. R. NOACK, G. Y. CORNEJO MACEDA, F. LUSSEYRAN, J. C. LOISEAU & M. MORZYŃSKI, Dynamiques transitoires du sillage en pinball fluide, *Comptes-rendus de la 22<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire*, 15 (2019).
3. B. R. NOACK, P. PAPAS & P. A. MONKEWITZ, The need for a pressure-term representation in empirical Galerkin models of incompressible shear flows, *J. Fluid Mech.*, **523**, 339–365 (2005).
4. J. C. LOISEAU, B. R. NOACK & S. L. BRUNTON, Sparse reduced-order modelling: sensor-based dynamics to full-state estimation, *J. Fluid Mech.*, **844**, 459–490 (2018).
5. S. L. BRUNTON, J. L. PROCTOR & J. N. KUTZ, Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **113**, 3932–3937 (2016).

# Génération de tsunami par effondrement granulaire : du laboratoire au terrain

Manon Robbe-Saule<sup>1</sup>, Cyprien Morize<sup>1</sup>, Yann Bertho<sup>1</sup>, Anthony Hildenbrand<sup>2</sup>, Alban Sauret<sup>3</sup> & Philippe Gondret<sup>1</sup>

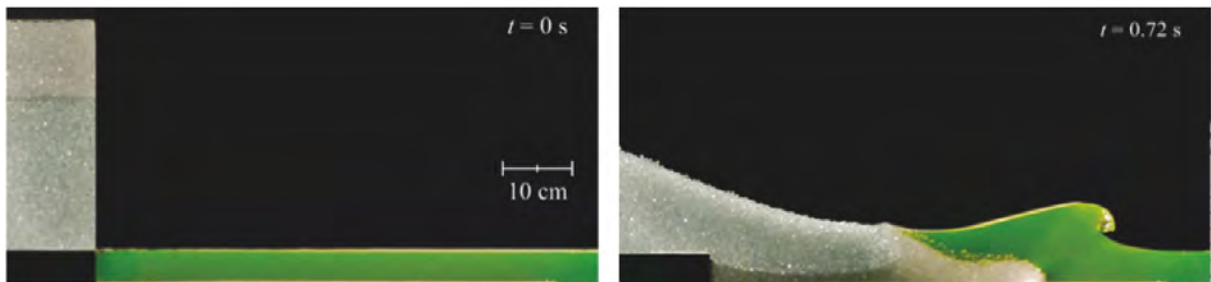
<sup>1</sup> Laboratoire FAST, Université Paris-Saclay, CNRS, 91405, Orsay, France

<sup>2</sup> GEOPS, CNRS, Université Paris-Saclay, 91405, Orsay, France

<sup>3</sup> Department of Mechanical Engineering, University of California, Santa Barbara, CA 93106, USA

philippe.gondret@universite-paris-saclay.fr

Nous étudions la génération de vague de type tsunami par effondrement de terrain. Dans un dispositif expérimental quasi-bidimensionnel de largeur  $W = 15$  cm, une colonne de grains secs, initialement retenus par une porte, s'effondre dans une couche d'eau de profondeur  $h_0$  lorsque la porte est subitement relevée, et génère une vague comme le montre la figure 1. Par traitement des images, nous enregistrons les dynamiques de l'effondrement des grains et de la formation de la vague [1], en mesurant notamment la vitesse d'avancée  $v_f$  du front de grains au niveau de la surface de l'eau ainsi que l'amplitude  $A$  et la largeur  $\lambda$  de la vague [2, 3]. Pour différentes valeurs du volume et du rapport d'aspect de colonne, du diamètre et de la densité des grains, ainsi que de la hauteur d'eau, l'amplitude relative maximale  $A_m/h_0$  de la vague générée augmente avec le nombre de Froude  $Fr = v_f/\sqrt{gh_0}$  de façon faiblement non-linéaire [3] :  $A_m/h_0 = 1,23 Fr^{0,8}$ . Nous avons également mis en évidence une corrélation faiblement non-linéaire similaire entre l'amplitude relative de la vague et le volume relatif correspondant au dépôt final de grains immergés  $V_{im}$  [4] :  $A_m/h_0 = 0,25 (V_{im}/Wh_0^2)^{0,8}$ . Cette corrélation empirique expérimentale est en bon accord avec des données de terrain issues d'évènements historiques, ce qui est prometteur pour une estimation rapide de l'amplitude de vague générée à partir d'un évènement potentiel tel que l'évènement récent consécutif à l'effondrement partiel de l'Anak Krakatau survenu le 22 décembre 2018.



**FIGURE 1.** Image d'une colonne granulaire, (à gauche) initialement au-dessus d'une couche d'eau de profondeur  $h_0 = 5$  cm, (à droite) générant une vague par son effondrement dans l'eau.

## Références

1. M. ROBBE-SAULE, C. MORIZE, Y. BERTHO, A. SAURET & P. GONDRET, Experimental study of wave generation by a granular collapse, *Eur. Phys. J. Web Conf.*, **140**, 14007 (2017).
2. M. ROBBE-SAULE, *Modélisation expérimentale de génération de tsunami par effondrement granulaire*, Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay (2019).
3. M. ROBBE-SAULE, C. MORIZE, R. HENAFF, Y. BERTHO, A. SAURET & P. GONDRET, Experimental investigation of tsunami waves generated by granular collapse into water, soumis à *J. Fluid Mech.* (2019).
4. M. ROBBE-SAULE, C. MORIZE, Y. BERTHO, A. SAURET, A. HILDENBRAND & P. GONDRET, Tsunamis generated by granular landslides: from small-scale laboratory experiments to large-scale natural events, soumis à *Geophys. Res. Lett.* (2020).



# Transfert de chaleur dans un écoulement chauffé par le rayonnement solaire

Gerardo Ruiz Chavarria

Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, Mexique

gruiz@unam.mx

L'épuisement des combustibles fossiles a conduit à une augmentation de l'utilisation des sources d'énergie renouvelables. Par exemple on peut utiliser de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau [1]. Dans cet exposé nous présentons une étude de l'amélioration de l'efficacité du chauffage de l'eau s'écoulant à travers un tube de section circulaire. La source d'énergie est le rayonnement solaire qui est redirigé vers le tube par un miroir fait en aluminium. Contrairement aux miroirs paraboliques qui concentrent l'énergie sur une ligne lorsque les rayons du soleil arrivent parallèles à l'axe de symétrie, dans notre cas, nous utilisons un miroir qui ne nécessite pas d'orientation précise. Tous les rayons se propageant dans une fenêtre angulaire ( $-\theta_0 < \theta < \theta_0$ ) arrivent au tube après une ou plusieurs réflexions sur le miroir. Le flux énergie n'est pas uniforme à la surface du tube, ce qui peut produire de la convection. Lorsque le liquide s'écoule à travers un cylindre de section circulaire, un écoulement de Poiseuille se produit. Toutes les particules de fluide décrivent des lignes droites comme trajectoires. Une procédure pour changer ce profil de vitesse est l'insertion d'une feuille hélicoïdale. Les particules de fluide décrivent alors des trajectoires qui les éloignent ou les rapprochent du centre du tube, ce qui permet de transférer plus efficacement de l'énergie vers le fluide. Pour étudier les champs de vitesse et de température à l'intérieur du tube, nous avons résolu numériquement les équations de Navier–Stokes, de continuité et de transfert de chaleur en coordonnées cylindriques en utilisant la méthode des différences finies. La diffusion et la convection ont été prises en compte. Dans les simulations nous avons considéré que les rayons arrivent au miroir se propageant sous différents angles  $\theta$ .

*Remerciements* : L'auteur remercie la DGAPA-UNAM pour le soutien dans le contrat PAPIIT IN114218 (Vorticidad y ondas (internas y de superficie) en dinámica de fluidos).

## Références

1. O. A. JARAMILLO, M. BORUNDA, K. M. VELAZQUEZ-LUCHO & M. ROBLES, Parabolic trough solar collector for low enthalpy processes: an analysis of the efficiency enhancement by using twisted tape inserts, *Renew. Energy*, **93**, 125–141 (2016).

# Vélocimétrie dans le régime de longueur de mélange de convection prédit par Spiegel : vitesse de chute libre et anomalie de dissipation

Vincent Bouillaut, Simon Lepot, Benjamin Miquel, Sébastien Aumaître & Basile Gallet

Service de Physique de l'Etat Condensé, CNRS UMR 3680, Université Paris-Saclay, CEA Saclay, France.  
vincent.bouillaut@cea.fr

Motivé par la convection stellaire, Spiegel a développé la théorie de longueur de mélange afin de déterminer le transport de chaleur par la convection thermique turbulente [1]. Il conclut que le nombre de Nusselt  $Nu$  (flux de chaleur adimensionné) augmente comme la racine carrée du nombre de Rayleigh  $Ra$  (gradient de température adimensionné). Les couches limites empêchant l'observation de ce régime dans la convection de Rayleigh–Bénard (RB) standard, nous avons récemment mis au point une expérience où la convection thermique turbulente est engendrée par une combinaison de chauffage radiatif et de refroidissement séculaire. Un tel chauffage/refroidissement interne court-circuite les couches limites, permettant ainsi au nombre de Nusselt d'augmenter comme la racine carrée du nombre de Rayleigh [2,3]. Nous souhaitons alors déterminer si l'écoulement obtenu satisfait les hypothèses émises par Spiegel : nous avons évalué la validité de la prévision de vitesse de chute libre énoncée par Spiegel, ainsi que l'anomalie de dissipation, *i.e.* le principe selon lequel les écoulements turbulents dissipent l'énergie cinétique à un taux indépendant de la viscosité moléculaire. À cette fin, nous avons mesuré le champ de vitesse sur la surface libre du fluide en la filmant à l'aide d'une caméra thermique, avant de suivre les fronts et extrema de température avec un algorithme de PIV. Nous avons ainsi étudié les lois d'échelle associées au nombre de Reynolds  $Re$  dans le régime où  $Nu \sim Ra^{1/2}$ , ainsi que dans la limite du régime de RB classique où le chauffage radiatif est confiné au voisinage proche de la plaque inférieure. Dans les deux cas les données valident l'anomalie de dissipation. Cependant, la prédiction de vitesse de chute libre est seulement vérifiée dans le régime ultime, alors que la circulation globale évolue comme  $Re \sim Ra^{4/9}$  dans la configuration de RB.

## Références

1. E. A. SPIEGEL, A generalization of the mixing-length theory of thermal convection, *Astrophys. J.*, **138**, 216–225 (1963).
2. S. LEPOT, S. AUMAÎTRE & B. GALLET, Radiative heating achieves the ultimate regime of thermal convection, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **115**, 36 (2018).
3. V. BOUILLAUT, S. LEPOT, S. AUMAÎTRE & B. GALLET, Transition to the ultimate regime in a radiatively driven convection experiment, *J. Fluid Mech.*, **861**, R5 (2019).

# Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors-équilibre.

M. Lamèche & Antoine Naert

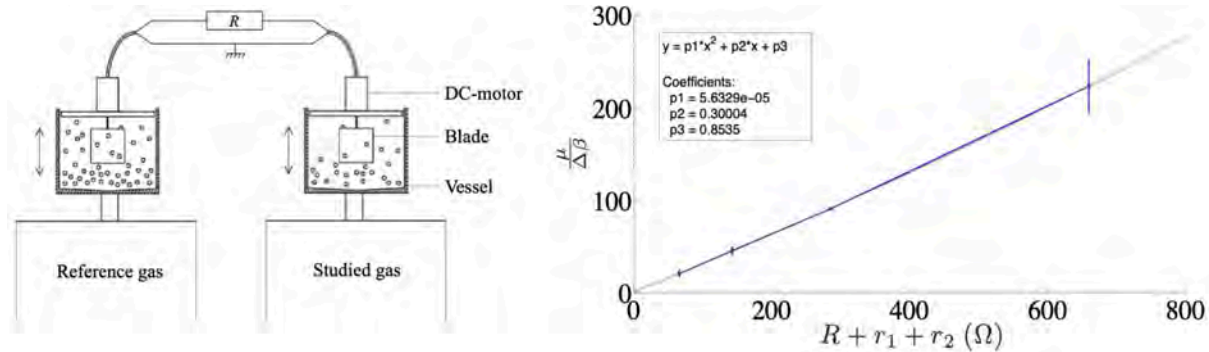
Univ. Lyon, ENS de Lyon, Univ. Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France  
antoine.naert@ens-lyon.fr

Nous présentons une étude expérimentale du transport de chaleur dans les systèmes hors-équilibre (dissipatifs). L'expérience consiste à coupler de manière électromécanique deux thermostats constitués par des gaz granulaires entretenus dans des état stationnaires hors-équilibre (*NES*S), dans lesquels des rotors de type brownien sont plongés. Ces derniers sont couplés de manière électro-mécanique via une résistance  $R$ , de telle sorte qu'un flux d'énergie  $\varphi(t)$  circule entre eux, mesurable électriquement. Le flux moyen est proportionnel à la différence des températures effectives, comme attendu par les loi de la conduction :  $\bar{\varphi} \propto kT_2 - kT_1$  [1].

En faisant varier  $R$ , nous montrons que, dans la limite où le couplage serait non-dissipatif, les fluctuations du flux de chaleur  $\varphi(t)$  obéissent au 'théorème de fluctuation étendu', une relation proposée par Jarzynski et Wójcik en 2004, entre des thermostats à l'équilibre, dans la limite thermodynamique [2] :

$$\frac{P(\varphi_\tau)}{P(-\varphi_\tau)} = \exp(\mu\tau\varphi_\tau),$$

où  $\tau\varphi_\tau(t) = \int_\tau \varphi(t-t') dt'$  est l'énergie échangée pendant le temps  $\tau$ . Dans la limite  $\tau$  grand, l'exposant  $\mu$ , seul paramètre mesuré, est compatible avec la différence des températures inverses  $\mu \rightsquigarrow \Delta\beta = \frac{1}{kT_2} - \frac{1}{kT_1}$ .



**FIGURE 1.** À gauche : système expérimental constitué de deux gaz granulaires dans lesquels sont plongées des petites pales fixées sur des moteurs. Ces derniers sont couplés électriquement par une résistance  $R$ . À droite : comparaison de la pente de la fonction d'asymétrie et de la différence des températures inverses  $\frac{\mu}{\Delta\beta}$  en fonction pour plusieurs valeurs de  $R$ . L'extrapolation à 0 donne une valeur compatible avec 1.

Ce résultat, obtenu grâce à des gaz granulaires, est certainement représentatif d'une large classe de systèmes hors-équilibre.

## Références

1. C.-E. LECOMTE & A. NAERT, Experimental study of energy transport between two granular gas thermostats, *J. Stat. Mech.*, **2014**, P11004 (2014).
2. C. JARZYNSKI & D. K. WÓJCIK, Classical and quantum fluctuation theorems for heat exchange, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, 230602 (2004).

# Ondes acoustiques ioniques dans une colonne de plasma magnétisée

Simon Vincent, Vincent Dolique & Nicolas Plihon

Laboratoire de Physique à l'ENS de Lyon, Lyon, France  
simon.vincent@ens-lyon.fr

Du vent solaire [1, 2] aux propulseurs plasma [3] ou aux sources helicon [4], les ondes acoustiques ioniques interviennent dans des situations très diverses en physique des plasmas ; leurs interactions ainsi que la turbulence d'ondes qu'elle peuvent produire influencent grandement ses caractéristiques. Nous présentons ici l'observation directe par imagerie ultra-rapide d'ondes acoustiques ioniques dans un plasma magnétisé, dont la dynamique est entièrement résolue en temps et en espace.

Notre installation expérimentale est constituée d'une chambre cylindrique contenant un plasma d'Argon à basse pression ( $\sim 1$  mTorr) de 10 cm de diamètre et de taux d'ionisation de 20 %, généré par une source à induction électromagnétique de 1 kW, et confinée par un champ magnétique de 0,01 T [5]. Une caméra ultra-rapide filme les fluctuations d'émission spontanée de lumière dans un plan transverse à la colonne de plasma, à une fréquence de 200 kHz, révélant la présence d'ondes acoustiques ioniques ayant une fréquence de l'ordre de la dizaine de kHz. L'analyse de ces images par transformée de Fourier 2D permet d'extraire les différents modes de types  $e^{i(m\theta - \omega t)}$  et leur interactions dans le temps. Nous montrons enfin la dépendance de ces interactions et les modes les plus instables en fonction de la pression dans le plasma.

## Références

1. D. A. GURNETT *et al.*, *Geophys. Res.*, **83**, NA1 (1981).
2. L. C. LEE *et al.*, *Phys. Fluids*, **24**, 430 (1981).
3. S. J. DOYLE *et al.*, *Front. Phys.*, **8**, 24 (2020)
4. C. S. CORR *et al.*, *Phys. Plasmas*, **11**, 10 (2004)
5. N. PLIHON *et al.*, *Plasma Phys.*, **81**, 345810102 (2015)

# Volatile active drops on liquid baths

Benjamin Reichert, Arnaud Saint-Jalmes, Jean-Benoît Le Cam & Giuseppe Pucci

Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes), UMR 6251, 35000 Rennes, France  
benjamin.reichert@univ-rennes1.fr

A consistent number of experimental studies have shown that active liquid droplets can self-propel in the bulk of viscous fluids [1,2,3]. Self-propulsion results from the spontaneous symmetry breaking of the temperature or surfactant concentration fields at the drop/bulk fluid interface, which induce interfacial tension gradients, i.e. Marangoni stresses [4,5]. However, self-propulsion of drops at fluid interfaces has been exclusively observed as a result of symmetry breaking of the surfactant concentration field [6–8].

Here we show that a volatile drop can self-propel on the surface of a non-volatile liquid bath as a result of symmetry breaking of the temperature field. Specifically, we investigate the motion of an alcohol drop floating on oil by experimentally characterising the temperature field, evaporative flux and flow field, and theoretically rationalising the drop self-propulsion. The heat loss due to drop evaporation is converted into motion through symmetry breaking of the temperature field. Unlike bulk active droplets, an up/down asymmetry is inherent to our system, as the drop is floating at a liquid/air interface. This asymmetry leads to competing effects of the Marangoni stresses emerging at the upper drop interface and those emerging at the lower drop interface. In response to Marangoni stresses the outer fluid exerts viscous stresses on the drop. Similarly to Marangoni surfers, i.e. camphor boats, at the upper interface viscous stresses drag the drop in the direction of the interfacial tension gradient [9, 10], while at the lower interface viscous stresses drag the drop in the opposite direction, akin to several works on active droplets in the fluid bulk [1,4,5]. Lower interface stresses dominate and the drop moves in the direction opposite to the interfacial tension gradients, i.e. in the direction of the temperature gradient. The drop speed is given by the balance of these viscous stresses and viscous drag.

## References

1. Y. S. RYAZANTSEV, M. G. VELARDE, R. G. RUBIO, F. ORTEGA & P. LOPEZ, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **247**, 52–80 (2017).
2. C. C. MASS, C. KRUGER, S. HERMINGHAUS & C. BAHR, *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, **7**, 171–193 (2016).
3. T. TOYOTA, N. MARU, M.M. HANCZYC, T. IKEGAMI & T. SUGAWARA, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 5012–5013 (2009).
4. A. REDNIKOV, Y. S. RYANZANTSEV & M. VELARDE, *J. Colloid Interface Sci.*, **164**, 168–180 (1994).
5. N. YOSHINADA, K. NAGAI, Y. SUMINO & H. KITAHATA, *Phys. Rev. E*, **86**, 016108 (2012).
6. Y. J. CHEN, Y. NAGAMINE & K. YOSHIKAWA, *Phys. Rev. E*, **80**, 016303 (2009).
7. S. YABUNAKA, T. OHTA & N. YOSHINAGA, *J. Chem. Phys.*, **136**, 074904 (2012).
8. Z. IZRI, M. VAN DER LINDEN, S. MICHELIN & O. DAUCHOT, *Phys. Rev. Lett.*, **113**, 248302 (2014).
9. E. LAUGA & A. M. J. DAVIS, *J. Fluid Mech.*, **705**, 120–133 (2012).
10. A. WÜRGER, *J. Fluid Mech.*, **752**, 589–601 (2014).

# Turbulence hydrodynamique 3D engendrée par des particules magnétiques

Annette Cazaubiel, Claude Laroche, Jean-Claude Bacri, Michael Berhanu & Eric Falcon

Université de Paris, Univ Paris Diderot, MSC, UMR 7057 CNRS, F-75 013 Paris, France  
 annette.cazaubiel@univ-paris-diderot.fr

La turbulence hydrodynamique intervient dans la plupart des écoulements géophysiques ou astrophysiques, ainsi que dans de nombreux procédés industriels. En laboratoire, les expériences en turbulence sont réalisées généralement par l'intermédiaire d'un forçage localisé spatialement à grande échelle (via des pâles en rotation ou des grilles oscillantes, par exemple) et de façon déterministe.

Récemment, nous avons développé une nouvelle technique de forçage de la turbulence où le fluide est forcé en volume, aléatoirement en espace et en temps, en utilisant des particules magnétiques de petites tailles, contrôlées à distance [1, 2]. Pour cela, un champ magnétique oscillant pilote aléatoirement le degré de liberté de rotation de chaque particule (petits aimants encapsulés) ; les collisions entre particules ou avec les parois du récipient leur conférant alors un mouvement erratique de translation. Un tel forçage en volume favorise l'homogénéité du champ de vitesse.

Nous présenterons ici les propriétés fondamentales de la turbulence homogène 3D obtenue avec ce nouveau mécanisme de forçage. Ces propriétés sont caractérisées à l'aide de mesures locales de vélocimétrie laser Doppler (LDV) ainsi que de mesures spatio-temporelles de vélocimétrie par image de particules (PIV). Le spectre spatial (resp. temporel) de vitesse de fluide suit notamment une loi en  $k^{-5/3}$  (resp.  $f^{-5/3}$ ) sur plus d'une décade, comme attendu théoriquement (cf. Fig. 1).

Ce mécanisme de forçage très prometteur permettra à court terme d'étudier les grandes échelles en turbulence hydrodynamique définies comme les échelles plus grandes que celle du forçage.

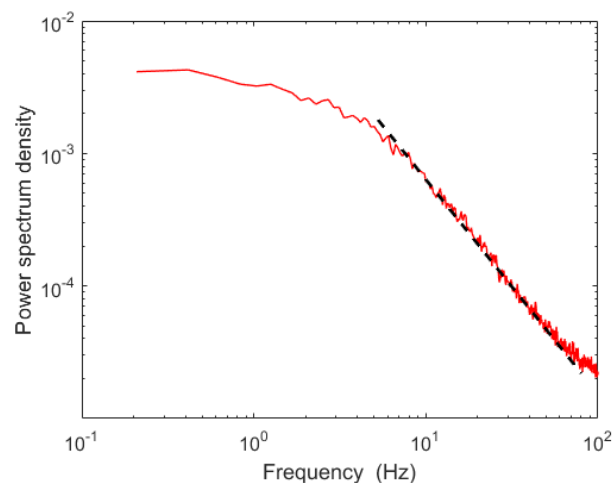


FIGURE 1. Spectre de puissance temporel de la vitesse verticale dans le fluide (rouge). Fit en  $f^{-5/3}$  (pointillés).

**Remerciements :** ANR DYSTURB (ANR-17-CE30-0004), et Simons Foundation/MPS N° 651463.

## Références

1. E. FALCON, J.-C. BACRI & C. LAROCHE, Dissipated power within a turbulent flow forced homogeneously by magnetic particles, *Phys. Rev. Fluids*, **2**, 102601(R) (2017).
2. E. FALCON, J.-C. BACRI & C. LAROCHE, Equation of state of a granular gas homogeneously driven by particle rotations, *Europhys. Lett.*, **103**, 64004 (2013).

# Structure et morphogenèse de réseaux réticulés dans l'argile

Paul Jeammet<sup>1</sup>, Paul Valcke<sup>1</sup>, Philippe Bonnin<sup>2</sup>, Julien Derr<sup>1</sup> & Stéphane Douady<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université de Paris, 75013 Paris

<sup>2</sup> Laboratoire Architecture, Ville, Urbanisme, Environnement, Université Paris Nanterre, 92001 Nanterre  
paul.jeammet@univ-paris-diderot.fr

Certains réseaux réticulés, comme les rues d'une ville ou les craquelures dans l'argile séchée relèvent d'un processus de découpages successifs de parcelles [1, 2]. La dynamique de ces réseaux, les différents paramètres importants pour la comprendre, ainsi que le lien entre cette dynamique de croissance et la structure finale du réseau ne sont que partiellement élucidés. En effet, si la dynamique propre d'une fracture est bien connue, et la construction hiérarchique de ces réseaux a été discutée [2], le passage vers la structure globale est moins bien documenté.

Afin d'approfondir la connaissance de ces systèmes, nous avons mis en place un dispositif expérimental de craquelures d'argile (Fig 1), où nous cherchons à élucider l'influence de différents paramètres (gradient d'humidité, température, support, etc.) sur la structure finale du réseau. L'utilisation d'outils et indicateurs mathématiques, physiques mais aussi de géographie quantitative venue de l'étude des villes [3] nous permet une compréhension approfondie de la formation et de la forme de ces réseaux spatiaux.



**FIGURE 1.** Réseau de craquelures d'argile en formation. *P.Jeammet, S.Douady, J.Derr, P.Bonnin*

Par ailleurs, des modèles simples de croissance sont simulés afin de pouvoir les comparer avec les résultats obtenus sur nos réseaux réels. Ces modèles nous permettent de comprendre les ingrédients minimaux pour générer des réseaux possédant les caractéristiques observées (en terme de distribution de longueur des rues, connectivité du graphe, dynamique de croissance, etc.). Cette analyse théorique se place donc en complémentarité des expériences et permet un regard plus complet sur ces structures.

## Références

1. R. POUSSE, *Modélisation et caractérisation du réseau viaire*, PhD Thesis (2020).
2. S. BOHN, L. PAUCHARD & Y. COUDER Hierarchical crack pattern as formed by successive domain divisions. I. Temporal and geometrical hierarchy, *Phys. Rev E*, **71**, 046214 (2005).
3. C. LAGESSE, *Lire les lignes de la Ville, Méthodologie de caractérisation des graphes spatiaux*, PhD Thesis (2015).

# Instabilities and pattern formation in a generalized Cahn–Hilliard model with 2+1 components

Mahdi Mcheik & Simon Villain-Guillot

Laboratoire Ondes et Matière d’Aquitaine, Université de Bordeaux, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France

`simon.villain-guillot@u-bordeaux.fr`

The Cahn–Hilliard equation describes the dynamics of phase separation in the conservative case (first order phase transition). This process is driven by the minimization of the free energy, especially of its interfacial part, during the Ostwald ripening, or coarsening. In 1D however, the lower energy state that should end the dynamics is very slow to reach. This is even more the case when the Cahn–Hilliard dynamics is modified to take into account long range interaction terms [1]: the lower energy state is then only reached for particular initial states. A dynamical criterion proposed by Misbah and Politi [2] to predict the end of the coarsening process (and the final wave length of the pattern) shows results that differ from the simple minimization of the free energy.

In order to understand this difference, we have investigated possible transition modes that may describe the dynamic of coarsening in those systems. We have also explored a model where the Cahn–Hilliard dynamics is coupled with a diffusion equation for the surfactant that favors interfaces. This scenario enables to speed up the dynamics and favors pattern formation or micro-structuration.

## References

1. P. POLITI & A. TORCINI, Dynamics versus energetics in phase separation, *J. Stat. Mech.*, **2015**, P03016 (2015).
2. P. POLITI & C. MISBAH, When does coarsening occur in the dynamics of one-dimensional fronts?, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, 090601 (2004).



# Génération périodique de bulles à partir d'un anneau de savon immergé dans un écoulement d'air

Jonathan Arredondo Macias & Anne Cros

Departement de Physique, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México  
anne.cros@academicos.udg.mx

Récemment, Salkin *et al.* ont généré des bulles grâce à un écoulement de différents gaz [1]. La vitesse critique, au-dessus de laquelle des bulles peuvent se former, correspond à celle qui crée une pression dynamique égale à la pression à l'intérieur de la bulle, dont l'expression est donnée par l'équation de Young-Laplace. Dans le travail expérimental présenté ici, un anneau, au travers duquel coule continuellement une pellicule de savon, est immergé dans un écoulement d'air dont la vitesse est plus grande que cette vitesse critique. Dans cette configuration, une poche de savon attachée à l'anneau se forme et grandit, jusqu'à une longueur maximale qui dépend de la vitesse de l'air et du rayon de l'anneau. La figure 1 montre une photographie de ce phénomène. Lorsque cette poche atteint sa taille maximale, une bulle se détache de son extrémité aval, ce qui détruit aussitôt la poche. Elle se reforme alors sous la pression dynamique de l'écoulement d'air et la répétition de ce processus permet ainsi la génération périodique de bulles. Nous présentons comment varie cette fréquence en fonction du diamètre de l'anneau et de la vitesse de l'air et exprimons les résultats à l'aide de nombres sans dimension.



FIGURE 1. Photographie de la poche de savon à l'aval de laquelle des bulles se détachent de manière périodique.

## Références

1. L. SALKIN, A. SCHMIT, P. PANIZZA & L. COURBIN, Generating soap bubbles by blowing on soap films, *Phys. Rev. Lett.*, **116**, 077801 (2016).

# Dynamic stabilization of a liquid layer against Rayleigh–Taylor instability and buoyant effects

Filip Novkoski<sup>1</sup>, Benjamin Apffel<sup>1</sup>, Antonin Eddi<sup>2</sup> & Emmanuel Fort<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Langevin, ESPCI, PSL, 75005 Paris

<sup>2</sup> PMMH, EPSCI, PSL, 75005 Paris

`filip.novkoski@ens.fr`

Vertical oscillations of a liquid have been shown to dynamically stabilize them against the Rayleigh–Taylor instability [1]. Using the fact that air bubbles are able to sink inside an oscillated viscous fluid, we are able to create an air layer below the liquid. We show that it is possible to stabilize in such a manner large quantities of a viscous liquid, up to half a liter, on top of this cushion of air. Furthermore, we show that this allows for the buoyant force to act on objects positioned on the bottom interface of this liquid layer, giving rise to a stable equilibrium position which obeys Archimedes’ principle.

## References

1. G. H. WOLF, The Dynamic stabilization of the Rayleigh–Taylor instability and the corresponding dynamic equilibrium, *Z. Physik*, **227**, 291–300 (1969).

# Critical transition in fast-rotating turbulence within highly elongated domains

Adrian van Kan & Alexandros Alexakis

24 rue Lhomond, Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure, ENS, Paris, France  
 adrian.van.kan@phys.ens.fr

Rotating fluid flows are commonly encountered in astrophysical and geophysical systems such as planetary and stellar interiors, planetary atmospheres and oceans [1], as well as in industrial processes involving rotating machinery. The fluid motions in these systems are typically turbulent, i.e. the Reynolds number  $Re$ , which is defined as the ratio between inertial and viscous forces, is large. At the same time the flow is affected by the Coriolis force due to system rotation. The magnitude of the Coriolis acceleration compared to the inertial acceleration is measured by the non-dimensional Rossby number  $Ro = U/(\Omega L)$ , where  $\Omega$  is the rotation rate and  $U$  and  $L$  are typical velocity and length scales of the flow.

As is well known, the properties of turbulent cascades strongly depend on the number of spatial dimensions. In homogeneous isotropic 3D turbulence, energy injected at large scales is transferred, by non-linear interactions, to small scales in a direct energy cascade. In the two-dimensional (2D) Navier–Stokes equations both energy and enstrophy are inviscid invariants and this fact constrains the energy transfer to be from small to large scales in an inverse energy cascade. For 3D turbulent flow forced at a length scale  $\ell$  in a domain of height  $H = h\ell$ , when  $Ro$  is lowered below a certain threshold value  $Ro_c(h)$  in a rotating turbulent flow, a transition is encountered where the flow becomes quasi-2D and an inverse cascade develops [2]. The dependence of  $Ro_c$  on  $h$  in the limit of elongated domains and rapid rotation is difficult to investigate using brute force numerical simulations.

Here [3], we use an asymptotic expansion due to [4], valid at simultaneously large rotation rate  $\Omega = O(1/\epsilon)$  and domain height  $H = O(1/\epsilon)$ ,  $\epsilon \ll 1$ , to study such rapidly-rotating turbulent flows in a highly elongated domain. We solve the resulting equations using an extensive set of direct numerical simulations for different parameter regimes. As the parameter  $\lambda = (h Ro)^{-1}$  is increased beyond a threshold  $\lambda_c$ , a transition is observed from a state without an inverse energy cascade to a state with an inverse energy cascade. This is in agreement with previous theoretical arguments [5]. For large Reynolds number and large horizontal box size, we provide evidence for criticality of the transition in terms of the large-scale energy dissipation rate and estimate a critical exponent close to unity.

## References

1. J. PEDLOSKY, *Geophysical fluid dynamics*, Springer Science & Business Media (2013).
2. P. BARTELLO, O. MÉTAIS & M. LESIEUR, Coherent structures in rotating three-dimensional turbulence, *J. Fluid Mech.*, **273**, 1–29 (1994).
3. A. VAN KAN & A. ALEXAKIS, Critical transition in fast-rotating turbulence within highly elongated domains, arXiv preprint [arXiv:1912.05394](https://arxiv.org/abs/1912.05394) (2019).
4. J. KEITH, E. KNOBLOCH & J. WERNE, A new class of equations for rotationally constrained flows, *Theor. Comput. Fluid Dyn.*, **11**, 251–261 (1998).
5. A. ALEXAKIS & L. BIFERALE, Cascades and transitions in turbulent flows, *Phys. Rep.*, **767**, 1–101 (2018).

# Boundary-layer streaming in viscoelastic fluids

S. Amir Bahrani<sup>1,3</sup>, Maxime Costalonga<sup>4</sup>, Nicolas Périnet<sup>5</sup>, Laurent Royon<sup>2</sup> & Philippe Brunet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS, Université Paris Diderot, Paris, France.

<sup>2</sup> Laboratoire Interdisciplinaire des Energies de Demain, UMR 8236 CNRS, Université Paris Diderot, Paris.

<sup>3</sup> Institut Mines Télécom Lille-Douai, univ. Lille, F-59500 Lille, France.

<sup>4</sup> Department of Mechanics, Massachusetts Institute of Technology (MIT), 77 Massachusetts Avenue Cambridge MA 02139-4307, USA.

<sup>5</sup> Departamento de Física, Universidad de Chile, Casilla 487-3, Santiago, Chile.

`amir.bahrani@imt-lille-douai.fr`

Oscillations of immersed bodies are known to generate a steady streaming flow, originating from Reynolds stresses within the viscous non-stationary boundary layer in the vicinity of the object. This phenomenon is very similar to acoustic streaming generated by sound or ultrasound waves within a fluid. Streaming flows have applications in fluid homogenization and mixing especially in microfluidics, in heat transfer enhancement, in particle sorting or in fluid pumping. A typical situation is that of a cylinder oscillating perpendicularly to its axis, generating two pairs of counterrotating vortices due to the transfer of vorticity from the inner boundary layer. Outer vortices can be observed far from the object as a result of convection of vorticity [1]. Here, we consider the situation of a viscoelastic fluid: by using PIV, we carry out an experimental study of the streaming flow's structure and magnitude in function of the amplitude and frequency of the cylinder's oscillation.

A systematic comparison with a purely Newtonian fluid has been carried out and results showed several qualitative differences. First, when elasticity is significant enough, we observe that the inner boundary layer vortices are much larger than for a Newtonian fluid of the same viscosity. This is generally associated to the disappearance of outer vortices. We propose that elongational viscosity is a potential mechanism for this enlargement of vortices.

Second, for high enough forcing, the streaming flow moves away from the usual the four-vortex pattern. The pairs of vortices can become uneven, i.e. they are not mirror image of each other with respect to the axis of vibration and to the axis perpendicular to the vibration. Finally, a more complex structure can appear where each initial vortex splits into two smaller ones, showing a steady eight-vortex structure. To the best of our knowledge, these phenomena were unobserved so far.

## References

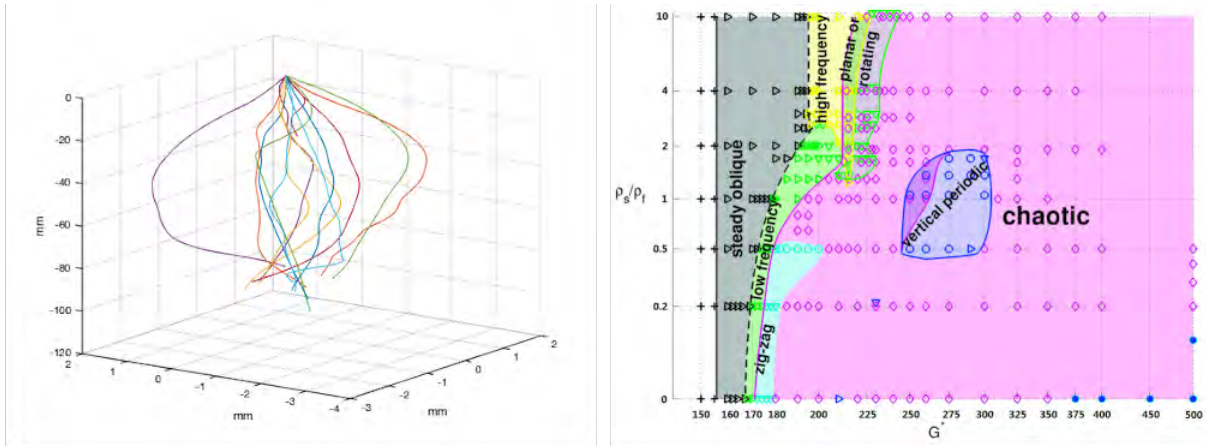
1. S. A. BAHRANI, N. PÉRINET, M. COSTALONGA, L. ROYON & P. BRUNET, *Exp. Fluids*, DOI:10.1007/s00348-020-2926-8 (2020).

# Dynamics of spheres falling in quiescent flows

Facundo Cabrera, Nicolas Plihon & Mickaël Bourgoïn

Univ Lyon, Ens de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France.  
facundo.cabrera@ens-lyon.fr

Despite the apparent simplicity of a single sphere falling in a quiescent flow, far enough from Stokes conditions a rich dynamics has been found. Simulations have shown the existence of several particle trajectory regimes in a quiescent flow, whose onsets are determined by particle-fluid density ratio ( $\rho_s/\rho_f$ ) and Galileo number  $Ga = \sqrt{|\frac{\rho_s}{\rho_f} - 1|gd^3/\nu}$ , where  $\rho_s$  is the particle density,  $d$  the particle diameter,  $\rho_f$  the fluid density,  $\nu$  the fluid kinematic viscosity and  $g$  the gravity acceleration [1]. Figure 1 (right) shows the regions in the parameters space (density ratio–Galileo number) that have been explored by numerics. Previous works have experimentally explored particles with values of density ratio below 1.2 [2,3]. Anyhow, an experimental validation is needed for heavy particles.



**Figure 1.** (Left) Measured trajectories for a chaotic regime. (Right) Space parameter explored numerically in the past [1].

Here, the dynamics of heavy spheres with particle-fluid density ratios between 1.1 and 10 and Galileo numbers between 150 and 400 has been studied experimentally. We have performed an exploration of the different regions modifying  $Ga$  by changing the viscosity and using particles with the following density ratios:  $\rho_s/\rho_f \approx 1.1$  (polyamide),  $\rho_s/\rho_f \approx 1.4$  (polyacetal),  $\rho_s/\rho_f \approx 2.2$  (glass) and  $\rho_s/\rho_f \approx 9$  (stainless steel).

Figure 1 (left) shows several 3D trajectories of a sphere with  $\rho_s/\rho_f = 2.2$  and  $Ga = 254$ . The measured trajectories have a chaotic behavior as predicted by numerics. The existence of the different regimes and its onsets were compared with previous numerical results.

## References

1. W. ZHOU & J. DUŠEK, *Int. J. Multiphas. Flow*, **75**, 205–223 (2015).
2. C. H. J. VELDHUIS & A. BIESHEUVEL, *Int. J. Multiphas. Flow*, **13**, 1074–1087 (2007).
3. M. HOROWITZ & C. WILLIAMSON, *J. Fluid Mech.*, **651**, 251–294 (2010).

# Stabilité d'un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux anneaux cylindriques en rotation différentielle

Antoine Meyer<sup>1</sup>, Romain Canu<sup>2</sup>, Marie-Charlotte Renoult<sup>2</sup> & Innocent Mutabazi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Normandie Université, UNIHAVRE, CNRS UMR 6294, LOMC, Le Havre, 76058, France

<sup>2</sup> Normandie Université, INSA ROUEN, CNRS UMR 6614, CORIA, Rouen, 76000, France

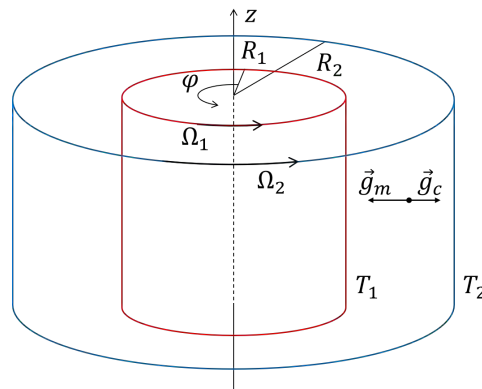
antoine.meyer@univ-lehavre.fr

On considère un système de Couette où le cylindre intérieur de rayon  $R_1$  est maintenu à la température  $T_1$  et où le cylindre extérieur de rayon  $R_2$  est maintenu à la température  $T_2$  (Fig. 1). Un empilement d'aimants situé à l'intérieur du cylindre intérieur génère un champ magnétique considéré comme invariant suivant la position axiale. Un ferrofluide remplissant l'interstice formé entre les deux cylindres subit une force de volume due à l'aimantation  $\mathbf{M}$  du fluide. L'aimantation étant une fonction de la température, la force peut être vue comme une poussée thermique résultant de l'action d'une gravité magnétique  $\mathbf{g}_m$  sur la stratification de masse volumique [1]. De plus, l'accélération centrifuge  $\mathbf{g}_c$  produit par la rotation des cylindres agira également sur le gradient de masse volumique [2], de sorte que la poussée thermique totale s'écrit :

$$\mathbf{F}_{\text{Buo}} = -\alpha\rho_{\text{ref}}(T - T_{\text{ref}})(\mathbf{g}_m + \mathbf{g}_c), \quad (1)$$

où  $\alpha$  est le coefficient d'expansion thermique,  $\rho$  est la masse volumique et  $T$  est la température. L'indice ref correspond à une référence pour la température et pour sa masse volumique associée.

La force de poussée totale participe au transfert de l'énergie depuis l'état de base vers les perturbations, et ainsi, joue un rôle dans la condition de stabilité du système de Couette. L'instabilité de Couette-Taylor est stabilisée ou déstabilisée selon la direction du gradient de température appliqué et en fonction des paramètres de contrôle (propriétés du fluide, géométrie et forçage extérieur). Pour obtenir le seuil au-delà duquel l'instabilité croît, on applique une méthode d'analyse de stabilité linéaire qui nous permettra également de déduire les propriétés spatiales et temporelles de cette instabilité. Une analyse énergétique complète cette étude afin d'identifier les mécanismes principaux responsables de l'apparition de l'instabilité.



**FIGURE 1.** Schéma d'un ferrofluide confiné entre deux cylindres coaxiaux tournants et maintenus à différentes températures avec un champ magnétique appliqué.

## Références

1. R. TAGG, P. D. WEIDMAN, Linear stability of radially-heated circular Couette flow with simulated radial gravity, *Z. angew. Math. Phys.*, **58**, 431–456 (2007).
2. H. N. YOSHIKAWA, M. NAGATA & I. MUTABAZI, Instability of the vertical annular flow with a radial heating and rotating inner cylinder, *Phys. Fluids*, **25**, 114104 (2013).

---

# Annexes

---

Index des auteurs

Programme du mini-colloque

Programme de la 23<sup>e</sup> rencontre





## Index des auteurs

- Abramian Anaïs, 19  
Ageorges Valentin, 71  
Alexakis Alexandros, 109  
Apffel Benjamin, 108  
Arredondo Macias Jonathan, 107  
Audoly Basile, 16, 17  
Aulnette Marine, 36  
Aumaitre Sébastien, 41, 100
- Bacri Jean-Claude, 104  
Baek Changyeob, 12  
Bahloul Lies, 55  
Bahrani S. Amir, 110  
Barkley Dwight, 79  
Barois Thomas, 18  
Barry Elhadj Boubacar, 89  
Bastien Renaud, 28  
Béjot Pierre, 42  
Ben Amar Martine, 9  
Benlechheb Meriem, 55  
Benzaquen Michael, 51, 64, 67  
Berhanu Michaël, 104  
Bertails-Descoubes Florence, 10  
Bertho Yann, 98  
Berti Stefano, 91  
Bhattacharya Kaushik, 16  
Bielinski Clément, 62  
Bilbault Jean-Marie, 65  
Bonney Félicien, 95  
Bonnin Philippe, 105  
Bouchaud Jean-Philippe, 51, 64, 67  
Bouchet Freddy, 48  
Bouillaut Vincent, 100  
Bourgeois Stéphane, 22  
Bourgoin Mickaël, 76, 111  
Boury Samuel, 81  
Brau Fabian, 11  
Brenn Günter, 74  
Broedersz Chase, 93  
Brunet Maxime, 27  
Brunet Philippe, 56, 110  
Bui Olivier, 69  
Bussonnière Adrien, 84
- Cabrera Facundo, 111  
Campillo Michel, 73  
Canel Vincent, 73  
Cantat Isabelle, 43, 84  
Canu Romain, 72, 112  
Cardin Philippe, 54  
Cazaubiel Annette, 95, 104
- Cébron David, 54  
Chaabo T., 61  
Chabert Pascal, 30  
Chaikin Paul, 34  
Cheminet Adam, 61  
Chen Tian, 17  
Cherbi Lynda, 55  
Chibbaro Sergio, 45  
Chomaz Jean-Marc, 60  
Clanet Christophe, 31  
Cohen Caroline, 31  
Copie François, 90, 95  
Cordonnier Aurélien, 80  
Cornejo-Maceda Guy, 97  
Cortet Pierre-Philippe, 27  
Costalonga Maxime, 110  
Cottier Louise, 74  
Coupier Gwennou, 92  
Couston Louis-Alexandre, 29  
Cros Anne, 107  
Crumevolle Olivier, 53, 88  
Crumevolle-Smieszek Marlene, 88
- Dambrine Julien, 47  
Danas Kostas, 24  
de Langre Emmanuel, 35  
De Souza David, 87  
Deboeuf Stéphanie, 20  
Debue Paul, 61  
Dejoan Anne, 87  
Delmotte Blaise, 34  
Deng Nan, 97  
Derr Julien, 105  
Dervaux Julien, 50, 56  
Désangles Victor, 30  
Desmorat Rodrigue, 15  
Dessertaine Théo, 67  
Devauchelle Olivier, 38  
Dif-Pradalier Guilhem, 80  
Djellouli Adel, 92  
Dolique Vincent, 102  
Donev Alexandar, 34  
Dos Santos Serge, 65  
Douady Stéphane, 33, 105  
Driscoll Michelle, 34  
Ducrozet Guillaume, 95  
Duffner Stefan, 48  
Dumouchel Christophe, 74
- Eckert Sven, 68  
Eddi Antonin, 108

- El Gennady, 95  
 Elias Florence, 50
- Facchini Giulio, 33  
 Falcon Eric, 95, 104  
 Faller Hugues, 61  
 Fauve Stephan, 41, 70  
 Favier Benjamin, 29  
 Favrie Nicolas, 22  
 Ferhat Mohamed Lamine, 55  
 Fort Emmanuel, 108  
 Fosset Antoine, 64  
 Fourdrinoy Johan, 47
- Gallagher Isabelle, 4  
 Gallet Basile, 27, 58, 100  
 Gayout Ariane, 76  
 Gelash Andrey, 95  
 Geneste Damien, 61  
 Gilet Tristan, 32, 52, 63  
 Godoy-Diana Ramiro, 78  
 Gomé Sébastien, 79  
 Gondran Alexandre, 94  
 Gondran Michel, 94  
 Gondret Philippe, 98  
 Grandgeorge Paul, 12  
 Grossman Doron, 96  
 Gürcan Özgür D., 57
- Ha Kevin, 60  
 Harris Daniel M., 37  
 Henry Hervé, 44, 83  
 Herbert Corentin, 48  
 Herreman Wietze, 49  
 Hester Eric, 29  
 Hildenbrand Anthony, 98  
 Ho Ian, 37  
 Holland Paul, 29
- Ibrahim Usama Bello, 66  
 Innocenti Alessio, 45  
 Ionescu Ioan R., 73
- Jaccod Alice, 45  
 James François, 38  
 Jeamment Paul, 105  
 Jenkins Adrian, 29  
 Jia Xiaoping, 73  
 Joanny Jean-François, 5  
 Johanns Paul, 12  
 Josserand Christophe, 38  
 Juel Anne, 3
- Kang Changwoo, 89  
 Kaoui Badr, 62  
 Kasparian Jérôme, 42  
 Katzav Eytan, 20  
 Klotz Lukasz, 78  
 Kolev Boris, 15  
 Korner Kevin, 16  
 Kostet Bilal, 82  
 Kozyreff Gregory, 46
- Labousse Matthieu, 43  
 Lagrée Pierre-Yves, 38  
 Lajeunesse Eric, 38  
 Lamèche M., 101  
 Laroche Claude, 104  
 Lartigue Ghislain, 71  
 Laskar Jacques, 6  
 Laval Jean-Philippe, 61  
 Lazarescu Alexandre, 33  
 Lazarus Arnaud, 21  
 Le Cam Jean-Benoît, 103  
 Le Doudic Gabriel, 43  
 Le Tellier Romain, 83  
 Lebel Alexandre, 90  
 Lejeune Sophie, 52  
 Lenz Martin, 93  
 Leoncini Xavier, 69, 80  
 Lepot Simon, 100  
 Li Yang, 57  
 Liu Tao, 78  
 Loiseau Jean-Christophe, 97  
 Lombard Bruno, 22  
 Lozano Emilio, 19  
 Lucente Dario, 48  
 Lusseyran François, 97
- Maddalena Tom, 31  
 Maddock John, 12  
 Marguet Bastien, 75  
 Marquié Patrick, 66  
 Marzin Tom, 35  
 Mathis Christian, 86  
 Mcheik Mahdi, 106  
 Messaoudi Maroua, 85  
 Meyer Antoine, 112  
 Michel Guillaume, 95  
 Miquel Benjamin, 100  
 Moisy Frédéric, 36  
 Mompean Gilmar, 91  
 Monchaux Romain, 87  
 Moràn José, 67  
 Morel Pierre, 57  
 Morelli Federico, 51  
 Morfu Savério, 66  
 Morize Cyprien, 98  
 Morzyński Marek, 97  
 Moureau Vincent, 71  
 Mullin Tom, 78  
 Mutabazi Innocent, 88, 112
- Naert Antoine, 101  
 Nataf Henri-Claude, 54  
 Neukirch Sébastien, 13  
 Noack Bernd R., 97  
 Nore Caroline, 49, 61  
 Novkoski Filip, 108
- Odier Philippe, 81  
 Ortiz Sabine, 60  
 Ostovan Yasar, 61
- Parmentier Justine, 32

- Pastur Luc R., 97  
 Peacock Thomas, 81  
 Peixinho Jorge, 53, 71  
 Périnet Nicolas, 110  
 Perna Andrea, 33  
 Perrard Stéphane, 43  
 Perret Gaële, 71  
 Petcu Madalina, 47  
 Pétrélis François, 70  
 Pierre Morgan, 47  
 Pierre-Louis Olivier, 75  
 Pingulkar Hrishikesh, 53  
 Plihon Nicolas, 30, 76, 102, 111  
 Poincloux Samuel, 17  
 Popinet Stéphane, 45  
 Poryles Raphaël, 84  
 Poyé Alexandre, 30  
 Prabhudesai Gaurav, 95  
 Pucci Giuseppe, 37, 103  
  
 Quilliet Catherine, 92  
  
 Rabaud Marc, 36  
 Raimbault Jean-Luc, 30  
 Ramamonjy Aina, 56  
 Ramananarivo Sophie, 35  
 Randoux Stéphane, 90, 95  
 Reichert Benjamin, 103  
 Reis Pedro, 12, 17  
 Renoult Marie-Charlotte, 72, 74, 112  
 Robbe-Saule Manon, 98  
 Roché Matthieu, 43  
 Rolland Joran, 48, 59  
 Romanczuk Pawel, 28  
 Ronceray Pierre, 93  
 Rousseaux Germain, 47  
 Rouyer Florence, 50  
 Roveillo Quentin, 50  
 Royon Laurent, 110  
 Rubinstein Shmuel, 19  
 Ruiz Chavarria Gerardo, 99  
  
 Saint-Jalmes Arnaud, 43, 103  
 Sano Tomohiko, 12  
 Satoh Shu, 86  
  
 Sauret Alban, 98  
 Sautel Jérémy, 77  
 Schindler Felix, 68  
 Schneider Tobias, 19  
 Schumacher Jörg, 68  
 Semin Benoît, 70, 78  
 Seron Benoît, 46  
 Seshasayanan Kannabiran, 58  
 Seuront Laurent, 50  
 Shvarts Andrei G., 23  
 Singh Harmeet, 12  
 Su Sylvie, 54  
 Suret Pierre, 90, 95  
  
 Taberlet Nicolas, 77  
 Tadrif Loïc, 63  
 Takagi Shinya, 86  
 Tarzia Marco, 51  
 Tasaka Yuji, 86  
 Tchakoutio Nguetcho Aurélien Serge, 65  
 Tikan Alexey, 90, 95  
 Trégouët Corentin, 43  
 Tuckerman Laurette S., 79  
  
 Valcke Paul, 105  
 Valori Valentina, 61  
 van Kan Adrian, 109  
 Villain-Guillot Simon, 106  
 Vincent Simon, 102  
 Vinicius Tergolina, 91  
 Virot Emmanuel, 19  
 Vogt Tobias, 68  
  
 Wadee Ahmer, 14  
 Wang Yuxuan, 50  
 Wesfreid José Eduardo, 78  
  
 Xu Shaokang, 57  
  
 Yastrebov Vladislav A., 23  
 Yoshikawa Harunori, 86, 89  
  
 Zanchi Drazen, 50  
 Zanella Raphaël, 83  
 Zürner Till, 68, 87



Programme du mini-colloque

Programme de la 23<sup>e</sup> rencontre



## Géométrie et élasticité

Université de Paris, **25 mars 2020**Amphithéâtre Buffon, 15 rue Hélène Brion, Paris 13<sup>e</sup>

Beaucoup de questions à l'interface entre mécanique et physique font intervenir des problèmes non-linéaires. En particulier, les changements de géométrie sont une source de non-linéarité bien connue en mécanique, responsable par exemple des instabilités de flambage. D'autre part, c'est bien la communauté du non-linéaire qui a stimulé l'intérêt actuel grandissant des physiciens pour la mécanique du solide. Le but de ce mini-colloque est de réunir des chercheurs travaillant sur les systèmes non-linéaires en mécanique du solide, où le rôle de la géométrie est important. Nous chercherons à mettre l'accent sur les analogies et les techniques proches de la communauté du Non-Linéaire.

### 09h25 – 09h30 : Introduction

*Exposés invités en bleu*09h30 – 10h00 : **Martine Ben Amar** (LPS-ENS) *From non-linear physics to bio-mechanics*10h00 – 10h15 : Basile Audoly (LMS-X) *Photomotile elastic structures*10h15 – 10h30 : Vladislav Yastrebov (CEMEF) *Évolution morphologique et topologique des clusters de contact*10h30 – 10h45 : Thomas Barois (LOMA) *Stretching vs. bending in thin plates: the decay of transverse curvature in curved strips*10h45 – 11h00 : Samuel Poincloux (Flexlab, EPFL) *Quelle force pour courber un livre ?*

### 11h00 – 11h30 : Pause café

11h30 – 12h00 : **Fabian Brau** (Université Libre de Bruxelles) *Floating folds, analogies with non-linear dynamical systems*12h00 – 12h15 : Kostas Danas (LMS-X) *Wrinkling to crinkling transitions in magnetoelastic film substrate systems*12h15 – 12h30 : Stéphanie Deboeuf (d'Alembert) *Compression uniaxiale et flambage d'une feuille confinée : la spirale élastique*

### 12h30 – 14h00 : Pause déjeuner

14h00 – 14h30 : **Paul Grandgeorge** (Flexlab, EPFL) *Non-linear mechanics of knots*14h30 – 14h45 : Arnaud Lazarus (d'Alembert) *Parametric wrinkling instabilities of 1D structures in spatially periodic elastic states*14h45 – 15h15 : **Ahmer Wadee** (Imperial College) *Happy catastrophe: analysis and exploitation of elastic instabilities*15h15 – 15h30 : Anaïs Abramian (d'Alembert) *Buckling-load prediction of a damaged Coke can*

### 15h30 – 16h00 : Pause café

16h00 – 16h30 : **Sébastien Neukirch** (d'Alembert) *Statics of rods as a dynamical system*16h30 – 16h45 : Boris Kolev (LMT) *Les dérivées objectives comme dérivées covariantes sur la variété des métriques*16h45 – 17h00 : Bruno Lombard (LMA) *Dynamique d'une barre d'Ericksen régularisée bistable : vers un modèle de déploiement de rubans bistables*17h00 – 17h30 : **Florence Bertails-Descoubes** (Elan, INRIA Grenoble) *Simulating nonlinear phenomena for films, fashion, and physics*

### 17h30 : Clôture

Le mini-colloque satellite de la RNL 2020 est organisé par Benoît ROMAN (ESPCI) et le GDR MePhy.





# 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire

Université de Paris, 25 – 27 mars 2020

Bienvenue à la 23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire 2020 qui aura lieu à l'Université de Paris, amphithéâtre Buffon, 15 rue Hélène Brion, Paris 13<sup>e</sup>.

Nous aurons 88 contributions se répartissant en 4 conférences invitées, 13 communications longues et 71 communications courtes.

## Jeudi 26 mars 2020

09h10 : **Introduction**

09h15 - 10h00 : **Conférence invitée 1 (40 + 5 min.)**

10h00 - 10h30 : **Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 12 communications courtes**

10h30 - 11h15 : **Pause café Posters (45 min.)**

11h15 - 11h45 : **Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 12 communications courtes**

11h45 - 12h30 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

**12h30 - 14h00 : Déjeuner**

14h00 - 14h45 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

14h45 - 15h50 : **Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 26 communications courtes**

15h50 - 17h00 : **Pause café Posters (1h10)**

17h00 - 17h45 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

17h45 - 18h30 : **Conférence invitée 2 (40 + 5 min.)**

**18h30 - 20h30 : Cocktail**

## Vendredi 27 mars 2020

09h15 - 10h00 : **Conférence invitée 3 (40 + 5 min.)**

10h00 - 10h55 : **Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 21 communications courtes**

10h55 - 11h45 : **Pause café Posters (50 min)**

11h45 - 12h30 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

**12h30 - 14h00 : Déjeuner**

14h00 - 15h10 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues**

15h10 - 16h00 : **Pause café Posters (50 min.)**

16h00 - 16h45 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

16h45 - 17h30 : **Conférence invitée 4 (40 + 5 min.)**

*Nous remercions l'Université de Paris de mettre à notre disposition les locaux de la Rencontre. Nous remercions également le **Laboratoire de Physique de l'ENS**, le laboratoire **Matière et Systèmes Complexes (MSC)**, le labex **LaSIPS de l'université Paris-Saclay**, et le **Laboratoire de Physique de ENS de Lyon**, de subvenir aux frais de la Rencontre, ce qui la rend entièrement gratuite pour tous les participants. Cette année, nous sommes 135 inscrits au 5 mars 2020.*

Le Comité d'Organisation de la RNL 2020 :  
E. Falcon, M. Lefranc, F. Pétrélis & C.-T. Pham



## Jeudi 26 mars 2020

**09h15 - 10h00 : Conférence invitée d'Anne JUEL (40 + 5 min.)**

Life and fate of a bubble in a constricted Hele-Shaw channel

**10h00 - 10h30 : Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 12 communications courtes**

Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints

S. Aumaitre et S. Fauve, présenté par Sébastien Aumaitre

A la recherche de l'origine de l'intermittence dans les écoulements turbulents

H. Faller et al, présenté par Hugues Faller

Turbulence hydrodynamique 3D engendrée par des particules magnétiques

A. Cazaubiel, C. Laroche, J.-C. Bacri, M. Berhanu et E. Falcon, présenté par Annette Cazaubiel

Modal acoustic velocimetry: a new technique for rapidly rotating gas - Application to zonal flows

Sylvie Su, David Cébron, Henri-Claude Nataf et Philippe Cardin, présenté par Sylvie Su

Acoustic monitoring of damages in cemented granular materials under uniaxial loading

V. Canel, X. Jia, M. Campillo et I. R. Ionescu, présenté par Vincent Canel

Ségrégation granulaire : influence des conditions initiales et du champ gravitationnel, application aux astéroïdes

J. Sautel et N. Taberlet, présenté par Jérémy Sautel

Génération et observation d'un gaz de solitons dans des expériences d'hydrodynamique

S. Randoux, P. Suret, F. Copie, A. Tikan, G. El, A. Gelash, G. Prabhudesai, G. Michel, A. Cazaubiel, E. Falcon, G. Ducrozet et F. Bonnefoy, présenté par Stéphane Randoux

Génération de tsunami par effondrement granulaire : du laboratoire au terrain

M. Robbe-Saule, C. Morize, Y. Bertho, A. Hildenbrand, A. Sauret, P. Gondret présenté par P. Gondret

Ondes de gravité dans un référentiel tournant : l'instabilité d'Ekman-Stokes

K. Seshasayanan et B. Gallet, présenté par Kannabiran Seshasayanan

Formation de motifs sur la surface inférieure d'une couche mince de liquide

H.N. Yoshikawa, C. Mathis, S. Takagi, S. Satoh et Y. Tasaka, présenté par Harunori Yoshikawa

Cisaillement d'un ensemble de films de savon

R. Poryles, A. Bussonnière et I. Cantat, présenté par Raphael Poryles

Génération périodique de bulles à partir d'un anneau de savon immergé dans un écoulement d'air

J. Arredondo Macias et Anne Cros, présenté par Anne Cros

**10h30 - 11h15 : Pause café Posters (45 min.)**

**11h15 - 11h45 : Présentation des posters (2 + 0.5 min.) - 12 communications courtes**

Croissance d'arbre soumis à des règles d'allocation de ressource

O. Bui et X. Leoncini, présenté par Olivier Bui

Structure et morphogénèse de réseaux réticulés dans l'argile

P. Jeammet, P. Valcke, P. Bonnin, J. Derr et S. Douady, présenté par Paul Jeammet

Crises endogènes de liquidité

A. Fosset, J.-P. Bouchaud, et M. Benzaquen, présenté par Antoine Fosset

Stabilité marginale dans les économies critiques en réseau

T. Dessertaine, J. Moran, J.-P. Bouchaud et M. Benzaquen, présenté par Théo Dessertaine

Confidence collapse in a multi-household DSGE model

F. Morelli, M. Benzaquen, M. Tarzia et J.-P. Bouchaud, présenté par Federico Morelli

Transient growth of perturbation energy in conservative systems

K. Ha, J.-M. Chomaz et S. Ortiz, présenté par Kevin Ha

Transfert de masse à partir d'une particule noyau-coque sous écoulements stationnaires et non stationnaires

C. Bielinski et B. Kaoui, présenté par Badr Kaoui



[Dynamic stabilization of a liquid layer against Rayleigh–Taylor instability and buoyant effects](#)

Filip Novkoski, Benjamin Apffel, Antonin Eddi, Emmanuel Fort, présenté par Filip Novkoski

[Simulation numérique d'instabilités de Rayleigh-Taylor amenant à la formation de gouttes dans un bain de corium](#)

R. Zanella, R. Le Tellier et H. Henry, présenté par Raphaël Zanella

[Mesure complète et ultra-rapide de structures non-linéaires générées par l'instabilité modulationnelle en optique](#)

A. Lebel, A. Tikan, S. Randoux, P. Suret et F. Copie, présenté par Alexandre Lebel

[Supercontinuum generation in carbon disulfide liquid's core-photonic crystal fiber](#)

MI.Ferhat, L.Bahloul et L.Cherbi, présenté par Lamine Ferhat

[Swift-Hohenberg equation with third-order dispersion for optical fiber resonators](#)

A. Hariz, L. Bahloul, L. Cherbi, K. Panajotov, M. Clerc, M. A. Ferré, B. Kostet, E. Averlant et M. Tlidi, présenté par Bilal Kostet

### **11h45 - 12h30 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

[Génération de topographie aux interfaces glace-océan](#)

L.-A. Couston, E. Hester, B. Favier, A. Jenkins et P. Holland, présenté par Louis Couston

[Un nouveau modèle de striations des plasmas radio-fréquence](#)

V. Désangles, J.-L. Rimbault, A. Poyé, P. Chabert et N. Plihon, présenté par Nicolas Plihon

### **12h30 - 14h00 : Déjeuner**

### **14h00 - 14h45 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

[La vision dans les modèles de mouvements collectif](#)

R. Bastien et P. Romanczuk, présenté par Renaud Bastien

[Émergence d'un mode géostrophique dans une expérience de turbulence en rotation forcée par des ondes d'inertie](#)

P.-P. Cortet, M. Brunet et B. Gallet, présenté par Pierre-Philippe Cortet

### **14h45 - 15h50 : Présentation des posters (2 + 0.5 min.) – 26 communications courtes**

[Impact et fragmentation d'une goutte au bord d'un plan incliné : un modèle de la dispersion des pathogènes en agriculture](#)

S. Lejeune, T. Gilet, présenté par Tristan Gilet

[Dynamics of drops-on-a-string for viscoelastic solutions](#)

Hrishikesh Pingulkar, Jorge Peixinho et Olivier Crumeyrolle, présenté par Hrishikesh Pingulkar

[Vers un séparateur de faisceau pour les gouttes marcheuses](#)

L. Tadrist et T. Gilet, présenté par Loïc Tadrist

[Volatile active drops on liquid baths](#)

B. Reichert, A. Saint-Jalmes, J.-B. Le Cam et G. Pucci, présenté par Benjamin Reichert

[Transfert de chaleur dans un écoulement chauffé par le rayonnement solaire](#)

G. Ruiz Chavarria, présenté par Gerardo Ruiz Chavarria

[Simulation numérique directe de la turbulence induite par les bulles à haut nombre de Reynolds](#)

A. Jaccod, A. Innocenti, S. Popinet et S. Chibbaro, présenté par Alice Jaccod

[Dynamique de sédimentation de particules](#)

D. De Souza, T. Zürner, A. Dejoan et R. Monchaux, présenté par David De Souza

[Étude numérique efficace des effondrements et développements rares de la turbulence de paroi transitionnelle.](#) J. Rolland, présenté par Joran Rolland

[Un modèle d'approximation différentielle pour la turbulence bidimensionnelle](#)

P. Morel, Shaokang Xu, Yang Li et Ö. D. Gürçan, présenté par Pierre Morel



[Ondes acoustiques ioniques dans une colonne de plasma magnétisée](#)

S. Vincent, V. Dolique et N. Plihon, présenté par Simon Vincent

[Oscillation quasi-biennale : expérience et modèle](#)

B. Semin, F. Pétrélis et S. Fauve, présenté par Benoît Semin

[Axisymmetric internal wave super-harmonics](#)

S. Boury, T. Peacock et P. Odier, présenté par Samuel Boury

[Instability of a vortex roll-up at a fluid-fluid interphase](#)

G. Le Doudic, I. Cantat, A. Saint-Jalmes, C. Trégouët, S. Perrard, M. Labousse, M. Roché, présenté par Gabriel Le Doudic

[Self-similarity breakdown induced by viscosity contrast during the coarsening of a two-phase fluid](#)

H. Henry, présenté par Hervé Henry

[Équation de Cahn-Hilliard généralisée pour 2+1 composants : instabilités générant une micro-structuration](#)

M. Mcheik et S. Villain-Guillot, présenté par Simon Villain-Guillot

[Effects of large scale advection and small scale turbulence on vertical phytoplankton dynamics](#)

V. Tergolina, S. Berti et G. Mompean, présenté par Vinicius Tergolina

[Pattern formation in photo-controlled bioconvection](#)

A. Ramamonjy, J. Dervaux et P. Brunet, présenté par Aina Ramamonjy

[Vélocimétrie dans le régime de longueur de mélange de convection prédit par Spiegel](#)

V. Bouillaut, S. Lepot, B. Miquel, S. Aumaître et B. Gallet, présenté par Vincent Bouillaut

[Convection thermoélectrique dans une couche horizontale de fluide diélectrique](#)

E. Barry, C. Kang, H. Yoshikawa et I. Mutabazi, présenté par Elhadj Boubacar Barry

[Numerical modeling of a phase change material in a rectangular cavity: Role of natural convection to the energy balance](#)

M. Crumeyrolle-Smieszek, I. Mutabazi et O. Crumeyrolle, présenté par Olivier Crumeyrolle

[Étude expérimentale et numérique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé](#)

V. Ageorges, J. Peixinho, G. Perret, G. Lartigue et V. Moureau, présenté par Valentin Ageorges

[Dynamics of spheres falling in quiescent flows](#)

F. Cabrera, N. Plihon et M. Bourgoïn, présenté par Facundo Cabrera

[Transitions spontanées « portance-trainée » d'un pendule en soufflerie](#)

A. Gayout, N. Plihon et M. Bourgoïn, présenté par Ariane Gayout

[Automodulation de phase et conservation de l'énergie](#)

Pierre Béjot et Jérôme Kasparian, présenté par Jérôme Kasparian

[Machine learning of committor functions for predicting high impact climate events](#)

D. Lucente, S. Duffner, J. Rolland, C. Herbert et F. Bouchet, présenté par Dario Lucente

[La théorie de la double solution de Louis de Broglie définie par les fonctions d'onde externe et interne](#)

M. Gondran et A. Gondran, présenté par Michel Gondran

**15h50 - 17h00 : Pause café Posters (1h10)**

**17h00 - 17h45 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

[Des ondes de dépression de Scott Russell aux eaux-mortes de Nansen et Ekman](#)

J. Fourdrinoy, J. Dambrine, M. Petcu, M. Pierre et G. Rousseaux, présenté par Johan Fourdrinoy

[Mouvement humain et mouvement brownien](#)

T. Maddalena, C. Clanet et C. Cohen, présenté par Tom Maddalena

**17h45 - 18h30 : Conférence invitée de Jacques LASKAR (40 + 5 min.)**

**The planetary motions beyond their predictability horizon**

**18h30 – 20h30 : Cocktail (présentation du badge obligatoire)**



## Vendredi 27 mars 2020

**09h15 - 10h00 : Conférence invitée d'Isabelle GALLAGHER (40 + 5 min.)**  
De Newton à Boltzmann, fluctuations et grandes déviations

**10h00 - 10h55 : Présentation des posters (2 + 0.5 min.) – 21 communications courtes**

[Let's deflate that beach ball](#)

G. Coupier, A. Djellouli et C. Quilliet, présenté par Catherine Quilliet

[Playing with a rope on the ground: A toy-model for dynamical elastic contacts](#)

B. Seron et G. Kozyreff, présenté par Benoît Seron

[Fiber networks rectify and amplify active stresses](#)

P. Ronceray, C. Broedersz et M. Lenz, présenté par Martin Lenz

[From molecules to helical ribbons - shape and shape fluctuations](#)

M. Zhang, D. Grossman, D. Danino et E. Sharon, présenté par Doron Grossman

[Analyse linéaire de stabilité d'un jet de ferrofluide](#)

R. Canu et M.-C. Renoult, présenté par Romain Canu

[Non-linéarités liées à un jet de liquide viscoélastique](#)

L. Cottier, G. Brenn, C. Dumouchel, M.-C. Renoult, présenté par Louise Cottier

[Critical transition in fast-rotating turbulence within highly elongated domains](#)

A. van Kan and A. Alexakis, présenté par Adrian van Kan

[Transition to turbulence in plane Couette-Poiseuille flow with external noise](#)

T. Liu, L. Klotz, B. Semin, R. Godoy-Diana, J. E. Wesfreid et T. Mullin, présenté par Tao Liu

[Statistical transition to turbulence in plane channel flow](#)

S. Gomé, L. S. Tuckerman et D. Barkley, présenté par Sébastien Gomé

[Piégeage actif de micro-nageurs dans une mousse](#)

F. Elias, Q. Roveillo, J. Dervaux, Y. Wang, F. Rouyer, D. Zanchi et L. Seuront, présenté par F. Elias

[Self-organization of vegetation patterns in aid- semi-arid ecosystems](#)

M. Messaoudi, M. Khaffou, A. Makhoute et M. Tlidi, présenté par Maroua Messaoudi

[Stabilité d'un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux anneaux cylindriques en rotation différentielle](#)

A. Meyer, R. Canu, M-C. Renoult et I. Mutabazi, présenté par Antoine Meyer

[Écoulements dans les batteries à métaux liquides](#)

W. Herreman et C. Nore, présenté par Wietze Herreman

[Modèle de force basé sur les dynamiques transitoires de sillage dans le « pinball fluide »](#)

N. Deng, L. R. Pastur, B. R. Noack, G. Cornejo Maceda, F. Lusseyran, J.-C. Loiseau, et M. Moszynski, présenté par Nan Deng

[Boundary-layer streaming in viscoelastic fluids](#)

S. A. Bahrani, M. Costalonga, N. Périne, L. Royon and P. Brunet, présenté par Seyed-Amir Bahrani

[The evolution of the large-scale flow in magnetoconvection](#)

T. Zürner, F. Schindler, T. Vogt, S. Eckert et J. Schumacher, présenté par Till Zürner

[Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov-Maxwell](#)

A. Cordonnier, X. Leoncini et G. Dif-Pradalier, présenté par Aurélien Cordonnier

[Diffusion-limited interface collisions](#)

B. Marguet, F. A. Reis et O. Pierre-Louis, présenté par Bastien Marguet

[Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors-équilibre](#)

M. Lamèche et A. Naert, présenté par Antoine Naert

[Effet de la non convexité des interactions sur la dynamique des solitons dans un modèle de FK déformable](#)

A. S. Tchakoutio Nguetcho, J. M. Bilbault et S. Dos Santos, présenté par A. Tchakoutio Nguetcho

[Perception d'images subliminales utilisant la résonance vibrationnelle](#)

S. Morfu, B.I. Usama et P. Marquié, présenté par Saverio Morfu



**10h55 - 11h45 : Pause café Posters (50 min)**

**11h45 - 12h30 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

*Les gouttes ne tombent pas en ligne droite : un modèle de croissance des stalagmites*

J. Parmentier, S. Lejeune, M. Marechal, F. Bourges, D. Genty, V. Terrapon, J.-C. Marechal, T. Gilet, présenté par Justine Parmentier

*Capillary disks: Sliding friction, capillary attraction and wave-driven propulsion*

G. Pucci, I. Ho et D. M. Harris, présenté par Giuseppe Pucci

**12h30 - 14h00 : Déjeuner**

**14h00 - 15h10 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues**

*Déformation d'une structure origami induite par un écoulement*

Tom Marzin, Emmanuel de Langre et Sophie Ramanarivo, présenté par Tom Marzin

*Walkers in a wave field with memory*

O. Devauchelle, E. Lajeunesse, F. James, C. Josserand et P.-Y. Lagrée, présenté par O. Devauchelle

*A growth model driven by curvature reproduces geometric features of arboreal termite nests*

G. Facchini, A. Lazarescu, A. Perna et S. Douady, présenté par Giulio Facchini

**15h10 - 16h00 : Pause café Posters (50 min.)**

**16h00 - 16h45 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

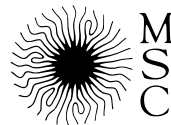
*The hydrodynamic genesis of colloidal creatures*

B. Delmotte, M. Driscoll, A. Donev et P. Chaikin, présenté par Blaise Delmotte

*Quand le vent lève des vagues solitaires...*

M. Rabaud, M. Aulnette et F. Moisy, présenté par Marc Rabaud

**16h45 - 17h30 : Conférence invitée de Jean-François JOANNY (40 + 5 min.)**  
Turbulence active





23<sup>e</sup> Rencontre du Non-Linéaire  
Université Paris Diderot  
Paris 2020

ISBN 978-2-9538596-9-0  
EAN 9782953859690

Non-Linéaire Publications (NL Pub.)  
Site universitaire du Madrillet — BP 12  
78801 St-Étienne du Rouvray Cedex

*Version en ligne, révisée le 24 mars 2020*







**23<sup>e</sup> Rencontre du Non Linéaire**  
**Université de Paris**  
**Paris 2020**

ISBN 978-2-9538596-9-0  
EAN 9782953859690



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