



HAL
open science

Comptes-Rendus de la 24e Rencontre du Non-Linéaire (Paris 2021)

Eric Falcon, Marc Lefranc, François Pétrélis, Chi-tuong Pham

► **To cite this version:**

Eric Falcon, Marc Lefranc, François Pétrélis, Chi-tuong Pham. Comptes-Rendus de la 24e Rencontre du Non-Linéaire (Paris 2021). Rencontre du Non-Linéaire, 2021, 978-2-9576145-0-9. hal-03864013

HAL Id: hal-03864013

<https://hal.science/hal-03864013v1>

Submitted on 20 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



.....

Comptes-rendus de la 24^e

Rencontre du Non-Linéaire

Paris 2021

.....

Visioconférence

É. Falcon, M. Lefranc
F. Pétrélis, C.-T. Pham
Éditeurs

Résumés de la 24^e
Rencontre du Non-Linéaire
Paris 2021

Université de Paris
Non-Linéaire Publications

24^e RENCONTRE DU NON-LINÉAIRE

Université de Paris

24–26 Mars 2021

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, la Société Française de Physique.

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	LISN – 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	LISN – 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,
Bâtiment 508
Rue John von Neumann
91400 Orsay

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

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

Renseignements :

rnl@univ-lille1.fr

Sommaire

Exposés invités

De Newton à Boltzmann, fluctuations et grandes déviations <i>Isabelle Gallagher</i>	3
Life and fate of a bubble in a constricted Hele-Shaw channel <i>Anne Juel</i>	4
Nonlinear waves in flexible elastic metamaterials <i>Vincent Tournat</i>	5
Active turbulence <i>Jean-François Joanny</i>	6

Exposés du Mini-colloque « Géométrie et Élasticité »

De la physique non linéaire à la bio-mécanique <i>Martine Ben Amar</i>	9
Validation physique de simulateurs conçus pour le cinéma <i>Florence Bertails-Descoubes, Victor Romero, Mickaël Ly, Abdullah Haroon Rasheed, Raphaël Charrondière, Arnaud Lazarus, Sébastien Neukirch</i>	10
Floating folds: Periodic and localized structures in thin elastic plates <i>Fabian Brau</i>	11
Équilibre d'une tige élastique en contact frottant autour d'un cylindre rigide <i>Paul Grandgeorge, Tomohiko G. Sano, Pedro M. Reis</i>	12
Statics of rods as a dynamical system <i>Sébastien Neukirch</i>	13
Happy catastrophe: Analysis and exploitation of elastic instabilities <i>Ahmer Wadde</i>	14
Crumpling without confinement: Transition to stress focusing for a paper strip bent up to a self-contact <i>Thomas Barois</i>	15
Réponse en flexion d'un livre avec frottement entre les pages. <i>Samuel Poincloux, Tian Chen, Basile Audoly, Pedro Reis</i>	16
Buckling-load prediction of a damaged Coke can <i>Anaïs Abramian, Emmanuel Viot, Emilio Lozano, Shmuel Rubinstein, Tobias Schneider</i>	17
Parametric wrinkling instabilities of 1D structures in spatially periodic elastic states <i>Arnaud Lazarus, Victor Romero</i>	18

The flat bounce of an elastic ball on a corner: How to make the perfect shot in squash game	
<i>Philippe Brunet, Akash Garg, Basile Audoly, Caroline Cohen, Baptiste Darbois-Tezier</i>	19
Dynamique de flambage et post-flambage de coques sphériques	
<i>Marcel Mokbel, Lucia Stein-Montalvo, Adel Djellouli, Douglas Holmes, Sebastian Aland, Catherine Quilliet, Gwennou Coupier</i>	20
Un modèle non linéaire d’actuateur en flexion pour robots mous	
<i>Manon Thbaut, Sébastien Brisard</i>	21
Super-propulsion d’objets élastiques élanés	
<i>Guillaume Giombini, Joachim Mathiesen, Médéric Argentina, Frank Celestini, Christophe Raufaste</i>	22
Unstable frameworks, symmetry groups and quaternions	
<i>Christelle J. Combescure, Timothy J. Healey</i>	23
Deformation of soft helices by viscous axial flows: A twisting to bending transition	
<i>Lucas Prévost, Marine Daiëff, Anirban Jana, Dylan M. Barber, Alfred J. Crosby, Anke Lindner, Olivia du Roure</i>	24
Bilames texturés : courber en étirant	
<i>Emmanuel Siéfert, Nicolas Cattaud, Étienne Reyssat, Benoît Roman, José Bico</i>	25
Morphological and topological evolution of contact clusters	
<i>Vladislav A. Yastrebov, Andrei G. Shvarts</i>	26
Generic stress rectification in nonlinear elastic materials	
<i>Félix Benoist, Guglielmo Saggiorato, Martin Lenz</i>	27
Geometry and topology tango in mechanics	
<i>Marcelo Guzmán, Denis Bartolo, David Carpentier</i>	28
Foldable quadrilateral mesh and quadrilateral ring	
<i>Zeyuan He, Simon D. Guest</i>	29
Programming Poynting effect and nonlinear moduli in metamaterials	
<i>Aref Ghorbani, David Dykstra, Corentin Coulais, Daniel Bonn, Erik van der Linden, Mehdi Habibi</i>	30
Explicit analysis of catastrophe on a Timoshenko beam	
<i>Marwan Hariz, Loïc Le Marrec, Jean Lerbet</i>	31
Déformation de plaques élasto-poreuses kirigamis sous écoulement	
<i>Tom Marzin, Emmanuel de Langre, Sophie Ramananarivo</i>	32
Simulating wrinkled inflatables (and other folded thin shells)	
<i>Mélina Skouras</i>	33
Instabilité de flambage par confinement géométrique de disques minces	
<i>Tristan Suzanne, Marc Georgelin, Gwenn Boëdec, Julien Deschamps</i>	34
<hr/>	
Exposés longs de la 24^e Rencontre du Non-Linéaire	
<hr/>	
Génération de topographie par fonte et solidification dans un écoulement cisailé turbulent	
<i>Louis-Alexandre Couston, Eric Hester, Benjamin Favier, John R. Taylor, Paul R. Holland, Adrian Jenkins</i>	37
Imagerie acoustique de la propagation d’un choc dans un métallique	
<i>E. Cuenca, M. Ducouso, L. Videau, L. Berthe, F. Coulouvrat</i>	38

Mise en évidence expérimentale d'une hystérésis entre deux régimes de jets zonaux : une résonance d'ondes de Rossby <i>Daphné Lemasquerier, Benjamin Favier, Michael Le Bars</i>	39
Slow walkers in a propagating wave field <i>Olivier Devauchelle, Éric Lajeunesse, François James, Christophe Josserand, Pierre-Yves Lagrée</i> .	40
La vision dans les modèles de mouvements collectifs <i>Renaud Bastien, Pawel Romanczuk</i>	41
Compétition entre réduction des inégalités et préservation du bien public dans un réseau altruiste <i>Ariadna Fossas Tenas, Bastiaan W. Ibelings, Jérôme Kasparian, Jaya Krishnakumar, Jérémy Laurent-Lucchetti</i>	42
Les gouttes ne tombent pas en ligne droite : un modèle de croissance des stalagmites <i>Justine Parmentier, Tristan Gilet</i>	43
Ondes non linéaires générées par effondrement d'un milieu granulaire dans l'eau <i>Wladimir Sarlin, Cyprien Morize, Alban Sauret, Philippe Gondret</i>	44
Formation spontanée de nœuds sur une fibre flexible advectée par un écoulement chaotique <i>Benjamin Favier</i>	45
Synthèse non linéaire d'un gaz de solitons en hydrodynamique <i>Pierre Suret, Alexey Tikan, Félicien Bonnefoy, François Copie, Guillaume Ducrozet, Andrey Gelash, Gaurav Prabhudesai, Guillaume Michel, Annette Cazaubiel, Éric Falcon, Gennady El, Stéphane Randoux</i>	46
Des ondes à polarité négative de Scott Russell aux eaux-mortes d'Ekman <i>Johan Fourdrinoy, Julien Dambrine, Madalina Petcu, Morgan Pierre, Germain Rousseaux</i>	47
Predator–prey plankton dynamics in turbulent wakes behind islands <i>Alice Jaccod, Stefano Berti, Enrico Calzavarini, Sergio Chibbaro</i>	48
Formation de motifs dynamiques par des micro-algues phototactiques <i>Alfredo L'Homme, Nicolas Desprat, Raphaël Jeanneret</i>	49
Manifestation de la courbure de Berry dans le tracé de rayon en géophysique <i>Nicolas Perez, Pierre Delplace, Antoine Venaille</i>	50
Instabilité de Rayleigh–Plateau pour un mélange liquide binaire proche de son point critique <i>Raphael Saiseau, Ulysse Delabre, Jean-Pierre Delville</i>	51
Contrôle d'interfaces liquides par vibrations <i>Benjamin Apffel, Samuel Hidalgo Caballero, Antonin Eddi, Emmanuel Fort</i>	52
<hr/>	
Exposés courts de la 24^e Rencontre du Non-Linéaire	
<hr/>	
Observation expérimentale quantitative de la turbulence d'ondes d'inertie <i>Pierre-Philippe Cortet, Eduardo Monsalve, Maxime Brunet, Basile Gallet</i>	55
Écoulement anti-Bretherton dans un tube <i>Peter Favreau, Alexis Duchesne, Farzam Zoueshtiagh, Michaël Baudoin</i>	56
Automodulation de phase et conservation de l'énergie <i>Pierre Béjot, Jérôme Kasparian</i>	57

How laboratory rivers transport sediment <i>Predrag Popović, Olivier Devauchelle, Anaïs Abramian, Éric Lajeunesse</i>	58
Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints <i>Sébastien Aumaître, Stéphane Fauve</i>	59
Impact de la concentration en tensioactifs sur la déformation d'une assemblée de films de savon <i>Raphaël Poryles, Théo Lenavetier, Adrien Bussonnière, Emmanuel Schaub, Isabelle Cantat</i>	60
Extraction des paramètres du modèle épidémique SIR à partir des données temporelles d'infection <i>François G. Schmitt</i>	61
Squeezing multiple soft particles into a constriction: transition to clogging <i>Clément Bielski, Othmane Aouane, Jens Harting, Badr Kaoui</i>	62
Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides <i>Clotilde Le Quiniou, François G. Schmitt, Yongxiang Huang, Enrico Calzavarini, Sami Souissi</i> ...	63
What is the mechanical basis of traveling waves of neural activity observed in motor cortex? <i>Ling Kang, Jonas Ranft, Vincent Hakim</i>	64
Using sparse odor cues to infer the location of their source <i>Nicola Rigolli, Nicodemo Magnoli, Lorenzo Rosasco, Agnese Seminara</i>	65
Auto-assemblage et manipulation d'objets sous champs <i>Geoffroy Lumay, Alexis Darras, Florence Mignolet, Nicolas Vandewalle</i>	66
Pincement de suspensions visco-élastiques <i>Virgile Thiévenaz, Alban Sauret</i>	67
Gouttes dévalant des substrats mous <i>Mathieu Oléron, Julien Dervaux, Laurent Limat, Matthieu Roché</i>	68
Erythrocyte–Erythrocyte aggregation dynamics as a bifurcation problem <i>Mehdi Abbasi, Alexander Farutin, Hamid Ez-zahraouy, Abdelilah Benyoussef, Chaouqi Misbah</i>	69
Beyond the tip of the parametric instability tongue <i>Alvaro A. Grandi, Suzie Protière, Arnaud Lazarus</i>	70
Effondrement de la turbulence transitionnelle calculé par une méthode d'événements rares <i>Joran Rolland</i>	71
Méthode de tracé de rayon pour la résolution de l'interaction onde–onde multiple appliquée à la diffusion Raman stimulée <i>Damien F. G. Minenna, Mikael Tacu, Didier Bénisti, Arnaud Debayle</i>	72
The instability of the stratified horizontal plane Poiseuille flow <i>Patrice Le Gal, Uwe Harlander, Ion D. Borcia, Stéphane Le Dizès, Jan Chen, Benjamin Favier</i> ...	73
Déformations d'une bulle par un écoulement turbulent <i>Aliénor Rivière, Wouter Mostert, Luc Deike, Stéphane Perrard</i>	74
Getting into the thin-skinned emulsion drops stressed by elasticity and capillarity <i>Gaël Gínot, F. Walzel, L. Jacomine, M. Hamann, S. Pivard, J. Farago, R. Höhler, W. Drenckhan</i>	75
Metal pad roll à température ambiante ? <i>Wietze Herreman, Caroline Nore</i>	76

Predicting extreme events using dynamics based machine learning <i>Dario Lucente, George Miloshevich, Corentin Herbert, Freddy Bouchet</i>	77
Propulsion soluto-capillaire des bateaux de Marangoni <i>Gabriel Le Doudic, Marie Saulgeot, Matthieu Roché</i>	78
Control of a frictional fluid and plug formation in confined geometry <i>Louison Thorens, Knut Jørgen Måløy, Mickaël Bourgoïn, Stéphane Santucci</i>	79
A generalized approach towards a new log law of the wall in Taylor–Couette flows at intermediate Reynolds numbers <i>Harminder Singh, Alain Liné, Arnaud Prigent</i>	80
Adhesive tape peeling over soft micro-textured substrates <i>Hélène Piot-Durand, Loïc Vanel, Stéphane Santucci</i>	81
Capillary surfers on a vibrating bath <i>Giuseppe Pucci, Ian Ho, Anand U. Oza, Daniel M. Harris</i>	82
A growth model driven by curvature reproduces geometric features of arboreal termite nests <i>Giulio Facchini, Alexandre Lazarescu, Andrea Perna, Stéphane Douady</i>	83
Reconnaissance des formes grâce à une balade aléatoire <i>Samuel Hidalgo-Caballero, Matthieu Labousse, Emmanuel Fort</i>	84
Volatile active drops on liquid baths <i>Benjamin Reichert, J.-B. Le Cam, Arnaud Saint-Jalmes, Giuseppe Pucci</i>	85
Spontaneous oscillations of subsonic liquid bells <i>Philippe Brunet</i>	86
Propagation d’une maille qui file dans un tricot <i>Audrey Steinberger</i>	87
Shape disorder as a source for nonlinear compression behavior of aligned fibrous matter <i>Carlos Manuel Marques, Thierry Charitat</i>	88
Quand le vent lève des vagues solitaires... <i>Marc Rabaud, Marine Aulnette, Frédéric Moisy</i>	89
Paths to synchronization <i>Andrea España, Xavier Leoncini, Edgardo Ugalde</i>	90
Instabilities in the spatiotemporal dynamics of a shear-thickening cornstarch suspension <i>Thomas Gibaud</i>	91
Diffusion-limited interface collisions <i>Bastien Marquet, F. D. A. Aarão Reis, Olivier Pierre-Louis</i>	92
Negative group velocity state in soft composites triggered via applied deformation <i>Nitesh Arora, Yao Qi, Viacheslav Slesarenko, Jian Li, Pavel Galich, Stephan Rudykh</i>	93
Wave turbulence in self-Gravitating Bose gases and nonlocal nonlinear optics <i>Jonathan Skipp, Victor L’vov, Sergey Nazarenko</i>	94
Stabilité d’un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle <i>Antoine Meyer, Anupam M. Hiremath, Innocent Mutabazi</i>	95

Nature de la bifurcation dans une suspension complexe pour un écoulement de Taylor–Couette en géométrie confinée <i>Masoud Moazzen, Tom Lacassagne, Vincent Thomy, S. Amir Bahrani</i>	96
Detachment transition in a model of convexification of clusters of discs <i>David Martin-Calle, Olivier Pierre-Louis</i>	97
Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors équilibre <i>Mona Lamèche, Antoine Naert</i>	98
Observation expérimentale de turbulence d’ondes quasi-1D <i>Guillaume Ricard, Éric Falcon</i>	99
Intracellular rheology of red blood cells <i>Alice Briole, Thomas Podgorski, Bérengère Abou</i>	100
Vortex enhancement in streaming with viscoelastic fluids <i>S. Amir Bahrani, Maxime Costalonga, Nicolas Périnet, Laurent Royon, Philippe Brunet</i>	101
Lagrangian compressible dynamics in a self-similar incompressible jet <i>Thomas Basset, Bianca Viggiano, Thomas Barois, Mathieu Gibert, Nicolas Mordant, Raúl Bayoán Cal, Romain Volk, Mickaël Bourgoïn</i>	102
Intermittency of velocity circulation in quantum turbulence <i>Nicolás P. Müller, Juan Ignacio Polanco, Giorgio Krstulovic</i>	103
Transitions spontanées « portance–traînée » d’un pendule en soufflerie <i>Ariane Gayout, Mickaël Bourgoïn, Nicolas Plihon</i>	104
On-off intermittency due to parametric Lévy noise <i>Adrian van Kan, Alexandros Alexakis, Marc-Étienne Brachet</i>	105
Extreme events and metastability in transitional shear flows <i>Sébastien Gomé, Laurette S. Tuckerman, Dwight Barkley</i>	106
Confined vs. unconfined: Triadic resonant instability in cylindrical geometry <i>Samuel Boury, Paco Maurer, Sylvain Joubaud, Thomas Peacock, Philippe Odier</i>	107
Caractérisation et contrôle des états chimères dans des réseaux optiques <i>Marouane Ayyad, Saliya Coulibaly</i>	108
“Granular turbulence” in a driven system of magnetized particles <i>Michael Berhanu, Simon Merminod, Gustavo Castillo, Éric Falcon</i>	109
Transition to turbulence in a heated non-Newtonian pipe flow <i>Francesco Romanò, Antoine Charles, François Dottori, S. Amir Bahrani</i>	110
Focalisation d’ondes circulaires à la surface d’un fluide <i>Jules Fillette, Stéphan Fauve, Éric Falcon</i>	111
Convection naturelle dans l’écoulement d’un fluide dans un tube horizontal <i>Gerardo Ruiz Chavarria</i>	112
Pattern formation in localized photo-controlled bioconvection <i>Aina Ramamonjy, Julien Dervaux, Philippe Brunet</i>	113
Analyse faiblement non linéaire de stabilité d’un cylindre de ferrofluide <i>Romain Canu, Marie-Charlotte Renoult</i>	114
Active elastocapillarity <i>Jack Binysh</i>	115

Counterflow-induced inverse energy cascade in three-dimensional superfluid turbulence	
<i>Juan Ignacio Polanco, Giorgio Krstulovic</i>	116
Instabilité paramétrique d'un système conservatif	
<i>Johann Maddi, Michel Saint-Jean, Christophe Coste</i>	117
Dynamique saccadée du séchage de feuilles biomimétiques	
<i>Ludovic Keiser, Benjamin Dollet, Philippe Marmottant</i>	118
Mesure ultra-rapide du champ complexe en optique et analyse spectrale non linéaire	
<i>Alexandre Lebel, Giacomo Roberti, Alexey Tikan, Gennady El, Stéphane Randoux, François Copie, Pierre Suret</i>	119
Micro-glissements dans une bande de cisaillement : nano-séismes à l'échelle du laboratoire	
<i>David Houdoux, Axelle Amon, David Marsan, Jérôme Weiss, Jérôme Crassous</i>	120
Description multi-échelle d'une instabilité interfaciale	
<i>Fad Aboudou, Marie-Charlotte Renoult, Jorge-César Brändle de Motta, Christophe Dumouchel</i> ...	121
Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov–Maxwell	
<i>Aurélien Cordonnier, Xavier Leoncini, Guilhem Dif-Pradalier</i>	122
Frequency comb formation in a driven mechanical oscillator	
<i>Baptiste Chomet, Djamel Gacemi, Carlo Sirtori, Yanko Todorov</i>	123
<hr/>	
Annexes	
<hr/>	
Index des auteurs	127
Programmes du Mini-colloque et de la 24^e Rencontre du Non-Linéaire	132

Exposés invités

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.

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, United Kingdom

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.

Nonlinear waves in flexible elastic metamaterials

Vincent Tournat

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM), UMR 6613, Le Mans Université, avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans , France
`vincent.tournat@univ-lemans.fr`

Flexible elastic metamaterials can be described as architected artificial structures, designed to be highly compliant and capable of withstanding large elastic deformations. While their static character has been widely studied, their dynamic properties are still in their early stages, especially with regard to their nonlinear dynamics. Thanks to the design of metamaterials for which we have been able to develop equivalent lump models, the nonlinear dynamic properties could be predicted in a rational way, allowing in turn to control and play with nonlinear waves (vector elastic solitons, topological solitons or transition waves). I synthesize in this talk a set of our recent results on the propagation of solitary waves in these flexible elastic metamaterials and I will draw up possible perspectives from these initiated directions.

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.

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 gonflage 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.

Validation physique de simulateurs conçus pour le cinéma

Florence Bertails-Descoubes¹, Victor Romero¹, Mickaël Ly¹, Abdullah Haroon Rasheed¹, Raphaël Charrondièrre¹, Arnaud Lazarus² & Sébastien Neukirch²

¹ Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LJK, France

² Sorbonne Université, Institut Jean Le Rond d'Alembert, Paris, France

florence.descoubes@inria.fr

Au cours des dernières décennies, un grand nombre de simulateurs numériques a été développé par la communauté de l'informatique graphique dans le but de créer des effets spéciaux spectaculaires pour le cinéma. De tels simulateurs ont été utilisés avec succès pour calculer la statique et la dynamique de phénomènes non linéaires de plus en plus complexes tels que la fourrure, les cheveux ou les vêtements [1–4]. Forts de ces succès, de plus en plus de chercheurs sont aujourd'hui tentés d'utiliser ces simulateurs dans d'autres contextes que le film, notamment pour le prototypage de vêtements [5, 6], la conception architecturale [7, 8], ou l'exploration de nouveaux méta-matériaux et matériaux programmables [9, 10]. Néanmoins, la capacité des simulateurs graphiques à prédire le réel de manière quantitative reste à établir, et leur potentiel face aux codes de mécanique reste à démontrer.

Notre objectif dans ce travail est de mieux quantifier le potentiel prédictif des simulateurs graphiques ; et dans le cas favorable, de diffuser leur utilisation non seulement vers la production d'effets spéciaux hyper-réalistes, mais aussi vers la conception de matériaux réels. À cet effet, nous introduisons un ensemble de protocoles physiques simples mais riches et compacts, conçus à l'origine en physique expérimentale pour mesurer des paramètres de manière fiable. Nous montrons que de tels protocoles peuvent être exploités pour évaluer quantitativement le réalisme physique d'un modèle numérique non linéaire. En concevant une métrique d'évaluation simple mais robuste, nous testons un grand nombre de codes populaires en graphique pour simuler les structures élancées (tiges et plaques) et le contact frottant et les comparons à plusieurs codes de référence en mécanique.

Nos résultats montrent que si certains simulateurs graphiques connus pour les plaques échouent parfois même sur les scénarios les plus simples, les codes de tiges et de contact frottant fonctionnent en revanche généralement bien et peuvent même surpasser certains outils commerciaux de référence en mécanique.

Références

1. D. BARAFF & A. WITKIN, Large steps in cloth simulation, dans *SIGGRAPH '98: Proceedings of the 25th annual conference on computer graphics and interactive techniques*, 43–54 (1998).
2. M. BERGOU, B. AUDOLY, E. VOUGA, M. WARDETZKY & E. GRINSPUN, Discrete viscous threads, *ACM Trans. Graph.*, **29**, 116 (2010).
3. G. DAVIET, F. BERTAILS-DESCOUBES & L. BOISSIEUX, A hybrid iterative solver for robustly capturing Coulomb friction in hair dynamics, *ACM Trans. Graph.*, **30**, 139 (2011).
4. D. KAUFMAN, R. TAMSTORF, B. SMITH, J.-M. AUBRY & E. GRINSPUN, Adaptive nonlinearity for collisions in complex rod assemblies, *ACM Trans. Graph.*, **33**, 123 (2014).
5. A. BARTLE, A. SHEFFER, V. KIM, D. KAUFMAN, N. VINING & F. BERTHOUSOZ, Physics-driven Pattern Adjustment for Direct 3D Garment Editing, *ACM Trans. Graph.*, **35**, 50 (2016).
6. H. WANG, Rule-Free Sewing Pattern Adjustment with Precision and Efficiency, *ACM Trans. Graph.*, **37**, 53 (2018).
7. J. PANETTA, M. KONAKOVIĆ-LUKOVIĆ, F. ISVORANU, E. BOULEAU & M. PAULY, X-Shells: A new class of deployable beam structures, *ACM Trans. Graph.*, **38**, 83 (2019).
8. F. LACCONE, L. MALOMO, J. PÉREZ, N. PIETRONI, F. PONCHIO, B. BICKEL & P. CIGNONI, FlexMaps Pavilion: A twisted arc made of mesostructured flat flexible panels, dans *Proceedings of IASS Annual Symposia*, **5**, 1–7 (2019).
9. C. SCHUMACHER, S. MARSCHNER, M. GROSS & B. THOMASZEWSKI, Mechanical characterization of structured sheet materials, *ACM Trans. Graph.*, **37**, 148 (2018).
10. R. GUSEINOV, C. MCMAHAN, J. PÉREZ, C. DARAIO & B. BICKEL, Programming temporal morphing of self-actuated shells, *Nat. Commun.*, **11**, 237 (2020).

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.

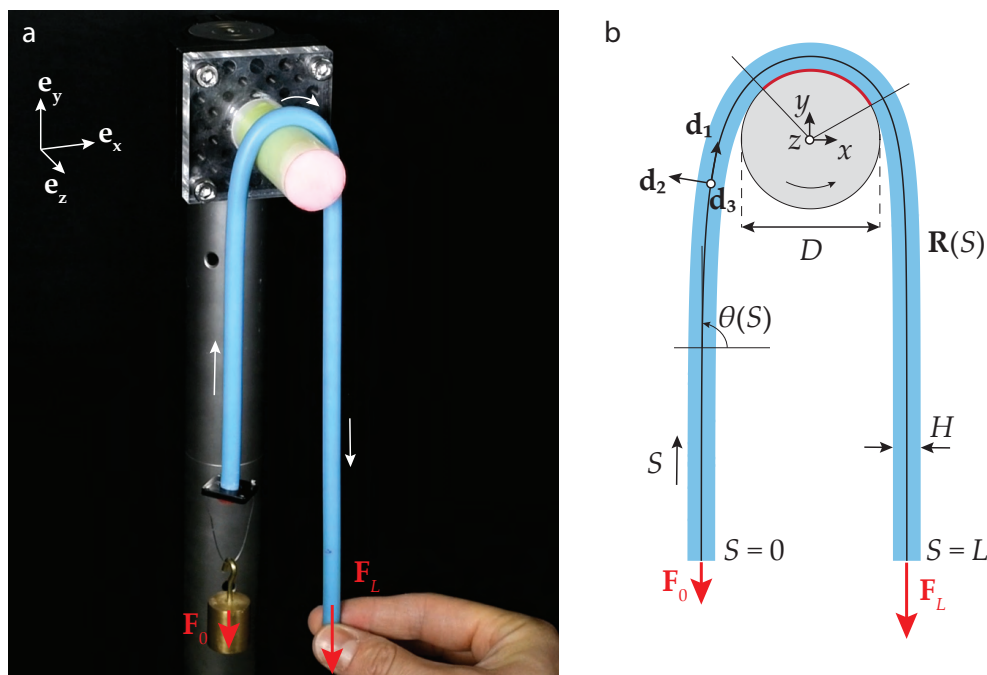
Équilibre d'une tige élastique en contact frottant autour d'un cylindre rigide

Paul Grandgeorge, Tomohiko G. Sano & Pedro M. Reis

Laboratoire des Structures Flexibles, Institut de Génie de Mécanique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

paul.grandgeorge@epfl.ch

L'équation de cabestan, aussi appelée relation d'Euler–Eytelwein, est souvent utilisée pour modéliser la transmission des forces le long d'un filament en contact avec un cylindre rigide. Dans ce contexte théorique, le filament de section et de rigidité à la flexion négligeables est enroulé autour d'un cylindre et glisse sous l'effet d'une différence de tensions appliquées à ses deux extrémités. L'équation de cabestan prédit alors le rapport entre ces deux tensions tel que $F_L/F_0 = e^{\mu\alpha}$ (avec μ le coefficient de frottement, et α l'angle couvrant l'étendue de la zone de contact). Dans certains cas pratiques, cependant, la section et la rigidité à la flexion du filament ne peuvent être négligées, et l'équation de Cabestan n'est alors plus respectée. Par exemple, pour une tige élastique dont l'épaisseur est comparable au diamètre du cylindre rigide sur lequel elle glisse, l'élasticité joue un rôle prépondérant sur la forme qu'elle adopte (voir figure 1). La géométrie d'équilibre de la tige influence ensuite fortement la transmission des forces sur toute sa longueur. Dans mon exposé, je proposerai un modèle théorique basé sur les équations de tiges de Kirchhoff permettant de prédire la relation entre F_L et F_0 dans le cas d'une tige élastique. Nous observerons notamment que du fait de l'élasticité de la tige, le rapport F_L/F_0 dépend de F_0 et du diamètre du cylindre, contrairement au modèle de cabestan classique. La validité de nos prédictions théoriques sera examinée à la lumière de résultats expérimentaux et numériques (éléments finis). Par la suite, nous espérons que nos résultats seront utiles aussi bien dans le contexte de l'ingénierie (conception de systèmes courroie–poulie) que dans la modélisation de la mécanique des textiles ou des nœuds.



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

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.

Crumpling without confinement: Transition to stress focusing for a paper strip bent up to a self-contact

Thomas Barois

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

Crumpling and stress focusing is usually presented as the result of the confinement of a thin elastic plate. This is the case for the hand-crumpling of piece of paper that one might be not happy to read¹. In usual crumpling situations, the appearance of stress focusing is the consequence of the 3D-confinement for which no bending deformations can match with the imposed volume.

In this work, we identify a transition to stress focusing for a thin elastic plate without volumic confinement. A simple procedure is followed in which a paper strip is forced to a point-point self-contact. Figure 1 (a) shows a paper strip (length $L = 29.7$ cm, width $W = 15$ cm, thickness $t = 0.1$ mm) smoothly curved. Figure (b) shows a paper strip with the same length but a smaller width ($L = 29.7$ cm, $W = 5$ cm, $t = 0.1$ mm) with multiple points of focused stresses.



Figure 1. (a) Photograph of a rectangular paper strip ($L = 29.7$ cm, $W = 15$ cm, $t = 0.1$ mm) with mid-length points at contact and maintained by an adhesive strip. (b) Photograph for a strip with a smaller width ($L = 29.7$ cm, $W = 5$ cm, $t = 0.1$ mm).

In this presentation, I will show experimental and simulation results that allow to identify the buckling transition as a function of the sheet dimension (L , W , and t). I will also show that a criteria involving the local compression strain can be established to predict the buckling transition leading to stress focusing.

¹ please don't use this book of abstract to perform crumpling experiments

Réponse en flexion d'un livre avec frottement entre les pages.

Samuel Poincloux¹, Tian Chen¹, Basile Audoly² & Pedro Reis¹

¹ Flexible Structures Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse

² 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)). Quelle sont alors les rôles du frottement et des non-linéarités géométriques dans la réponse observées ?

Pour mettre en évidence ces différents rôles, 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.

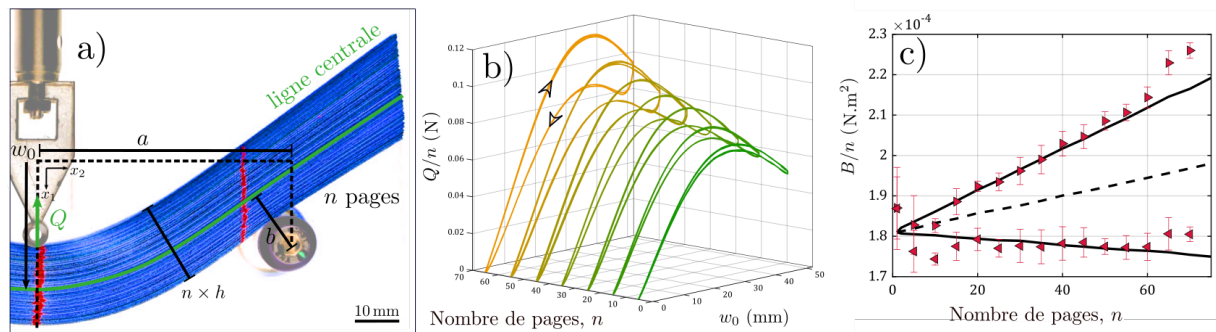


Figure 1. (a) Photo du montage expérimental de la flexion 3-points d'un « livre » contenant $n = 50$ pages en plastique (PET). Chaque page, d'épaisseur $h = 300 \mu\text{m}$, est courbée sur une distance $2a = 130 \text{ mm}$. Le déplacement vertical w_0 est imposé et la force correspondante Q est mesurée. (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 normalisée par n lors du chargement (\triangleright)/déchargement (\triangleleft). 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 pointillé 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).

Buckling–load prediction of a damaged Coke can

Anaïs Abramian¹, Emmanuel Virot^{2,3}, Emilio Lozano³, Shmuel Rubinstein² & Tobias Schneider³

¹ Institut Jean le Rond d’Alembert, Sorbonne Université, Paris, France

² SEAS, Harvard University, Cambridge, USA

³ 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. 1a). While the poker slowly advances, the force it exerts on the shell increases and reaches a maximum [2] (each grey line, Fig. 1b). 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 [3]. This method provides a promising framework to understand the buckling of a shell, and more generally, imperfection-sensitive instabilities.

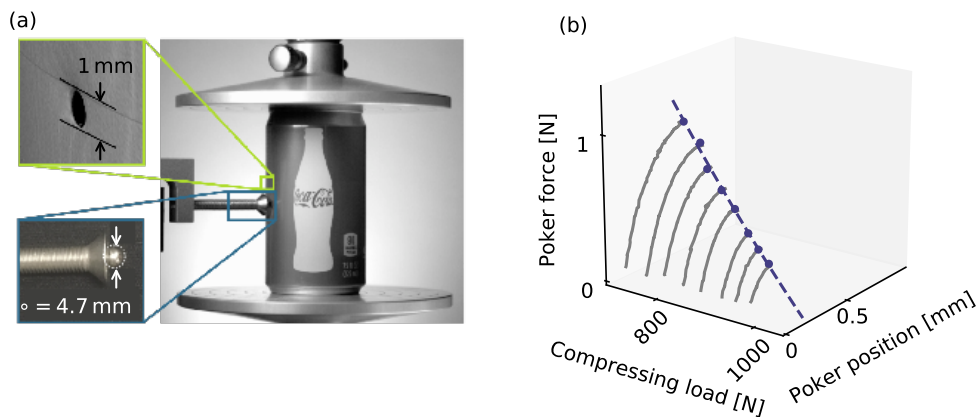


Figure 1. a. Experimental setup: can compressed between two plates and poked just below a drilled hole. Close view on the hole and on the poker. b. Procedure to measure the can’s buckling load : poker force and poker position as a function of the compressing load. The amplitude of the force decreases 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).
3. A. ABRAMIAN, E. VIROT, E. LOZANO, S. M. RUBINSTEIN & T. M. SCHNEIDER, Nondestructive prediction of the buckling load of imperfect shells, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 225504 (2020).

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

Arnaud Lazarus¹ & Victor Romero²

¹ Sorbonne Université, CNRS, UMR 7190, Institut Jean le Rond d'Alembert, Paris, France

² Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LJK, Grenoble, France

arnaud.lazarus@upmc.fr

Parametric instabilities (PIs), that can appear in dynamical systems, are due to internal synchronizations eventually arising in linear time-periodic systems [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 PIs 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 PIs 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 “parametric wrinkling” and highlight with a more practical structural stability problem that is the transverse buckling of an elastic wall with periodically varying height, how it could be exploited to enrich the spectrum of elastic buckling patterns.

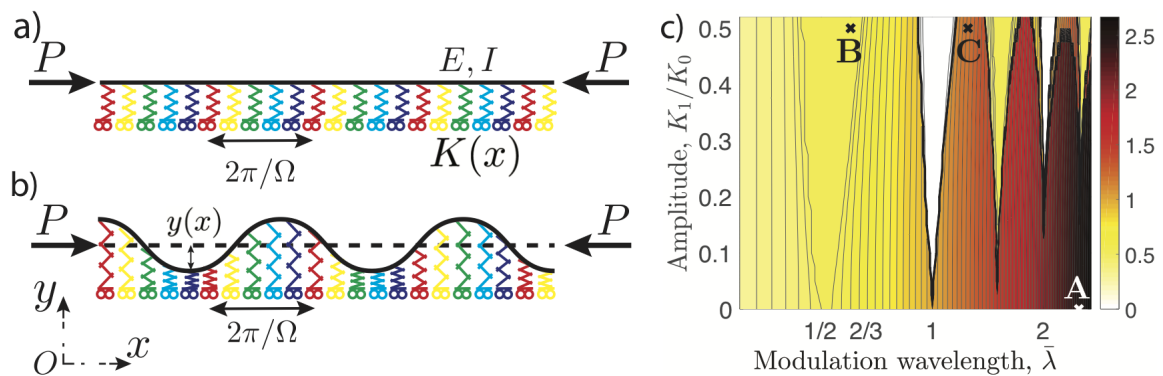


Figure 1. (a) and (b) Sketch of an infinite compressed beam lying on a Winkler foundation with elastic springs that are harmonically varying in space. The harmonic modulation is characterized by an amplitude K_1 and a wavelength λ . (a) Undeformed and (b) deformed configuration. (c) Evolution of the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

The flat bounce of an elastic ball on a corner: How to make the perfect shot in squash game

Philippe Brunet¹, Akash Garg², Basile Audoly³, Caroline Cohen⁴ & Baptiste Darbois-Textier^{4,5}

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes UMR CNRS 7057, Université de Paris, 75205 Paris Cedex 13

² Computer Science Dept. Columbia University New York, New York 10027

³ Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau

⁴ LadHyX, UMR 7646 du CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau

⁵ Laboratoire FAST - Université Paris-Saclay, 91405 Orsay

philippe.brunet@univ-paris-diderot.fr

A deformable spherical ball colliding very near the corner of two walls experiences unusual bounce: the restitution coefficient is much smaller than that obtained when the sphere collides the two walls far from the corner, and under some conditions the angle of the bounce can be very different from the incident one. This is practically observed during squash rallies, where these slow, unpredictable - and sometimes dead - bounces are produced on purpose by experienced players - these are the so-called 'nick' shots. We carried out high-speed observations of such bounces, from which we extracted the bounce angle and restitution coefficient. These experiments are compared to results from numerical simulations of a simple two-dimensional model, which enables to access a broader range of parameters like incident velocity and friction coefficient. We browse the distance d_c of the impact location from the corner. For all configurations, a nick shot is observed for a range of d_c , which width depends on both impact velocity and friction coefficient.

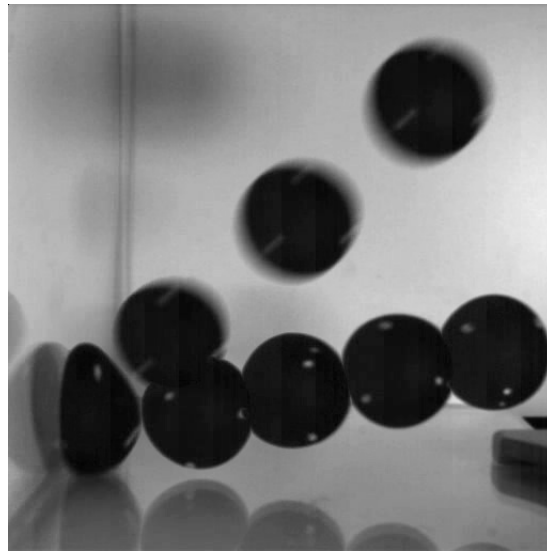


Figure 1. Successive positions of a squash ball colliding near a corner. While the ball incident trajectory is about 45 degrees with respect to horizontal, it bounces back at an angle of less than 10 degrees.

Dynamique de flambage et post-flambage de coques sphériques

Marcel Mokbel¹, Lucia Stein-Montalvo², Adel Djellouli^{3,4}, Douglas Holmes², Sebastian Aland^{1,5}, Catherine Quilliet³ & Gwennou Coupier³

¹ University of Applied Sciences (HTW) Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany

² Department of Mechanical Engineering, Boston University, Boston, MA, USA

³ Université Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, F-38000 Grenoble, France

⁴ School of Engineering and Applied Sciences Cambridge, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

⁵ Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestrasse 6, 09599 Freiberg, Germany

gwennou.coupier@univ-grenoble-alpes.fr

Le flambage de structures élastiques est un moyen efficace de produire des mouvements rapides à toutes échelles. Ce mécanisme se retrouve notamment dans des processus de réorientation de micronageurs [1], de propulsion dans des fluides [2], ou d'actuation de valves [3]. Réaliser un design approprié du matériau élastique considéré, alors appelé méta-matériau, est désormais devenu un intense sujet de recherche [4].

En ce qui concerne la modélisation, les différentes formes d'équilibre de structures de géométrie simple sont maintenant bien connues, ainsi que les seuils permettant de basculer entre ces états. L'existence d'au moins deux états stables séparés par une barrière de potentiel permet de développer des systèmes robustes dont l'état se maintient dans une certaine gamme de paramètres extérieurs sans apport supplémentaire d'énergie. Utiliser optimalement ces systèmes nécessite néanmoins de connaître également leur dynamique de transition et leurs modes de déformations autour de leurs configurations stables.

Nous nous proposons dans cette contribution de discuter d'une part de la dynamique de flambage de sphères élastiques creuses, lorsque le matériau de la coque est visco-élastique. En utilisant les théories déterminant la pression seuil en présence d'un défaut de sphéricité [5], nous montrerons alors que la dynamique de flambage peut être associée à la croissance du défaut qui a initialement nucléé. Ceci nous conduira à prédire le temps nécessaire pour le flambage en fonction de la pression appliquée et des caractéristiques rhéologiques du matériau de la coque, en accord avec des expériences réalisées.

Dans un second temps, nous explorerons au travers d'expériences et de simulations 3D la dynamique d'oscillation autour de l'état flambé alors atteint. Dans cette configuration, volume et surface de la coque peuvent évoluer de façon indépendante et nous montrerons qu'une description de la dynamique à partir de ces deux variables permet de rendre compte des fréquences d'oscillation autour de l'équilibre, résultant d'un couplage entre les contributions de la compressibilité du gaz interne et de l'élasticité du matériau de la coque [6].

Références

1. K. SON, J. GUASTO & R. STOCKER R., Bacteria can exploit a flagellar buckling instability to change direction, *Nature Phys.*, **9**, 494–498 (2013).
2. A. DJELLOULI, P. MARMOTTANT, H. DJERIDI, C. QUILLIET & G. COUPIER, Buckling instability causes inertial thrust for spherical swimmers at all scales, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 224501 (2017).
3. M. GOMEZ, D. E. MOULTON & D. VELLA, Passive control of viscous flow via elastic snap-through, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 144502 (2017).
4. D. P. HOLMES, Elasticity and stability of shape-shifting structures, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, **40**, 118–137 (2019).
5. A. LEE, F. LÓPEZ JIMÉNEZ, J. MARTHELOT, J. W. HUTCHINSON, P. M. REIS, The geometric role of precisely engineered imperfections on the critical buckling load of spherical elastic shells, *J. Appl. Mech.*, **83**, 111005 (2016).
6. M. MOKBEL, A. DJELLOULI, C. QUILLIET, S. ALAND & G. COUPIER, Post-buckling oscillations of spherical shells, soumis à *Proc. Roy. Soc. A* (2021).

Un modèle non linéaire d'actuateur en flexion pour robots mous

Manon Thbaut & Sébastien Brisard

Laboratoire Navier, École des Ponts, Université Gustave Eiffel, IFSTTAR, CNRS, F-77455 Marne-la-Vallée
 manon.thbaut@enpc.fr

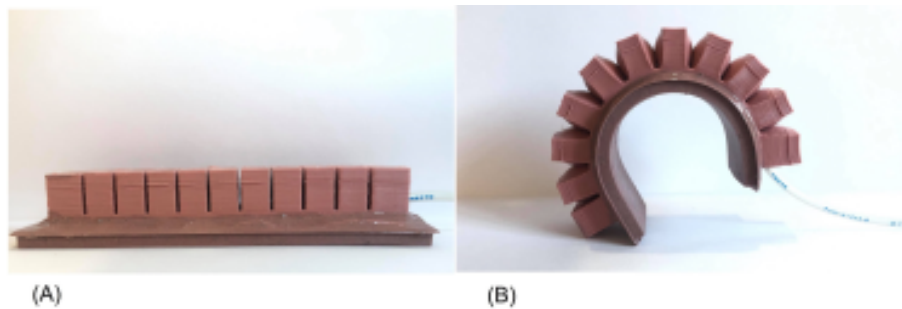


Figure 1. Un actuateur en flexion réalisé à l'École des Ponts ParisTech dans le cadre d'un projet du département *Génie Mécanique et Matériaux* (GMM). (A) Configuration initiale, au repos. (B) Injection d'air, pression de 1,25 bar (courtoisie M. Sardet, L. Thiollière et L. Legrandois).

Des structures en élastomère comme celle présentée sur la figure 1 sont communément employées comme actuateurs en flexion dans le domaine des « robots mous ». Elles sont composées d'une base renforcée plane sur laquelle sont fixées des cavités parallélépipédiques. Ce type de structure est conçu pour agir comme un « doigt ». Pour cela, de l'air est injecté pour faire gonfler les cavités, entraînant ainsi une courbure du doigt ayant pour but la préhension de petits objets. On propose dans cet exposé un modèle semi-analytique permettant de décrire la relation pression–courbure du doigt. Ce modèle constitue une extension de celui de Shepherd *et al.* [1].

Sous l'hypothèse essentielle d'*invariance par translation selon l'axe de flexion*, on montre dans un premier temps que le problème de la déformation d'un doigt peut être réduit à celui de la déformation d'une cavité unique, astreinte à se déformer entre deux plans. Ces plans rendent compte du contact entre deux cavités successives du doigt complet.

Dans un second temps, on établit des résultats généraux concernant les membranes invariantes par translation selon un axe. Ces résultats sont valables dans le cadre de l'élasticité non linéaire en grandes transformations, avec contact éventuel (sans frottements) sur un support plan. On montre que l'hypothèse d'invariance par translation permet : (i) de formuler toutes les équations de la membrane sur la configuration *actuelle* et (ii) de réduire les équations aux dérivées partielles à de simples équations algébriques.

Dans un troisième temps, ces résultats sont utilisés pour caractériser l'équilibre de la cavité isolée. Une paramétrisation appropriée permet de réduire la description complète de l'état du système à trois paramètres : la pression interne, l'angle entre les deux plans ainsi que la longueur du contact. Un équilibre global (tenant compte des cavités ainsi que de la base flexible, mais inextensible) permet alors d'obtenir la relation manquante reliant ces trois paramètres. En reliant l'angle entre les plans au rayon de courbure, on obtient ainsi le lien cherché entre la pression interne et la courbure.

Références

1. R. F. SHEPHERD *et al.*, Multigait soft robot, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **108**, 20400–20403 (2011).

Super-propulsion d'objets élastiques élancés

Guillaume Giombini, Joachim Mathiesen, Médéric Argentina, Frank Celestini & Christophe Raufaste

Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice, 06100 Nice, France
 guillaume.giombini@unice.fr

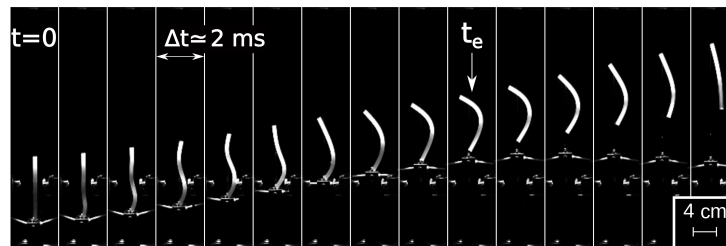


Figure 1. Séquence d'images montrant la déformation d'une poutre d'élastomère accélérée par le lanceur de laboratoire.

La propulsion d'objets est au centre de beaucoup d'innovations technologiques dans l'histoire de l'humanité, comme l'arc ou les catapultes [1]. Une récente étude a montré que les objets élastiques homogènes lancés au moyen d'un engin de type catapulte peuvent obtenir un gain d'énergie cinétique de 250 % comparé à un objet rigide de même masse [2]. Ce phénomène, dénommé *super-propulsion*, se manifeste quand les échelles de temps de la déformation de l'objet et de l'accélération du lanceur sont du même ordre. Bien que ce phénomène ait été mis en évidence pour des déformations longitudinales, nous étudions ici le cas de projectiles élastiques élancés présentant des déformations transverses.

Nous réalisons des éjections de poutres élastiques au moyen d'un lanceur inspiré de l'arc. Les projectiles sont réalisés à partir de divers matériaux : élastomères, acier, carbone et diffèrent de par leur conception (objets homogènes ou lestés). Plusieurs paramètres sont variés systématiquement : masse, longueur et module d'élasticité du projectile ainsi que l'amplitude et la fréquence du lanceur. Les projectiles sont soumis à des accélérations allant jusqu'à 250 fois la gravité et les images sont prises à la caméra rapide. La vitesse du centre de masse du projectile V_e est mesurée à chaque éjection ainsi que V_p^* , la vitesse à laquelle un projectile rigide serait éjecté. L'efficacité d'une éjection est caractérisée par le gain d'énergie cinétique $\alpha = (V_e/V_p^*)$. Le comportement de α dépend fortement de l'amplitude du lanceur, témoignage du caractère non linéaire du phénomène inhérent au flambage dynamique de l'objet [3]. Il existe une amplitude optimale pour chaque projectile pour laquelle α atteint un maximum supérieur au gain mesuré pour un objet rigide et pouvant valoir jusqu'à 150 %.

Nous avons développé un modèle simple permettant de mettre en évidence un comportement unique qui dépend d'un paramètre sans dimension comparant la force élastique associée à la déformation du projectile et la force inertielle due au mouvement du lanceur.

Ce comportement pourrait être d'intérêt dans le domaine de l'archerie. Nous nous attendons en effet à observer un accord entre les temps caractéristiques de l'arc et de la flèche pour lequel le transfert d'énergie est maximisé. À ce titre, une collaboration avec des archers de haut niveau est en cours.

Références

1. M. DENNY, Siege engine dynamics, *Eur. J. Phys.*, **26**, 561–577 (2005).
2. C. RAUFASTE *et al.*, Superpropulsion of droplets and Soft Elastic Solids, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 108001 (2017).
3. J. R. GLADDEN *et al.*, Dynamic buckling and fragmentation in brittle rods, *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 035503 (2005).

Unstable frameworks, symmetry groups and quaternions

Christelle J. Combescure^{1,2} & Timothy J. Healey³

¹ Écoles de Saint-Cyr Coëtquidan, CREC, F-56380 Guer, France

² Université Bretagne Sud, IRDL, UMR CNRS 6027, F-56100 Lorient, France

³ Department of Theoretical & Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca, NY 14853, U.S.A.

c.combescure@st-cyr.terre-net.defense.gouv.fr

Frameworks of bars have been long used in architecture and civil engineering for producing light and resistant structures. Due to their highly symmetric geometries, these structures, when submitted to compressive forces, can undergo intricate unstable behaviors, one very famous example of them being the hexadome structure, first presented by Healey [1]. Using group-theory, Healey studied a very flexible version of the hexadome where all the rods were pin-balled with one another, thus leading to only tension or compression in the bars.

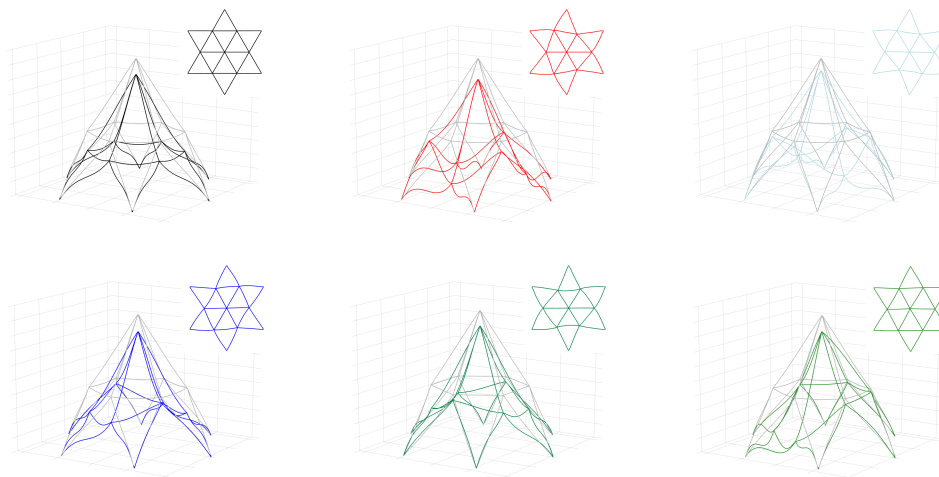


Figure 1. Deformed configurations (elevation and top views) for the hexadome with fixed boundary conditions

In this work, we will study the more realistic problem of fixed boundary conditions with the ground and between the bars along with various cross-sections, thus leading to the possibility of flexion or torsion in the bars. This complex study is eased by the use of group symmetry [3] for the study of the possible unstable branches and quaternions [4, 5] to model possible large rotations of the bars. A force-based model [2] taking advantage of the conservation law for the unit quaternion constraint is used in the bars. It will be shown that quaternions can be used in the energy invariance proof necessary to allow us to use symmetry group theory. Details on the point-group symmetry of the structure and its decomposition into subgroups will be given, the deformed configurations (Fig. 1) and the bifurcation diagram presented.

Références

1. T. J. HEALEY, A group-theoretic approach to computational bifurcation problems with symmetry, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, **67**, 257–295 (1988).
2. A. KUMAR & T. J. HEALEY, A generalized computational approach to stability of static equilibria of nonlinearly elastic rods in the presence of constraints, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, **199**, 1805–1815 (2010).
3. M. GOLUBITSKY, I. STEWART & D. G. SCHAEFFER, *Singularities and groups in bifurcation theory*, Applied Mathematical Sciences, vol. 69, Springer, New York (1988).
4. H. S. M. COXETER, Quaternions and reflections, *Am. Math. Mon.*, **53**, 136–146 (2006).
5. A. LAZARUS, J. T. MILLER & P. M. REIS, A quaternion-based continuation method to follow the equilibria and stability of slender elastic rods, [arXiv:1212.5739v1](https://arxiv.org/abs/1212.5739v1) (2012).

Deformation of soft helices by viscous axial flows: A twisting to bending transition

Lucas Prévost¹, Marine Daëff¹, Anirban Jana¹, Dylan M. Barber², Alfred J. Crosby², Anke Lindner¹ & Olivia du Roure¹

¹ PMMH, CNRS, ESPCI Paris, PSL University, Sorbonne Université, Université de Paris, Paris, France

² Polymer Science and Engineering Department, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA

lucas.prevost@espci.fr

The study of fluid–structure interactions between helix-shaped particles and viscous flows is of importance for both fundamental science and technological applications. Helical structures are common among microorganisms, such as *E. coli* bacteria, who propel themselves through viscous media by rotating helically shaped flagella. The chirality of such structures induces breaking of the time-reversal symmetry associated with viscous flows. Possible applications include swimming micro-robots for targeted delivery or flow micro-sensors. We have recently developed a fabrication method for micron-sized soft helices with precise and full shape control, based on in-situ modification of the helical pitch (see top images of Fig. 1 (a)). This allows systematic study of the fluid–structure interactions.

In this work, we examine the elastic extension of clamped helices immersed in viscous axial flows (see Fig. 1 (a)). We show that the previously established scaling [1] is correct but fails to address the influence of the helical pitch. We study this influence and highlight an effective stiffening as the pitch increases, meaning that, all other things being equal, close-coiled helices are easier to stretch than open-coiled ones (see qualitative illustration in Fig. 1 (a) and detailed plot in Fig. 1 (b)). This stiffening is explained by a transition from a regime dominated by twisting of the filament and perpendicular drag forces at small pitch to a regime dominated by bending of the filament and parallel drag forces at large pitch. Theoretical modeling, based on Kirchhoff rod theory and resistive-force theory, and backed by numerical simulations, qualitatively predicts the stiffening but fails quantitative agreement.

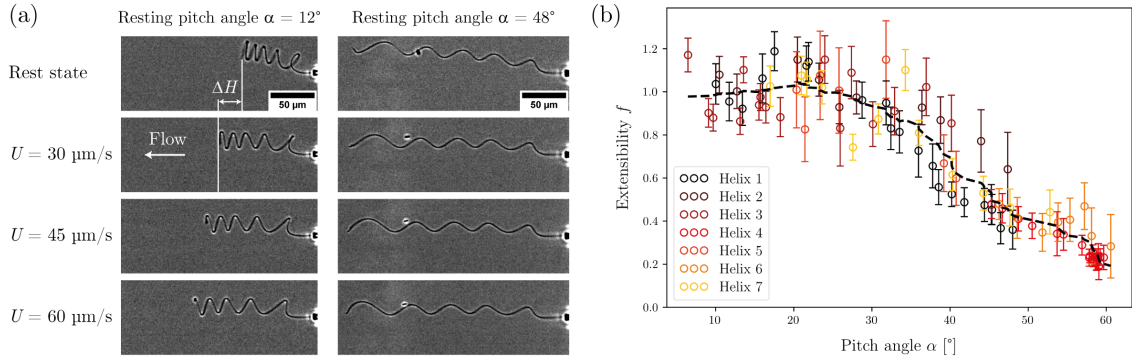


Figure 1. (a) Comparison of the flow-induced elastic elongation of a PMMA-made helix for two different resting pitch angles. The images are taken using phase-contrast microscopy. We measure the axial extension ΔH as a function of the flow velocity U . (b) Dimensionless extensibility as a function of the resting pitch angle for seven different PMMA-made helices, and filtered-mean of all experimental points. The dimensionless extensibility f is defined as $f = \Delta H \times C/\eta UR^2 L^2$ as to isolate the influence of the pitch [1], with R , the helical radius, L , the filament length, η , the fluid viscosity and C , the filament twisting modulus.

References

1. M. KIM & T. R. POWERS, Deformation of a helical filament by flow and electric or magnetic fields, *Phys. Rev. E*, **71**, 021914 (2015).

Bilames texturés : courber en étirant

Emmanuel Siéfert, Nicolas Cattaud, Étienne Reyssat, Benoît Roman & José Bico

PMMH, CNRS, ESPCI Paris, Université PSL, Sorbonne Université, Université de Paris, F-75005, Paris, France
 etienne.reyssat@espci.fr

Un ruban d'élastomère étiré se contracte dans la direction transverse par effet Poisson. Lorsque des surépaisseurs du même matériau sont disposées à la surface du ruban, elles donnent naissance à un bilame effectif, ce qui se traduit par la courbure transverse du ruban texturé lors de son étirement. Nous décrivons les résultats d'expériences modèles et proposons un modèle analytique pour décrire comment l'orientation et la géométrie des textures déterminent le signe et l'amplitude de la courbure. Nous décrivons également l'instabilité de flambage des textures de surface les plus élancées.

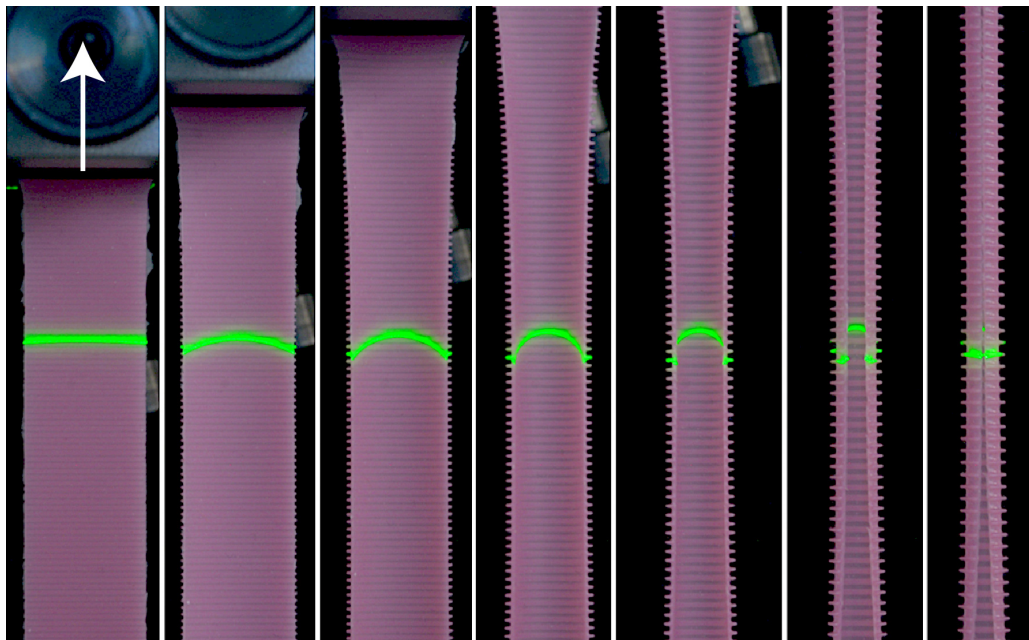


Figure 1. Un ruban en élastomère est décoré de murets dans sa direction transverse. Sous étirement, ce ruban texturé se comporte comme un bilame et se courbe dans la direction transverse à la traction.

Morphological and topological evolution of contact clusters

Vladislav A. Yastrebov¹ & Andrei G. Shvarts²

¹ MINES ParisTech, PSL University, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, Evry, France

² University of Glasgow, James Watt School of Engineering, Glasgow, United Kingdom

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 (1) the shapes of contact clusters and (2) 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.

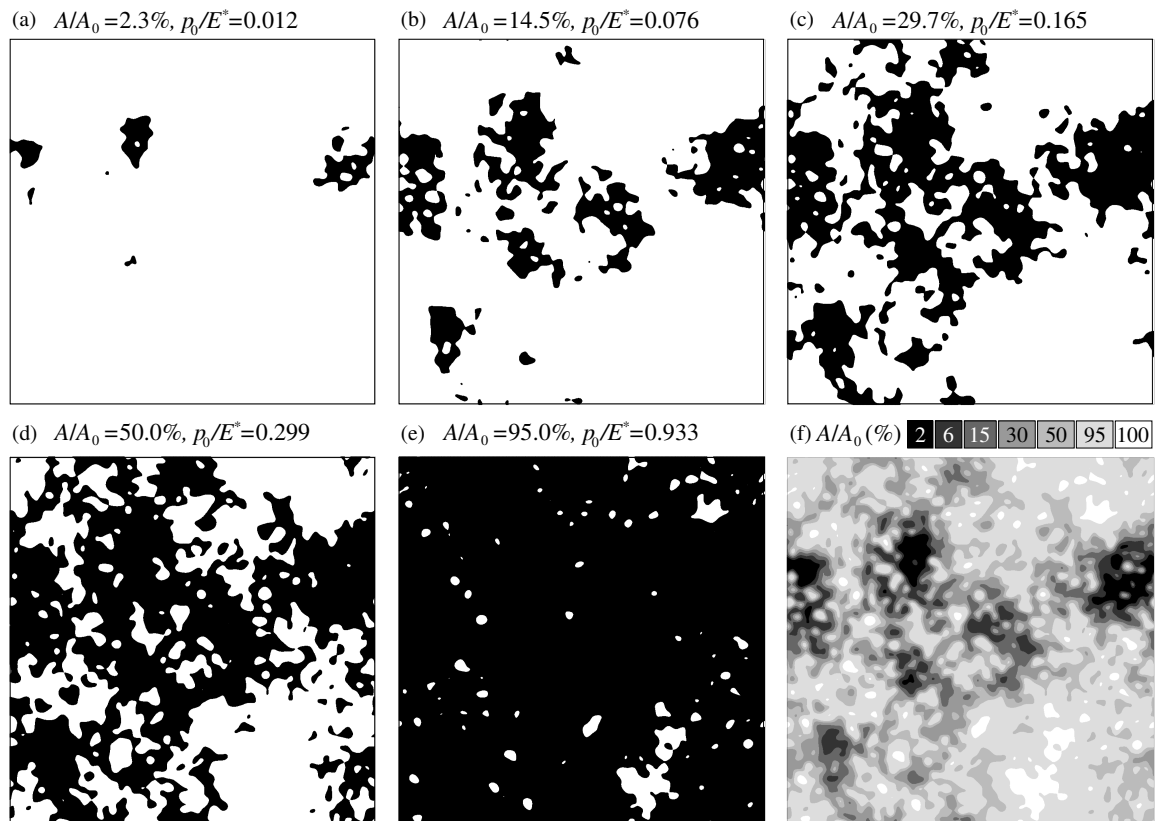


Figure 1. Evolution of the true contact area A/A_0 under the increasing normalized pressure p_0/E^*

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**, 469-0493 (2017).
2. A. G. SHVARTS & V. A. YASTREBOV, Trapped fluid in contact interface, *J. Mech. Phys. Solids*, **119**, 140–162 (2018).

Generic stress rectification in nonlinear elastic materials

Félix Benoist, Guglielmo Saggiorato & Martin Lenz

LPTMS, CNRS, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay, France
felix.benoist@lptms.u-psud.fr

Beyond their response to stresses applied at their boundaries, elastic materials also deform in response to internally exerted stresses. In living systems, such stresses typically originate from molecular motors embedded in a fibrous matrix, which rectifies internal force dipoles of any sign towards a biologically crucial isotropic contraction. Here we show that rectification is a more general effect, present in any nonlinear elastic material regardless of the geometry of the applied forces, which results in contraction or expansion depending on the material's nonlinearities.

Geometry and topology tango in mechanics

Marcelo Guzmán, Denis Bartolo, David Carpentier

Laboratoire de Physique, École Normale Supérieure de Lyon, 46 allée d'Italie, 69006, Lyon, France
 marcelo.guzman-jara@ens-lyon.fr

After an introduction to topological insulators in mechanics, I will present a generic framework to describe, detect and design robust zero-energy deformations in periodic and amorphous metamaterials. This framework relies on a fundamental symmetry of the vibrational spectra shared not only by all elastic mechanical structures but also by numerous photonic, electronic, and acoustic materials.

I will introduce two central quantities to count zero-energy states of mechanical metamaterials: the chiral charge and the chiral polarization. I will then show how they can be effectively used to go beyond the celebrated Maxwell count of floppy and self-stress modes in periodic mechanical structures. In disordered materials, I will show how simple yet generic geometrical rules makes it possible to detect localized zero energy deformations at the junction between regions of space hosting inequivalent topological phases. I will close my talk presenting robust guidelines to engineer zero-mode waveguides in amorphous metamaterials (fig. 1).

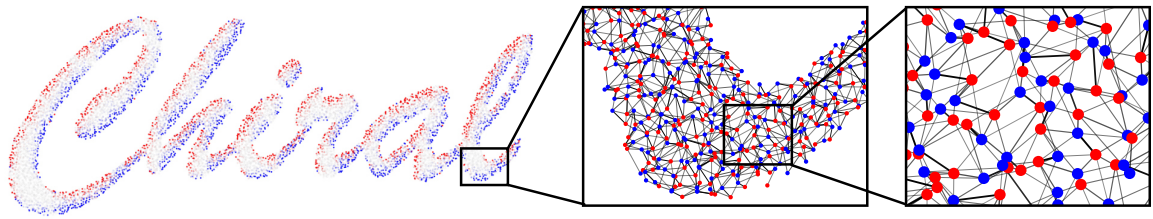


Figure 1. Waveguide in a disordered metamaterial. Left: Amorphous metamaterial conducting zero-energy modes (red and blue) at the edges, forming the word “Chiral”. Right: Details of the system connectivity, where red and blue indicate the two different lattices.

References

1. M. GUZMÁN, D. BARTOLO & D. CARPENTIER, Geometry and topology tango in chiral materials, [arXiv: 2002.02850](https://arxiv.org/abs/2002.02850) (2020).

Foldable quadrilateral mesh and quadrilateral ring

Zeyuan He & Simon D. Guest

Civil Engineering Building, Department of Engineering, University of Cambridge, 7a JJ Thomson Ave,
Cambridge CB3 0FA
zh299@cam.ac.uk

Origami (paper folding) is an effective tool for transforming two-dimensional materials into three-dimensional structures, and in the engineering world has been broadly applied to robots, deployable structures, metamaterials, architectures, etc. Rigid origami is an important branch of origami where all the facets are rigid, which probably has the greatest potential in engineering application since most foldable structures here are required to be piecewise-rigid. The most broadly studied rigid origami tessellation is the Miura-ori introduced by Prof. Kyoto Miura as an efficient packing method for large membranes in space. Miura-ori can be folded where all deformation is concentrated on the rotation of perfectly rigid panels around creases. This property is called the rigid-foldability. The rigid folding motion starts from the planar state to the flat-folded state where, globally, there is an in-plane shrinkage deformation. Up to now there has been many successful applications inspired by the rigid-foldability of Miura-ori and its primary variations, such as a lithium-ion battery that can also be largely folded, bended and twisted; a flat-foldable corrugated vault used as transformable architecture that connects two existing buildings; a compliant mechanism used for energy absorption and impact force distribution, etc.

Encouraged by these applications, we are motivated to explore more rigid-foldable variations of the Miura-ori with similar crease patterns consisting of quadrilaterals. In this symposium we will report some progress on classifying such rigid-foldable quadrilateral creased papers by introducing new tools on the study of rigid-foldability. We believe that this theoretical progress will cast light on more engineering applications where transformable piecewise-rigid structures are needed.

Another topic we want to introduce is the generalization on the geometry of origami metamaterial, starting from studying a rigid origami ring structure consisting of four degree-4 vertices. Metamaterial is a man-made material assembled periodically from a unit cell. In mechanical engineering, it has special properties which goes beyond traditional materials, such as strong-lightweight, tunable stiffness, negative compressibility, vanishing shear modulus, negative Poisson's ratio and controllable instability or bistability. Such exotic material properties are derived from the microstructural geometry, rather than from their material composition. Due to these special properties, metamaterials have been widely applied in almost all subdisciplines of engineering.

Origami metamaterial is a mechanical metamaterial inspired by origami. The rigid-foldability of the whole structure allows a relatively large range of deformation compared to traditional elastic materials. Some examples are origami stacking metamaterials and origami tubes. The rigid folding motion induces kinematic properties such as the negative Poisson's ratio, while other mechanical properties related to stiffness, compressibility, modulus and stability will rely on elastic analysis. The extension on geometry of origami metamaterial would be constructive to creating foldable material with more special mechanical and electromagnetic properties.

References

1. S. J. P. CALLENS & A. A. ZADPOOR, From flat sheets to curved geometries: Origami and kirigami approaches, *Mater. Today*, **21**, 241–264 (2018).
2. Z. HE & S. D. GUEST., On rigid origami II: Quadrilateral creased papers, *Proc. R. Soc. A*, **476**, 20200020 (2020).

Programming Poynting effect and nonlinear moduli in metamaterials

Aref Ghorbani¹, David Dykstra², Corentin Coulais², Daniel Bonn², Erik van der Linden¹ & Mehdi Habibi¹

¹ Laboratory of Physics and Physical Chemistry of Foods, Wageningen University, 6708WG Wageningen, The Netherlands

² Institute of Physics, University of Amsterdam, 1098XH Amsterdam, The Netherlands
mehdi.habibi@wur.nl

Poynting effect is an interesting nonlinear effect that manifests itself as extension of the material in the direction perpendicular to applied shear deformation [1]. This nonlinear effect is attributed to nonlinear finite strain elasticity and can be described by classical hyper-elastic models such as neo-Hookean and Mooney-Rivlin models. While conventional materials such as piano wires of Poynting show a positive Poynting effect (dilation under torsion), complex materials such as biopolymers and designed structures can exhibit a negative Poynting effect, causing a contraction under a fixed-load or negative normal force at a fixed-gap. Here, we ask the question of whether a sign programmable Poynting effect can be achieved in rationally designed structures. In recent years, rational design of artificial materials has revolutionized material science by enabling mechanical properties that were previously inaccessible. Although in many real-world applications materials undergo multiloading deformations (e.g. compression and shear), interestingly, almost all studies on mechanical metamaterials have focused on uniaxial loading. Therefore, multiloading deformations that are often nonlinear such as coupling between shear and normal responses in metamaterials have remained completely unexplored. In this talk we explain how to engineer a metamaterial that can be programmed, by its design, to contract or extend under torsion (Fig. 1). First, we show that our system exhibits a novel type of Poynting effect, where axial compression induces nonlinear torsion. Then we program the Poynting effect of the structure from initial negative values to zero and positive values via a pre-compression applied prior to torsion. Furthermore, we successfully modeled the experimental system using an energy minimization method. The model identifies buckling of the ligaments and self-contact as the essential design elements to achieve a programmable Poynting effect in a metamaterial. Our analytical approach opens avenues for bottom-up programming of the shear and normal mechanical responses of metamaterials based on self-contact as a mechanical feedback mechanism. Our work opens avenues for programming nonlinear elastic response of materials by rational design with potential applications in designing mechanical switches and machine materials.

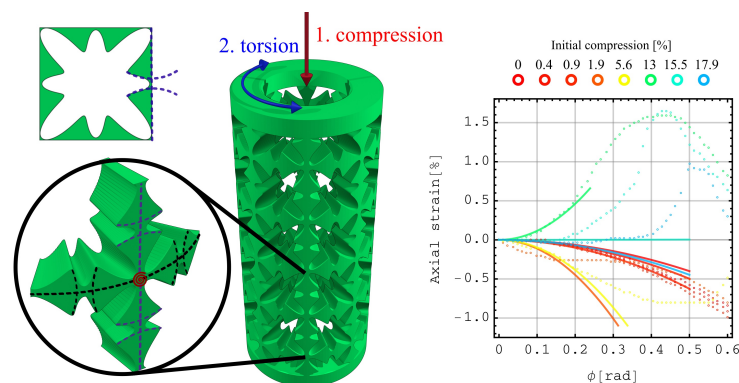


Figure 1. Cylindrical meta-structures can be programmed to show contraction or dilation under torsion.

References

1. J. H. POYNTING, On pressure perpendicular to the shear planes in finite pure shears, and on the lengthening of loaded wires when twisted, *Proc. R. Soc. A*, **82**, 546–559 (1909).

Explicit analysis of catastrophe on a Timoshenko beam

Marwan Hariz¹, Loïc Le Marrec¹ & Jean Lerbet²

¹ Univ Rennes, CNRS, IRMAR - UMR 6625, F-35000 Rennes, France

² Université Paris-Saclay, CNRS, Univ Évry Val-d'Essonne, Laboratoire de Mathématiques et Modélisation d'Évry, 91037 Évry-Courcouronnes, France

marwan.hariz94@gmail.com

Analytical solutions of a plane, quasi-static but large transformation of a Timoshenko beam is exposed. The problem is first re-formulated in the form of a Cauchy initial value problem where load (force and moment) is prescribed at one end and kinematics (translation, rotation) at another. With such a formalism, solutions are explicit for any load. The existence, uniqueness and regularity of the solution of the problem are proven. Therefore, analytical post-buckling solutions were found with different regimes driven explicitly by two invariants of the problem. Pure shear follower load is examined where explicit solutions are obtained in terms of kinematic and dynamical variables. Qualitative and quantitative analyses are illustrated.

A boundary value problem is presented, where physical quantities (of load, position or section orientation) are prescribed at both ends. An explicit solution is presented in the case of dead load (N_ℓ) at one end whereas the orientation of the section is controlled at the other. In this case, a brutal change of the configuration of the beam is observed which leads to a catastrophic instability. Here, an explicit solution is a way to anticipate such a catastrophe as it is the occasion to predict and control the parameters driving this phenomenon.

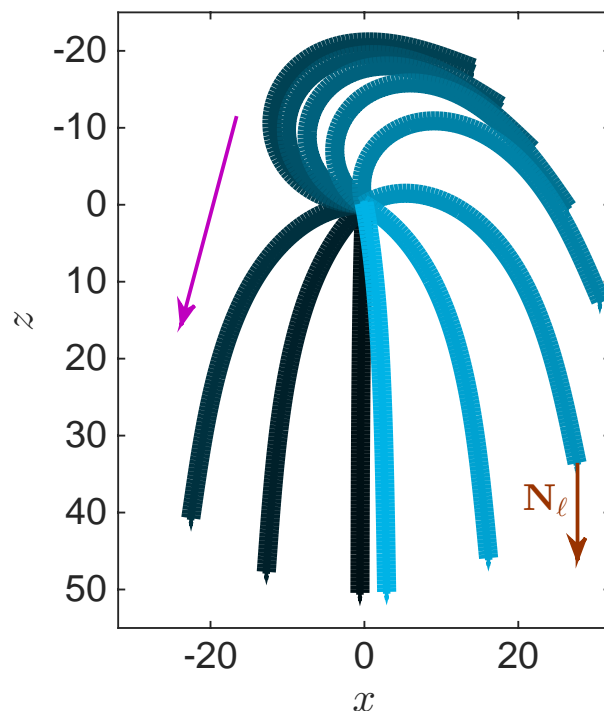


Figure 1. Successive configurations for various values of θ_0 respecting a boundary condition command. The purple arrow highlights the brutal transition of the configurations during the catastrophe.

Déformation de plaques élasto-poreuses kirigamis sous écoulement

Tom Marzin, Emmanuel de Langre & Sophie Ramananarivo

Laboratoire d'hydrodynamique de L'école Polytechnique - Boulevard des Maréchaux, 91120 Palaiseau
tom.marzin@polytechnique.edu

Notre étude porte sur la déformation sous écoulement de structures minces et extrêmement déformables, les kirigamis (Fig. 1 (a)). Fabriqués selon un motif de découpes programmable, ces structures exhibent des propriétés exotiques : porosité, élasticité non linéaire [1]... La présence de coupures permet au matériau de s'ouvrir sous traction et ainsi de passer d'une forme plane à des géométries 3D arbitrairement complexes [2], dont les propriétés mécaniques sont directement fonction du schéma de découpe. Ce système agit comme une structure poro-élastique adaptative, l'écoulement transverse déforme le kirigami, ouvre ses pores, qui à leur tour modifient l'écoulement (Fig. 1 (a, b)). La déformation est multi-échelle,

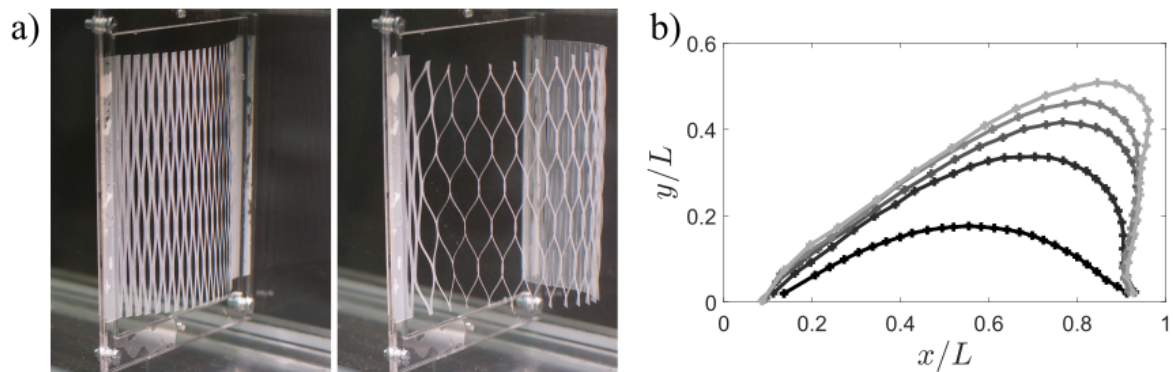


Figure 1. (a) Déformations typiques d'un kirigami soumis à un écoulement transverse. (b) Déformation (vue du dessus) du même kirigami pour des vitesses d'écoulement croissantes (échelle de gris, de 4 à 21 cm/s).

le mouvement hors plan des cellules élémentaires engendre des forces hydrodynamiques locales qui permet une déformation globale de la structure. Ainsi pour un schéma initialement uniforme et symétrique, la rotation des cellules permet d'atteindre des déformations asymétriques (Fig. 1(b)), brisant ainsi la symétrie initiale du système.

Notre démarche expérimentale est complétée par un modèle théorique continu nous permettant de capturer les interactions multi-échelles opérant lors de la déformation de la structure elasto-poreuse sous écoulement.

La grande variabilité de paramètres expérimentaux font des kirigamis des candidats idéals dans la programmation de systèmes déformables sous écoulement.

Références

1. M. ISOBE & K. OKUMURA, Initial rigid response and softening transition of highly stretchable kirigami sheet materials, *Sci. Rep.*, **6**, 1–6 (2016).
2. S. J. CALLENS & A. A. ZADPOOR, From flat sheets to curved geometries: Origami and kirigami approaches, *Mater. Today*, **1**, 241–264, (2018).

Simulating wrinkled inflatables (and other folded thin shells)

Mélina Skouras

ANIMA, Inria Grenoble - Rhône-Alpes, 655 avenue de l'Europe, 38 334 Montbonnot Cedex, France
melina.skouras@inria.fr

Inflatable structures are made of flat planar membranes that are sealed or sewn to each other and that assume complex curved shapes once pressurized. The numerical simulation of such structures is particularly challenging due to the presence of wrinkles that form at the locations of the seams: not only do we need to finely discretize the mesh in order to accurately reproduce the geometry of these wrinkles, but we also have to cope with the numerical instabilities that arise in the system.

In this presentation, I will show that relying on tension field theory to convexify the constitutive material law of the membrane material allows us to correctly predict the global shape of the structure, even when we use coarsely discretized meshes. Furthermore, we can subsequently recover the geometry of the missing wrinkles by parametrizing them by an amplitude and phase field that we solve for over the coarse base mesh. This approach allows us to recover complex wrinkle patterns with wavelength much smaller than the resolution of the base mesh while requiring much fewer degrees of freedom than traditional shell solvers. We validate our method by comparing our results to those obtained by both high resolution numerical simulations and physical experiments.

Instabilité de flambage par confinement géométrique de disques minces

Tristan Suzanne, Marc Georgelin, Gwenn Boëdec & Julien Deschamps

Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, Marseille, France
suzanne@irphe.univ-mrs.fr

Lorsqu'une plaque mince est soumise à une tension ou à une compression, elle peut être amenée à subir des instabilités de flambage et à se déformer hors de son plan [1], formant alors des ondulations périodiques appelées *rides élastiques*. Ce phénomène est étudié dans des domaines divers allant de l'ingénierie (processus d'emboutissage), à la métrologie (détermination des propriétés de films élastiques minces).

Nous allons ici nous pencher sur l'apparition de ces instabilités lorsque celles-ci résultent d'un confinement géométrique, en forçant une plaque circulaire mince à pénétrer dans un cylindre creux à l'aide d'une pointe. Pour cela, nous disposons de cylindres et de disques élastiques de tailles différentes (dont le rapport d'aspect est noté α), ainsi que d'un indenteur monté sur une vis micrométrique qui permet de contrôler la profondeur d'indentation δ au centre du disque. Au-delà d'une indentation critique δ_c , on observe que la partie extérieure du disque initialement axisymétrique (encadré rouge sur la figure), se déstabilise et forme des *rides* (encadrés bleus sur la figure). Nous avons ainsi étudié expérimentalement l'évolution du seuil d'apparition de ces *rides élastiques* (δ_c) en fonction de α et avons mené une analyse de stabilité à partir des équations de Föppl-von Kármán [2] (cf. Fig. 1). Il est à noter que cette étude est menée dans un régime de déformations purement élastiques.

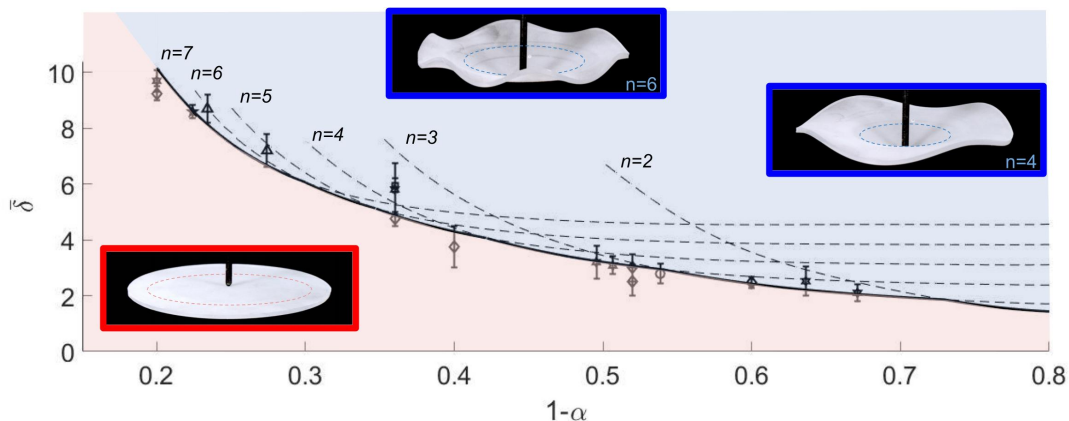


Figure 1. Enveloppe d'instabilité du mode axisymétrique calculée numériquement (courbe noire pleine), avec mesures expérimentales. Les seuils de stabilité des perturbations à n rides sont représentés en pointillés et les expériences faites sur des disques de propriétés distinctes (module d'Young/épaisseur) par différents symboles.

Références

1. C. D. COMAN & D. M. HAUGHTON, On some approximate methods for the tensile instabilities of thin annular plates, *J. Eng. Math.*, **56**, 79–99 (2006).
2. M. DELAPIERRE, D. CHAKRABORTY, J. E. SADER & S. PELLEGRINO, Wrinkling of transversely loaded spinning membranes, *Int. J. Solids Struct.*, **139–140**, 163–173 (2018).

**Exposés longs de la 24^e Rencontre
du Non-Linéaire**

Génération de topographie par fonte et solidification dans un écoulement cisailé turbulent

Louis-Alexandre Couston^{1,2,3}, Eric Hester⁴, Benjamin Favier⁵, John R. Taylor², Paul R. Holland¹ & Adrian Jenkins⁶

¹ British Antarctic Survey, Cambridge, UK

² Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge, Cambridge, UK

³ Univ Lyon, Ens de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

⁴ Department of Mathematics and Statistics, University of Sydney, Australia

⁵ Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre, Aix-Marseille Université, Marseille, France

⁶ Department of Geography and Environmental Sciences, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, UK

louis.couston@ens-lyon.fr

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 nous présenterons 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 [2]. Dans ce régime, nous montrerons 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. Nous discuterons 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, nous évoquerons l’effort numérique nécessaire pour étudier l’impact de motifs topographiques 3D en forme d’alcôves prédits théoriquement et observés en laboratoire sur la fonte des glaces [3].

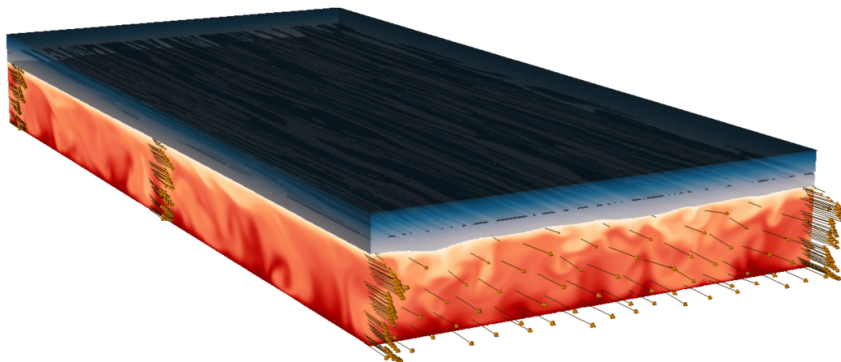


Figure 1. Champ de température pour un écoulement cisailé ($T > 0^\circ\text{C}$ en rouge dans le liquide) au contact d’une couche de glace ($T \leq 0^\circ\text{C}$ en bleu dans le solide) et vitesses instantanées (flèches).

Références

1. B. FAVIER, J. PURSEED & L. DUCHEMIN, Rayleigh–Bénard convection with a melting boundary, *J. Fluid Mech.*, **858**, 437–473 (2019).
2. L.-A. COUSTON, E. HESTER, B. FAVIER, J. R. TAYLOR, P. R. HOLLAND & A. JENKINS, Topography generation by melting and freezing in a turbulent shear flow, *J. Fluid Mech.*, **911**, A44 (2021).
3. P. CLAUDIN, O. DURÁN & B. ANDREOTTI, Dissolution instability and roughening transition, *J. Fluid Mech.*, **832**, R2 (2017).

Imagerie acoustique de la propagation d'un choc dans un métallique

E. Cuenca^{1,2,3}, M. Ducouso¹, L. Videau⁴, L. Berthe² & F. Coulouvrat³

¹ Safran Tech, Rue des jeunes Bois, 78114 Magny les Hameaux France

² Laboratoire PIMM, UMR 8006, ENSAM, CNRS, CNAM, HESAM, 151 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

³ Sorbonne Université, Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR CNRS 7190, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France

⁴ CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon, France

mathieu.ducouso@safrangroup.com

Quand une source laser impulsionnelle de puissance ($>109 \text{ W/cm}^2$, 10 ns) est focalisée sur une cible solide opaque, sa surface peut être sublimée en un plasma dense qui, en se détendant, engendre la propagation d'un choc dans la cible. Les applications du choc laser vont de l'ingénierie [1] à la caractérisation des diagrammes de phase aux hautes pressions et températures. [2] Cette dernière application a été l'une des principales motivations au développement des lasers à électrons libres (X-FEL), pour des applications d'astrophysique. Dans ces expériences, des ondes de pression de quelques centaines de GPa sont générées par laser et la réponse de la matière à l'onde de choc est étudiée à travers différents diagnostics X résolus en temps. Ces grands équipements scientifiques (plus de 4 km de long pour LCLS) sont néanmoins difficiles d'accès car peu nombreux et très demandés. De plus, malgré leur grande versatilité, les diagnostics peuvent être contraignants (épaisseur des échantillons, interprétation des données, sensibilité, ...). Un outil d'étude des chocs, complémentaire des moyens X-FEL, mais à l'échelle d'un laboratoire paraît donc nécessaire.

Nous proposons dans cette étude d'utiliser les variations locales de la densité et des autres propriétés mécaniques engendrées par le choc sur la matière pour l'étudier à l'aide d'ondes planes élastiques. [3] Le schéma expérimental est le suivant : considérant une cible métallique de 10 mm d'épaisseur environ, une onde de choc est générée par laser d'un côté, et une onde plane élastique est émise à l'aide d'une sonde multi-éléments depuis la face opposée. On détecte avec la même sonde multi-éléments la partie diffractée de l'onde plane sur le choc. Un délai d'émission entre choc et onde plane permet d'imager la propagation du choc dans l'ensemble du volume de l'échantillon. Des éléments théoriques, proposés par Burgers et Brillouin au milieu du XX^e siècle, et complétés par nos propres études théoriques et numériques, permettent une première interprétation des résultats expérimentaux.

Les applications de ce nouveau moyen d'imagerie des chocs semblent larges, notamment pour des études en sciences non linéaires des matériaux (réflexion de Mach dans les matériaux solides, propagation des chocs dans des matériaux hétérogènes, étude des comportements non linéaires des matériaux sous chocs, ...).

Références

1. M. DUCOUSO *et al.*, Quantitative evaluation of the mechanical strength of titanium/composite bonding using laser-generated shock waves, *Appl. Phys. Lett.*, **112**, 111904 (2018).
2. A. DENOEUDE *et al.*, Dynamic X-ray diffraction observation of shocked solid, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **13**, 113 (2016).
3. M. DUCOUSO *et al.*, Bulk ultrasonic imaging of shock wave propagation in opaque solids, soumis à *Phys. Rev. Lett.* (2021).

Mise en évidence expérimentale d'une hystérésis entre deux régimes de jets zonaux : une résonance d'ondes de Rossby

Daphné Lemasquierier, Benjamin Favier & Michael Le Bars

Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, Marseille, 13013, France
lemasquierier.pro@protonmail.com

Les jets zonaux sont d'intenses courants est-ouest observés notamment sur Jupiter où ils sont responsables de la zonation des nuages. Le couplage de ces structures grande-échelle, de dynamique lente, avec la turbulence à petite échelle reste aujourd'hui mal compris, et nous proposons de l'étudier expérimentalement. Nous utilisons une cuve cylindrique d'un mètre de diamètre, remplie d'eau, en rotation rapide. Sous l'effet de la rotation, la surface libre devient paraboloidale. La variation de la hauteur d'eau avec le rayon est alors analogue à la variation latitudinale de la force de Coriolis due à la sphéricité de la planète (effet- β topographique). Nous ajoutons un fond sculpté à la base de la cuve pour que l'effet- β soit spatialement uniforme. Enfin, nous forçons un écoulement à petite échelle en établissant une circulation d'eau à travers 128 points d'injection et d'aspiration équidistants, distribués en alternance le long de six couronnes.

Nos mesures de vélocimétrie par image de particules montrent que l'écoulement s'organise spontanément en de multiples jets zonaux instantanés, progrades et rétrogrades. Nous identifions une bifurcation entre deux régimes de jets (figure 1). Dans le premier régime, obtenu à faible amplitude de forçage, les jets sont stationnaires, de faible intensité, et localement forcés par les tensions de Reynolds émanant de notre forçage. Dans le second régime, à haute amplitude de forçage, les jets sont beaucoup plus intenses et s'équilibrent à une échelle plus grande que celle du forçage. Pour une gamme de forçage intermédiaire, les deux régimes coexistent, ce qui démontre une bistabilité. Une modélisation théorique, basée sur l'approximation quasi-géostrophique, montre que cette transition et l'hystérésis associée résultent d'une résonance entre les ondes de Rossby forcées et l'écoulement zonal qu'elles génèrent [1]. Ces résultats soulignent l'importance du couplage non linéaire entre ondes et écoulement zonal dans la dynamique finale des jets.

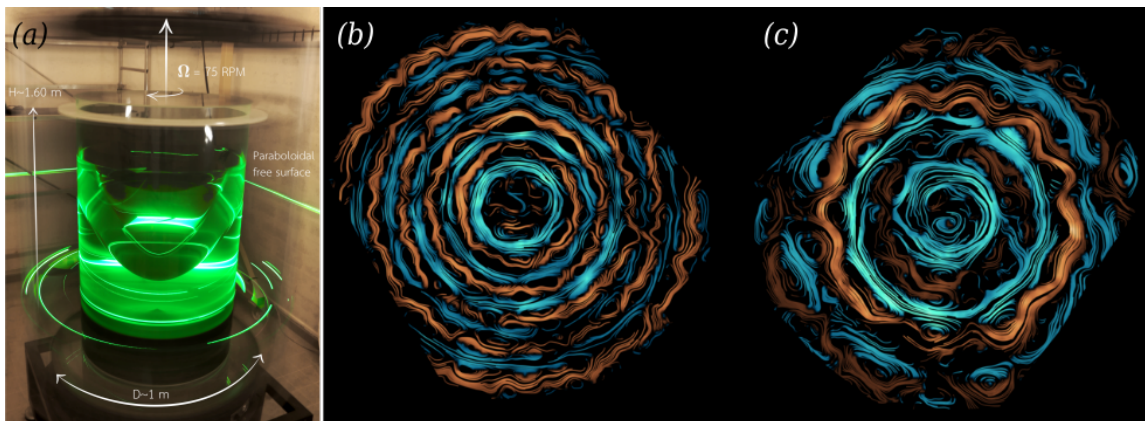


Figure 1. (a) Dispositif expérimental. (b) Régime I (faible amplitude de forçage). (c) Régime II (haute amplitude de forçage). Les lignes de courant sont tracées à partir des champs de vitesse mesurés expérimentalement, quand le système a atteint un état stationnaire. L'échelle de couleur représente la vitesse azimutale (rouge : prograde, bleu : rétrograde) et atteint $\pm 0,8$ cm/s pour le régime I, et $\pm 4,0$ cm/s pour le régime II.

Références

1. D. LEMASQUIERIER, B. FAVIER & M. LE BARS, Zonal jets at the laboratory scale: Hysteresis and Rossby waves resonance, *J. Fluid Mech.*, **910**, A18 (2021).

Slow walkers in a propagating wave field

Olivier Devauchelle¹, Éric Lajeunesse¹, François James², Christophe Josserand³ & Pierre-Yves Lagrée⁴

¹ Institut de Physique du Globe de Paris, F-75238 Paris, France

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

³ LadHyX, CNRS and École Polytechnique, UMR 7646, IP Paris, 91128 Palaiseau, France

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

devauchelle@ipgp.fr

Since Couder *et al.* [1] noted that a droplet of silicon oil could bounce on a vibrated bath of the same liquid, and roam across the latter's surface in response to the Faraday wave it excites, this wave-particle couple has revealed an ever-increasing variety of odd traits [2,3]. Its strange behavior irresistibly reminds one of quantum systems [4], although the analogy remains debated [5]. As experimenters' developed their ability to handle bouncing droplets, the theoretical models that represent them evolved from low-dimensional, dynamical systems [6] to refined representations of the wave field coupled to the vertical dynamics of the droplet [7]. We propose a hybrid model which combines a simplified wave field, in the form of the Helmholtz equation, with a first-order relaxation in lieu of memory [8]. This model uses the stroboscopic approximation introduced in the early models to guide the particle's horizontal motion. We find that, within this framework, the phase lag between the the droplet's bounces and the surrounding wave controls the appearance of walkers, and their travel across the bath. An unexpected property of this simple model is that it naturally contains propagating waves—as opposed to standing ones, like the Faraday wave. More surprisingly still, the nature of the wave does not affect much the behavior of the walker, suggesting that the bouncing droplet belongs to a broader class of systems, which extends beyond fluid mechanics [9].

References

1. Y. COUDER, S. PROTIÈRE, E. FORT & A. BOUDAUD, Dynamical phenomena: Walking and orbiting droplets, *Nature*, **437**, 208 (2005).
2. S. PROTIÈRE, A. BOUDAUD & Y. COUDER, Particle-wave association on a fluid interface, *J. Fluid Mech.*, **554**, 85–108 (2006).
3. Y. COUDER & E. FORT, Single-particle diffraction and interference at a macroscopic scale, *Phys. Rev. Lett.*, **97**, 154101 (2006).
4. J. W. M. BUSH, Quantum mechanics writ large, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **107**, 17455–17456 (2010).
5. A. ANDERSEN, J. MADSEN, C. REICHEL, S. R. AHL, B. LAUTRUP, C. ELLEGAARD, M. T. LEVINSSEN & T. BOHR, Double-slit experiment with single wave-driven particles and its relation to quantum mechanics, *Phys. Rev. E*, **92**, 013006 (2015).
6. 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).
7. 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).
8. O. DEVAUCHELLE, E. LAJEUNESSE, F. JAMES, C. JOSSERAND, P.-Y. LAGRÉE, Walkers in a wave field with memory, *C. R. Mécanique*, **348**, 591–611 (2020).
9. Y. DAGAN & J. W. M. BUSH, Hydrodynamic quantum field theory: The free particle *C. R. Mécanique*, **348**, 555–571 (2020).

La vision dans les modèles de mouvements collectifs

Renaud Bastien¹ & Pawel Romanczuk²

¹ Centre de Recherches Interdisciplinaires, Paris, France

² 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.

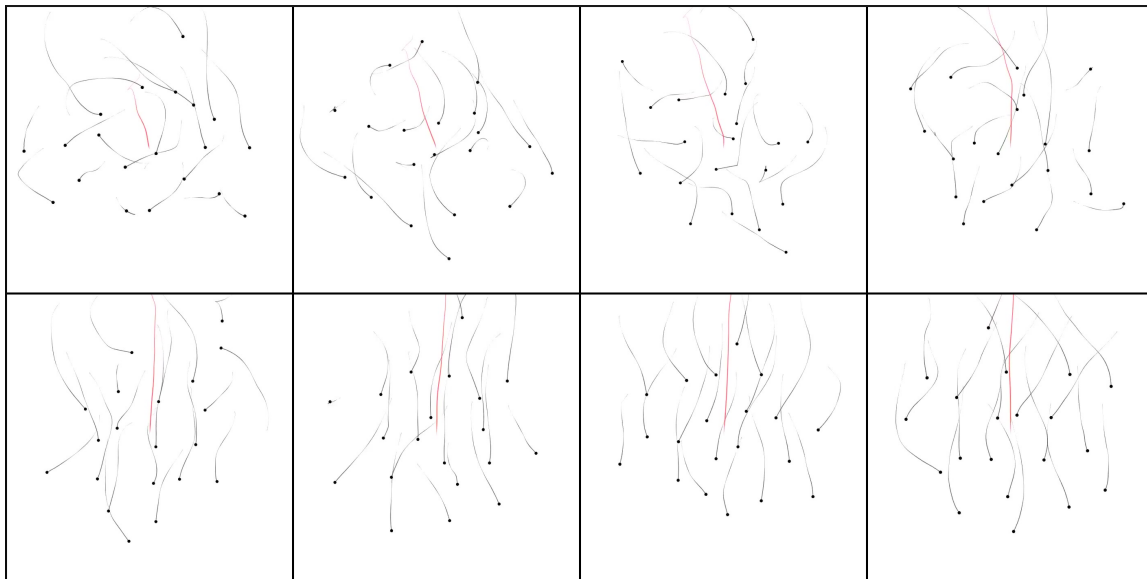


Figure 1. Dans le sens de la lecture, partant d'une configuration désordonnée, les individus se polarisent uniquement au travers de leur vision, en l'absence de collisions ou d'alignement explicite. La taille du système est directement donnée par la taille des individus, les images sont centrées sur 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.*, **6**, eaay0792 (2020).

Compétition entre réduction des inégalités et préservation du bien public dans un réseau altruiste

Ariadna Fossas Tenas¹, Bastiaan W. Ibelings^{1,2}, Jérôme Kasparian^{1,3}, Jaya Krishnakumar^{1,4} & Jérémy Laurent-Lucchetti^{1,4}

¹ Institut des sciences de l'environnement, Université de Genève, Bd Carl Vogt 66, 1211 Genève 4, Suisse

² Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève, Bd Carl Vogt 66, 1211 Genève 4, Suisse

³ Groupe de physique appliquée, Université de Genève, Chemin de Pinchat 22, 1211 Genève 4, Suisse

⁴ Faculté d'économie et management, Université de Genève, Uni Mail, Boulevard du Pont d'Arve 40, 1205 Genève, Suisse

ariadna.fossastenas@unige.ch

L'altruisme est souvent évoqué parmi les solutions aux problèmes d'inégalités et de préservation des biens publics. Notre intuition semble nous conforter dans l'idée que se soucier d'autrui, permet non seulement le transfert de richesses vers les plus démunis mais aide aussi à internaliser dans nos décisions les externalités responsables de la tragédie des communs. En ce qui concerne l'impact de l'altruisme dans la réduction des inégalités, Bourlès, Bramoullé et Perez-Richet dans [1] signalent, par l'étude d'un modèle de théorie de jeux en réseau, l'importance de tenir compte de la topologie du réseau altruiste sous-jacent.

Nous avons ajouté au modèle original une variable correspondant à un bien public qui se dégrade proportionnellement au carré de la consommation totale et qui impacte tous les joueurs de façon homogène. Chaque joueur se retrouve ainsi face au choix suivant : décider comment allouer son budget entre sa propre consommation, le transfert aux joueurs auxquels il est relié par un lien altruiste et la participation à la préservation du bien public. Le but des joueurs étant de maximiser leur fonction d'utilité sociale, c'est-à-dire, la somme de leur utilité personnelle et les utilités personnelles de leurs relations, pondérées par la force des différents liens altruistes. La réduction des inégalités peut se faire par deux mécanismes : soit par transferts directs entre joueurs soit par des apports des joueurs plus riches au bien commun. Mais du fait de la finitude des budgets personnels, la réduction des inégalités et la production du bien public sont couplées.

Dans cette communication, nous discuterons de l'interaction entre la topologie du réseau altruiste sous-jacent et la capacité (ou incapacité) du paramètre d'altruisme à réduire, simultanément, les inégalités et la surconsommation de bien public. Le choix de fonctions d'utilité assez classiques permet d'établir l'existence d'un optimum social de consommation qui ne dépend pas de si l'on maximise la somme des utilités personnelles ou la somme des utilités sociales des joueurs. Ainsi, nous pourrions comparer aisément la consommation totale obtenue dans l'ensemble des équilibres de Nash du modèle avec l'optimum social et mesurer la réduction des inégalités de consommation à l'aide du coefficient de Gini. La tendance émergente est claire, dans des réseaux où le nombre de connexions par joueur est limité, la réduction des inégalités se fait, au-delà d'un certain seuil (qui dépend essentiellement du réseau), au détriment de la préservation du bien public, montrant ainsi une tension entre les deux problématiques.

Références

1. R. BOURLÈS, Y. BRAMOULLÉ & E. PEREZ-RICHET, Altruism in networks, *Econometrica*, **85**, 675–689 (2017)

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

Justine Parmentier & Tristan Gilet

Microfluidics Lab, Département d'Aérodynamique et de 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 jusqu'à une dizaine de 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 pendant sa chute. Des 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 la dispersion du point d'impact à la hauteur de chute, et montrons enfin que la largeur moyenne de diverses stalagmites est corrélée à l'écart-type de cette dispersion.

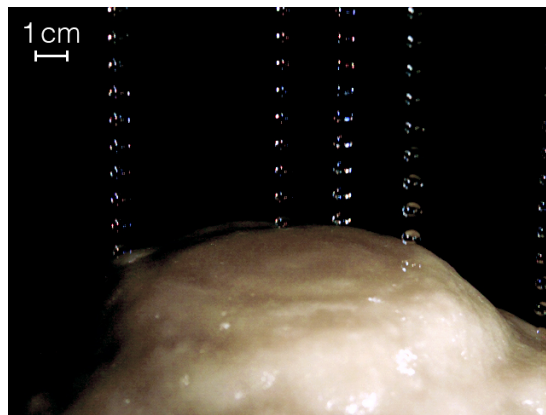


Figure 1. Les gouttes tombant d'une stalactite n'atterrissent pas au même endroit sur la stalagmite située dessous. Montage de vidéos prises à Orgnac (France), images séparées de 740 μ s. Crédit : *The Royal Society* 2019 [2].

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).

Ondes non linéaires générées par effondrement d'un milieu granulaire dans l'eau

Wladimir Sarlin¹, Cyprien Morize¹, Alban Sauret² & Philippe Gondret¹

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, Laboratoire FAST, F-91405 Orsay, France

² University of California, Santa Barbara, Department of Mechanical Engineering, USA

wladimir.sarlin1@universite-paris-saclay.fr

Les tsunamis générés par des glissements de terrains sont des phénomènes dangereux et destructeurs, avec de nombreux cas répertoriés au cours des dernières décennies. Provoqués par des événements géologiques mobilisant de larges volumes de matière, comme la chute d'un pan de montagne dans l'eau, ils peuvent mener à la génération de vagues de grandes amplitudes. La complexité du mécanisme de formation de ces ondes non linéaires nécessite de prendre en compte la nature granulaire de l'effondrement [1]. Nous nous intéressons ici à une configuration modèle d'effondrement d'une colonne de grains rectangulaire, de hauteur et largeur initiales notées respectivement H_0 et L_0 , affleurant une cuve remplie d'eau de profondeur h_0 [2, 3]. Pour différentes géométries initiales de colonne et différentes profondeurs d'eau h_0 , nous observons trois régimes caractéristiques de vagues (Fig. 1).

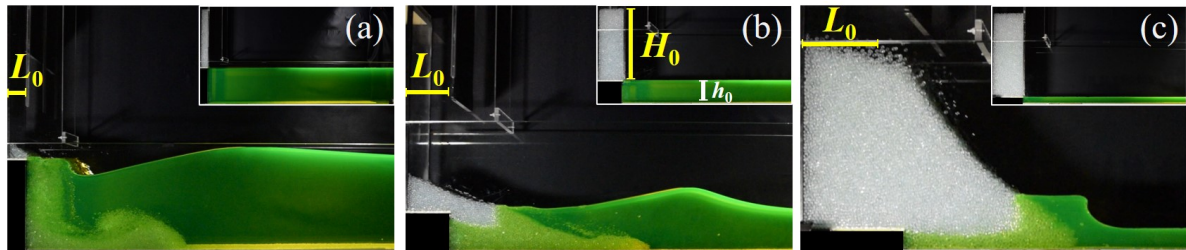


Figure 1. (a) Onde de transition non linéaire ($H_0 = 39$ cm, $L_0 = 5$ cm, $h_0 = 25$ cm et $Fr_f = 0,19$), (b) onde solitaire ($H_0 = 29$ cm, $L_0 = 10$ cm, $h_0 = 9$ cm et $Fr_f = 0,52$), et (c) ressaut hydraulique ($H_0 = 39$ cm, $L_0 = 14,5$ cm, $h_0 = 3$ cm et $Fr_f = 1,86$). Dans chaque figure, l'insert présente la configuration initiale de l'expérience.

L'évolution de l'amplitude et de la largeur des vagues générées, ainsi que l'avancée du front de grains dans l'eau et sa vitesse associée, sont mesurées par traitement et analyse d'images. Il est alors possible de définir un nombre de Froude local à l'interface grains-eau $Fr_f = v_f / \sqrt{gh_0}$ [2], rapport de la vitesse horizontale maximale v_f atteinte par le front granulaire à la vitesse des ondes de gravité linéaires en eau peu profonde. Trois régimes distincts sont observés dans la gamme de Fr_f étudiée : des ondes de transition non linéaires à faible Fr_f , des ondes solitaires à Fr_f modéré et enfin des ressauts hydrauliques à grands Fr_f . Chacun de ces trois régimes peut être caractérisé par des modèles adaptés d'ondes non linéaires.

Références

1. H. FRITZ, F. MOHAMMED & J. YOO, Lituya Bay landslide impact generated mega-tsunami 50th Anniversary, *Pure Appl. Geophys.*, **166**, 153–175 (2009).
2. M. ROBBE-SAULE, C. MORIZE, R. HENAFF, Y. BERTHO, A. SAURET & P. GONDRET, Experimental investigation of tsunami waves generated by granular collapse into water, *J. Fluid Mech.*, **907**, A11 (2021).
3. M. ROBBE-SAULE, C. MORIZE, Y. BERTHO, A. SAURET, A. HILDENBRAND & P. GONDRET, Tsunamis generated by granular landslides: From laboratory experiments to geophysical events, soumis à *Geophys. Res. Lett.* (2021).

Formation spontanée de nœuds sur une fibre flexible advectée par un écoulement chaotique

Benjamin Favier

Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, Marseille, 13013, France
 favier@irphe.univ-mrs.fr

Nous considérons le problème d'une fibre flexible mais inextensible advectée par un écoulement chaotique. Dans ce contexte, est-il possible que la fibre se noue spontanément [1]? En utilisant un modèle unidimensionnel de Cosserat pour la fibre, un couplage visqueux local entre la fibre et l'écoulement et un modèle discret pour les forces de contact, nous explorons la probabilité de trouver des nœuds le long de la fibre lorsque celle-ci interagit avec un écoulement ABC. Nous utilisons pour cela une librairie développée au sein de la communauté polymère [2] pour identifier systématiquement les nœuds potentiellement présents le long de la fibre (voir un exemple en Figure 1).

Une étude systématique permet de dégager une première phénoménologie pour cette transition topologique. La rigidité élastique de la fibre joue un rôle marginal pourvu qu'elle soit suffisamment faible pour autoriser le repliement de la fibre sur elle-même. La longueur de la fibre influe quant à elle très fortement sur l'émergence spontanée de nœuds. Des nœuds complexes de 8 croisements et plus sont observés mais certains nœuds, dont nous éluciderons les propriétés spécifiques, sont beaucoup plus probables que d'autres. L'exposant de Lyapunov de l'écoulement semble agir favorablement sur l'apparition des nœuds, tandis que l'hélicité moyenne, propre aux écoulements ABC, semble sans effet notable. Les forces de contact sont enfin fondamentales puisque les configurations nouées sont stables sur des temps très longs par rapport au temps de retournement de l'écoulement, ce qui n'est pas observé lorsque la fibre est libre de s'intersecter.

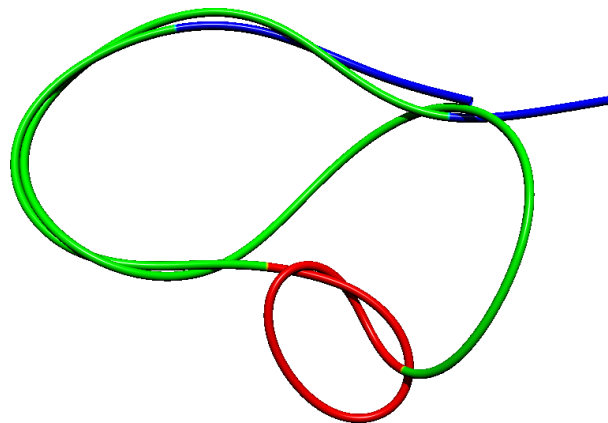


Figure 1. Exemple de nœuds composites observés sur une fibre flexible 6 fois plus longue que la longueur intégrale de l'écoulement. La partie rouge correspond à un nœud simple 3_1 , la partie verte à un nœud 5_2 tandis que la partie bleue est considérée comme non nouée.

Références

1. J. HICKFORD, R. JONES, S. COURRECH DU PONT & J. EGGERS, Knotting probability of a shaken ball-chain, *Phys. Rev. E*, **74**, 052101 (2006).
2. L. TUBIANA, G. POLLES, E. ORLANDINI & C. MICHELETTI, Kymoknot: A web server and software package to identify and locate knots in trajectories of linear or circular polymers, *Eur. Phys. J. E*, **41**, 72 (2018).

Synthèse non linéaire d'un gaz de solitons en hydrodynamique

Pierre Suret¹, Alexey Tikan¹, Félicien Bonnefoy², François Copie¹, Guillaume Ducrozet², Andrey Gelash³, Gaurav Prabhudesai⁴, Guillaume Michel⁵, Annette Cazaubiel⁶, Éric Falcon⁶, Gennady El⁷ & Stéphane Randoux¹

¹ Univ. Lille, CNRS, UMR 8523—PhLAM—Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59 000 Lille, France

² Ecole Centrale de Nantes, LHEEA, UMR 6598 CNRS, F-44 321 Nantes, France

³ Novosibirsk State University, 630090, Novosibirsk, Russia

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

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

⁶ Université de Paris, Université Paris Diderot, MSC, UMR 7057 CNRS, F-75 013 Paris, France

⁷ Department of Mathematics, Physics and Electrical Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, NE1 8ST, United Kingdom

stephane.randoux@univ-lille.fr

Nous présentons une expérience d'hydrodynamique réalisée dans un canal 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) dans laquelle un soliton est paramétré par une valeur propre complexe déterminant son amplitude et sa vitesse.

Nous réalisons la première synthèse non linéaire d'un train d'ondes constitué de 128 solitons densément répartis dans l'espace. Cet ensemble de solitons complètement paramétré par 128 valeurs propres dans l'espace spectral IST est synthétisé dans le monde physique grâce à des méthodes numériques développées récemment [1]. Le champ non linéaire généré dans le canal à une dimension représente un gaz de solitons dont les propriétés peuvent être examinées dans le cadre de la théorie cinétique des gaz de solitons introduite par Zakharov en 1971 [2].

Grâce à 20 sondes réparties régulièrement le long du canal, nous observons l'évolution spatio-temporelle du gaz dense de solitons [3]. En employant des méthodes d'analyse spectrale non linéaire, nous mesurons par ailleurs l'évolution spatio-temporelle du spectre des valeurs propres IST du gaz généré. Le nombre de solitons générés est suffisamment large pour que nous puissions effectuer la première mesure de la densité d'états du gaz de solitons (i.e. la distribution de probabilité des valeurs propres caractérisant le gaz de solitons dans l'espace IST) [3].

Les résultats obtenus constituent l'une des premières observations expérimentales d'un gaz de solitons [4] et participent au développement du champ de la turbulence intégrable [5].

Références

1. A. GELASH & D. AGAFONTSEV, Strongly interacting soliton gas and formation of rogue waves, *Phys. Rev. E*, **98**, 042210 (2018).
2. V. E. ZAKHAROV, Kinetic equations for solitons, *Sov. Phys. JETP*, **33**, 538–541 (1971).
3. P. SURET, A. TIKAN, F. BONNEFOY, F. COPIE, G. DUCROZET, A. GELASH, G. PRABHUDESAI, G. MICHEL, A. CAZAUBIEL, E. FALCON, G. EL & S. RANDOUX, Nonlinear spectral synthesis of soliton gas in deep-water surface gravity waves, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 264101 (2020).
4. I. REDOR, E. BARTHÉLEMY, H. MICHALLET, M. ONORATO & N. MORDANT, Experimental evidence of a hydrodynamic soliton gas, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 214502 (2019).
5. V. E. ZAKHAROV, Turbulence in integrable systems, *Stud. Appl. Math.*, **122**, 219–234 (2009).

Des ondes à polarité négative de Scott Russell aux eaux-mortes d'Ekman

Johan Fourdrinoy¹, Julien Dambrine², Madalina Petcu², Morgan Pierre² & Germain Rousseaux¹

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

² 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 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 suit un comportement non linéaire décrit par les équations de Boussinesq et Korteweg-de Vries [2, 3]. Ces derniers expliquent que cette onde solitaire peut être de polarité positive (élévation) ou négative (dépression) bien que cette dernière ne peut être observée dans un cas simple. Falcon et Fauve [4] ont réalisé une expérience dans un film mince de mercure et ont observé pour la première fois grâce aux effets capillaires cette solution non linéaire de polarité négative non topologique.

Néanmoins, que se passait-il lorsque John Scott Russell retirait la masse 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 ? Nous allons tâcher de répondre à ces questions dans cette présentation, en décrivant plusieurs régimes allant du régime linéaire du phénomène d'eau-morte [5–7], au régime fortement non-linéaire associé à la génération d'un bolus (masse cohérente ovoïde de fluides en recirculation immergée dans un milieu environnant de densités différentes).

Références

1. J. S. RUSSELL, Report on wave, *Report of the fourteenth meeting of the British Association for the Advancement of Science*, 311–390, York (1844).
2. J. BOUSSINESQ, *Essai sur la théorie des eaux courantes*, Imprimerie nationale (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, *Philos. Mag. J. Sci.*, **39**, 422–443 (1895).
4. E. FALCON, C. LAROCHE & S. FAUVE, Observation of depression solitary surface waves on a thin fluid layer, *Phys. Rev. Lett.*, **89**, 204501 (2002).
5. V. W. EKMAN, On dead water, *Norwegian North Polar Expedition 1893–1896* Longmans, Green and Co., London (1904).
6. M. MERCIER, R. VASSEUR & T. DAUXOIS, Resurrecting dead-water phenomenon, *Nonlinear Process. Geophys.*, **18**, 193–208 (2011).
7. F. FOURDRINOY, J. DAMBRINE, M. PETCU, M. PIERRE & G. ROUSSEAU, The dual nature of the dead-water phenomenon: Nansen versus Ekman wave-making drags, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **117**, 16739–16742 (2020).

Predator–prey plankton dynamics in turbulent wakes behind islands

Alice Jaccod¹, Stefano Berti², Enrico Calzavarini² & Sergio Chibbaro¹

¹ Sorbonne Université, CNRS, Institut Jean Le Rond d’Alembert, F-75005 Paris, France

² Univ. Lille, ULR 7512 - Unité de Mécanique de Lille Joseph Boussinesq (UML), F-59000 Lille, France
alice.jaccod@upmc.fr

Plankton constitutes the productive base of marine ecosystems and plays an important role in the global carbon dioxide cycle through the process of photosynthesis. The impact of ocean hydrodynamic conditions on the biological activity of plankton species has been a subject attracting the interest of researchers during several decades.

In the present study, we perform a well-resolved direct numerical simulation of a turbulent flow around an island, coupled to a predator–prey model of planktonic population dynamics, with the aim of investigating the conditions under which an algal bloom is observed. The impact on the plankton dynamics of the turbulent regime as well as of the island shape is studied, through the investigation of spectra of velocity and plankton population density. Moreover, we focus on the correlation between the flow structures and the plankton patchiness, particularly by analyzing the effect of the sub-grid scale dynamics. The main outcome is that the response and the spatial distribution of plankton depend crucially on the relation between the time scale associated to the flow and the time related to biological growth, while they are fairly independent on the geometrical details of the obstacle.

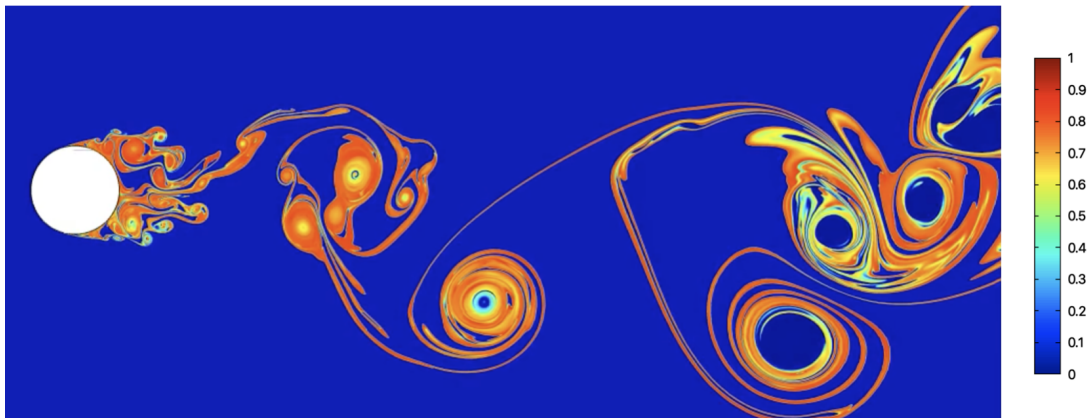


Figure 1. Snapshot of phytoplankton density at a certain instant of time for the simulation at Reynolds number equal to 20000.

Formation de motifs dynamiques par des micro-algues phototactiques

Alfredo L'Homme, Nicolas Desprat & Raphaël Jeanneret

Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Université de Paris, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

Adresse électronique non communiquée

De nombreux micro-organismes photosynthétiques (« phytoplancton ») ont également la capacité de s'orienter et se déplacer dans des gradients de lumière. Cette propriété appelée « phototaxis » leur permet de migrer vers les régions d'irradiance les plus adéquates, ni trop intense pour ne pas détériorer certaines fonctions vitales à la cellule, ni trop atténuée afin d'obtenir un flux de photons suffisant pour la photosynthèse. Nous avons récemment découvert qu'une population de telles cellules soumise à des champs de lumière intenses peut être instable, avec l'observation d'une densification locale du système évoluant vers différents motifs selon les caractéristiques du champ de lumière et de la nage des micro-algues (voir figure). Cette réponse collective, qui semble protéger les algues de la lumière par un effet d'ombrage, émerge probablement du couplage entre densité locale, propagation de la lumière et phototaxis. Dans cet exposé je présenterai les caractérisations expérimentales faites sur le système jusqu'à présent (avec des populations de l'algue *Chlamydomonas reinhardtii*), ainsi que les prémices du modèle théorique que nous commençons à développer, basé sur un système d'EDP non linéaires couplées, décrivant les variations du champ d'intensité lumineuse en fonction de la densité locale en algues ainsi que leur réponse phototactique (se basant sur le modèle très connu de Keller–Segel, développé initialement pour la chimiotaxis).

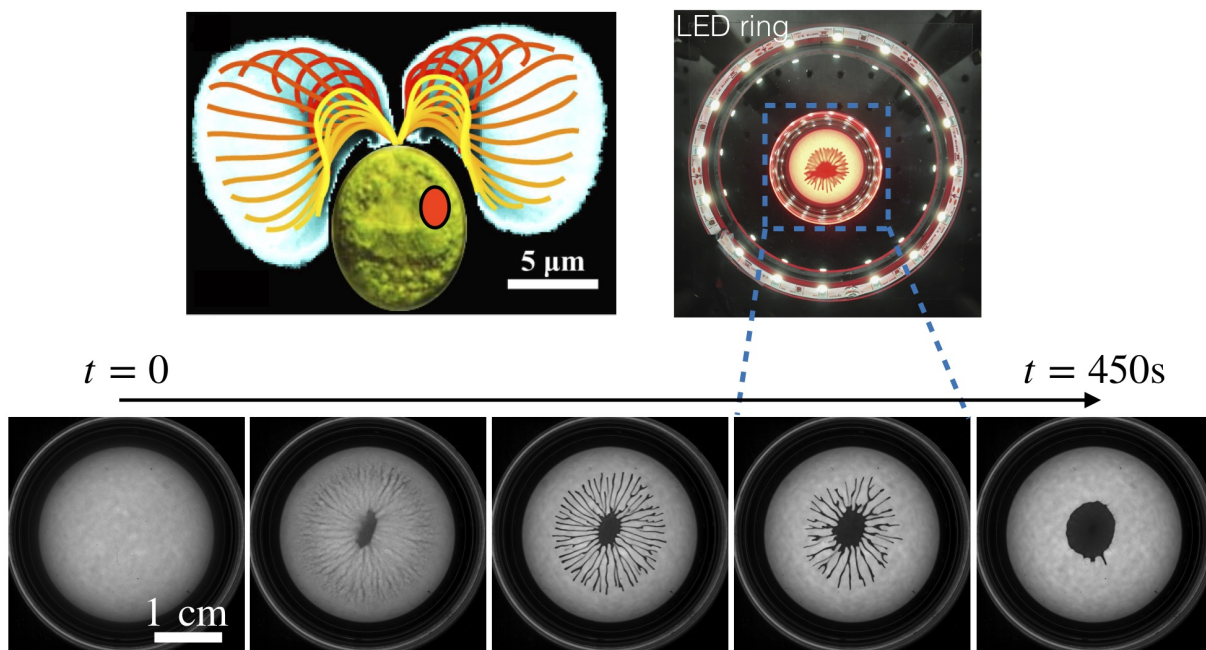


Figure 1. En haut à gauche : image d'une algue *Chlamydomonas reinhardtii* avec le battement des flagelles superposé et son détecteur de lumière primitif (« eyespot ») schématisé par une ellipse rouge. En haut à droite : exemple de géométrie étudiée. En bas : exemple d'évolution du système après avoir allumé la lumière à $t = 0$.

Manifestation de la courbure de Berry dans le tracé de rayon en géophysique

Nicolas Perez, Pierre Delplace & Antoine Venaille

Laboratoire de Physique (UMR CNRS 5672)
ENS de Lyon
46, allée d'Italie
F-69364 LYON CEDEX 07, FRANCE
nicolas.perez@ens-lyon.fr

Les phases géométriques, telles que la phase de Berry, permettent de comprendre un grand nombre de phénomènes physiques, de la précession du pendule de Foucault à l'effet Aharonov–Bohm [1]. La phase de Berry est générée par une quantité appelée la courbure de Berry, qui caractérise la géométrie locale d'un espace vectoriel paramétré sur une variété, par exemple celui des vecteurs propres (ou relations de polarisations) solutions d'un système d'équations de propagation, paramétrés sur l'espace des vecteurs d'onde. Une manifestation physique de cette courbure apparaît dans les équations du mouvement d'un paquet d'onde [2]. Une déviation des rayons induite par la courbure de Berry a été observée dans les domaines de la matière condensée, l'optique et la physique des atomes froids. Jusqu'à présent ces idées n'avaient pas été appliquées aux fluides géophysiques. Nous montrerons qu'il existe bien une manifestation physique de la courbure de Berry dans la dynamique d'ondes atmosphériques et océaniques [3]. À partir d'une méthode variationnelle appliquée à un ansatz WKB (Wentzel–Kramers–Brillouin) vectoriel, nous montrerons comment la courbure de Berry émerge dans les équations de tracé de rayon pour une large classe de modèles géophysiques. Nous illustrerons cet effet en considérant la dynamique d'ondes de surface en présence d'une force de Coriolis, pour le modèle d'eau peu profonde. Dans ce cas, la courbure de Berry induite par la rotation joue un rôle crucial dans la dynamique oscillatoire des paquets d'ondes autour de l'équateur. Le résultat obtenu prédit une correction dirigée vers l'est à la vitesse de groupe des ondes d'inertie–gravité, que les méthodes scalaires classiques ne permettent pas de mettre en lumière. Ces travaux mettent en avant le rôle de la géométrie des modes propres dans des domaines géophysiques et astrophysiques variés.

Références

1. M. V. BERRY, Quantal phase factors accompanying adiabatic changes, *Proc. R. Soc. Lond. A*, **392**, 45–57 (1984).
2. G. SUNDARAM & Q. NIU, Wave-packet dynamics in slowly perturbed crystals: Gradient corrections and Berry-phase effects, *Phys. Rev. B*, **59**, 14915 (1999).
3. N. PEREZ, P. DELPLACE & A. VENAILLE, Manifestation of Berry curvature in geophysical ray tracing, [arXiv:2010.05575](https://arxiv.org/abs/2010.05575) (2020).

Instabilité de Rayleigh–Plateau pour un mélange liquide binaire proche de son point critique

Raphael Saiseau^{1,2}, Ulysse Delabre² & Jean-Pierre Delville²

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057 CNRS, Université de Paris, Paris, France

² Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine (LOMA), UMR 5798 CNRS, Université de Bordeaux, Talence, France

raphael.saiseau@u-paris.fr

L'étude de la dynamique de structures liquides de taille caractéristique de plus en plus petite soulève des questions sur des hypothèses hydrodynamiques fondamentales. Le pincement d'une colonne liquide, par exemple, devrait voir sa dynamique modifiée lorsque la taille du cou atteint celle de la longueur des fluctuations thermiques ambiantes [1]. Cette nouvelle dynamique induite par l'influence grandissante de fluctuations de l'interface, habituellement considérée comme lisse, a été observée dans le cas de mélanges binaires quasi-critiques pour lesquels la taille des fluctuations du paramètre d'ordre diverge à l'approche du point critique [2]. Parallèlement des effets thermodynamiques, d'évaporation–condensation, sont aussi attendus à ces échelles [3] et commencent à être explorés.

Pour étudier ces divers mécanismes, l'interface d'une micro-émulsion quasi-critique diphasique est déformée à l'aide de la pression de radiation d'un laser focalisé formant des structures liquides stabilisées par pression de radiation, comme un pont liquide. Au cours de cet exposé, l'étude de l'instabilité de Rayleigh–Plateau d'un ligament liquide vous sera présentée où nous verrons qu'une description linéaire est insuffisante à rendre compte de la sélection des modes observés ainsi que de la première brisure.

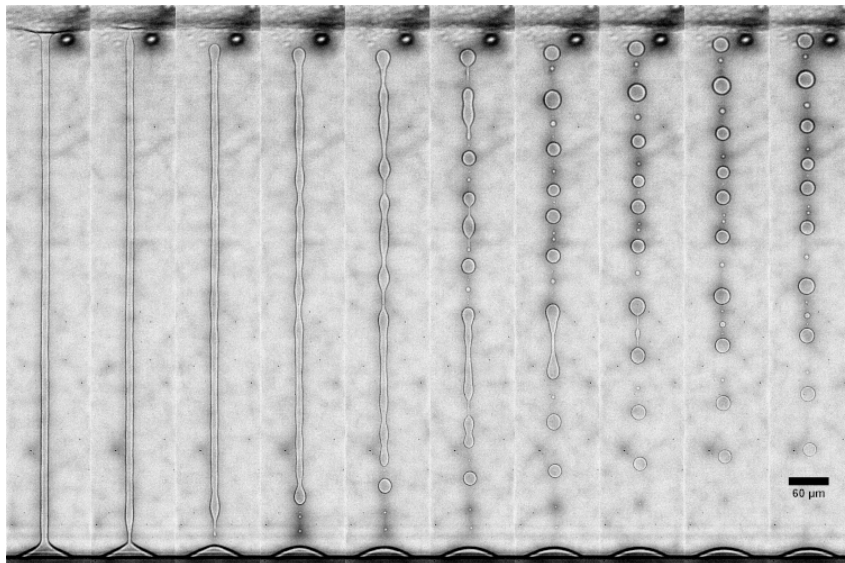


Figure 1. Séquence d'images montrant la déstabilisation d'un pont liquide par instabilité de Rayleigh-Plateau.

Références

1. J. EGGERS, Dynamics of liquid nanojets, *Phys. Rev. Lett.*, **89**, 084502 (2002).
2. J. PETIT, D. RIVIÈRE, H. KELLAY, & J.-P. DELVILLE, Break-up dynamics of fluctuating liquid threads, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **109**, 18327–18331 (2012).
3. W. KANG & U. LANDMAN, Universality crossover of the pinch-off shape profiles of collapsing liquid nano-bridges in vacuum and gaseous environments, *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 064504 (2007).

Contrôle d'interfaces liquides par vibrations

Benjamin Apffel¹, Samuel Hidalgo Caballero¹, Antonin Eddi² & Emmanuel Fort¹

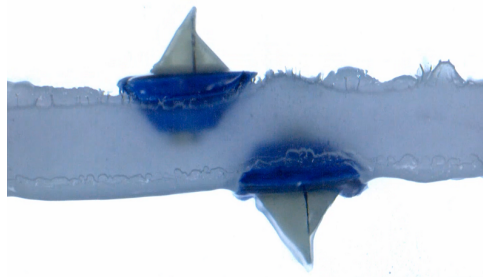
¹ ESPCI Paris, PSL University, CNRS, Institut Langevin, 1 rue Jussieu, F-75005 Paris, France.

² PMMH, CNRS, ESPCI Paris, Université PSL, Sorbonne Université, Université de Paris, F-75005, Paris, France

emmanuel.fort@espci.fr

Sur Terre, une interface liquide d'une taille supérieure à la taille capillaire sera horizontale du fait de la gravité. Sous certaines conditions, il est néanmoins possible d'observer sur un bain vibré une interface d'équilibre non plus horizontales mais résultant d'un compromis entre la gravité et les forces inertielles mises en jeu. Ces équilibres dynamiques inhabituels sont à rapprocher de nombreux autres exemples tels que la stabilisation de l'instabilité de Rayleigh–Taylor [1] [2] ou d'un pendule pesant de Kapitza [3] par des vibrations. Récemment, des simulations numériques [4] ont permis la caractérisation précise de la forme d'une interface de liquide vibrée et des expériences ont été menées en micro-gravité [5].

Nous proposons dans cette contribution une étude de ces positions d'équilibre pour un angle d'excitation quelconque. Les champs de vitesse mesurés à l'interface montrent qu'à l'équilibre la pression hydrostatique et un terme de pression dynamique type Bernoulli se compensent. Nous présenterons un modèle simple basé sur un pendule pesant équivalent prédisant quantitativement toutes les observations. Le rôle crucial des conditions aux limites sur l'existence de ces équilibres sera également discuté. On montrera notamment que les positions d'équilibres pour certains angles d'excitation sont globalement déstabilisées du seul fait de l'existence de couches limites visqueuses aux parois. Nous discuterons pour finir le cas d'une couche de liquide entre deux couches d'air relaxant la contrainte d'incompressibilité. Cette configuration permet la stabilisation de l'équilibre pour tous les angles d'excitation.



Références

1. G. H. WOLF, Dynamic Stabilization of the Interchange Instability of a Liquid-Gas Interface, *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 444–448 (1970).
2. B. APFFEL, F. NOVKOSKI, A. EDDI, E. FORT, Floating under a levitating liquid, *Nature*, **585**, 48–52 (2020).
3. P. L. KAPITZA, Dynamic stability of a pendulum when its point of suspension vibrates, *Sov. Phys. JETP*, **21**, 588–597 (1951).
4. J. FERNÁNDEZ, I. TINAÓ, J. PORTER, & A. LAVERÓN-SIMAVILLA, Instabilities of vibroequilibria in rectangular containers, *Physics of Fluids*, **29**, 024108 (2017).
5. P. SALGADO SÁNCHEZ, J. FERNÁNDEZ, I. TINAÓ, & J. PORTER, Vibroequilibria in microgravity: Comparison of experiments and theory *Phys. Rev. E*, **100**, 063103 (2019).

**Exposés courts de la 24^e Rencontre
du Non-Linéaire**

Observation expérimentale quantitative de la turbulence d'ondes d'inertie

Pierre-Philippe Cortet¹, Eduardo Monsalve¹, Maxime Brunet¹ & Basile Gallet²

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, FAST, 91405, Orsay, France

² Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, Service de Physique de l'État Condensé, 91191, Gif-sur-Yvette, France
pierre-philippe.cortet@universite-paris-saclay.fr

L'influence d'une rotation d'ensemble sur la turbulence hydrodynamique constitue un des ingrédients clés de la dynamique des océans et de l'atmosphère et plus généralement des écoulements géo et astrophysiques. Une des conséquences de la rotation est l'émergence d'une classe d'ondes spécifiques, fruit de l'action de la force de Coriolis, se propageant dans le volume du fluide et appelées ondes d'inertie. Au sein de la turbulence en rotation, ces ondes et les structures tourbillonnaires classiques de la mécanique des fluides peuvent s'intriquer de différentes manières conduisant à un vaste paysage de régimes possibles : parmi ceux-ci, le régime de turbulence d'ondes. La théorie de la turbulence d'ondes appliquée au cas des ondes d'inertie a conduit à des prédictions analytiques au début des années 2000 [1]. Depuis lors, différentes tentatives expérimentales visant à mettre en évidence ce régime ont été réalisées, avec un succès très limité.

Dans ce travail, nous présentons la première observation expérimentale quantitative du régime de turbulence d'ondes d'inertie de la turbulence en rotation [2]. Notre dispositif 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 statistiquement homogène et axisymétrique, en cohérence avec les hypothèses de la théorie.

Dans une première série d'expériences [3], nous mettons en évidence une instabilité qui transfère de manière efficace l'énergie des ondes vers un mode turbulent 2D, composé de tourbillons d'axe parallèle à la rotation et support d'une cascade inverse d'énergie. Cette "instabilité quartetique", qui implique l'interaction résonante de quatre modes, a alors pour conséquence de perturber l'émergence de la cascade d'énergie vers les petites échelles prévue par la théorie de la turbulence d'ondes.

Nous montrons toutefois qu'il est possible d'inhiber cette instabilité en introduisant dans l'expérience des grilles en nid d'abeille limitant l'écoulement en haut et en bas. Ces grilles ont pour effet de dissiper de manière sélective le mode tourbillonnaire 2D sans affecter les ondes. Dans cette nouvelle configuration, lorsque l'amplitude de forçage augmente, se construisent progressivement des spectres spatiaux et temporels d'énergie continus sur plus d'une décade de nombre d'ondes et de fréquence. Nous montrons par ailleurs que l'intégralité de ce continuum d'énergie est portée par des ondes d'inertie confirmant que l'écoulement observé possède les caractéristiques d'une turbulence d'ondes. Nous montrons finalement que les spectres spatiaux expérimentaux présentent un comportement en loi de puissance, dont l'exposant spectral et le niveau spectral, sont tous deux en accord avec les prédictions de la théorie.

Références

1. S. GALTIER, Weak inertial-wave turbulence theory, *Phys. Rev. E*, **68**, 015301(R) (2003).
2. E. MONSALVE, M. BRUNET, B. GALLET & P.-P. CORTET, Quantitative experimental observation of weak inertial-wave turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 254502 (2020).
3. M. BRUNET, B. GALLET & P.-P. CORTET, Shortcut to geostrophy in wave-driven rotating turbulence: The quartetic instability, *Phys. Rev. Lett.*, **124**, 124501 (2020).

Écoulement anti-Bretherton dans un tube

Peter Favreau¹, Alexis Duchesne¹, Farzam Zoueshtiagh¹ & Michaël Baudoin^{1,2}

¹ Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN, F-59000 Lille, France

² Institut Universitaire de France, 1 rue Descartes, 75231 Paris Cedex 05, France
alexis.duchesne@univ-lille.fr

Dans son article fondateur de 1961 [1], Bretherton étudiait expérimentalement et théoriquement le déplacement d'une bulle dans un capillaire à petits nombres de Reynolds et capillaire.

Nous avons mis en évidence expérimentalement la situation inverse à celle de Bretherton, à savoir une longue goutte de liquide se déplaçant dans un capillaire entourée d'un fin film d'air séparant le liquide des parois solides.

Afin d'obtenir cette configuration, un pont capillaire est poussé dans un tube à une vitesse telle que le nombre capillaire $Ca_l = \frac{\mu_l U}{\gamma}$ (avec μ_l la viscosité dynamique du liquide, U la vitesse de l'interface arrière du pont liquide et γ la tension de surface du liquide) soit de l'ordre de 1. La vitesse du liquide étant suffisante pour déformer l'interface du liquide ($Ca_l \sim 1$), on observe une inversion de la courbure du ménisque avant, ce qui conduit à la formation du film d'air et enfin au détachement de la goutte liquide (voir Fig.1).

Les preuves expérimentales sont complétées par des simulations numériques ainsi qu'un modèle analytique, dérivé du modèle initial de Bretherton, capable de prédire l'épaisseur du film d'air et en bon accord avec les résultats obtenus par les expériences et simulations.

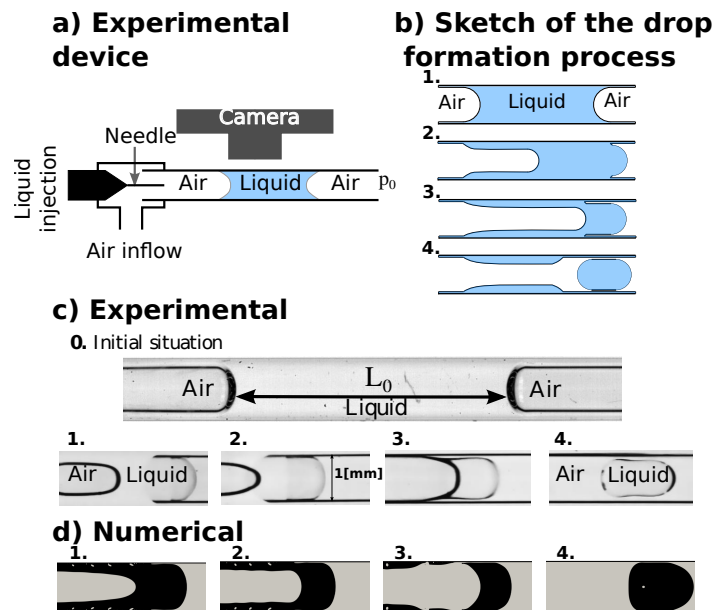


Figure 1. Formation d'une goutte en configuration anti-Bretherton à partir d'un pont liquide. (a) Schéma du dispositif expérimental utilisé. (b) Schéma du processus de formation de la goutte. (c) Démonstration expérimentale dans un capillaire de 0,5 mm de rayon pour le cas d'un pont liquide de 19 mm poussé à une vitesse U de $0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. L'huile étant de viscosité cinématique $104 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $Ca_l = 2,8$. (d) Simulation numérique dans les mêmes conditions que présentées dans (c) : l'huile est représentée en noir et l'air en blanc.

Références

1. F. P. BREThERTON, The motion of long bubbles in tubes, *J. Fluid Mech.*, **10**, 166–188 (1961).

Automodulation de phase et conservation de l'énergie

Pierre Béjot¹ & Jérôme Kasparian^{2,3}

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

² Groupe de physique appliquée, Université de Genève, Chemin de Pinchat 22, 1211 Genève 4, Suisse

³ 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 et 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 ω_1 et ω_2 interagissent à travers la susceptibilité non linéaire $\chi^{(3)}$ pour générer deux photons à ω_3 et ω_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, ω 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).

How laboratory rivers transport sediment

Predrag Popović¹, Olivier Devauchelle¹, Anaïs Abramian² & Éric Lajeunesse¹

¹ Institute de Physique du Globe de Paris, 1 rue Jussieu, 75238 Paris, France

² Sorbonne Université, CNRS - UMR 7190, Institut Jean Le Rond d'Alembert, F-75005 Paris, France
arpedjo@gmail.com

Understanding how rivers transport sediment is critical to understanding the evolution of landscapes. Presently, however, no model can reliably capture the dependence of basic river properties, such as its shape, on the discharge of transported sediment, even in the simple case of laboratory rivers. Here, we develop a minimal model for the cross-sectional shape of straight laminar rivers which carry sediment as bedload. In particular, we show that the balance between fluid stress and gravity acting on the sediment grains, along with cross-stream diffusion of sediment, determine the river shape. By assuming the aspect ratio of a river is large, we simplify the Stokes' flow equation and, thereby, formulate a second-order boundary-value problem (BVP) for its shape. This equation reliably reproduces the experiments. We then derive asymptotic expressions, valid in the limit of large and small sediment discharge and large water discharge, that relate the river properties to measurable quantities in a simple way. We show that, as the total sediment discharge increases, the intensity of sediment flux in a river saturates, and the river can only transport more sediment by widening. Finally, we find that it is the cross-stream diffusion of momentum in the flow that permits sediment transport. This model could provide a base state upon which the various instabilities in rivers such as river meandering or braiding can develop.

Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints

Sébastien Aumaître¹ & Stéphane Fauve²

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

² Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (LPENS), CNRS UMR 8023, 24 Rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France

sebastien.aumaitre@cea.fr

In its seminal work of 1941, Kolmogorov derived the strongest theoretical prediction for the scaling exponent exponents in hydrodynamic turbulence using the hypothesis of the stationary mean energy transfers [1–3]. However, this theory fails to predict the intermittent behavior of the hydrodynamic turbulence. This intermittency is well reproduced by some simplified model of turbulence like the GOY-shell model [4,5]. Here we use others constraints that stationary processes impose on the fluctuations during the energy transfers. To our knowledge, they were never used in the context of turbulence to capture the intermittency. We first recall these constraints that affects the Power Density Spectra of the fluctuations of the injected power, the dissipated power and the energy flux at vanishing frequencies [6]. Then we show that the intermittent GOY-shell model fulfills these constraints. We demonstrate that this implies a relation between the scaling exponents. This relation does not hold in the non-intermittent framework of the 1941 Kolmogorov theory (K41). However it is fulfilled by the She-Leveque formula that correctly predicts the intermittent scaling exponent of the hydrodynamic turbulence and of the GOY-shell model [7]. Moreover, it fixes the free “intermittent” parameter of the log-normal model to a realistic value [8]. The constraints on power fluctuations seem to enforce some intermittency in the case of the GOY-shell model. Some possible extensions to real turbulence are drawn in the concluding remarks.

This work is supported by the French National Research Agency (ANR DYSTURB Project No. ANR-17-CE30-0004).

References

1. A. N. KOLMOGOROV, *Dokl. Akad. Nauk SSSR [Sov. Phys. Dokl.]*, **30**, 9–13 (1941).
2. U. FRISH, *Turbulence: The Legacy of A. N. Kolmogorov*, Cambridge University Press (1995).
3. A. S. MONIN & A. M. YAGLOM, *Statistical Fluid Mechanics, Mechanics of turbulence*, volume 2 (Edited by J. L. Lumley, The MIT press (1981).
4. K. OHKITANI & M. YAMADA, *Prog. Theor. Phys.*, **81** 329–341 (1989).
5. E. LEVEQUE & Z.-S. SHE, *Phys. Rev. E*, **55** 2789–2799 (1997).
6. B. APPFEL, A. NAERT & S. AUMAÎTRE, *J. Stat. Mech.*, **2019**, 013209 (2019).
7. Z.-S. SHE & E. LEVEQUE, *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 336–339 (1994).
8. A. N. KOLMOGOROV, *J. Fluid Mech.*, **13**, 82–85 (1962),

Impact de la concentration en tensioactifs sur la déformation d'une assemblée de films de savon

Raphaël Poryles, Théo Lenavetier, Adrien Bussonnière, Emmanuel Schaub & Isabelle Cantat

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

La mousse liquide est un fluide utilisé dans de nombreux procédés industriels, par exemple dans l'industrie agroalimentaire où pour l'extraction du pétrole. La rhéologie en volume de ces mousses présente des propriétés complexes (viscoélasticité entre autres) et un des enjeux actuels est de relier cette rhéologie globale au réarrangement des bulles et des films interstitiels à l'échelle locale.

Pour modéliser ces déformations locales, nous construisons une assemblée de cinq films de savon sur un cadre en forme de X-wing¹ (un film central et quatre films latéraux orientés à 120°). La solution moussante est constituée d'un mélange aqueux de deux tensioactifs : du SDS et du dodécanol. Le SDS est soluble dans l'eau et permet de construire la structure en cinq films, tandis que le dodécanol est très peu miscible, ce qui fournit de l'élasticité interfaciale aux films.

Les quatre films latéraux sont « accrochés » à des moteurs piézo-électriques, ce qui permet de les étirer ou de les comprimer indépendamment. En tirant sur deux des films d'un côté et en poussant ceux de l'autre, nous observons le déplacement des deux ménisques (reliant les films latéraux au film central). En effectuant un bilan des forces, nous remontons aux tensions dans chacun des films. Nous observons également dans le film central l'extraction depuis les ménisques d'un film plus épais (film de Frankel). Dans de précédents travaux [1], un modèle a été développé pour relier la dynamique de ce film plus épais aux différentes tensions, via l'élasticité interfaciale (élasticité de Gibbs).

Ici nous nous intéressons à l'impact des concentrations en tensioactifs sur l'élasticité des différents films. En variant ces concentrations, nous montrons que l'élasticité augmente avec la concentration en dodécanol et diminue avec celle en SDS. En mesurant l'extension des films, nous calculons la concentration surfacique des différentes espèces et nous construisons un modèle physico-chimique qui montre de manière quantitative un bon accord entre les tensions mesurées expérimentalement et celles prédites par conservation de la masse lors de la compression/extension des films.

Ces résultats, pour ce couple de tensioactifs, confirment que notre dispositif expérimental permet une mesure précise de la rhéologie interfaciale durant la déformation des films, et des études seront menées par la suite pour étendre ces recherches à des espèces chimique plus complexes.

Références

1. A. BUSSONNIÈRE & I. CANTAT, Local origin of the visco-elasticity of a millimetric elementary foam, **arXiv: 2011.13658** (2020).

¹ https://starwars.fandom.com/wiki/X-wing_starfighter

Extraction des paramètres du modèle épidémique SIR à partir des données temporelles d'infection

François G. Schmitt¹

Univ. Lille, CNRS, ULCO, Laboratory of Oceanology and Geosciences, UMR LOG 8187, Wimereux, France
 francois.schmitt@log.cnrs.fr

Dans le contexte actuel du COVID-19, les modèles d'évolution épidémique sont devenus d'une grande importance sociétale. Parmi ceux-ci nous étudions ici le modèle SIR, qui est un des premiers modèles de diffusion épidémique publié. Ce modèle suppose trois compartiments recensant les populations formant une communauté : les susceptibles d'être infectés S , les infectés I et ceux qui ont guéri R (pour *recovered*). Ces trois compartiments sont reliés par des équations différentielles dépendant de deux paramètres, $\alpha > 0$ et $\beta > 0$: $S'(t) = -\beta S(t)I(t)/N$; $I'(t) = (\beta S(t)/N - \alpha)I(t)$; $R'(t) = \alpha I(t)$. Ici $N = R + S + I$ est la population totale, constante. Il est bien connu que dans ce modèle la croissance initiale de $I(t)$ est exponentielle avec un exposant $\gamma = \beta - \alpha$ ce qui fait que le nombre de reproduction $R_0 = \beta/\alpha$ doit être supérieur à 1 pour avoir la croissance exponentielle.

A partir de ce modèle nous montrons que la décroissance est également exponentielle avec un exposant différent de γ , qui s'écrit $\Gamma = -\beta S_e/N + \alpha$, où $S_e = \lim_{t \rightarrow \infty} S(t) > 0$. Puis nous mettons en place un algorithme permettant d'extraire, en utilisant la seule courbe $I(t)$, les exposants γ et Γ (voir figure 1), et à partir de ceux-ci, le coefficient R_0 d'où nous déduisons les coefficients α et β . De plus, la valeur expérimentale du maximum de $I(t)$, noté I_{\max} , nous permet également d'estimer le nombre N d'individus impliqués dans la dynamique épidémique.

L'algorithme proposé, qui est la principale contribution de ce travail, est testé à partir de simulations numériques : il permet de retrouver les paramètres R_0 et β avec une précision de l'ordre de 2 %. Ensuite cet algorithme est appliqué à un cas réel, l'épisode de COVID-19 en France lors de la première vague, entre mars et mai 2020. La dynamique montre bien une croissance et décroissance exponentielles, et les pentes permettent d'extraire les paramètres, dans le cadre d'une hypothèse de modèle SIR avec coefficients constants.

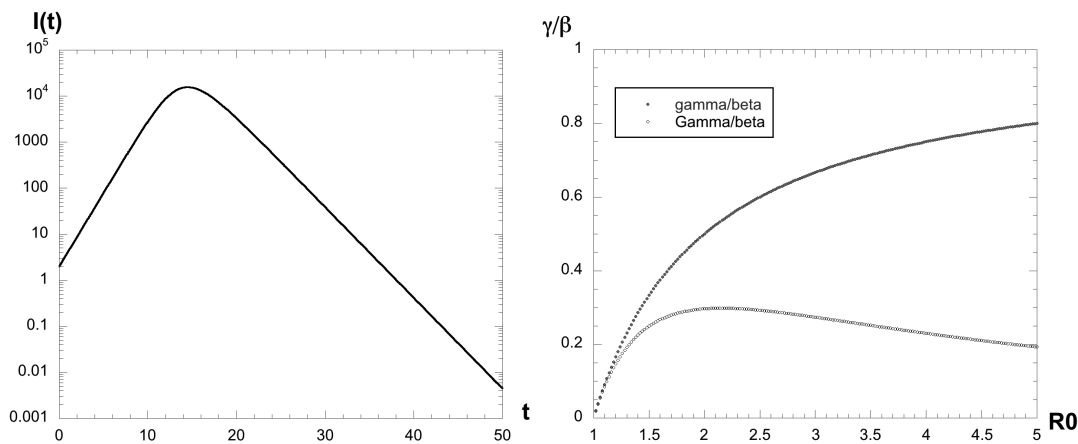


Figure 1. À gauche : évolution de la population infectée au cours du temps, en coordonnées log-linéaires : on constate une forte augmentation, un maximum puis une forte décroissance, avec des paramètres de croissance exponentielle γ et décroissance exponentielle $-\Gamma$ (paramètres utilisés : $I_0 = 2$, $N = 100\,000$, $R_0 = 2,0$ et $\beta = 1,5$). À droite : évolutions de γ/β et Γ/β en fonction de R_0 . On constate qu'on a toujours $\gamma > \Gamma$.

Squeezing multiple soft particles into a constriction: transition to clogging

Clément Bielinski¹, Othmane Aouane², Jens Harting² & Badr Kaoui¹

¹ Université de technologie de Compiègne, CNRS, Biomechanics and Bioengineering, Centre de recherche Royallieu - CS 60 319 - 60 203 Compiègne Cedex

² Helmholtz Institute Erlangen-Nürnberg for Renewable Energy, Forschungszentrum Jülich Fürther Straße 248, 90429 Nürnberg, Germany

`badr.kaoui@utc.fr`

We extend previous works dealing with squeezing a single isolated capsule into a constriction to the case of multiple deformable capsules. This situation is largely encountered in microfluidic chips designed to manipulate living cells, which are soft entities. We use fully three-dimensional simulations based on the lattice Boltzmann method to compute the flow of the suspending fluid, and on the immersed boundary method to achieve fluid–structure interaction. The mechanics of the capsule membrane is computed with the finite element method. We have obtained two main states: continuous passage of the particles, and their blockage that leads to clogging the constriction. The transition from one state to another is dictated by the ratio between the size of the capsules and the constriction width, and by the capsule deformability. This latter is found to enhance particle passage through narrower constrictions, where rigid particles with similar diameter could not cross.

Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides

Clotilde Le Quiniou¹, François G. Schmitt¹, Yongxiang Huang², Enrico Calzavarini³ & Sami Souissi¹

¹ Univ. Lille, CNRS, ULCO, Laboratory of Oceanology and Geosciences, UMR LOG 8187, Wimereux, France

² State key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361102, China

³ Univ. Lille, Unité de Mécanique de Lille - J. Boussinesq, ULR 7512, F59000 Lille, France

clotilde.le-quiniou@univ-littoral.fr

Les copépodes planctoniques sont de minuscules crustacés, avec une taille caractéristique de l'ordre du mm, vivant en suspension dans l'eau de mer et en eaux douces durant tout leur cycle de vie. Ils sont capables de nage et de sauts et sont très bien adaptés à leur environnement turbulent. La turbulence est connue pour augmenter le taux de rencontre entre les copépodes et leurs proies. Cependant, on s'attend à ce qu'une turbulence trop intense ait des effets négatifs. Une courbe en cloche représenterait alors qualitativement le taux d'ingestion versus l'intensité de la turbulence. Dans ce cadre, l'objectif de ce travail est de quantifier l'influence de la turbulence ambiante sur le comportement des copépodes, par l'analyse de leur trajectoire.

Dans ce travail, les mouvements des copépodes ont été filmés par caméra rapide infra-rouge (1200 fps) dans un environnement turbulent et dans le noir pour éviter le phototropisme. Le dispositif expérimental a été construit de manière à obtenir une zone centrale de turbulence homogène et isotrope représentative de l'environnement naturel. Le flux a été caractérisé avec des traceurs de différentes tailles à différentes intensités de turbulence.

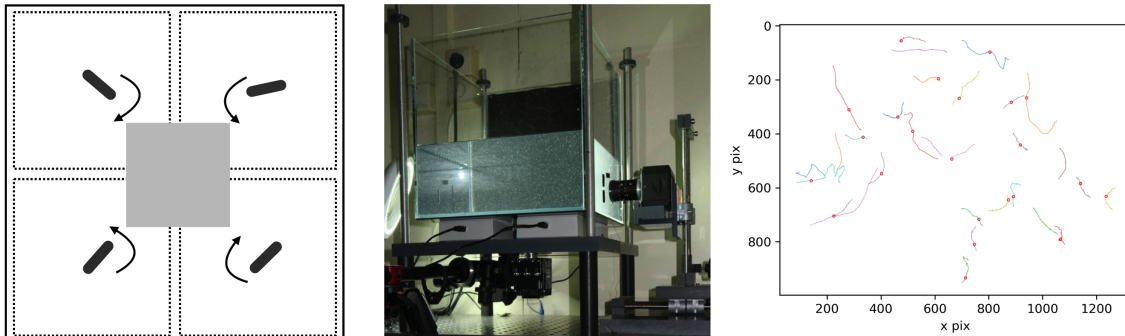


Figure 1. À gauche : schéma du dispositif composé de 4 agitateurs; au centre : photo du dispositif avec une caméra du côté et une caméra dessous l'aquarium et à droite : exemple de trajectoires de copépodes et la position de ceux-ci à un instant t .

Les copépodes sont filmés et les trajectoires extraites par des routines de traitement du signal. La vitesse instantanée, les accélérations tangentielle et centripète, et la courbure locale ont été extraites pour chaque trajectoire. Leur pdf, ainsi que différents moments statistiques ont été calculés : ces indicateurs ont été étudiés à différents niveaux d'intensité de turbulence (nombre de Reynolds). Des particules de différentes tailles (100 et 600 μm de diamètre) et des copépodes morts ont été comparés aux statistiques des copépodes vivants. Cette stratégie permet de caractériser précisément l'activité comportementale des copépodes en relation avec la turbulence ambiante. Des interprétations écologiques sont dressées à partir des résultats expérimentaux.

What is the mechanical basis of traveling waves of neural activity observed in motor cortex?

Ling Kang¹, Jonas Ranft² & Vincent Hakim¹

¹ Laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure,(LPENS), Ecole Normale Supérieure & CNRS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

² Neuronal Algorithms Group, Institut de Biologie de l'ENS (IBENS), Ecole Normale Supérieure & CNRS, 46 rue d'Ulm, 75005 Paris, France

vincent.hakim@phys.ens.fr

Neural recordings display a variety of phenomena that require modeling the nonlinear dynamics of neural networks to be understood. Here, we focus on beta frequency (~ 20 Hz) oscillations that are observed in motor cortex during movement preparation [1]. In several experiments, local field potentials (LFPs) recorded on separate electrodes of a multi-electrode array have been observed to display transient oscillations with non-zero phase shifts. They organize into a variety of traveling waves types (planar, radial, rotating,..) [2–4]. Beta oscillations have been successfully modeled [5] as arising from reciprocal interactions between randomly connected excitatory (E) pyramidal cells and local inhibitory interneurons (I). The synchronization properties of distant modules produced by distant-dependent excitatory coupling has also been studied [5,6]. What accounts for transient bursts of beta oscillations and the observation of spatial waves has, however, remained less clear. Here, we use a rate model (mean-field) description of the local neural activity that has been shown in previous works to provide an accurate population level description of more detailed network simulations based on coupled spiking neurons [6]. This offers the computational advantage that one can simulate and analyze large networks of local E-I modules with distance-dependent interactions and delays, matching those reported in previous experimental works. We study this model in a two-dimensional context. Stochastic local entries that vary on a long-time scale (200ms) are introduced to mimic inputs to the motor cortex from other neural areas. We compare our simulation results to electrophysiological datasets recorded in motor cortex of macaque monkey during an instructed delayed reach-to-grasp task [4]. We find that our model closely agrees with the recordings. It reproduces the observed power spectrum of the local field potential, produces a variety of traveling waves of speed and types similar to those seen in experiments. Our results suggest that both time-varying external entries and intrinsic network architecture shape the LFP dynamics of motor cortex.

References

1. J. N. SANES & J. P. DONOGHUE, Oscillations in local field potentials of the primate motor cortex during voluntary movement, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **90**, 4470–4474 (1993).
2. D. RUBINO, K. A. ROBBINS & N. G. HATSOPOULOS, Propagating waves mediate information transfer in the motor cortex, *Nature Neurosci.*, **9**, 1549–1557 (2006).
3. M. E. RULE, C. VARGAS-IRWIN, J. P. DONOGHUE & W. TRUCCOLO, Phase reorganization leads to transient β -LFP spatial wave patterns in motor cortex during steady-state movement preparation, *J. Neurophysiol.*, **119**, 2212–2228 (2018).
4. M. DENKER, L. ZEHL, B. E. KILAVIK, M. DIESMANN, T. BROCHIER, A. RIEHLE & S. GRÜN, LFP beta amplitude is linked to mesoscopic spatio-temporal phase patterns, *Sci. Rep.*, **8**, 1–21 (2018).
5. P. ASHWIN, S. COOMBES, & R. NICKS, Mathematical frameworks for oscillatory network dynamics in neuroscience, *J. Math. Neurosci.*, **6**, 2 (2016).
6. A. KULKARNI, J. RANFT, & V. HAKIM, Synchronization, stochasticity and phase waves in neuronal networks with spatially structured connectivity, *Front. Comput. Neurosci.*, **14**, 569644 (2020).

Using sparse odor cues to infer the location of their source

Nicola Rigolli^{1,2}, Nicodemo Magnoli², Lorenzo Rosasco³ & Agnese Seminara¹

¹ CNRS and Université Côte d’Azur, Institut de Physique de Nice, UMR7010, Parc Valrose 06108, Nice, France;

² Department of Physics, University of Genova, via Dodecaneso 44, 16144 Genova, Italy;

³ MaLGA, DIBRIS, University of Genova, via Dodecaneso 43, 16144 Genova, Italy

nrigolli@unice.fr

Making sense of turbulence is an interesting and open problem; living systems evolved the ability to decode information carried by surrounding flows, even in dramatically noisy and intermittent environments [1]. Here I explore how an agent may sense and represent odor to efficiently locate the source. Odor is a complex signal: plumes are detected in isolated pockets, or “whiffs”, separated by “blanks”, periods where the odor cannot be detected. [2]. Odor signal can be encoded in simpler features based on its intensity (analog features) or on its sparsity (digital features); I calculate five features: (A) temporal average of the concentration during whiffs; (S) peak slope (time derivative of odor upon detection, averaged across whiffs); (I) intermittency factor, i.e. time above threshold divided by total sampling time; (B) average duration of blanks (stretches of time when odor is below detection); (W) average duration of whiffs (stretches of time when odor is above threshold).

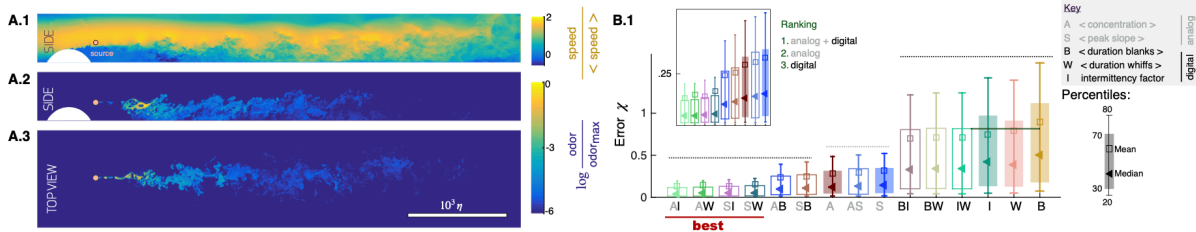


Figure 1. Turbulent odor cues are patchy and intermittent. Snapshot of streamwise velocity (A.1) in a vertical plain at mid channel; odor snapshot side view at mid channel (A.2) and top view at source height (A.3). Snapshots are obtained from direct numerical simulations of the Navier-Stokes equations and the equation for odor transport. Two classes of features were tested: analogs and digitals. Coupling analog and digital contribution (B.1) offers a better performance than using a single feature or coupling two feature of the same kind.

I use direct numerical simulation (DNS) to generate a turbulent flow in which a realistic odor field spreads from a source (Figs. 1A). Odor detection occurs within a conical volume, which is the typical shape of the plume. I develop supervised learning algorithms to search for a function $f : x \mapsto y$, taking odor as input (x) and mapping it into distance from the source (y), algorithm was fed by different quantities (Figs. 1B). We find that a sparse odor signal can provide robust information about odor source. Odor concentration is a more effective predictor than intermittency for individual datasets; but intermittency is robust to changes in source intensity and size. Moreover, combining an analogic and a digital feature sensibly improves performance. Different parameters (i.e. detection threshold, sampling frequency, memory, flow sparsity) were varied to make the analysis as broad as possible.

References

1. D. H. GIRE, V. KAPOOR, A. ARRIGHI-ALLISAN, A. SEMINARA & V. N. MURTHY, Mice develop efficient strategies for foraging and navigation using complex natural stimuli, *Curr. Biol.*, **26**, 1261–1273 (2016).
2. A. CELANI, E. VILLERMAUX & M. VERGASSOLA, Odor landscapes in turbulent environments, *Phys. Rev. X*, **4**, 041015, (2014).

Auto-assemblage et manipulation d'objets sous champs

Geoffroy Lumay¹, Alexis Darras², Florence Mignolet¹ & Nicolas Vandewalle¹

¹ GRASP Laboratory, CESAM Unit, University of Liege, Belgium

² Experimental Physics, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany

geoffroy.lumay@uliege.be

Des objets millimétriques placés à la surface d'un liquide vont généralement s'attirer. Ce phénomène lié à la capillarité et à la gravité est appelé l'effet Cheerios. Si les objets sont ferromagnétiques (par exemple des billes métalliques) et placés dans un champ magnétique vertical, les dipôles induits provoquent une répulsion qui va entrer en compétition avec les forces capillaires attractives pour donner des structures auto-assemblées [1, 2]. En fonction de la forme de l'objet qui peut être aisément modifiée à l'aide de l'impression 3D [3], les interactions sont modifiées et par conséquent l'organisation spatiale des objet. La forme d'un objet souple avec des inclusions magnétiques peut même être ajustée de manière dynamique pour diriger le phénomène d'auto-organisation [4]. Ces modifications dynamiques de la forme des structures auto-assemblées permettent aussi d'induire un mécanisme de nage dans le régime des faibles nombres de Reynolds [5].

À l'échelle microscopique, l'agitation thermique joue un rôle et entre en compétition avec les phénomènes d'auto-organisation. Sous un champ magnétique homogène et constant, des particules colloïdales super-paramagnétiques en suspension dans l'eau forment des chaînes [6]. Avec un champ magnétique oscillant ou tournant, une zoologie de structures peut être observée en fonction des paramètres. Il est bien connu qu'une goutte de suspension (du café par exemple, du vin rouge de préférence ou éventuellement du sang par accident) laisse une tache sous la forme d'un anneau. C'est l'effet "Coffee Ring". La forme de cette tache est fortement modifiée par les caractéristiques de la suspension et par les interactions entre les particules colloïdales. Ces interactions peuvent être, par exemple, modifiée à l'aide d'un champ magnétique [7–9].

Dans cette présentation, nous allons vous raconter plus en détail le déroulement de nos études qui concernent ces systèmes et montrer les résultats principaux.

Références

1. G. LUMAY, N. OBARA, F. WEYER, & N. VANDEWALLE, Self-assembled magnetocapillary swimmers, *Soft Matter*, **9**, 2420 (2013).
2. N. VANDEWALLE, N. OBARA, & G. LUMAY, Mesoscale structures from magnetocapillary self-assembly, *Eur. Phys. J. E*, **36**, 127 (2013).
3. M. POTY, G. LUMAY & N. VANDEWALLE, Customizing mesoscale self-assembly with three-dimensional printing, *New J. of Phys.*, **16**, 023013 (2014).
4. J. METZMACHER, M. POTY, G. LUMAY, & N. VANDEWALLE, Self-assembly of smart mesoscopic objects, *The European Physical Journal E*, **40**, 108 (2017).
5. G. GROSJEAN, G. LAGUBEAU, A. DARRAS, M. HUBERT, G. LUMAY, & N. VANDEWALLE, Remote control of self-assembled microswimmers, *Scientific reports*, **5**, 16035 (2015).
6. A. DARRAS, J. FISCINA, M. PAKPOUR, N. VANDEWALLE, & G. LUMAY, Ribbons of superparamagnetic colloids in magnetic field, *The European Physical Journal E*, **39**, 47 (2016).
7. A. DARRAS, N. VANDEWALLE, & G. LUMAY, Transitional bulk-solutal Marangoni instability in sessile drops, *Phys. Rev. E*, **98**, 062609 (2018).
8. A. DARRAS, F. MIGNOLET, N. VANDEWALLE, & G. LUMAY, Remote-controlled deposit of superparamagnetic colloidal droplets, *Phys. Rev. E*, **98**, 062608 (2018).
9. A. DARRAS, N. VANDEWALLE, & G. LUMAY, Combined effects of Marangoni, sedimentation and coffee-ring flows on evaporative deposits of superparamagnetic colloids, *Colloid Interface Sci.*, **32**, 100198 (2019).

Pincement de suspensions visco-élastiques

Virgile Thiévenaz & Alban Sauret

University of California, Santa Barbara, 93106, CA, USA
virgile@vthievenaz.fr

Lorsqu'une goutte se détache d'un capillaire, le pont capillaire qui relie la goutte au solide s'affine jusqu'à la rupture, qui représente une singularité à temps fini. La largeur du pont décroît alors selon une dynamique auto-similaire [1]. En présence d'une faible quantité de polymères en solution, cette singularité disparaît. Au lieu de rompre, le pont capillaire s'étire en un filament dont l'épaisseur décroît exponentiellement dans le temps. Ce phénomène est caractéristique de la nature visco-élastique des solutions de polymères [2]. Au contraire, l'ajout de particules solides en suspension dans le liquide newtonien facilite la rupture en accélérant l'amincissement [3]. Cette facilitation de la rupture par la présence de particules solides s'observe de manière générale dans la fragmentation de gouttes de suspension [4].

Nous avons étudié l'effet de la présence de particules solides sur le pincement de solutions peu visqueuses de polyoxyéthylène (PEO). Dans le régime newtonien, la suspension visco-élastique se comporte comme un liquide équivalent dont la viscosité est donnée par la fraction massique en particules. En revanche, dans le régime visco-élastique, le filament suit une dynamique similaire à celle du seul fluide interstitiel. L'effet des particules y est contrôlé par leur taille, qui leur permet ou non d'être présentes dans le filament étiré. Au voisinage de la transition entre ces deux régimes nous montrons que le taux de déformation $\dot{\epsilon}$ de la suspension suit une dynamique auto-similaire, dépendant seulement de sa valeur critique $\dot{\epsilon}_c$. En estimant la relation entre le taux de déformation global de la suspension et le taux de déformation local de la phase liquide, nous montrons que la présence de particules favorise l'étirement des chaînes de polymères en amplifiant les contraintes visqueuses dans le liquide. Au-delà de son application à la fragmentation de fluides complexes, tels les encres d'imprimante ou les fluides biologiques, cette étude offre une nouvelle méthode de mesure des contraintes visqueuses dans la phase liquide des suspensions denses.

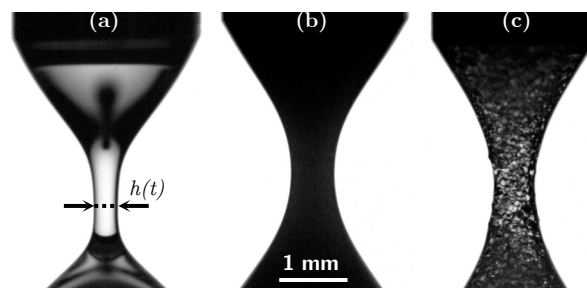


Figure 1. Pincement (a) d'une solution de PEO seule, (b) chargée de particules de 20 μm et (c) de 140 μm au voisinage de la transition entre le régime newtonien et le régime visco-élastique.

Références

1. J. EGGERS, *Phys. Rev. Lett.*, **71**, 3458 (1993)
2. Y. AMAROUCHENE *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 16–3558 (2001)
3. A. LINDNER *et al.*, *Europhys. Lett.*, **110**, 64002 (2015)
4. P. RAUX *et al.*, *Phys. Rev. Fluids*, **5**, 044004 (2020)

Gouttes dévalant des substrats mous

Mathieu Oléron, Julien Dervaux, Laurent Limat & Matthieu Roché

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, CNRS UMR 7057, Université de Paris, 10 Rue A. Domon et L. Duquet, F-75013 Paris, France
 mathieu.oleron@u-paris.fr

Nous avons tous observé des gouttes ruisseler sur une fenêtre par un jour pluvieux : certaines restent sphériques tandis que d'autres s'allongent et laissent un chapelet de gouttes derrière elles. Dans des conditions de mouillage contrôlées, on montre que plus elles dévalent vite, plus elles deviennent pointues à l'arrière, jusqu'à devenir instables. Dans ce problème, la dissipation visqueuse à l'intérieur de la goutte freine le mouvement induit par le poids [1].

Remplaçons la vitre par un matériau viscoélastique. Ce dernier se déforme au niveau de la ligne de contact avec le liquide sous l'action des forces capillaires. Comme notre matériau est viscoélastique, cette déformation dissipe de l'énergie lorsqu'elle se déplace. L'énergie injectée dans le système est maintenant dissipée à la fois par le liquide et le solide.

À notre connaissance, aucune étude expérimentale n'a exploré l'influence du rapport de la dissipation visqueuse dans le solide sur le système. Nous avons testé ce paramètre en faisant dévaler des gouttes de plus en plus visqueuses sur un substrat viscoélastique.

Nous montrerons que ce rapport de dissipation influence fortement la forme et la dynamique de la goutte (cf. Fig. 1). Nous montrerons aussi qu'un modèle d'élasticité non linéaire [2] décrit correctement ces résultats expérimentaux.

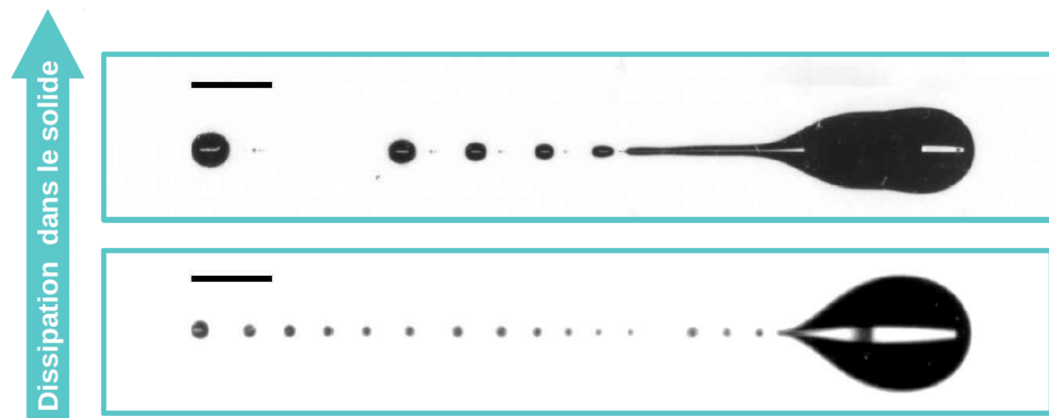


Figure 1. Des gouttes en forme de guitare : la tête de la goutte se resserre et prend l'aspect d'une guitare lorsqu'on augmente la dissipation dans le solide. La barre d'échelle correspond à 3 mm.

Références

1. T. PODGORSKI, J. M. FLESSELLES & L. LIMAT, Corners, cusps, and pearls in running drops, *Phys. Rev. Lett.*, **87**, 036102 (2001).
2. J. DERVAUX, M. ROCHÉ & L. LIMAT, Nonlinear theory of wetting on deformable substrates, *Soft Matter*, **16**, 5157–5176 (2020).

Erythrocyte–Erythrocyte aggregation dynamics as a bifurcation problem

Mehdi Abbasi¹, Alexander Farutin¹, Hamid Ez-zahraouy², Abdelilah Benyoussef³ & Chaouqi Misbah¹

¹ Université Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, F-38000 Grenoble, France

² LaMCScl, Faculty of Sciences, Mohammed V University of Rabat, Rabat 1014, Morocco

³ Hassan II Academy of Science and Technology, Rabat 10220, Morocco

mehdi.abbasi@univ-grenoble-alpes.fr

Red blood cells (RBCs) — erythrocytes — suspended in plasma tend to aggregate and form rouleaux. During aggregation the first stage consists in the formation of RBC doublets [1]. While aggregates are normally dissociated by moderate flow stresses, under some pathological conditions the aggregation becomes irreversible, which leads to high blood viscosity and vessel occlusion. Recently, D. Flormann *et al.* [2] analyzed the doublet shape in the absence of applied flow in vitro and in silico. They observe that the contact surface of the doublet starts by flat then deformed (sigmoid) shape with the increase of adhesion energy. The passage from the flat to the deformed configuration correspond to a supercritical bifurcation.

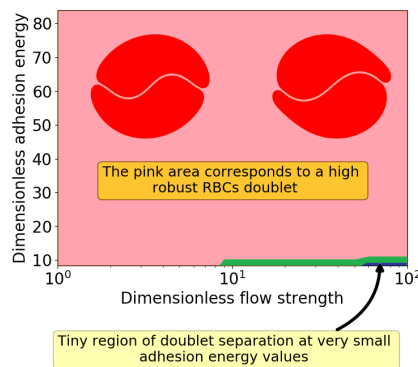


Figure 1. Phase diagrams showing a suppression of doublet separation in the parameter space of the dimensionless flow strength and the dimensionless adhesion energy. We clearly see shape adaptation as flow strength increases

We have analyzed [3], by means of the boundary integral method and the Helfrich model, the dynamics of RBCs doublets under shear flow and the impact on rheology. We present a rich phase diagram of RBCs doublets configurations. A close inspection at very low shear rate shows that the pitchfork bifurcation from flat to sigmoid in the absence of flow [2] becomes an imperfect bifurcation in the presence of flow. A remarkable feature found here is that when a single cell performs tumbling (by increasing cell internal viscosity) the doublet formed due to adhesion (even very weak) remains stable even under a very strong shear rate. It is seen in this regime that an increase of shear rate induces an adaptation of the doublet conformation allowing the aggregate to resist cell–cell detachment (Fig. 1). A link to pathological conditions (several common blood diseases) is highlighted.

References

1. S. M. BERTOLUZZO, A. BOLLINI, M. RASIA, & A. RAYNAL, Kinetic model for erythrocyte aggregation, *Blood Cells Mol. Dis.*, **25**, 339–349 (1999).
2. D. FLORMANN, O. AOUANE, L. KAESTNER, C. RULOFF, C. MISBAH, T. PODGORSKI, & C. WAGNER, The buckling instability of aggregating red blood cells, *Sci. Rep.*, **7**, 7928, (2017).
3. M. ABBASI, A. FARUTIN, H. EZ-ZAHRAOUY, A. BENYOUSSEF & C. MISBAH, Erythrocyte–Erythrocyte aggregation dynamics under shear flow, *Phys. Rev. Fluid*, **6**, 023602 (2021).

Beyond the tip of the parametric instability tongue

Alvaro A. Grandi, Suzie Protière & Arnaud Lazarus

Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS UMR7190, Sorbonne Université Paris, France
alvaro.anzoleaga_grandi@sorbonne-universite.fr

Parametric instabilities are dynamical instabilities which can arise when the mechanical state of a structure is periodically modulated in time. It is often described as a phenomenon one wishes to avoid: for example the parametric rolling observed on sailing ships and is also exploited to study vibrating fluids (Faraday waves [1]) or Nano-Electro-Mechanical Systems [2]. One well-known limitation when fully exploiting classic parametric instabilities based on small periodic modulation of a mechanical state is that inherent friction forces rapidly cancel sub-harmonic parametric resonances. To overcome this drawback, we propose to periodically vary the evolution function of a dynamical system to enhance and better control parametric instabilities.

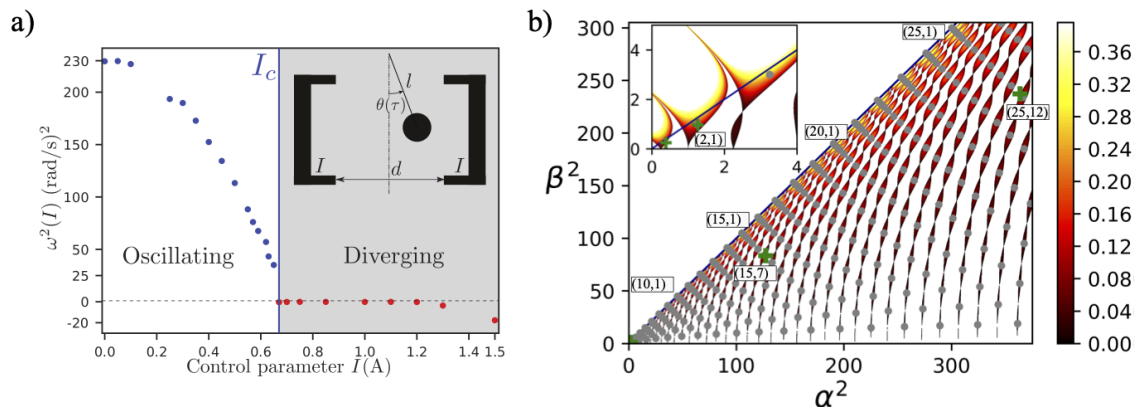


Figure 1. Triggering extremely high orders of parametric resonances. a) Experimental Floquet oscillator: pendulum with a metallic marble symmetrically placed between two identical attracting electromagnets whose force depends on the imposed electrical current I (see sketch in inset). The scalar $\omega^2(I)$, characterize the local evolution function of the electromagnetic pendulum. The electromagnets are periodically turned on and off in a square wave fashion. b) Extended stability diagram of the Meissner equation [3] showing the evolution of the Floquet exponent up to 0.4 in the parameter space. Grey dots (m, n) represent the discrete solutions using our geometrical relation. Green crosses represent our experimental results. Inset zooms on the classic first instability regions.

By combining theoretical models and desktop experiments, we have developed a geometrical relation to trigger high order parametric resonances (Grey dots in Fig 1.b)). As a proof of concept, we study the motion of an electromagnetic pendulum (Fig 1.a) and we are able to observe extremely high orders of parametric resonance which we can control, even in the presence of dissipation (Green crosses in Fig1.b)). These concepts being universal, we can then think of new promising dynamic functionalities which could be applied to dynamical systems with a natural cycle which time scale could be periodically varied.

References

1. S. DOUADY, Experimental study of the Faraday instability, *J. Fluid Mech*, **221**, 383–409 (1990).
2. 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).
3. JOHN A. RICHARDS, *Analysis of time-varying systems*, Springer Science and Business Media (2012).

Effondrement de la turbulence transitionnelle calculé par une méthode d'événements rares

Joran Rolland

Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille
 joran.rolland@centraleslille.fr

La transition vers la turbulence de paroi a ceci de particulier qu'elle ne se produit pas par une série d'instabilités linéaires, comme pour la convection thermique par exemple. En pratique, dans une configuration canonique comme le Couette plan, l'écoulement entre deux plaques parallèles en mouvement à vitesse $\pm U$ séparés de $2h$, l'écoulement laminaire est toujours linéairement stable. Cependant, la turbulence de paroi peut exister à partir de nombre de Reynolds $R \gtrsim 350$ ($R = \frac{hU}{\nu}$ avec ν la viscosité cinématique du fluide). Dans un système de taille finie, cela conduit à une situation de multistabilité où la turbulence peut s'effondrer au bout d'un temps fini : une variable aléatoire dont la moyenne T peut être vu comme un temps de premier passage moyen.

Ce temps de premier passage moyen va nécessairement croître très rapidement avec le nombre de Reynolds, mais la dépendance exacte dépend de la configuration de l'écoulement. Un fort accent a été mis sur l'écoulement de Poiseuille dans une conduite [3], ainsi que sur des écoulements de Couette ou Poiseuille où la coexistence laminaire-turbulente est forcée par l'inclinaison du domaine (avec une complexité comparable à une conduite) [4]. Dans ces configurations, il est possible d'étudier l'effondrement des bouffées turbulentes isolées. Cependant dans un écoulement de Couette plan naturel (tel qu'on peut l'étudier expérimentalement) la turbulence s'étend dans deux directions, et cela change la façon dont elle s'effondre [1]. C'est précisément ce qui est étudié dans cette communication. De manière à rendre très efficace le calcul de réalisations d'effondrement, qui deviennent de plus en plus rare à mesure que le nombre de Reynolds ou les dimensions du domaine d'écoulement sont augmentés [6], une méthode d'étude d'événements rares est utilisée [2].

L'utilisation d'une version modifiée de l'*Adaptive Multilevel Splitting* permet de calculer efficacement des trajectoires d'effondrement dans des domaines rectangulaires qui contiennent bien plus de structures turbulentes que cela a été fait auparavant. Dans ces domaines plus larges, il est alors possible de mettre en évidence que l'effondrement de la turbulence possède beaucoup de propriétés de la multistabilité dans les systèmes stochastiques, comme la concentration des trajectoires autour d'une trajectoire typique, ou la forme de la distribution des durées de trajectoire. De plus, cela permet de mettre en évidence le caractère spatial de l'effondrement de la turbulence : plus la taille du domaine est grande, plus un scénario d'effondrement par formation de trous laminaires est prépondérant. Localement, il apparaît que la formation de ces trous se produit par l'arrêt du processus d'auto-entretien de la turbulence lors de la formation des vortex longitudinaux [7], laissant des stries qui déclinent plus lentement sous l'effet de la viscosité. On peut ainsi vérifier de manière systématique, et avec des champs de vitesse détaillés ce qui était suggéré dans des modèles [6], des expériences forcées [5] ou des simulations [4].

Références

1. S. BOTTIN & H. CHATÉ, *Eur. Phys. J. B*, **6**, 143–155 (1998).
2. F. CÉROU, A. GUYADER & M. ROUSSET, *Chaos*, **29**, 043108 (2007).
3. B. ECKHARDT, T. SCHNEIDER, B. HOF & J. WESTERWEEL, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **39**, 447–468, (2007).
4. S. GOMÉ, L. S. TUCKERMAN & D. BARKLEY, *Phys. Rev. Fluid*, **5**, 083905 (2020).
5. T. LIU, B. SEMIN, L. KLOTZ, R. GODOY-DIANA, J. E. WESFREID & T. MULLIN, [arXiv:2008.08851](https://arxiv.org/abs/2008.08851) (2020).
6. J. ROLLAND, *Phys. Rev. E*, **97**, 023109 (2018).
7. F. WALEFFE, *Phys. Fluids*, **9**, 883–900 (1997).

Méthode de tracé de rayon pour la résolution de l'interaction onde–onde multiple appliquée à la diffusion Raman stimulée

Damien F. G. Minenna, Mikael Tacu, Didier Bénisti & Arnaud Debayle

CEA, DAM, DIF, F-91297 Arpajon Cedex, France and Université Paris-Saclay, CEA, LMCE, 91680 Bruyères-le-Châtel
damien.minenna@cea.fr

Dans le cadre des expériences de fusion par confinement inertiel (FCI), telles que celles effectués par le Laser MégaJoule (LMJ), nous étudions des modèles d'équations non linéaires couplées. La réussite des expériences de FCI nécessite un transport efficace de l'énergie laser dans le plasma de cavité. Or, des instabilités critiques interviennent lors de l'interaction laser–plasma. La modélisation de ces instabilités, essentielle en FCI, nous a amené à développer de nouveaux outils numériques rapides et précis pour étudier la propagation des ondes.

Nous proposons une nouvelle méthode générale baptisée le *ray-in-cell* (RIC) pour l'étude de l'interaction non-linéaire entre plusieurs ondes dans des contextes variés. Le RIC est la combinaison d'une méthode de tracé de rayon instationnaire avec un système d'équations d'enveloppe paramétrique (pour l'amplitude des ondes). Les rayons, caractérisés par leur position, nombre d'onde et amplitude, évoluent dans un maillage fixe. En utilisant les techniques des codes *particle-in-cell* (PIC), telle que l'interpolation avec des facteurs de forme, nous pouvons utiliser le maillage pour combiner la dynamique des rayons (provenant de la relation de dispersion) avec les équations d'enveloppe.

Notre méthode RIC est appliquée en FCI à la diffusion Raman stimulée qui est un couplage entre une onde laser incidente, son onde diffusée et une onde plasma électronique (OPE). Notre objectif est de pouvoir simuler l'échange d'énergies entre les ondes. Pour cela, nous étudions notamment la propagation et la courbure de l'OPE. Cette courbure provient des inhomogénéités du laser et du déphasage non-linéaire de la fréquence (conséquences des effets non linéaires tels que le piégeage électronique dans le potentiel de l'onde). Dans ce contexte, l'augmentation de l'amplitude de l'OPE (modélisée par son équation d'enveloppe) provoque la modification de la relation dispersion et donc de la dynamique des rayons.

Références

1. D. BÉNISTI, Self-consistent theory for the linear and nonlinear propagation of a sinusoidal electron plasma wave. Application to stimulated Raman scattering in a non-uniform and non-stationary plasma, *Plasma Phys. Control. Fusion*, **60**, 014040 (2018).
2. A. DEBAYLE, C. RUYER, O. MORICE, P.-E. MASSON-LABORDE, P. LOISEAU & D. BÉNISTI, A unified modeling of wave mixing processes with the ray tracing method, *Phys. Plasmas*, **26**, 092705 (2019).

The instability of the stratified horizontal plane Poiseuille flow

Patrice Le Gal¹, Uwe Harlander², Ion D. Borcia², Stéphane Le Dizès¹, Jan Chen¹ & Benjamin Favier¹

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE, 49 rue F. Joliot Curie, 13384 Marseille, Cédex 13, France

² Department of Aerodynamics and Fluid Mechanics, Brandenburg University of Technology, Cottbus-Senftenberg, Germany

legal@irphe.univ-mrs.fr

We present here the first study on the stability of the plane Poiseuille flow when the fluid is stratified in density perpendicularly to the plane of the horizontal shear. Using laboratory experiments, linear stability analyses and direct numerical simulations, we describe the appearance of an instability that results from a resonance of internal gravity waves and Tollmien–Schlichting waves carried by the flow. This instability takes the form of long meanders confined in thin horizontal layers stacked along the vertical axis. The plane Poiseuille flow, i.e. the steady flow between two infinite parallel plates, is one of the simplest and most common shear flows. In the non-stratified case, it is known to be linearly unstable for Reynolds numbers larger than 5772 [1]. Above this value, two dimensional waves — known as Tollmien–Schlichting waves — are viscously unstable and can develop and propagate in the flow. As density stratification is ubiquitous in nature, the instability of the stratified Poiseuille flow may be relevant to water flows in submarine canyons, to winds in deep valleys or to laminar flows in rivers or canals where stratification can be due to temperature or salinity gradients. Resonances and instabilities of different types of waves in shear flows are the subject of a long standing history originating from the seminal paper of Cairns [4] on the Kelvin–Helmholtz instability, then extended to surface flows by Satomura [5] and also to different arrangement of stratified flows (see for instance the review [7]). A particularity of the present case is that the Tollmien–Schlichting waves can themselves also interact and possibly resonate with inviscid gravity waves. Our study follows recent investigations on instabilities of stratified or plane Couette flows [3, 9], or the radiative instability in boundary layer flows [2, 10]. All of these examples belong to a class of instabilities caused by the resonant interaction of Doppler shifted internal waves.

References

1. S. ORSZAG, Accurate solution of the Orr–Sommerfeld stability equation, *J. Fluid Mech.*, **50**, 689–703 (1971).
2. J. CHEN, Y. BAI & S. LE DIZÈS, Instability of a boundary layer flow on a vertical wall in a stably stratified fluid, *J. Fluid Mech.*, **795**, 262–277 (2016).
3. G. FACCHINI, B. FAVIER, P. LE GAL, M. WANG, & M. LE BARS, The linear instability of the stratified plane Couette flow, *J. Fluid Mech.*, **853**, 205–234 (2018).
4. R. A. CAIRNS, The role of negative energy waves in some instabilities of parallel flows, *J. Fluid Mech.*, **92**, 1–14 (1979).
5. T. SATOMURA, An investigation of shear instability in a shallow water, *J. Met. Soc. Japan. Ser. II*, **59**, 148–167 (1981).
6. M. J. MOLEMAKER, J. C. MCWILLIAMS & I. YAVNEH, Instability and equilibration of centrifugally stable stratified Taylor–Couette Flow, *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 5270–5273 (2001).
7. J. R. CARPENTER, E. W. TEDFORD, E. HEIFETZ & G. A. LAWRENCE, Instability in stratified shear flow: Review of a physical interpretation based on interacting waves, *Appl. Mech. Rev.*, 060801 (2011).
8. S. LE DIZÈS & X. RIEDINGER, The strato-rotational instability of Taylor–Couette and Keplerian flows, *J. Fluid Mech.*, **660**, 147–161 (2010).
9. J. VANNESTE & I. YAVNEH Unbalanced instabilities of rapidly rotating stratified shear flows, *J. Fluid Mech.* **584**, 373–396 (2007).
10. J. CANDELIER, S. LE DIZÈS & C. MILLET, Inviscid instability of a stably stratified compressible boundary layer on an inclined surface, *J. Fluid Mech.*, **694**, 524–539 (2012).

Déformations d'une bulle par un écoulement turbulent

Aliénor Rivière¹, Wouter Mostert², Luc Deike^{2,3} & Stéphane Perrard¹

¹ LPENS, ENS Paris, PSL Université, 24 rue Lhomond, 75005 Paris

² Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University

³ Princeton Environmental institute, Princeton University

alienor.riviere@ens.fr

Environ 40 % des échanges de CO₂ entre l'atmosphère et les océans sont permis par les bulles générées par les vagues déferlantes [1]. Cependant, l'efficacité de l'échange de gaz dépend de la taille des bulles par rapport aux échelles caractéristiques de l'écoulement turbulent induit sous les vagues. Ainsi, lier la dynamique de déformation et de cassure d'une bulle aux propriétés du milieu turbulent environnant permettrait de quantifier finement les échanges de gaz à la surface des océans. En utilisant des simulations numériques directes, nous étudions ici les déformations d'une bulle par un écoulement turbulent homogène et isotrope en fonction du nombre de Weber We , défini comme le ratio entre les forces inertielles et celles de tension de surface. Un Weber élevé induit une plus grande déformation de la bulle. Il existe un Weber critique, $We_c = 3$ dans notre cas, au-delà duquel une bulle devient instable et se fragmente [2].

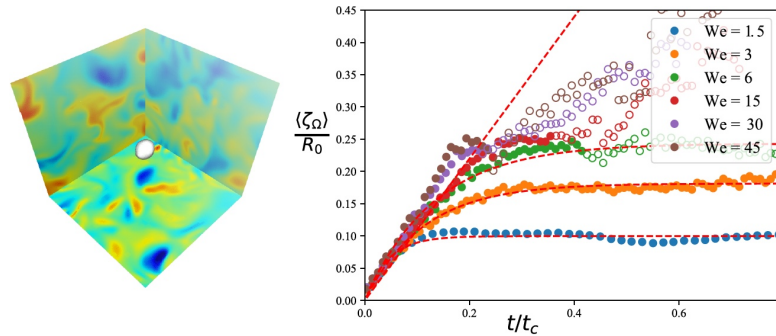


Figure 1. (a) Simulation numérique directe d'une bulle dans un écoulement turbulent homogène et isotrope. La position de l'interface est représentée en blanc. Chaque plan coloré représente une composante de la vitesse sur les faces du cube. (b) Déformation moyenne de l'interface d'une bulle, définie comme l'écart-type du rayon ζ_Ω divisé par le rayon initial R_0 , pour différent We en fonction du temps divisé par le temps caractéristique des tourbillons à l'échelle de la bulle. La croissance initiale est linéaire et indépendante du Weber. Nous montrons que la pente est donnée par les fluctuations moyennes de vitesse à l'échelle de la bulle.

L'évolution temporelle de la déformation est calculée numériquement et présente deux régimes (voir Fig. 1) : à temps court la déformation croît linéairement et est contrôlée par les forces inertielles. Nous montrons que la statistique des pentes initiales est donnée par celle des fluctuations de vitesse à l'échelle de la bulle. À temps long, pour $We \leq We_c$, les déformations saturent. La valeur du plateau et le temps de transition dépendent du Weber. À haut Weber, $We \gg We_c$, la bulle casse avant l'apparition du second régime. En introduisant une valeur critique de déformation au delà de laquelle la bulle casse on retrouve la statistique de temps de vie à haut Weber à partir de la statistique de l'écoulement turbulent.

Références

1. B. G. REICHL & L. DEIKE, Contribution of sea-state dependent bubbles to air–sea carbon dioxide fluxes, *Geophys. Res. Lett.*, **47**, e2020GL087267 (2020).
2. J. O. HINZE, Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes, *AIChE J.*, **1**, 3 (1955).

Getting into the thin-skinned emulsion drops stressed by elasticity and capillarity

Gaël Ginet¹, F. Walzel¹, L. Jacomine¹, M. Hamann¹, S. Pivard¹, J. Farago¹, R. Höhler² & W. Drenckhan¹

¹ Institut Charles Sadron, Université de Strasbourg - CNRS, France

² Institut des Nanosciences, Sorbonne Université - CNRS, France

gael.ginet@ics-cnrs.unistra.fr

The physical properties of fluid–fluid interfaces is a well-known topic in surface science. The interface between two immiscible fluids is endowed with an interfacial energy whose thermodynamically intensive quantity is the interfacial tension γ . Surface energy minimisation gives rise to complex behaviours (e.g. in foams and emulsions) that have been studied for a long time using Surface Evolver [1], a finite element software solving surface energy minimisation problems. However, modern foam and emulsion science exploits increasingly complex interfaces, including polymeric skins with solid elastic properties. These form interesting granular systems with new interactions [2], and deserve careful investigations in terms of interfacial elasticity. The latter is usually studied through the lens of material science [3] with tensorial expression of surface stresses. Because of their complexity, their application in the field of foams and emulsions is far from straightforward.

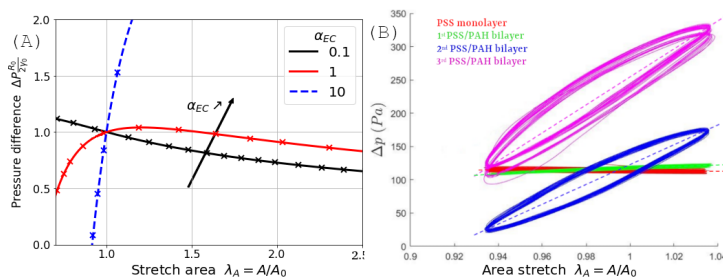


Figure 1. (a) Simulations and theory of pressure-deformation relation for three different elastocapillary number α_{EC} for a sphere. (b) Pressure-deformation relation for PSS/PAH poly-electrolyte multi-layers.

Here we present a Surface Evolver study of elastic liquid–liquid interfaces and how to characterise them experimentally in a pendant droplet setup via pressure measurements of bubbles/drops undergoing sinusoidal variations of the surface area A with respect to a reference state A_0 . We first show that the onset of interfacial elasticity modifies the previously monotonic Young–Laplace relation, and that competition between capillarity and elasticity can be conveniently captured by an elastocapillary number α_{EC} (see Fig. 1(a)). Within this framework, the mechanical properties of the interface can be described using the total surface stress like an effective surface tension, leaving the opportunity to adapt existing droplet interaction laws to interfacial elasticity [4]. Secondly, we show that the complex pendant droplet geometry can be approximated by a sphere whilst predicting pressure-curvature relation with a reasonable accuracy in the limit of a small fluid density mismatch (i.e. Bond number $Bo \rightarrow 0$). We show that our simplified model is suited to describe interfaces created by layer-by-layer deposition of polyelectrolytes at a gas–liquid interface (see Fig. 1(b)). Finally we show first experimental results on the structural properties of PEG-in-Silicone emulsions whose elastocapillary number is tuned systematically using a micro-fluidic set-up.

References

1. K. BRAKKE, The Surface Evolver, *Exp. Math.*, **1**, 141–165 (1992).
2. A. GIUSTINIANI *et al.*, Skinny emulsion take on granular matter, *Soft Matter*, **14**, 7310–7323 (2018).
3. S. KNOCHE *et al.*, Elastometry of deflated capsules, *Langmuir*, **29**, 12463–12471(2013).
4. G. GINOT *et al.*, Juggling bubbles in square capillaries: An experimental proof of non-pairwise bubble interactions, *Soft Matter*, **15**, 4570–4582 (2019).

Metal pad roll à température ambiante ?

Wietze Herreman & Caroline Nore

Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, Rue du Belvédère, 91405 Orsay Cedex.
wietze.herreman@lisn.fr

Dans les cellules d'électrolyse d'aluminium, on fait passer de gigantesques courants électriques ($I > 100$ kA) à travers deux fines couches de fluides conducteurs, aluminium et cryolite. Suite à la différence importante de conductivité électrique entre ces deux couches, toute onde de surface cause une redistribution importante du courant électrique et il suffit alors d'un petit champ extérieur pour que la force de Lorentz devienne déstabilisante. Des ondes de gravité croissent alors spontanément à l'interface et peuvent provoquer des courts-circuits indésirables : on parle de l'instabilité de *metal pad roll*.

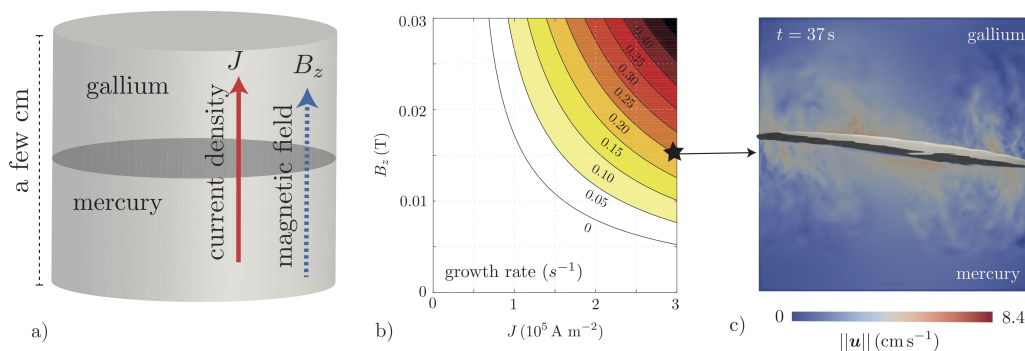


Figure 1. (a) Schéma du dispositif étudié. (b) Diagramme de stabilité théorique dans le plan J - B_z . (c) Cliché issu d'une simulation numérique à très haute résolution (intensité de l'écoulement turbulent et interface)

Dans des cellules industrielles, l'instabilité de metal pad roll est difficile à étudier à cause de la très haute température ($T \approx 1000^\circ\text{C}$). Aujourd'hui, une seule expérience a su reproduire l'instabilité à température ambiante [1], mais opérant avec un seul fluide au lieu de deux, ce système est malgré tout très différent. Un dispositif qui utilise une stratification de deux métaux liquides, tels que le gallium et le mercure (Fig. 1 (a)) n'a jamais été testé car la différence de conductivité entre le mercure et gallium était jugée trop faible pour permettre une instabilité. Grâce à notre nouveau modèle théorique [2], nous sommes capable de lever ces doutes. Selon notre modèle, l'instabilité de metal pad roll est parfaitement atteignable (Fig. 1 (b)) dans un petit dispositif de taille centimétrique. D'autres combinaisons de fluides sont possibles, mais il y a quelques points délicats à surveiller. Nos prédictions théoriques sont confirmées par des simulations numériques où on retrouve bien l'onde tournante attendue accompagnée de fines structures turbulentes (Fig. 1 (c)) : une motivation de plus pour oser construire ce dispositif expérimental.

Références

1. A. PEDCHENCKO, S. MOLOKOV, J. PRIEDE, A. LUKYANOV & P. J. THOMAS, Experimental model of the interfacial instability in aluminium reduction cells, *Europhys. Lett.*, **88**, 24001 (2009).
2. 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).

Predicting extreme events using dynamics based machine learning

Dario Lucente, George Miloshevich, Corentin Herbert & Freddy Bouchet

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

Many phenomena in the climate system lie in the gray zone between weather and climate: they are not amenable to deterministic forecast, but they still depend on the initial condition. A natural example is medium-range forecasting, which is inherently probabilistic because it lies beyond the predictability time of the atmosphere. Similarly, one may ask the probability of occurrence of an El-Niño event several months ahead of time or the probability of occurrence of a heat wave a few weeks in advance based on the observed atmospheric circulation. In this talk, we introduce a quantity which corresponds precisely to this type of prediction problem: the committor function is the probability for an event to occur in the future, as a function of the current state of the system. In the first part of this presentation, we explain the main mathematical properties of this probabilistic concept, and compute it in the case of a low-dimensional stochastic model for El-Niño, the Jin and Timmerman model. This example allows us to show that the ability to predict the probability of occurrence of the event of interest may differ strongly depending on the initial state: in some regions of phase space, the committor function is smooth (intrinsic probabilistic predictability) and in some other regions, it depends sensitively on the initial condition (intrinsic probabilistic unpredictability), see Fig. 1. We stress that this predictability concept is markedly different from the deterministic unpredictability arising because of chaotic dynamics and exponential sensitivity to initial conditions. The second part of the talk is about how to efficiently compute the committor function from data through several data-driven approaches, such as direct estimates, kernel-based methods and neural networks. We discuss two examples: a) the computation of committor function for the Jin and Timmerman model, b) the computation of committor function for extreme heat waves. Both systems are highly nonlinear but, considering the dimensionality of the two, their level of complexity is profoundly different. This therefore allows us to explore and discuss the performance and limits of the different methods proposed. Finally, we propose a method for learning effective dynamics by introducing a Markov chain on the data. Using the Markov chain we are able to quickly and easily compute many interesting quantities of the original system, including the committor function. The goal is to overcome some of the limitations of the methods introduced previously and to develop a robust algorithm that can be useful even in the lack of data.

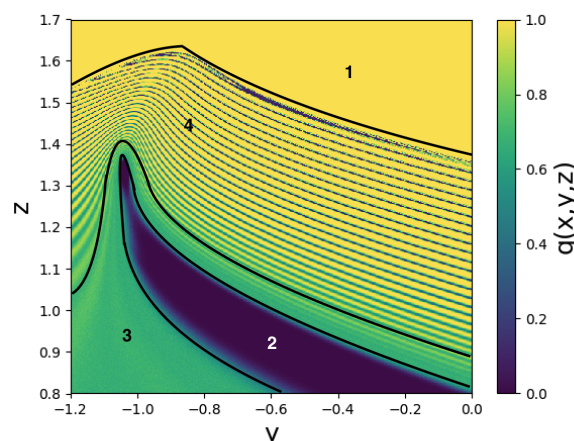


Figure 1. Colour plot of the committor function $q(x, y, z)$ in the plane $x = -2.8310$. Regions with uniform $q = 0$ or 1 values correspond to deterministic predictability, smooth regions with $0 < q < 1$ to probabilistic predictability, and regions with sensitive dependence on initial conditions to unpredictable parts of phase space.

Propulsion soluto-capillaire des bateaux de Marangoni

Gabriel Le Doudic, Marie Saulgeot & Matthieu Roché

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université de Paris, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet, 75205, Paris

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

On étudie la propulsion à la surface de l'eau de petits objets que l'on appelle les bateaux de Marangoni. De nombreuses études ont été menées sur de tels objets avec les bateaux de camphre [1]. Cependant nous pouvons obtenir des écoulements de Marangoni contrôlés en utilisant non du camphre mais des tensioactifs ioniques solubles (TTAB, DeTAB,...) [2, 3]. Dans cette étude on s'intéresse à l'effet de la solubilité des tensioactifs lors de la propulsion des bateaux de Marangoni. Les bateaux sont composés d'un flotteur en plastique et d'un réservoir : une languette de papier imbibée de tensioactif soluble collée à l'arrière du flotteur. Lorsqu'on le dépose à la surface d'une cuve d'eau ultra pure le tensioactif est libéré à l'arrière générant une différence de force capillaire entre la proue et la poupe. Le bateau est alors propulsé vers l'avant. On enregistre la trajectoire à l'aide d'une caméra de façon à mesurer l'évolution de la vitesse du bateau au cours du temps (Fig. 1 (a)). De cette manière on peut étudier leur propulsion pour différents paramètres comme la concentration en tensioactif dans le papier filtre ainsi que la concentration micellaire critique (cmc) du tensioactif utilisé (Fig. 1 (b)).

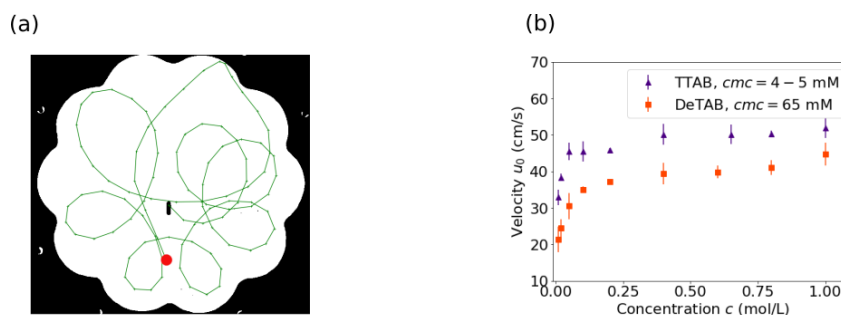


Figure 1. (a) Une fraction de trajectoire d'un bateau partant du point rouge dans la cuve d'eau. (b) Variation de la vitesse initiale du bateau en fonction de la concentration en tensioactif dans la languette pour différentes cmc.

On observe que ces paramètres déterminent comment la vitesse du bateau évolue au cours du temps. On distingue deux régimes différents suivant la concentration en tensioactif. À faible concentration la vitesse initiale u_0 augmente rapidement avec la concentration (Fig. 1 (b)), tandis qu'à forte concentration, la vitesse initiale semble atteindre un plateau. On observe aussi que plus la cmc est grande plus la vitesse initiale est élevée. Ce dernier résultat montre que pour comprendre le mécanisme de propulsion du bateau il faut prendre en compte l'effet Marangoni. En effet la cmc influe sur l'écoulement de Marangoni : plus elle est élevée, plus la taille de l'écoulement est petite et plus la vitesse de surface est grande [2, 3].

Références

1. S. NAKATA *et al.*, Synchronized sailing of two camphor boats in polygonal chambers, *J. Phys. Chem. B.*, **109**, 1798–1802 (2005).
2. M. ROCHÉ *et al.*, Marangoni flow of soluble amphiphiles, *Phys. Rev. Lett.*, **112**, 208302 (2014).
3. S. LE ROUX *et al.*, Soluble surfactant spreading: How the amphiphilicity sets the marangoni hydrodynamics, *Phys. Rev. E*, **93**, 013107 (2016).

Control of a frictional fluid and plug formation in confined geometry

Louison Thorens^{1,2}, Knut Jørgen Måløy², Mickaël Bourgoïn¹ & Stéphane Santucci¹

¹ Univ Lyon, ENS de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

² PoreLab, The Njord Centre, Department of Physics, University of Oslo, P. O. Box 1048 Blindern, N-0316 Oslo, Norway

`louison.thorens@ens-lyon.fr`

Multiphase flows involving the transport of granular material in confined geometries are crucial for industrial engineering processes, such as the transport of oil, water and sand in pipelines. They display a rich variety of instabilities leading to the formation of complex patterns stemming from the interplay of different physical processes [1], involving pressure and capillary forces, associated to frictional interactions inside the granular packing. Therefore, a clear understanding aiming at a control of such frictional fluid appears really challenging.

We investigate here, both experimentally and theoretically, a simple model system of a confined, multiphase frictional flow as proposed by [2–4]. A mixture of glass beads (few hundred microns size) in a Newtonian liquid is slowly drained out at a constant rate (thanks to a syringe pump) from a capillary tube (2 mm diameter), with one side open to the air. The resulting advancing air-liquid meniscus may push and accumulate particles ahead, in a so-called “bulldozing” process, up to a clogging situation. At this jamming point, the stress against the capillary walls exerted by the granular medium, competes with the pore pressure at which air percolates through the granular assembly. This process repeats periodically leading to the formation of a plug trail along the tube.

We first study the onset of the “bulldozing” process by varying the system’s parameters - density, surface tension, amount of particles- and identify the experimental conditions leading to the unstable dynamics and plug formation. Then, we perform experiments with ferromagnetic grains, which acquire a magnetic moment when submitted to a magnetic field, leading to tunable pair interactions. In these conditions, we show that we can trigger the “bulldozing” dynamics. Moreover, we also show that the external magnetic field impacts the final plug pattern along the tube by tuning the Janssen effect inside the granular packing, paving the way towards a tunable frictional fluid.

References

1. B. SANDNES, E. G. FLEKKØY, H. A. KNUDSEN, K. J. MÅLØY & H. SEE, Patterns and flow in frictional fluid dynamics, *Nature Commun.*, **2**, 288 (2011).
2. B. MARKS, B. SANDNES, G. DUMAZER, J. A. ERIKSEN & K. J. MÅLØY, Compaction of granular material inside confined geometries, *Front. Phys.*, **3**, 41 (2015).
3. G. DUMAZER, B. SANDNES, M. AYAZ, K. J. MÅLØY & E. G. FLEKKØY, Frictional fluid dynamics and plug formation in multiphase millifluidic flow, *Phys. Rev. Lett.*, **117**, 028002 (2016).
4. G. DUMAZER, B. SANDNES, K. J. MÅLØY & E. G. FLEKKØY, Capillary bulldozing of sedimented granular material confined in a millifluidic tube, *Phys. Rev. Fluids*, **5**, 034309 (2020).

A generalized approach towards a new log law of the wall in Taylor–Couette flows at intermediate Reynolds numbers

Harminder Singh¹, Alain Liné² & Arnaud Prigent¹

¹ Laboratoire des Ondes et Milieux Complex (LOMC) CNRS UMR 6294, Université Le Havre, 75 Rue Bellot, Le Havre 76600, France

² INSA de Toulouse 135 avenue de Rangueil, 31077 Toulouse cedex 4 - France

harminder.singh@univ-lehavre.fr

The classical, linear, logarithmic law in the homogeneous isotropic turbulence works very well at very high Reynolds number, even in the Taylor–Couette (TC) system [1]. However, at intermediate Reynolds number in the wall regions of the TC system, close to the inner and outer cylinders, the azimuthal velocity profile reveals a significant deviation from this classical logarithmic law [1, 2]. Singh *et al.* [3] proposed a new law of the wall based on the turbulent mixing length. It behaves nonlinearly with the radial wall distance. This law is derived from the momentum balance of the Reynolds averaged azimuthal velocity and is validated by comparison to different data. Considering the available data in the literature, a generalized approach is presented to estimate its two constants of integration: the mixing length, C_{lm} , and log law, C_u constant. This approach is presented separately for only inner cylinder rotation and rotation of both cylinders in co- or counter-rotation for multiple geometries of the TC system.

References

1. H. SINGH, C. A. T. SUAZO & A. LINE, Log law of the wall revisited in Taylor–Couette flows at intermediate Reynolds numbers, *Phys. Rev. E*, **94**, 053120 (2016).
2. R. C. A. VAN DER VEEN, S. G. HUISMAN, S. MERBOLD, U. HARLANDER, C. EGBERS, D. LOHSE & C. SUN, Taylor–Couette turbulence at radius ratio $\eta = 0.5$: Scaling, flow structures and plumes, *Phys. Rev. Fluids*, **1**, 062402 (2016).
3. S. G. HUISMAN, S. SCHARNOWSKI, C. CIERPKA, C. J. KAHLER, D. LOHSE & C. SUN, Logarithmic boundary layers in strong Taylor–Couette turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, **110**, 264501 (2013).

Adhesive tape peeling over soft micro-textured substrates

Hélène Piot-Durand^{1,2}, Loïc Vanel² & Stéphane Santucci¹

¹ Univ Lyon, Ens de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Laboratoire de Physique, 46 Allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07, France.

² Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Institut Lumière Matière, 10 rue Ada Byron, 69622 Villeurbanne cedex, France.

helene.piot-durand@ens-lyon.fr

The simultaneous control of the adhesion strength and the detachment dynamics of soft adhesive materials is a key improvement lever for gluing and sealing applications in various industrial domains. The most common approach to optimize adherence and debonding processes involves usually chemical modifications of the polymeric adhesive layer and/or of the substrate interface.

We propose to investigate another possibility by introducing physical modifications of the substrate, changing notably its topography, but also its elastic properties and interfacial energies. Therefore, we have performed a thorough experimental study, where a pressure-sensitive adhesive tape (PSA) is peeled from a transparent substrate, at a constant imposed velocity, over a very wide range of driving velocities, from a few $\mu\text{m/s}$ up to a few m/s . For those largest peel velocities, the detachment front of our PSA presents usually a “stick-slip” propagation, alternating periodically, slow and fast phases, and accompanied by drop in the effective adhesive energy [1–4].

Taking advantage of the transparency of the substrate, we could directly visualize the detachment process, and simultaneously monitor the force needed to detach the adhesive tape. We could prepare our own substrates, using different materials: glass and Plexiglas (PMMA) plates, PDMS layers of various thicknesses and elastic moduli (either adsorbed at an interface or in bulk), UPVC films (corresponding to the adhesive tape backing), leading to different levels of their interfacial energies and stiffness. We furthermore could produce micro-textured surfaces using either a micro-milling machine or lithography techniques [5]. We opted to pattern regular grooves of a few microns deep and wide, regularly spaced of a few microns in either PDMS or PMMA samples.

Our first results show that the combined deformation of the substrate and adhesive enhance the adhesion strength and affects the detachment front dynamics by shifting the velocity threshold of appearance of the “stick-slip” instability. Moreover, depending on the texture of the substrate, we also demonstrate the possibility of controlling the microscopic instability of the detachment front by again shifting its velocity threshold of appearance, or by forcing the value of the amplitude of rapid micro-slips phases.

References

1. V. DE ZOTTI, K. RAPINA, P.-P. CORTET, L. VANEL & S. SANTUCCI, Bending to kinetic energy transfer in adhesive peel front microinstability, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 068005 (2019).
2. M.-J. DALBE, P.-P. CORTET, M. CICCOTTI, L. VANEL & S. SANTUCCI, Multi-scale stick-slip in adhesive peeling, *Phys. Rev. Lett.*, **115**, 128301 (2015).
3. M.-J. DALBE, R. VILLEY, M. CICCOTTI, S. SANTUCCI, P.-P. CORTET & L. VANEL, Inertial and quasi-static stick-slip dynamics during the peeling of adhesive at fixed angle, *Soft Matter.*, **12**, 4537–4548 (2016).
4. M.-J. DALBE, S. SANTUCCI, L. VANEL & P.-P. CORTET, Peeling-angle dependence of the stick-slip instability during adhesive tape peeling, *Soft Matter.*, **10**, 9637–9643 (2014)
5. C. POULARD, F. RESTAGNO, R. WEIL & L. LÉGER, Mechanical tuning of adhesion through micro-patterning of elastic surfaces, *Soft Matter*, **7**, 2543–2551 (2011).

Capillary surfers on a vibrating bath

Giuseppe Pucci^{1,2,3}, Ian Ho³, Anand U. Oza⁴ & Daniel M. Harris³

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Nanotecnologia, c/o Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, 87036 Rende (CS), Italy

² Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes, France

³ School of Engineering, Brown University, 184 Hope Street, Providence, Rhode Island 02912, USA

⁴ Department of Mathematical Sciences & Center for Applied Mathematics and Statistics, New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey 07102, USA

giuseppe.pucci@cnr.it

Capillary surfers are hydrophobic, millimetric bodies whose bottom surface is pinned to the air–water interface of a vertically oscillating bath [1]. The relative vertical motion of the body and the interface leads to the generation of propagating capillary waves. When the mass of the particle is unevenly distributed, the particle self-propels along the interface with constant speed. Self-propulsion is due to the difference in momentum of the waves generated by the fore and the aft of the surfer. In the steady propulsion regime, the surfer speed can be rationalized by balancing the force from radiation pressure [2] with the friction force arising from viscous stress on its base.

Capillary 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. Our theoretical model consists of coupled equations for the surfers' positional and orientational dynamics, in which a surfer is modeled as a source of capillary waves. The model predictions exhibit good agreement with experimentally observed interaction modes between two surfers.

Our results open the door to further investigations of this novel active system at the fluid interface.

References

1. G. PUCCI, I. HO & D. M. HARRIS, Capillary surfers. *Video submitted to the Gallery of Fluid Motion of the American Physical Society*, <https://doi.org/10.1103/APS.DFD.2020.GFM.V0032> (2020).
2. M. LONGUET-HIGGINS & R. STEWART, Radiation stress in water waves; a physical discussion, with applications. *Deep-Sea Res.*, **11**, 529–562 (1964).

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

Giulio Facchini¹, Alexandre Lazarescu², Andrea Perna¹ & Stéphane Douady³

¹ Life Sciences Department, University of Roehampton, London, UK

² Centre de Physique Théorique (CPHT), École Polytechnique, Paris, France

³ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, Université Paris Diderot, Paris, France

giulio.facchini@roehampton.ac.uk

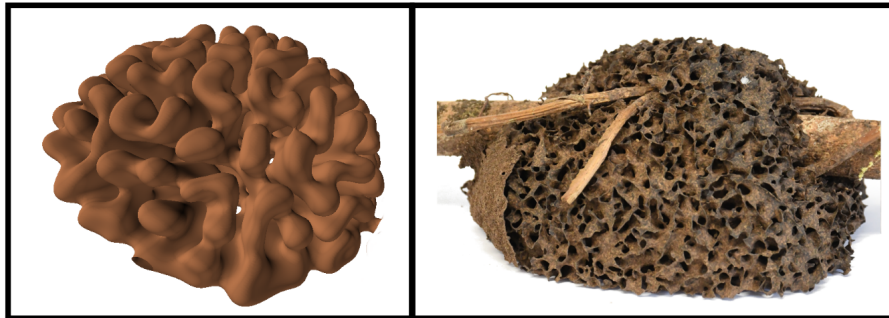


Figure 1. Left: Numerical simulation of our growth model. Right: Fragment of an arboreal nest of *Nasutitermes ephratae* collected from the field.

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 nonlinear 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).

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 [2]. More generally we observe that, while growth-focusing at the tips and branching are common to all Laplacian growth systems, our model also shows reconnections, which are absent in the latter but widely observed in Nature.

References

1. R. J. JONES, Expansion of the nest of *Nasutitermes costalis*, *Insectes Sociaux*, **26**, 332–342 (1979).
2. G. FACCHINI *et al.*, A growth model driven by curvature reproduces geometric features of arboreal termite nests, *J. R. Soc. Interface*, **17**, 20200093 (2020).

Reconnaissance des formes grâce à une balade aléatoire

Samuel Hidalgo-Caballero¹, Matthieu Labousse¹ & Emmanuel Fort²

¹ Gulliver, CNRS UMR 7083, ESPCI Paris and PSL University, 75005 Paris, France

² Institut Langevin, CNRS UMR 7587, ESPCI Paris and PSL University, 75005 Paris, France

samuel.hidalgo-caballero@espci.fr

L'évaluation géométrique des structures et des objets est une question importante en stéréologie, analyse d'image, médecine, biologie ou en exploration robotique. Pour reconstruire entièrement ces objets par tomographie, nous devons utiliser l'ensemble de projections observées dans toutes les directions. En revanche, si l'on s'intéresse seulement à la mesure du périmètre et de la surface pour les régions 2D ou de la surface et du volume pour les objets 3D, on pourrait imaginer que d'autres techniques plus simples devraient exister. Une méthode a été proposée par le mathématicien Augustin-Louis Cauchy [1] mais elle se limite malheureusement à des formes géométriquement simples. Dans ce travail nous démontrons un nouveau théorème mathématique se basant sur la mesure des invariants statistiques d'une forme quelconque et nous appliquons cette stratégie à l'exploration robotique. Nous montrons qu'un robot « aveugle » et sans boussole est capable de reconnaître une forme quand bien même il est incapable d'acquérir la moindre information sur sa position absolue et sur son orientation de déplacement. Nous discutons la précision et l'efficacité de cette nouvelle méthode expérimentalement et numériquement. Finalement, nous montrons que cette nouvelle approche statistique locale permet la reconnaissance de formes ainsi que la lecture de mots.

Références

1. A.-L. CAUCHY, Mémoire sur la rectification des courbes et la quadrature des surfaces courbes, présenté le 22 octobre 1832, (*Œuvres complètes*, Gauthier-Villars, 1^{re} série, volume II, pp. 167–177 (1908).

Volatile active drops on liquid baths

Benjamin Reichert¹, J.-B. Le Cam, Arnaud Saint-Jalmes¹, Giuseppe Pucci^{1,2}

¹ Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes, France

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Nanotecnologia, c/o Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, 87036 Rende (CS), Italy

³

Adresse électronique non communiquée

In most experimental studies, active drops propel in a liquid bulk due to self-generated interfacial stresses of solutal origin. Here, we demonstrate the self-propulsion of a volatile drop on the surface of a liquid bath due to stresses of thermal origin. Evaporative heat pumping is converted into directed motion through thermocapillary stresses, which emerge on the drop surface as a result of a symmetry breaking of the drop temperature field. The dependence of the drop speed on the activity source, i.e. the evaporation flux, is derived with scaling arguments and captures the experimental data.

Spontaneous oscillations of subsonic liquid bells

Philippe Brunet¹

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes UMR CNRS 7057, Université de Paris, 75205 Paris Cedex 13
philippe.brunet@univ-paris-diderot.fr

Liquid overhanging and flowing from a continuously fed circular dish can form annular sheets that take the shape of bells. The shape of liquid bells results from a balance between inertia, gravity, capillarity and inner pressure. When the flow-rate is decreased down to a threshold value, spontaneous large-scale oscillations are observed, with typical frequency of a few Hertz. We identify several spatial modes : Planar, Rotational and Axisymmetric and we constitute a diagram of existence by varying both flow-rate and bell inner volume. We measure the frequency and amplitude for different flow-rate and volume, and attempt to propose a mechanism for their origin.

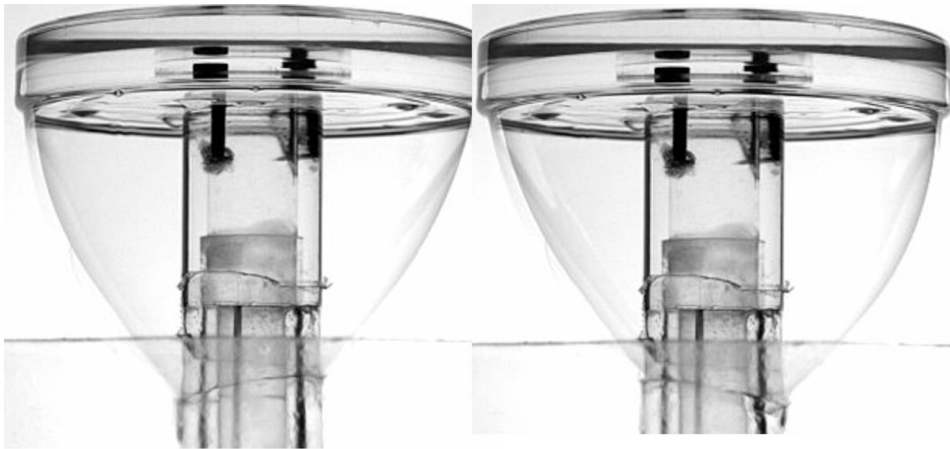


Figure 1. Limit shapes of liquid bells formed by liquid overflowing from a circular dish, oscillating at typical frequency between 2 and 5 Hz.

References

1. P. BRUNET, C. CLANET & L. LIMAT, Transonic liquid bells, *Phys. Fluids*, **16**, 2668–2678 (2004).

Propagation d'une maille qui file dans un tricot

Audrey Steinberger

Laboratoire de Physique, CNRS, ENS de Lyon, Université Claude Bernard, Université de Lyon, 46, allée d'Italie, 69007 Lyon

audrey.steinberger@ens-lyon.fr

Le tricot est un méta-matériau constitué d'un ensemble de boucles, appelées mailles, qui ont été entrelacées à partir d'un fil unique. Il présente des propriétés mécaniques intéressantes, étant à la fois très flexible, étirable, léger et résistant.

À la suite d'une rupture localisée du fil qui compose le tricot, le réseau de boucles présente un défaut de topologie qui peut se propager le long de la colonne de mailles où se situe le défaut, comme le montre la figure 1. On dit alors que la maille ou le tricot « file ». C'est la cause principale de destruction des collants et des bas. Or en pratique, certains trous se propagent, parfois sur toute la longueur du tricot, parfois sur une longueur finie, tandis que d'autres ne se propagent pas du tout. Pourquoi ? Et qu'est-ce qui contrôle la vitesse de propagation du défaut ? Je présenterai ici les premières expériences que nous avons réalisées pour répondre à ces questions.

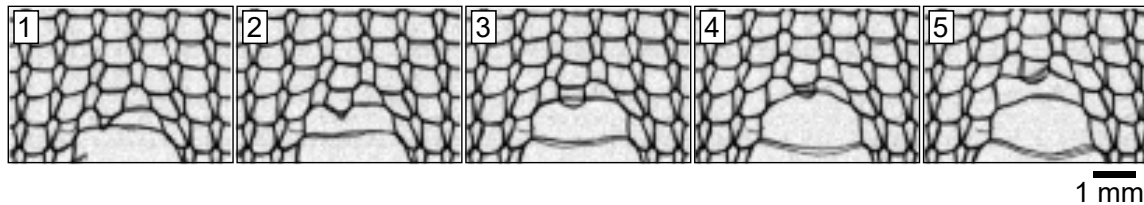


Figure 1. Séquence d'images montrant une maille qui file dans un collant (DIM Voile Ultratransparent). L'intervalle de temps entre deux images est de 9 μ s.

Shape disorder as a source for nonlinear compression behavior of aligned fibrous matter

Carlos Manuel Marques & Thierry Charitat

Institut Charles Sadron, Université de Strasbourg, CNRS, 23 rue du Loess, BP 84047, 67034 Strasbourg Cedex 2, France.

marques@unistra.fr

Bundles of nearly fully aligned fibers display an intrinsic fluffiness when the individual strands are not straight but have rather spontaneously curved shapes. Hair tresses, ponytails and other natural fagots provide examples of such materials with nonlinear intrinsic compression behavior. Here, we investigate by a combination of experiments, numerical simulations and theory how the statistical properties of the shapes of the fibers control the nonlinear collective mechanical behavior of the bundles. We show that a theoretical self-consistent description connecting fiber shape disorder with stack compressibility explains well the observed and simulated strongly nonlinear elastic behavior over five decades of stress. This work paves the way for designing aligned fibrous matter with purposed-designed properties from large numbers of individual strands of selected geometry and rigidity [1, 2].

References

1. P. BECKRICH, G. WEICK, C. M. MARQUES & T. CHARITAT, Compression modulus of macroscopic fiber bundles, *Europhys. Lett.*, **64**, 647–653 (2003).
2. S. SALAMONE, N. SCHULMANN, O. BENZERARA, H. MEYER, T. CHARITAT & C. M. MARQUES, The role of shape disorder in the collective behaviour of aligned fibrous matter, *Soft matter*, **15**, 2657–2665 (2019).

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 ».

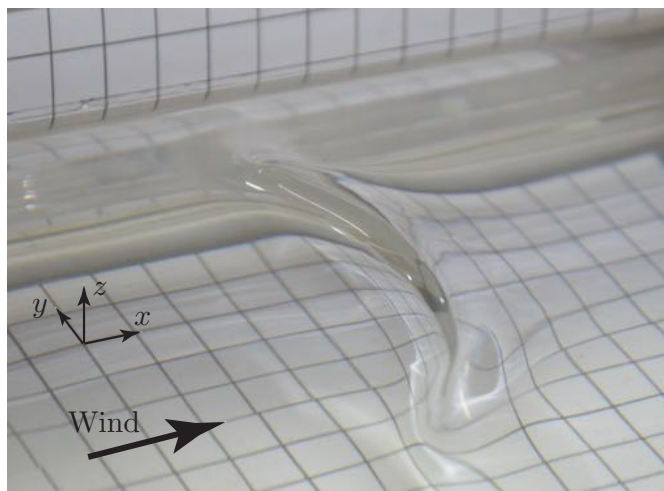


Figure 1. Photographie d'un soliton visqueux, créé et poussé par le vent, se propageant à la surface d'un bain d'huile de silicone mille fois plus visqueuse que l'eau. Le quadrillage du fond est centimétrique.

Nous décrirons 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 affaire 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).

Paths to synchronization

Andrea España^{1,2}, Xavier Leoncini¹ & Edgardo Ugalde²

¹ Centre de Physique Théorique, Aix-Marseille Université, Campus de Luminy, 163 Avenue de Luminy, 13009 Marseille, France

² Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava 6 Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, Mexico

andreae@mail.ifisica.uaslp.mx

This work shows a new approach to the study of dynamic systems that act on a graph $\mathcal{G} = (V, E)$ and that synchronize. As a first example, we take a simple linear system, known as the Laplacian associated with the adjacency matrix of \mathcal{G} the ODE on $\mathbb{R}^{|V|}$

$$\frac{d}{dt}x = L_{\mathcal{G}}(x), \quad (1)$$

where $|V| = n$ and $L_{\mathcal{G}}$ is the Laplacian matrix of the adjacency matrix of \mathcal{G} . Which can also be written as

$$\frac{d}{dt}x_k = \sum_{j \in \mathcal{V}(k)} (x_j - x_k), \quad (2)$$

where x_k are the coordinates of the vector x and $\mathcal{V}(k)$ denotes the set of closest neighbors of vertex k .

This system is such that the diagonal

$$\Delta = \{x \in \mathbb{R}^n : x_i = x_j \forall 0 \leq i \leq j \leq n\} \quad (3)$$

is a *global attractor*, that is, such that $x(t) \rightarrow \Delta$ as $t \rightarrow \infty$ for all initial condition $x \in \mathbb{R}^n$.

The second system that we analyze is the nonlinear system, known as the Kuramoto model which is the ODE on $\mathbb{R}^{|V|}$

$$\frac{d}{dt}\varphi_k = \omega_k + \sigma \sum_{j \in \mathcal{V}(k)} \sin(\varphi_j - \varphi_k), \quad (4)$$

where $\mathcal{V}(k)$ denotes the set of closest neighbors of node k , the natural frequencies are distributed according to some probability density $\omega \mapsto g(\omega)$ and σ is the coupling strength with a suitable scale, so that the model has a good behavior when $|V| = n \rightarrow \infty$. The conditions under which we observe synchronization behaviors are well known.

We make a comparative study of both systems with the approach proposed here.

References

1. A. JAMAKOVIC & P. VAN MIEGHEM, The Laplacian spectrum of complex networks, *Proceedings of the European Conference on Complex Systems*, Oxford, September 25–29, (2006).
2. F. A. RODRIGUES, T. K. D. M. PERON, P. JI, & J. KURTHS, The Kuramoto model in complex networks, *Phys. Rep.*, **610**, 1 (2016).

Instabilities in the spatiotemporal dynamics of a shear-thickening cornstarch suspension

Thomas Gibaud

Laboratoire de physique, CNRS, Ens de Lyon, 69007 Lyon, France
thomas.gibaud@ens-lyon.fr

Shear-thickening is a rheological property generally observed in highly concentrated suspensions and dispersions. For increasing imposed shear stresses σ above a critical value σ_c , the viscosity of the fluid $\eta = \sigma/\dot{\gamma}$ increases dramatically, $\dot{\gamma}$ being the suspension shear rate (Fig. 1, left). Recent theories predict that discontinuous shear thickening (DST) involves an instability, the nature of which remains elusive. Here, we explore unsteady dynamics in a dense cornstarch suspension by coupling long rheological measurements under constant shear stresses to ultrasound imaging. In [1], we demonstrate that unsteadiness in DST results from localized bands that travel along the vorticity direction with a specific signature on the global shear rate response (Fig. 1, right). These propagating events coexist with quiescent phases for stresses slightly above DST onset, resulting in intermittent, turbulentlike dynamics. Deeper into DST, events proliferate, leading to simpler, Gaussian dynamics. We interpret our results in terms of unstable vorticity bands as inferred from recent model and numerical simulations [2].

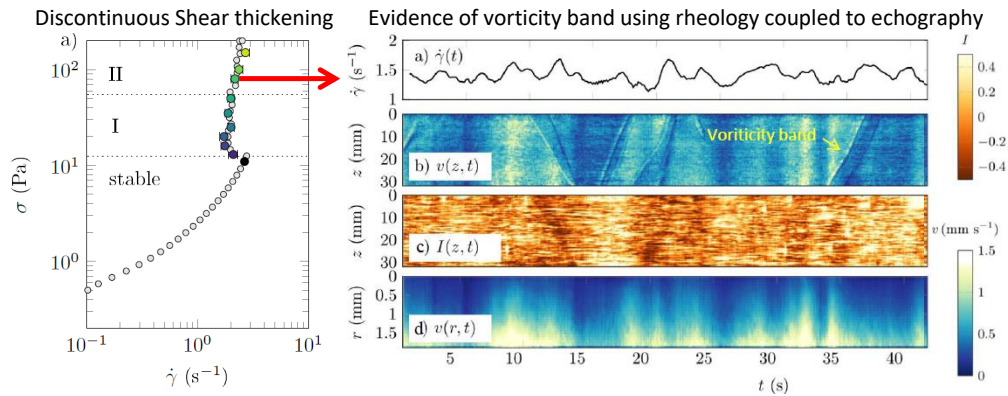


Figure 1. Vorticity bands in shear thickening suspensions (cornstarch). Left: flow curve of the corn starch suspension. Right: spatio-temporal graphs of the velocity $v(r, z, t)$ and the intensity $I(r, z, t)$ (proportional to the cornstarch local concentration) in cornstarch suspension in the DST regime. Graph (b) shows the presence of vorticity band.

References

1. R. N. CHACKO *et al.*, Dynamic vorticity banding in discontinuously shear thickening suspensions, *Phys. Rev. Lett.*, **131**, 108003 (2018).
2. B. SAINT-MICHEL & T. GIBAUD & S. MANNEVILLE, Uncovering instabilities in the spatiotemporal dynamics of a shear-thickening cornstarch suspension, *Phys. Rev. X*, **8**, 031006 (2018).

Diffusion-limited interface collisions

Bastien Marguet¹, F. D. A. Aarão Reis² & Olivier Pierre-Louis¹

¹ Institut Lumière Matière, UMR5306 Université Lyon 1-CNRS, Université de Lyon 69622 Villeurbanne, France

² Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Avenida Litorânea s/n, 24210-340 Niterói RJ, Brazil
 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 towards each other and colliding. 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 linear 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.

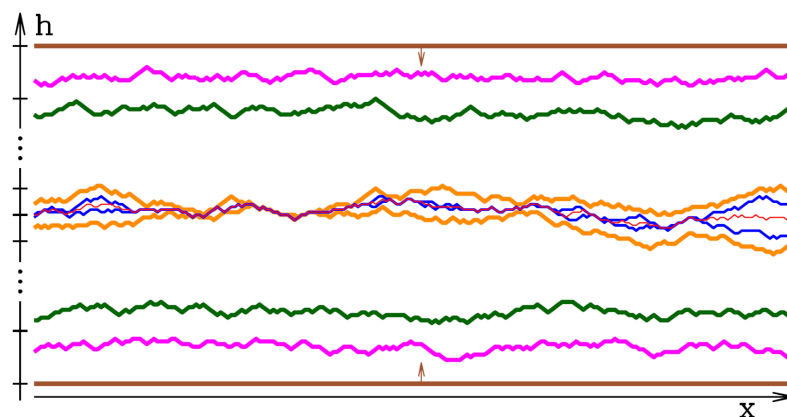


Figure 1. Collision of two edges growing towards each other.

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. GUISENGER, 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. SWINNEY, Deadly competition between sibling bacterial colonies, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **106**, 428–433 (2009).
4. F. D. A. AARÃO REIS & O. PIERRE-LOUIS, Interface collisions, *Phys. Rev. E*, **97**, 040801(R) (2018)

Negative group velocity state in soft composites triggered via applied deformation

Nitesh Arora¹, Yao Qi¹, Viacheslav Slesarenko², Jian Li³, Pavel Galich⁴ & Stephan Rudykh¹

¹ Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin–Madison, Madison, WI 53706, USA

² Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS, Lavrentyev av., 15, Novosibirsk, 630090, Russia

³ Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA

⁴ Aerospace Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, 32003, Israel

`narora7@wisc.edu`

Acoustic metamaterials allow us to access unusual properties that can be tailored through their microstructure design. Moreover, soft microstructured materials open the possibility to control and tune these properties through deformation [1,2]. Here, we reveal the existence of a state in soft composites — layered and 3D fiber composites, characterized by negative group velocity. Interestingly, the transition in the state from positive to negative group velocity is not accompanied by significant geometrical changes and can be reversibly controlled via applied deformation. We further discuss how this unusual state of negative group velocity can be induced and further tuned by variations in the material and geometric parameters.

References

1. S. RUDYKH & M. C. BOYCE, Transforming wave propagation in layered media via instability-induced interfacial wrinkling, *Phys. Rev. Lett.*, **112**, 034301 (2014).
2. V. SLESARENKO, P. I. GALICH, J. LI, N. X. FANG & S. RUDYKH, Foreshadowing elastic instabilities by negative group velocity in soft composites, *Appl. Phys. Lett.*, **113**, 031901 (2018).

Wave turbulence in self-Gravitating Bose gases and nonlocal nonlinear optics

Jonathan Skipp¹, Victor L'vov² & Sergey Nazarenko³

¹ Centre for Complexity Science, University of Wawick, Coventry CV4 7AL, UK

² Department of Chemical and Biological Physics, Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel

³ Université Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice, Parc Valrose, 06108 Nice, France

jonathan.skipp@gmail.com

We develop the theory of weak wave turbulence in systems described by the Schrödinger–Helmholtz equations in two and three dimensions. This model contains as limits both the familiar cubic nonlinear Schrödinger equation, and the Schrödinger–Newton equations.

The latter, in three dimensions, are a nonrelativistic model of fuzzy dark matter which has a nonlocal gravitational self-potential, and in two dimensions they describe nonlocal nonlinear optics in the paraxial approximation.

We show that in the weakly nonlinear limit the Schrödinger–Helmholtz equations have a simultaneous inverse cascade of particles and a forward cascade of energy. We interpret the inverse cascade as a nonequilibrium condensation process, which is a precursor to structure formation at large scales (for example the formation of galactic dark matter haloes or optical solitons).

We show that for the Schrödinger–Newton equations in two and three dimensions, and in the two-dimensional nonlinear Schrödinger equation, the particle and energy fluxes are carried by small deviations from thermodynamic distributions, rather than the Kolmogorov–Zakharov cascades that are familiar in wave turbulence. We develop a differential approximation model to characterise such “warm cascade” states.

Stabilité d'un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle

Antoine Meyer, Anupam M. Hiremath & Innocent Mutabazi

Normandie Université, UNIHAVRE, CNRS UMR 6294, LOMC, Le Havre, 76058, 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 α est le coefficient d'expansion thermique, ρ 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.

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.

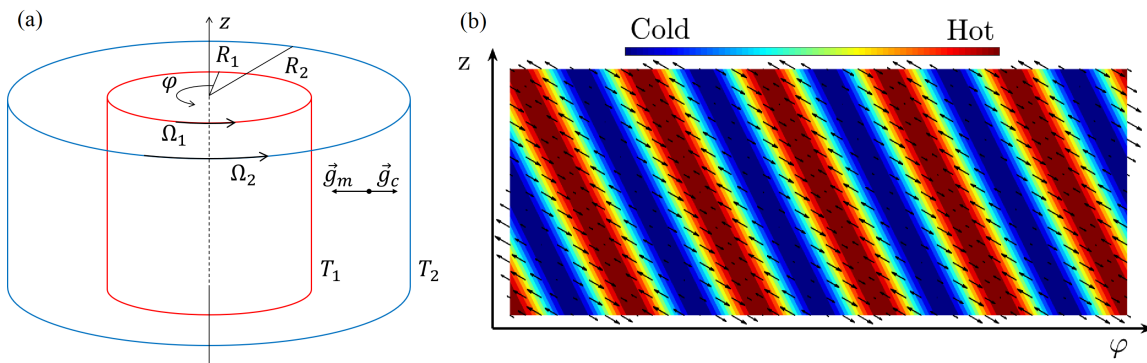


Figure 1. (a) Représentation schématique du système. (b) Profils de vitesse et de température dans le plan azimutal/axial (φ, z) d'une instabilité thermomagnétique sans rotation des cylindres.

Ce projet est financé par le LABEX EMC³ et par la région Normandie.

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).

Nature de la bifurcation dans une suspension complexe pour un écoulement de Taylor–Couette en géométrie confinée

Masoud Moazzen¹, Tom Lacassagne¹, Vincent Thomy² & S. Amir Bahrani¹

¹ IMT Lille Douai, Institut Mines Télécom, Univ. Lille, Center for Energy and Environment, F-59000 Lille, France.

² Institute of Electronic, Microelectronic and Nanotechnology (IEMN), Université de Lille, 59655 Villeneuve d’Ascq, France.

masoud.moazzen@imt-lille-douai.fr

Les fluides complexes tels que les solutions de polymères, les suspensions ou les émulsions, présentent une grande variété de comportements en écoulement, souvent non newtoniens, en fonction des sollicitations subies [1]. En particulier, les fluides constitués de particules solides en suspension dans une matrice elle même newtonienne ou non newtonienne se rencontrent dans de nombreuses applications industrielles ou environnementales (ciment, dentifrice, fluides caloporteurs, avalanches...). Les propriétés rhéologiques de ces fluides rendent difficile la prédiction des performances et le contrôle des procédés en termes de mélange, transferts thermiques et stabilité des écoulements, notamment à faible nombre de Reynolds. L’absence de données expérimentales, même pour des écoulements de référence en mécanique des fluides comme les écoulements de Taylor–Couette est une barrière à la compréhension des phénomènes physiques impliqués.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons particulièrement aux suspensions non colloïdales suspendues dans des matrices newtoniennes ou complexes, mises en écoulement de Taylor–Couette. Ces écoulements seront étudiés au moyen de méthodes optiques (visualisation, PIV) couplées à la mesure du couple dans une géométrie confinée. L’objectif principal est de comprendre l’influence de la complexité du fluide (suspension, propriétés non Newtoniennes) et des contraintes de cisaillement de l’écoulement sur la nature des stabilités, l’hydrodynamique, le mélange dans ces écoulements. Il est notamment montré que la présence de particules tend à déstabiliser l’écoulement laminaire de base [2], et à favoriser les modes non axisymétriques [3] les plus propices au mélange. La mesure du couple exercé sur le cylindre couplée à une visualisation de l’écoulement (Fig. 1) confirment ces résultats et permettent d’identifier la nature sous-critique de la bifurcation en comparant des scénarios d’accélération et de décélération. La concentration de particules en suspension influe sur cette bifurcation et sur les instabilités secondaires, comme illustré par un diagramme de phase.

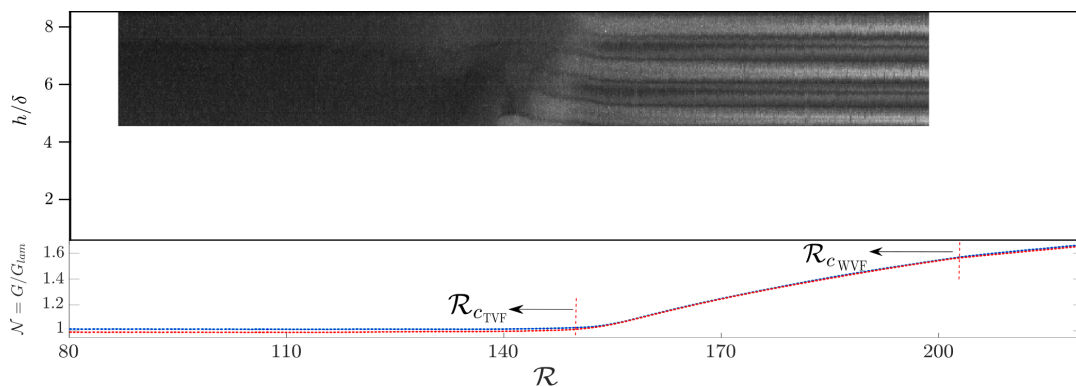


Figure 1. (a) Diagramme spatio-temporelle et (b) Couple pour Gly/water : $\eta = 0.914$ et $\Gamma = 10$.

Références

1. S. TOPAYEV, C. NOUAR, D. BERNARDIN, A. NEVEU & S. A. BAHRANI, *Phys. Rev. E*, **100**, 023117 (2019).
2. M. MAJJI, S. BANERJEE & J. MORRIS, *J. Fluid Mech.*, **835**, 936–969 (2018).
3. P. RAMESH, S. BHARADWAJ & M. ALAM, *J. FLUID MECH.*, **870**, 901–940 (2019).

Detachment transition in a model of convexification of clusters of discs

David Martin-Calle & Olivier Pierre-Louis

Institut Lumière Matière, 10 rue Ada Byron, 69100 Villeurbanne, France
david.martin-calle@univ-lyon1.fr

Adhesion controlled by the roughness of the surfaces in contact, or by third bodies at the interface, is a recurring problem in contact physics, with applications ranging from geophysics to nanosciences. Inspired by experimental observations [1] of a detachment transition when one increases the density of nanoparticles intercalated between a graphene sheet and a flat substrate, we propose a simple statistical model which displays a similar transition. Experimental observations reveal that the observed transition results from collective effects that expand the detachment zones in the regions where its boundary is concave. Thus, we build a model based on the convexification of percolation clusters associated to individual detachment areas induced by each particle. Numerical simulations reveal that this model exhibits a discontinuous transition (i.e. the transition occurs discontinuously when we bring it about by adding new particles). Our model therefore shares similarities with explosive percolation and bootstrap percolation models. We also propose a quantitative interpretation of the unbinding transition of graphene with intercalated nanoparticles based on this model.

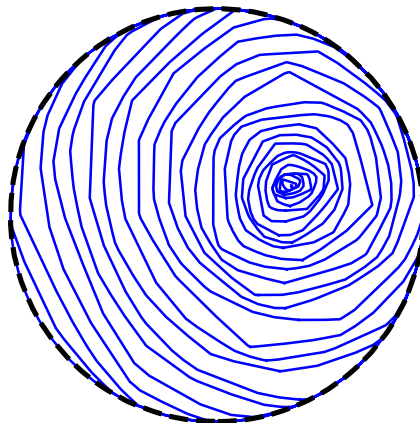


Figure 1. Steps of the avalanche of convexifications, at transition. A single cluster is growing, invading the whole domain.

References

1. M. YAMAMOTO, O. PIERRE-LOUIS, J. HUANG, M. FUHRER, T. EINSTEIN & W. CULLEN, “*The Princess and the Pea*” at the nanoscale: *Wrinkling and delamination of graphene on nanoparticles*, *Phys. Rev. X*, **2**, 041018 (2012)

Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors équilibre

Mona 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) [1]. L'expérience consiste à coupler de manière électromécanique deux thermostats constitués par des gaz granulaires entretenus dans des état stationnaires hors équilibre (*NESS*), 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 : $\bar{\varphi} \propto kT_2 - kT_1$ [2].

En faisant varier R , nous montrons que, dans la limite d'un couplage 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 [3] :

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

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

Ce résultat obtenu pour des gaz granulaires est certainement représentatif d'une large classe de systèmes hors équilibre.

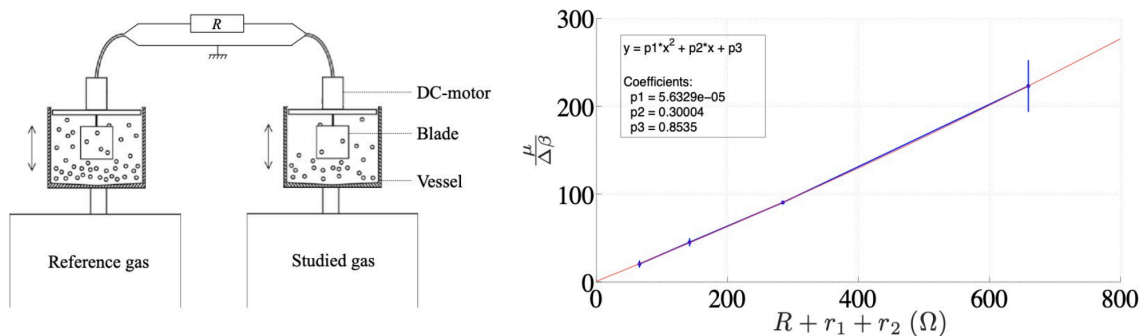


Figure 1. Gauche : Expérience constituée de deux gaz granulaires dans lesquels tournent des petites pales fixées sur des moteurs. Ces derniers sont couplés électriquement par une résistance R . Droite : Comparaison de la pente de la fonction d'asymétrie et de la différence des températures inverses $\frac{\mu}{\Delta\beta}$ pour plusieurs valeurs de R . L'extrapolation à 0 donne une valeur compatible avec 1.

Références

1. M. LAMECHE & A. NAERT, Statistical properties of the energy flux between two NESS thermostats, [arXiv: 2101.08632](https://arxiv.org/abs/2101.08632), soumis à *Phys. Rev. E* (2021).
2. C.-E. LECOMTE & A. NAERT, Experimental study of energy transport between two granular gas thermostats, *J. Stat. Mech.*, P11004 (2014).
3. C. JARZYNSKI & D. K. WÓJCIK, Classical and quantum fluctuation theorems for heat exchange, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, 230602 (2004).

Observation expérimentale de turbulence d'ondes quasi-1D

Guillaume Ricard & Éric Falcon

Université de Paris, MSC, UMR 7057 CNRS, F-75 013 Paris, France
 guillaume.ricard1@etu.u-paris.fr

La turbulence d'ondes intervient dans de nombreux domaines lorsqu'un grand nombre d'ondes faiblement non linéaires interagissent entre elles : ondes à la surface d'un fluide, ondes d'Alfvén dans les plasmas ou même ondes gravitationnelles [1]. Observé à deux ou trois dimensions d'espace, ce phénomène est décrit théoriquement par la théorie de la turbulence faible [1].

Nous nous intéressons ici au cas particulier de la turbulence d'ondes quasi-unidimensionnelle à la surface d'un liquide. Bien que cette géométrie atypique interdise théoriquement les interactions *purement* résonantes entre ondes et donc l'existence d'une cascade d'énergie, nous montrons ici qu'une faible non-linéarité suffit pour autoriser de nouvelles interactions, dites quasi-résonantes, permettant alors l'observation de la turbulence d'ondes colinéaires [2].

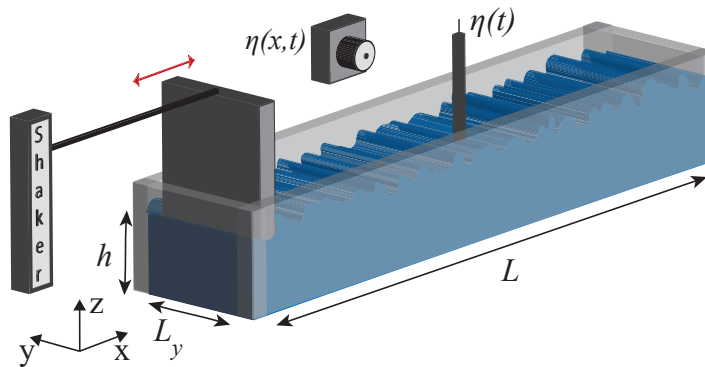


Figure 1. Dispositif expérimental : forçage par batteur, et mesure du champ d'ondes par une sonde localisée, $\eta(t)$, et par une caméra latérale visualisant l'interface $\eta(x,t)$ [2]. Cambrure typique des vagues $\epsilon \sim 0.05$.

Le spectre des ondes gravito-capillaires est trouvé suivre une loi de puissance de l'échelle en bon accord avec la prédiction dimensionnelle en régime quasi-1D. Nous montrons aussi expérimentalement que les interactions quasi-résonantes à 4-ondes dominant dans le régime capillaire [2], comme rapporté récemment lors de simulations numériques directes quasi-1D [3]. Finalement, nous montrons que certaines hypothèses de la théorie, telles que la séparation d'échelles et l'absence d'effet de taille finie du système, sont bien respectées expérimentalement. Cette première observation de la turbulence d'ondes quasi-1D offre de nouvelles perspectives grâce à la simplicité de sa géométrie, tant pour les prédictions que pour les mesures mises en jeu.

Remerciements – Les auteurs remercient l'ANR Dysturb (ANR-17-CE30-0004) et la Simons Foundation MPS N° 651463.

Références

1. S. NAZARENKO, *Wave Turbulence*, Lecture Notes in Physics, Springer (2011).
2. G. RICARD & É. FALCON, Experimental observation of quasi-1D wave turbulence, *en préparation* (2021).
3. E. KOCHURIN, G. RICARD, N. ZUBAREV & É. FALCON, Numerical simulation of collinear capillary-wave turbulence, *JETP Lett.*, **112**, 757–763 (2020).

Intracellular rheology of red blood cells

Alice Briole¹, Thomas Podgorski² & Bérengère Abou¹

¹ Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, UMR 7057 CNRS - Université de Paris, 75205 Paris, France

² Laboratoire Rhéologie et Procédés, UMR 5520 CNRS-UGA-G.INP - Domaine Universitaire - BP 53 38041 Grenoble Cedex 9, France

alice.briole@univ-paris-diderot.fr

Characterizing the rigidity of red blood cells (RBCs) and their heterogeneity in a blood sample is a key parameter in understanding erythrocyte diseases. We propose a method of intracellular rheology based on molecular rotors, viscosity sensitive fluorescent probes [1]. Experiments conducted on temperature-stiffened RBCs show that the DASPI molecular rotor is sensitive to the overall rigidity of RBCs (cf. Fig. 1) and can probe the heterogeneity of a sample at the cellular level [2]. Further examination allows to separate cytosol and membrane contributions, opening up the possibility of intracellular rheology and new diagnostic techniques, especially in the case of sickle cell disease in which hemoglobin polymerization is directly related to the stiffening of RBCs and to the development of painful vaso-occlusive crises.

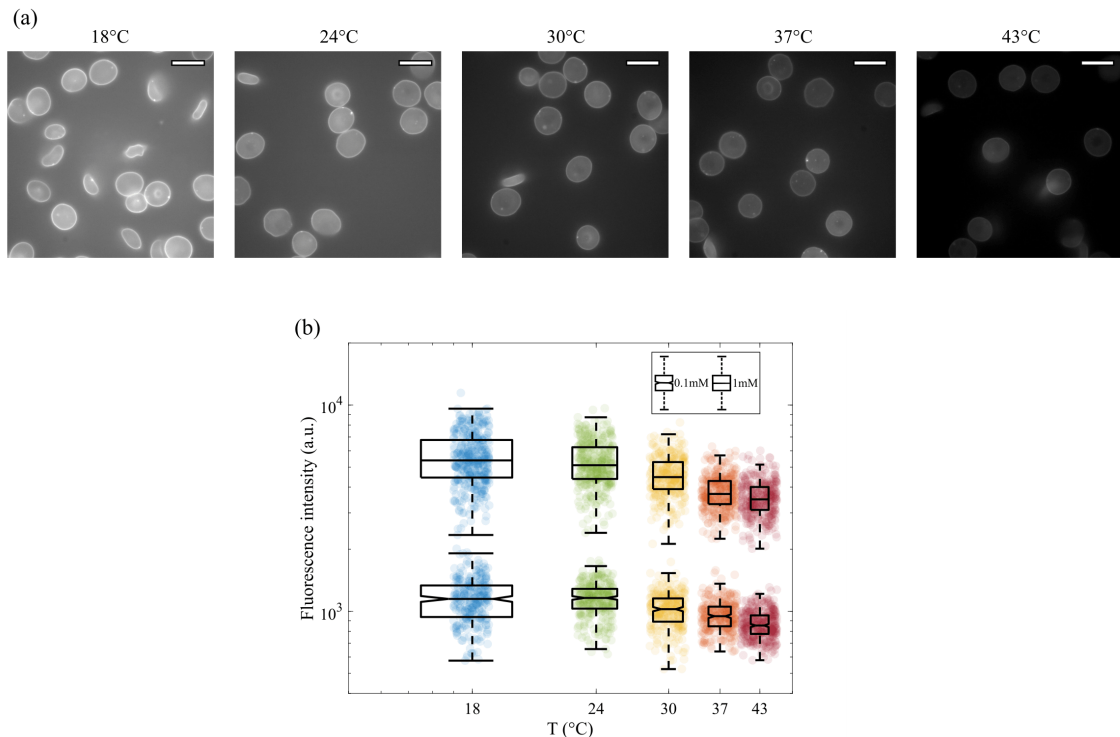


Figure 1. Fluorescence microscopy of RBCs at different temperatures (excitation 480 ± 20 nm, emission 595 ± 30 nm). (a) Images of RBCs with increasing temperature in a 1 mM DASPI solution (scale bar: $10 \mu\text{m}$); (b) fluorescence intensity of RBCs as a function of temperature in 0.1 mM and 1 mM DASPI solutions; RBCs come from five donors, approximately four hundred cells were imaged at each temperature and their average intensity was measured. The fluorescence intensity increases with decreasing temperature i.e. with stiffening.

References

1. M. A. HAIDEKKER & E. A. THEODORAKIS, Environment-sensitive behavior of fluorescent molecular rotors, *J. Biol. Eng.*, **4**, 1–14 (2010).
2. A. BRIOLE, T. PODGORSKI & B. ABOU, Molecular rotors as intracellular probes of red blood cell stiffness, submitted to *Soft Matter* (2021).

Vortex enhancement in streaming with viscoelastic fluids

S. Amir Bahrani^{1,3}, Maxime Costalonga¹, Nicolas Périnet⁴, Laurent Royon² & Philippe Brunet¹

¹ Université de Paris, CNRS, MSC, UMR 7057, F-75006, Paris, France

² Université de Paris, CNRS, LIED, UMR 8236, F-75006, Paris, France

³ IMT Lille Douai, Institut Mines Télécom, Univ. Lille, Center for Energy and Environment, F-59000 Lille.

⁴ 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 steady streaming flows, originating from Reynolds stresses within the viscous 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 counter-rotating 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 structure and magnitude varying both the amplitude and frequency of the cylinder oscillations. The fluid (HPAM + 1% NaCl) is chosen such that the relaxation time of its extensional viscosity is of the same order as the period of oscillations.

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 extensional viscosity is involved in the enlargement of inner vortices (Fig. 1).

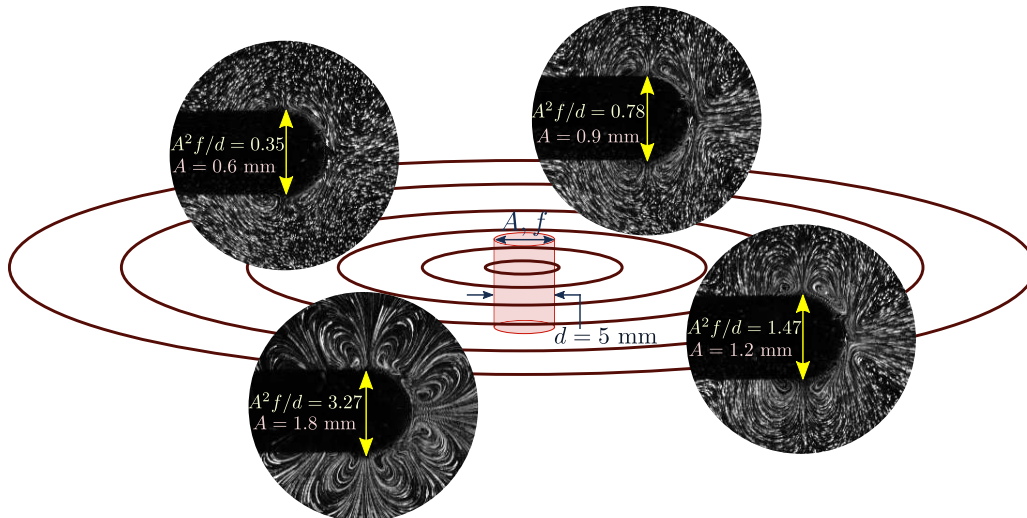


Figure 1. Enlargement of inner vortices within the secondary steady flows for $f = 20$ Hz.

Second, for strong enough forcing, the streaming flow moves away from the usual the four-vortices pattern. Indeed, a more complex structure can appear where each initial vortex splits into two smaller ones, showing a steady multiple vortices 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, Vortex elongation in outer streaming flows, *Exp. Fluids*, **61**, 91 (2020).

Lagrangian compressible dynamics in a self-similar incompressible jet

Thomas Basset¹, Bianca Viggiano², Thomas Barois³, Mathieu Gibert⁴, Nicolas Mordant⁵, Raúl Bayoán Cal², Romain Volk¹ & Mickaël Bourgoïn¹

¹ Laboratoire de Physique, École Normale Supérieure de Lyon, France

² Department of Mechanical and Materials Engineering, Portland State University, USA

³ Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine, Université de Bordeaux, France

⁴ Institut Néel, Université Grenoble Alpes, France

⁵ Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels, Université Grenoble Alpes, France

thomas.basset@ens-lyon.fr

A large-scale experimental Lagrangian study based on *Particle Tracking Velocimetry* (PTV) has been completed in an incompressible turbulent round water jet freely spreading into water with a Taylor-based Reynolds number $Re_\lambda \simeq 230$. The vertical jet is ejected from a round nozzle with a diameter $D = 4$ mm and the measurement volume spans 80 mm $= 20D$ in the self-similar region. The jet is seeded with neutrally buoyant spherical polystyrene tracers with a diameter of 250 microns. The particularity of this study is that the jet is seeded only through the nozzle (inhomogeneous seeding called *nozzle seeding*). The Lagrangian flow of tracers therefore does not contain any contribution from particles entrained into the jet from the surrounding fluid. Tracers are tracked with three high speed cameras at 6000 fps, then PTV methods are used to obtain tracer trajectories. New calibration [1] and matching [2] algorithms are especially used.

We will report here results on the mean velocity field \mathbf{U}_φ of tracked particles which we compare to the well-known self-similar velocity field \mathbf{U} of the jet [3]. We show that \mathbf{U}_φ is essentially undistinguishable from \mathbf{U} for the axial velocity while important discrepancies are found for the radial velocity. These discrepancies are interpreted and analysed by considering the flow of particles as effectively compressible. Indeed, as particles entrained into the jet are not tracked, even if the jet flow is incompressible ($\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$), the *nozzle seeded* flow is not divergence-free ($\nabla \cdot \mathbf{U}_\varphi \neq 0$). To account for this apparent compressibility, a new mass conservation equation is proposed by considering the mean tracer density field φ : $\nabla \cdot (\varphi \mathbf{U}_\varphi) = 0$. This model can be solved analytically and successfully describes the experimental radial velocity field, emphasizing the specific role of entrainment up to the core of the jet.

Finally, we reinterpret this effectively compressible dynamics in terms of a simple diffusion process linking \mathbf{U} with φ through a classical advection–diffusion equation: $\nabla \cdot (\varphi \mathbf{U} - K_T \nabla \varphi) = 0$, with K_T an eventually spatial-dependent turbulent diffusion coefficient for the tracers. We theoretically and experimentally determine the radial-dependent coefficient $K_T(r)$, which can be linked with known turbulent viscosity $\nu_T(r)$ through turbulent Prandtl number $\sigma_T(r)$ determined as well.

This study, which combines Lagrangian approach with turbulent scalar transport, gives new experimental and theoretical elements for a better comprehension of turbulent diffusion and of the role of entrainment in a turbulent jet.

References

1. N. MACHICOANE *et al.*, A simplified and versatile calibration method for multi-camera optical systems in 3D particle imaging, *Rev. Sci. Instrum.*, **90**, 035112 (2019).
2. M. BOURGOÏN & S. G. HUISMAN, Using ray-traversal for 3D particle matching in the context of particle tracking velocimetry in fluid mechanics, *Rev. Sci. Instrum.*, **91**, 085105 (2020).
3. S. B. POPE, *Turbulent Flows*, Cambridge University Press (2000).

Intermittency of velocity circulation in quantum turbulence

Nicolás P. Müller, Juan Ignacio Polanco & Giorgio Krstulovic

Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange, Boulevard de l'Observatoire CS 34229 - F 06304 NICE Cedex 4, France
 nicolas.muller@oca.eu

The velocity circulation, a measure of the rotation of a fluid within a closed path, is a fundamental observable in classical and quantum flows. In quantum flows, circulation is quantized, taking discrete values that are directly related to the number and the orientation of thin vortex filaments enclosed by the path. By varying the size of such closed loops, the circulation provides a measure of the dependence of the flow structure on the considered scale. Here, we consider the scale dependence of circulation statistics in quantum turbulence, using high-resolution direct numerical simulations of a generalized Gross–Pitaevskii model. Results are compared to simulations of the incompressible Navier–Stokes equations. When the integration path is smaller than the mean intervortex distance, the statistics of circulation in quantum turbulence displays extreme intermittent behavior due to the quantization of circulation, in stark contrast with the viscous scales of classical flows. In contrast, at larger scales, circulation moments display striking similarities with the statistics probed in the inertial range of classical turbulence, including scalings predicted by Kolmogorov's theory and a bifractal behavior in the intermittency deviations [1]. Our results strongly reinforce the resemblance between classical and quantum turbulence, highlighting the universality of inertial-range dynamics, including intermittency.

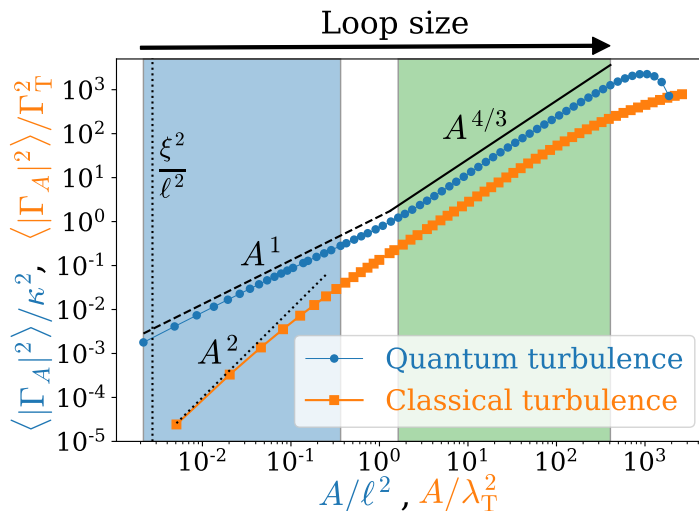


Figure 1. Variance of the circulation around square loops of area $A = r^2$. Blue line correspond to a generalized Gross–Pitaevskii simulation (resolution 2048^3), and orange line shows a Navier–Stokes simulation (resolution 1024^3). The quantum variance is rescaled by the circulation quanta κ and the area by the intervortex distance ℓ , while the classical variance is rescaled by $\Gamma_T^2 = \frac{\lambda_T^4}{3} \langle |\omega|^2 \rangle$, with λ_T the Taylor microscale and ω the vorticity field.

References

1. K. P. IYER, K. R. SREENIVASAN & P. K. YEUNG, Circulation in high Reynolds number isotropic turbulence is a bifractal, *Phys. Rev. X*, **9**, 041006 (2019).

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

Ariane Gayout, Mickaël Bourgoïn & Nicolas Plihon

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 θ 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 θ 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 θ en fonction de la vitesse d’écoulement U (Fig. 1, gauche), du fait de l’équilibre des couples du poids et aérodynamique [1]

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

À partir de cette bifurcation portance–traînée, des transitions spontanées à l’approche des limites de l’hystérésis 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]. Une modélisation à partir de cette loi laisse à penser que les transitions sont directement liées à des événements rares au sein de la couche limite du pendule [3].

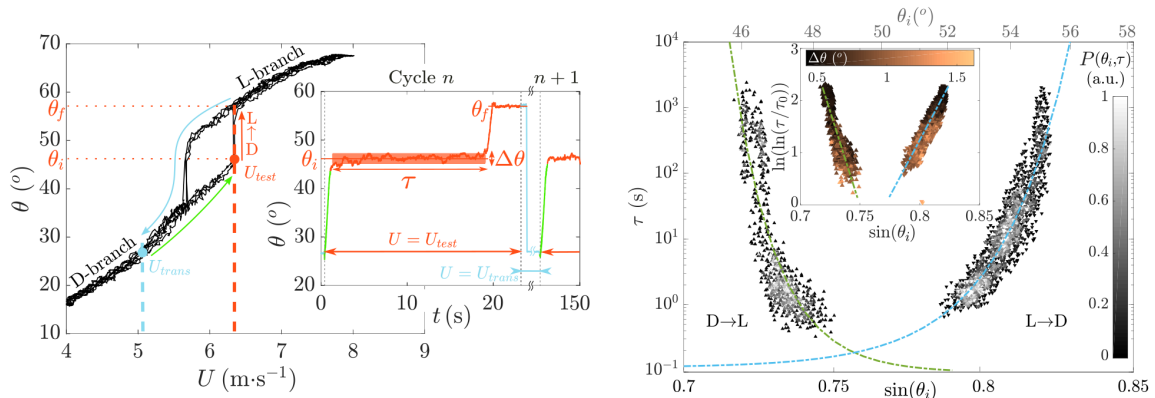


Figure 1. À gauche : Cycle d’hystérésis observé pour le pendule. Au milieu : exemple de signal temporel de transition spontanée. À droite : Distribution des temps de transition en fonction de l’angle.

Références

1. M. OBLIGADO, M. PUY & M. BOURGOIN, 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).
3. A. GAYOUT, M. BOURGOIN & N. PLIHON, Rare event-triggered transitions in aerodynamic bifurcation, *Phys. Rev. Lett.*, **126**, 104501 (2021).

On-off intermittency due to parametric Lévy noise

Adrian van Kan, Alexandros Alexakis & Marc-Étienne Brachet

Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure, ENS, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Université de Paris, F-75005 Paris, France

adrian.van.kan@phys.ens.fr

Instabilities arise in many physical systems at some parameter threshold. Typically the system is embedded in an uncontrolled noisy environment. The fluctuating properties of the environment affect the control parameters of the instability, which leads to multiplicative noise. The result of multiplicative noise close to an instability threshold is on-off intermittency, which is characterised by an aperiodic switching between a large-amplitude “on” state and a small-amplitude “off” state.

Here, we present a new type of intermittency, *Lévy on-off intermittency*, which arises from multiplicative α -stable white noise close to an instability threshold [1]. We study this problem in the linear and nonlinear regimes, both theoretically and numerically, for the case of a pitchfork bifurcation with fluctuating growth rate. In a recently introduced point-vortex model of 3-D perturbations in 2-D flows [2], the perturbation amplitude obeyed such an equation. We compute the stationary distribution analytically and numerically from the associated fractional Fokker–Planck equation in the Stratonovich interpretation. We characterize the system in the parameter space (α, β) of the noise, with stability parameter $\alpha \in (0, 2)$ and skewness parameter $\beta \in [-1, 1]$. Five regimes are identified in this parameter space, in addition to the well-studied Gaussian case $\alpha = 2$. Three regimes are located at $1 < \alpha < 2$, where the noise has finite mean but infinite variance. They are differentiated by β and all display a critical transition at the deterministic instability threshold, with on-off intermittency close to onset. Critical exponents are computed from the stationary distribution. Each regime is characterised by a specific form of the density and specific critical exponents, which differ starkly from the Gaussian case. A finite or infinite number of moments may converge, depending on parameters. Two more regimes are found at $0 < \alpha \leq 1$. There, the mean of the noise diverges, and no transition occurs. In one case the origin is always unstable, independently of the distance μ from the deterministic threshold. In the other case, the origin is conversely always stable, independently of μ . Figure 1 shows the resulting parameter space. In summary, we demonstrate that an instability subject to non-equilibrium, power-law distributed fluctuations can display substantially different properties than for Gaussian thermal fluctuations, in terms of statistics and critical behavior.

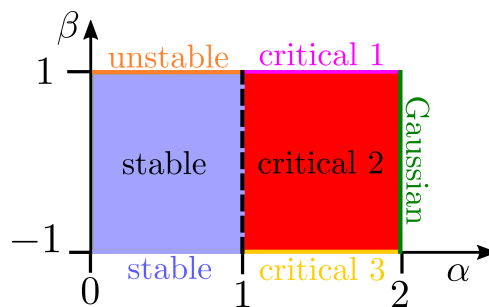


Figure 1. State diagram of a pitchfork bifurcation whose growth rate exhibits Lévy white noise fluctuations.

References

1. A. VAN KAN, A. ALEXAKIS & M. E. BRACHET, Lévy on-off intermittency, [arXiv:2102.08832](https://arxiv.org/abs/2102.08832) (2021).
2. A. VAN KAN, A. ALEXAKIS & M. E. BRACHET, Intermittency of three-dimensional perturbations in a point-vortex model, [arXiv:2012.12637](https://arxiv.org/abs/2012.12637) (2020).

Extreme events and metastability in transitional shear flows

Sébastien Gomé¹, Laurette S. Tuckerman¹ & Dwight Barkley²

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

² Mathematics Institute, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom

sebastien.gome@espci.fr

Transition to turbulence in shear flows is characterized by intermittent laminar–turbulent patterns that statistically proliferate or collapse depending on the Reynolds number. In pipe, channel or plane Couette flow, those turbulent puffs (or bands) either decay to an absorbing state or proliferate via a process known as splitting. Both are effectively memoryless processes associated with large mean first passage times. The lifetimes are found to depend super-exponentially on the Reynolds number and lead to crossing Reynolds number above which proliferation is more likely than decay. However, the determination of those lifetimes requires numerous long-time direct numerical simulations.

We therefore apply a rare event algorithm, the Adaptive Multi-level Splitting (AMS) [1], to the deterministic Navier–Stokes equations to study the transition paths and estimate large time scales with a reduced cost. The numerical domain is tilted with respect to the streamwise direction, thus controlling the obliqueness of the turbulent pattern and limiting complex 2D interactions between bands. Trajectories are selected via an importance function that describes the distance from a flow state to the one-band or two-band attractor. The choice of this function is crucial for the convergence of the algorithm towards the time scale previously computed with direct simulations [3]. The AMS was already used for a stochastic model of transitional flows with similar metastable properties [2], and opens new possibilities for computing passage times in different flow situations (large 2D domains, different shear profiles...).

Splitting or decay events approach a most-probable pathway or instanton which paves the way for an out-of-equilibrium description of transition to turbulence. Pathways are intrinsically linked with nucleation processes that approach and leave an edge state in the phase space. Those transitions between metastable states can be described by the theory of extreme values, as initially suggested by Goldenfeld *et al.* [4] and recently demonstrated by Nemoto & Alexakis [5]. The connection between fluctuations within the turbulent region and Fisher–Tippett distributions accounts for the super-exponential dependence with the Reynolds number. We show that the process of turbulent band spreading and splitting throughout a laminar domain also enters this description.

References

1. F. CÉROU, A. GUYADER & M. ROUSSET, Adaptive multilevel splitting: Historical perspective and recent results, *Chaos*, **29**, 043108 (2009).
2. J. ROLLAND, Extremely rare collapse and build-up of turbulence in stochastic models of transitional wall flows, *Phys. Rev. E*, **97**, 023109 (2018).
3. S. GOMÉ, L. TUCKERMAN & D. BARKLEY, Statistical transition to turbulence in plane channel flow, *Phys. Rev. Fluids*, **5**, 083805 (2020)
4. N. GOLDENFELD, N. GUTTENBERG & G. GIOIA, Extreme fluctuations and the finite lifetime of the turbulent state, *Phys. Rev. E*, **81**, 035304(R) (2020).
5. T. NEMOTO & A. ALEXAKIS, Do extreme events trigger turbulence decay? – a numerical study of turbulence decay time in pipe flows, *J. Fluid Mech.*, **912** (2021).

Confined vs. unconfined: Triadic resonant instability in cylindrical geometry

Samuel Boury¹, Paco Maurer², Sylvain Joubaud^{2,3}, Thomas Peacock⁴ & Philippe Odier²

¹ Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, NY 10012, USA

² Univ Lyon, ENS de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

³ Institut Universitaire de France (IUF), 1 rue Descartes, 75005 Paris, France

⁴ Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA
sb7918@nyu.edu

The various nonlinear mechanisms through which inertia-gravity waves can be excited at different frequencies and different wave numbers trigger an on-going interest since they are associated to energy transfers from scales to scales and may have a significant role in mixing processes, for example in the oceans. Among these nonlinear interactions is the spontaneous generation of sub-harmonics forming resonant a triad with the primary wave field, called Triadic Resonant Interaction (TRI).

Numerous experimental, numerical, and theoretical studies have been conducted to investigate TRI and sub-harmonics in 2D Cartesian geometry, using plane wave formalism (see, e.g. [3]). The triads constituted of the forced wave and the two spontaneously excited sub-harmonics are then found to satisfy a linear resonance condition, both on the frequencies and on the wave numbers, that can be written as

$$\begin{aligned}\omega_0 &= \pm\omega_1 \pm \omega_2, \\ \mathbf{k}_0 &= \pm\mathbf{k}_1 \pm \mathbf{k}_2,\end{aligned}$$

where ω_0 is the frequency of the primary wave and \mathbf{k}_0 its wave vector (respectively ω_1 , \mathbf{k}_1 and ω_2 , \mathbf{k}_2 for the sub-harmonics). With axisymmetric internal waves in cylindrical geometry, however, the description of the wave field in terms of Bessel functions yields more complicated equations and it is not obvious that the same TRI conditions are satisfied [5]. While evidence of TRI in such geometries have been reported recently [5, 6], no clear theory has been derived to characterise the corresponding resonance conditions.

In an unconfined 3D configuration, we derive the relevant resonance conditions cylindrical wave fields satisfy and we show that they are similar to the TRI ones for Cartesian plane waves, although the radial resonance is only approximate. We also show that, when the waves are fully confined, boundary condition prevail, leading to a triad of waves that are non-necessarily spatially resonant. Using an apparatus that has been proven capable of generating axisymmetric internal wave fields [1], we present experimental observations of axisymmetric internal wave sub-harmonics generated in unconfined and confined domains [2], agreeing well with the proposed theory.

References

1. S. BOURY, T. PEACOCK & P. ODIER, Excitation and resonant enhancement of axisymmetric internal wave modes, *Phys. Rev. Fluids*, **4**, 034802 (2019).
2. S. BOURY, P. MAURER, S. JOUBAUD, T. PEACOCK & P. ODIER, Triadic resonant instability in confined and unconfined axisymmetric geometries, *J. Fluid Mech.*, in preparation.
3. T. DAUXOIS, S. JOUBAUD, P. ODIER & A. VENAILLE, Instabilities of internal gravity wave beams, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **50**, 131–156 (2018).
4. S. JOUBAUD, J. MUNROE, P. ODIER & T. DAUXOIS, Experimental parametric subharmonic instability in stratified fluids, *Phys. Fluids*, **24**, 041703 (2012).
5. P. MAURER, *Approche expérimentale de la dynamique non linéaire d'ondes internes en rotation*, PhD thesis, Université de Lyon (2017).
6. N. D. SHMAKOVA & J.-B. FLÓR, Nonlinear aspects of focusing internal waves, *J. Fluid Mech.*, **862**, R4 (2019).

Caractérisation et contrôle des états chimères dans des réseaux optiques

Marouane Ayyad & Saliya Coulibaly

Université de Lille, CNRS, UMR 8523-PhLAM-Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59000 Lille, France
marouane.ayyad@univ-lille.fr

Dans la mythologie grecque, une chimère est une créature fantastique dont certaines parties du corps appartiennent à des animaux différents. Ces organismes hétérogènes réussissant ainsi à coexister au sein d'un même animal. Les états chimères n'ont cessé de susciter un intérêt considérable depuis deux décennies [1–3]. Leur ressemblance avec plusieurs phénomènes omniprésents dans la nature, tels que le sommeil uni-hémisphérique chez certains mammifères, les crises d'épilepsie et la schizophrénie, a contribué à la compréhension de certains de leurs mécanismes de base.

Par analogie à cette mythologie, en physique et plus particulièrement dans les systèmes complexes discrets spatialement étendus, ces états chimères correspondent à la coexistence de deux comportements dynamiques spatio-temporels opposés. La coexistence de deux domaines l'un cohérent et l'autre incohérent dans une chaîne d'oscillateurs non linéaires couplés en est l'exemple historique, à l'image des différentes parties du corps d'une chimère. Ces auto-organisations spatio-temporelles ont été largement étudiées théoriquement et expérimentalement. Cependant, rares sont les études menées pour explorer les liens entre ce type de dynamique et les automates cellulaires. Ces automates, malgré leur simplicité, possèdent des propriétés dynamiques remarquables et, par conséquent, représentent un des socles de la théorie de l'information [4].

Pour répondre à cette problématique, nous avons considéré des états chimères stabilisés dans une chaîne de résonateurs optiques identiques couplés [5]. Ces états ont alors fait l'objet d'analyses quantitatives et qualitatives par les mêmes outils que ceux utilisés pour caractériser les automates cellulaires [6, 7]. Cela nous a permis de mettre en évidence une dynamique de type automate cellulaire élémentaire cachée dans l'évolution de nos états chimères. Nous avons alors été en mesure de déduire, un ensemble de propriétés en terme de calculabilité, ouvrant des perspectives vers des potentielles applications pour le traitement de l'information.

Références

1. Y. KURAMOTO & D. BATTOGTOKH, Coexistence of coherence and incoherence in nonlocally coupled phase oscillators, *Nonlinear Phenom. Complex Syst.*, **5**, 380–385 (2002).
2. D. M. ABRAMS & S. H. STROGATZ, Chimera states for coupled oscillators, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 174102 (2004).
3. M. R. TINSLEY, S. NKOMO & K. SHOWALTER, Chimera and phase-cluster states in populations of coupled chemical oscillators, *Nature Physics*, **8**, 662–665 (2012).
4. S. WOLFRAM, Cellular automata as models of complexity, *Nature*, **311**, 419–424 (1984).
5. M. G. CLERC, M. A. FERRÉ, S. COULIBALY, R. G. ROJAS & M. TLIDI, Chimera-like states in an array of coupled-waveguide resonators, *Opt. Lett.*, **42**, 2906–2909 (2017).
6. C. G. LANGTON, Computation at the edge of chaos: Phase transitions and emergent computation, *Physica D*, **42**, 12–37 (1990).
7. M. MITCHELL, J. P. CRUTCHFIELD & P. T. HRABER, Evolving cellular automata to perform computations: Mechanisms and impediments, *Physica D*, **75**, 361–391 (1994).

“Granular turbulence” in a driven system of magnetized particles

Michael Berhanu¹, Simon Merminod², Gustavo Castillo³ & Éric Falcon¹

¹ MSC, Université de Paris, Université Paris Diderot, CNRS (UMR 7057), 75013 Paris, France

² Martin A. Fisher School of Physics, Brandeis University, Waltham, MA 02453, USA

³ Instituto de Ciencias de la Ingeniería, Universidad O’Higgins, 2841959 Rancagua, Chile

michael.berhanu@univ-paris-diderot.fr

Driven granular media constitute archetypal systems to study out-of-equilibrium physics at the macroscopic scale. We developed an experimental device, in which the competition between mechanical agitation of and remote repulsive interactions between macroscopic particles can be studied [1, 2]. In this device, strongly magnetized particles self-organize into a quasi-two-dimensional pattern (Fig. 1 (a)). We find that the space-time power spectra of the longitudinal and transverse velocity fluctuations of the particles define dispersion relations (e.g. Fig. 1 (b)). Thus, we show that the random motions of the particles correspond to the propagation of mechanical waves, analogous to the phonons in condensed matter. The continuous spectra showing propagation of random waves at different scales and the nonlinearity suggest a turbulent dynamic of waves. For moderate applied magnetic field, in a collision-less granular gas regime, we observe also power-law velocity spectra both in space and in time. However, the time scale separation between linear time and damping time is small, likely due to the strong dissipation inherent to granular media. The “granular” turbulence observed here would not correspond to an energy flux through the scales, but rather a response to the forcing by the waves dynamics. A similar interpretation has been recently proposed in active matter for turbulent-like spectra at low Reynolds number [3].

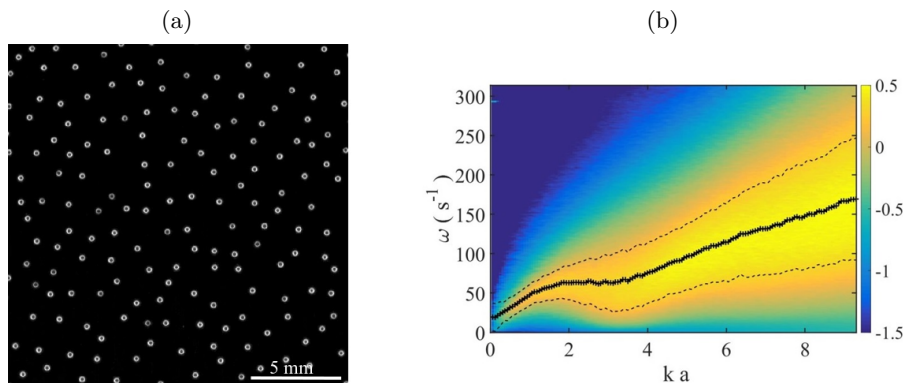


Figure 1. (a) Snapshot of the experiment viewed from above in a collision-less granular gas regime. Steel spheres of diameter $a = 1$ mm are mechanically shaken and interact with each-other through a magnetic dipolar potential. 2D particle positions and velocities are obtained by particle tracking. (b) Space-time power spectrum of longitudinal velocity fluctuations. The maxima of signal energy define a dispersion relation (black crosses) in the (k, ω) space. The large width of the dispersion relation (dashed lines) denotes significant wave damping.

References

1. S. MERMINOD, M. BERHANU & É. FALCON, Transition from a dissipative to a quasi-elastic system of particles with tunable repulsive interactions, *Europhys. Lett.*, **106**, 44005 (2014).
2. G. CASTILLO, S. MERMINOD, É. FALCON & M. BERHANU, Tuning the distance to equipartition by controlling the collision rate in a driven granular gas experiment, *Phys. Rev. E*, **101**, 032903 (2020).
3. R. ALERT, J.-F. JOANNY & J. CASADEMUNT, Universal scaling of active nematic turbulence, *Nature Phys.*, **16**, 682-0688 (2020).

Transition to turbulence in a heated non-Newtonian pipe flow

Francesco Romano¹, Antoine Charles², François Dottori² & S. Amir Bahrani²

¹ Univ. Lille, CNRS, ONERA, Arts et Métiers Institute of Technology, Centrale Lille, UMR 9014 - LMFL - Laboratoire de Mécanique des Fluides de Lille - Kampé de Fériet, 59000, Lille, France

² IMT Lille Douai, Institut Mines Télécom, Univ. Lille, Center for Energy and Environment, F-59000 Lille, France.

francesco.romano@ensam.eu & amir.bahrani@imt-lille-douai.fr

The transition to turbulence is among the most investigated topics in fluid mechanics as it relies on non-trivial phenomena that are not yet fully understood since the experiments of Osborne Reynolds in 1883. Several investigations focused on linear instabilities triggering the most dangerous perturbations that lead to transition in model flows such as the Kolmogorov flow [1] or in paradigmatic setups such as the Taylor–Couette [2] or the Rayleigh–Bénard flows [3].

On the other hand, when dealing with pipe flows, nonlinear interactions between finite-amplitude perturbations are essential for transition to turbulence [4,5] as the Hagen–Poiseuille flow is linearly stable. Among the most interesting features of transition to turbulence in pipe flows there is the phenomenon of intermittent turbulence, where small turbulent regions (puffs) grow up to larger turbulent patches (slugs) and then they decay because of a restabilization of the mean velocity profile. This has been recently investigated by [6], who proposed a reduced-order model that retains the essential nonlinear effects of the momentum equation required to explain the intermittency, as well as the nonlinear interaction between turbulent regions leading to transition.

Building upon the model of Barkley, we generalize the framework of such reduced-order approach by adding the energy equation and the thermal effect on the dynamic viscosity. This has a remarkable impact on the local Reynolds number when the outer wall of the pipe is heated up leading to a significant reduction of the area occupied by the flow dynamics represented in the q – u phase plane, where q is the turbulent intensity and u is the streamwise velocity at the pipe axis.

As observed by [7], the effect of viscoplasticity on the dynamics of turbulent slugs is significant. Hence, a further generalization of the model of Barkley is proposed including the non-Newtonian effects for a viscoplastic flow. To generalize the constitutive equation of the stress tensor, we consider the Herschel–Bulkley model, i.e. $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$ for $\tau \geq \tau_0$ and $\dot{\gamma} = 0$ for $\tau < \tau_0$, where τ and $\dot{\gamma}$ are the shear stress and the shear rate, K is the consistency index, n denotes the flow index and τ_0 is the yield stress. Upon a decrease of the flow index n , hence increasing the importance of viscoplasticity, we obtain an effect on the q – u phase plane that opposes the one of temperature.

References

1. F. ROMANÒ, Stability of generalized Kolmogorov flow in a channel, *Phys. Fluids*, in press (2021).
2. G. LEMOULT, L. SHI, K. AVILA, S.V. JALIKOP, M. AVILA & B. HOF, Directed percolation phase transition to sustained turbulence in Couette flow, *Nature Phys.*, **12**, 254–258 (2016).
3. X. ZHU, V. MATHAI, R. J. A. M. STEVENS, R. VERZICCO & D. LOHSE, Transition to the ultimate regime in two-dimensional Rayleigh–Bénard convection, *Phys. Rev. Lett.*, **120**, 144502 (2018).
4. B. HOF, C. W. H. VAN DOORNE, J. WESTERWEEL, F. T. M. NIEUWSTADT, H. FAISST, B. ECKHARDT, H. WEDIN, R. R. KERSWELL & F. WALEFFE, Experimental observations of nonlinear traveling waves in turbulent pipe flow, *Science*, **302**, 1594–1598 (2004).
5. F. WALEFFE, On a self-sustaining process in shear flows, *Phys. Fluids*, **9**, 883–900 (1997).
6. D. BARKLEY, Simplifying the complexity of pipe flow, *Phys. Rev. E*, **84**, 016309 (2011).
7. S. A. BAHRANI & C. NOUAR, Intermittency in the transition to turbulence for a shear-thinning fluid in Hagen–Poiseuille flow, *J. Appl. Fluid Mech.*, **7**, 1–6 (2014).

Focalisation d'ondes circulaires à la surface d'un fluide

Jules Fillette^{1,2}, Stéphan Fauve¹ & Éric Falcon²

¹ École Normale Supérieure, Laboratoire de Physique de l'ENS, UMR 8550 CNRS, F-75005 Paris, France

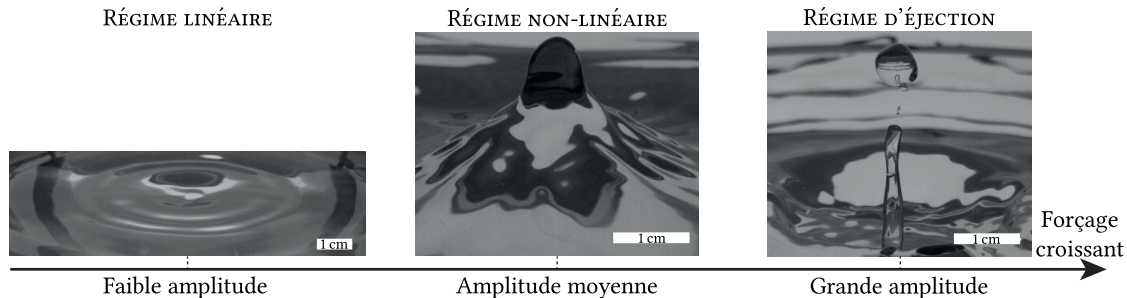
² Université de Paris, Matière et Systèmes complexes (MSC), UMR 7057 CNRS, F-75013 Paris, France

jules.fillette@phys.ens.fr

La focalisation d'ondes est un processus commun en optique et en acoustique. En hydrodynamique, la focalisation directionnelle d'ondes à la surface d'un fluide a été très peu abordée malgré son intérêt pour l'étude des ondes fortement non linéaires [1]. Elle a aussi été évoquée pour la formation d'ondes scélérates dans l'océan [2] ou l'amplification de l'énergie d'un tsunami [3].

Nous étudions expérimentalement les phénomènes en jeu dans la focalisation d'ondes circulaires convergentes engendrées par un anneau vibrant verticalement à la surface de l'eau. Une méthode de mesure résolue en temps et en espace permet de remonter au champ d'ondes. Sous faible forçage sinusoïdal, le motif spatial des ondes stationnaires correspond à la prédiction linéaire en fonction de Bessel $J_0(kr) \cos(\omega t)$ [4]. Sous certaines conditions de fréquence et de forçage, la focalisation induit une divergence de l'amplitude au centre du bassin pouvant aboutir à l'éjection d'un jet de fluide voire de gouttes.

Les différents régimes dynamiques observés seront d'abord présentés sous la forme d'un diagramme des phases, puis nous nous intéresserons aux écarts au régime linéaire dus à l'amplitude finie des ondes. La valeur moyenne du profil spatial est trouvée non nulle comme prédit numériquement en régime non linéaire [4]. Pour un forçage suffisamment fort, sans éjection, le profil de la déformation centrale est trouvé suivre une loi auto-similaire en temps, différente de celle issue du forçage paramétrique d'une cuve de liquide [5]. Nous étudions actuellement le régime impulsif pour mieux comprendre comment l'énergie injectée par l'anneau dans le système va se dissiper au centre de la cellule.



Remerciements – Les auteurs remercient l'ANR Dysturb (ANR-17-CE30-0004) et la Simons Foundation MPS N° 651463.

Références

1. G. RUIZ CHAVARRIA, P. LE GAL & M. LE BARS, Geometrical focusing of surface waves, *Phys. Rev. Fluids*, **3**, 094803 (2018)
2. K. SHE, C. A. GREATED & W. J. EASSON, Experimental study of three-dimensional breaking wave kinematics, *Appl. Ocean Res.*, **19**, 329 (1997); C. FOCHEATO, S. GRILLI, & F. DIAS, Numerical modeling of extreme rogue waves generated by directional energy focusing, *Wave motion*, **44**, 395 (2007)
3. M. V. BERRY, Focused tsunami waves, *Proc. R. Soc. A*, **463**, 3055 (2007)
4. S. BASAK, P. K. FARSOIYA & R. DASGUPTA, Jetting in finite-amplitude, free, capillary-gravity waves, *J. Fluid Mech.*, **909**, A3 (2020).
5. B. W. ZEFF, B. KLEBER, F. FINEBERG & D. P. LATHROP, Singularity dynamics in curvature collapse and jet eruption on a fluid surface, *Nature*, **403**, 401–404 (2000).

Convection naturelle dans l'écoulement d'un fluide dans un tube horizontal

Gerardo Ruiz Chavarria

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

gruiz@unam.mx

L'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'un tube a été étudié depuis longtemps. Au XIX^e siècle, Osborne Reynolds a montré que l'écoulement reste laminaire si le nombre de Reynolds ne dépasse pas la valeur 2300. L'introduction des effets thermiques ou magnétiques va modifier les propriétés de cet écoulement. À cet égard, Zigakov *et al.* [1] ont observé la formation de cellules de recirculation pour un métal liquide soumis à un champ magnétique. Ces cellules sont parallèles à la direction du champ magnétique. Une autre façon de produire des cellules convectives est à travers d'un effet thermique.

Nous étudions ici l'écoulement d'un liquide dans un tube horizontal soumis à un flux de chaleur en son hémisphère inférieur. Les équations de Navier–Stokes et de continuité ont été résolues numériquement. Les résultats dépendent de trois paramètres sans dimension, le nombre de Reynolds (Re), le nombre de Grashof (Gr) et le nombre de Prandtl (Pr). Nous avons considéré que le nombre de Prandtl est égal à 7 (qui correspond à l'eau), tandis que les autres paramètres varient dans les intervalles $0 < Re < 2000$ et $50\,000 < Gr < 500\,000$. Nous observons alors la formation de deux cellules de convection dont la taille dépend des nombres de Reynolds et de Grashof. En outre, au-dessus d'un seuil pour le nombre de Grashof, nous observons l'apparition d'instabilités. Finalement, nous discutons une application de cette recherche dans le domaine de l'énergie solaire.

Remerciements – L'auteur remercie la DGAPA-UNAM pour le soutien dans le contrat PAPIIT IN113621 (Transporte de partículas, convección y vorticidad).

Références

1. O. ZIGAKOV, Y. I. LISTRATOV & V. G. SVIRIDOV, Natural convection in horizontal pipe flow with a strong transverse magnetic field, *J. Fluid Mech.*, **720**, 486–516 (2013).

Pattern formation in localized photo-controlled bioconvection

Aina Ramamonjy¹, Julien Dervaux¹ & Philippe Brunet¹

Laboratoire Matière et Systèmes Complexes UMR CNRS 7057, Université de Paris, 10, rue A. Domon et L. Duquet, 75030 Paris

aina.ramamonjy@univ-paris-diderot.fr

Many micro-organisms display taxes which are movements in response to stimuli, away or towards the stimuli sources. For example, many photosynthetic micro-organisms display phototaxis which enable them to optimize their light environment. In suspension of photosynthetic and phototactic micro-algae *Chlamydomonas Reinhardtii* (CR) (Fig. 1 (a)), it was recently demonstrated [1] that using a localized light beam (Fig. 1 (b)) to attract and accumulate cells could induce localized photo-controlled bioconvection. Bioconvection is a hydrodynamic phenomenon in suspension of motile micro-organisms which are heavier than water. The accumulation of micro-organisms due to their biased swimming creates density gradients that can be unstable. Then, self-generated macroscopic convection flows can arise with associated concentration patterns.

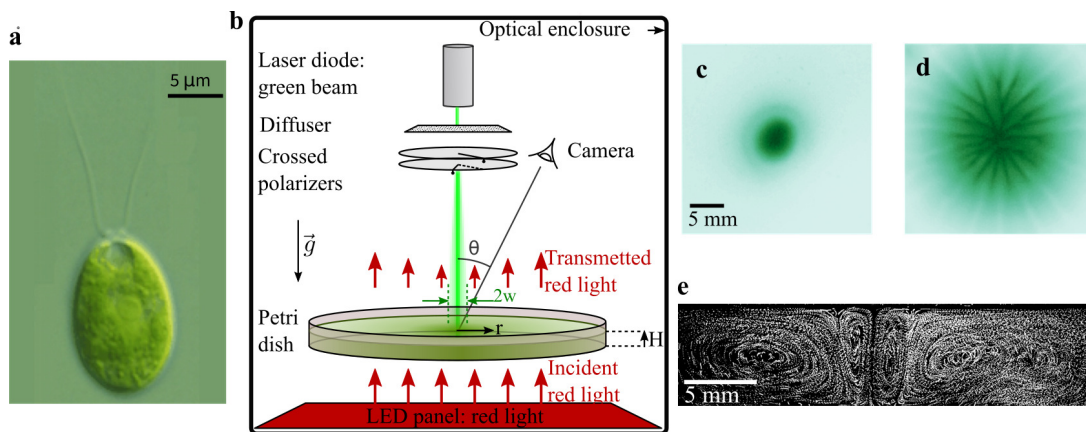


Figure 1. (a) *Chlamydomonas Reinhardtii* (CR) single cell. (b) A thin layer of a suspension of CR cells lays in a horizontal Petri dish. A green laser beam is used to attract CR. The concentration field is accessed by a top view of the transmitted red light coming from below. (c, d) Colorized top views of the concentration field on the red channel. (e) Side view fluorescence imaging of the flow field in a 2D geometry.

It was shown [1] that localized photo-controlled bioconvection appears far below the expected Rayleigh number for spontaneous (without light excitation) bioconvection. Here, first we study the associated concentration patterns when increasing the beam width and the Rayleigh number. We show that the concentration field exhibits remarkable symmetry breaking from round patterns (Fig. 1 (c)) to more complex patterns (Fig. 1 (d)). We are also developing a fluorescence imaging system allowing us to track small passive tracers to visualize fluid flows in addition to the concentration system field (Fig. 1 (e)). This will help us to better understand the relationship between the bioconvection flows and their associated concentration patterns.

References

1. J. DERVAUX, M. CAPELLAZZI RESTA, & P. BRUNET, Light-controlled flows in active fluids, *Nature Phys.*, **13**, 306–312 (2017).

Analyse faiblement non linéaire de stabilité d'un cylindre de ferrofluide

Romain Canu & Marie-Charlotte Renoult

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

Un cylindre de ferrofluide incompressible non visqueux placé dans un champ magnétique axisymétrique stationnaire est considéré. Des conditions isothermes sont supposées et la gravité ainsi que les effets du fluide environnant sont ignorés. Ce cylindre est perturbé à l'aide d'une déformation axisymétrique de faible amplitude et une analyse de stabilité faiblement non linéaire est réalisée. Ce système physique dépend de quatre nombres sans dimension : le nombre d'onde adimensionné, la perméabilité magnétique relative, le nombre de Bond magnétique et l'amplitude de la déformation initiale. Les grandeurs physiques (vitesse, pression, déformation de la surface et champ magnétique) sont développées en série de puissances entières de l'amplitude de la perturbation initiale et les équations de ferrohydrodynamique sont résolues jusqu'à l'ordre 2. En raison du caractère faiblement non linéaire de l'analyse, la formation des gouttes satellites peut être prédite. Cette prédiction a un intérêt, par exemple, dans le domaine de l'impression où des encres magnétiques peuvent être utilisées et où la formation de ces gouttes satellites n'est pas souhaitée.

Active elastocapillarity

Jack Binysh

Department of Physics, University of Bath, Claverton Down, Bath BA2 7AY, United Kingdom
j.binysh@warwick.ac.uk

Active solids consume energy to allow for actuation, shape change, and wave propagation not possible in equilibrium. For two-dimensional active surfaces, powerful design principles exist that realise this phenomenology across systems and length scales. However, control of three-dimensional bulk solids remains a challenge. Here, we develop both a continuum theory and microscopic simulations that describe an active surface wrapped around a passive soft solid. The competition between active surface stresses and bulk elasticity leads to a broad range of previously unexplored phenomena, which we dub *active elastocapillarity*. In passive materials, positive surface tension rounds out corners and drives every shape towards a sphere. By contrast, activity can send the surface tension negative, which results in a diversity of stable shapes selected by elasticity. We discover that in these reconfigurable objects, material nonlinearity controls reversible switching and snap-through transitions between anisotropic shapes, as confirmed by a particle-based numerical model. These transition lines meet at a critical point, which allows for a classification of shapes based on universality. Even for stable surfaces, a signature of activity arises in the negative group velocity of surface Rayleigh waves. These phenomena offer insights into living cellular membranes and underpin universal design principles across scales from robotic metamaterials down to shape-shifting nanoparticles.

Counterflow-induced inverse energy cascade in three-dimensional superfluid turbulence

Juan Ignacio Polanco & Giorgio Krstulovic

Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange, Boulevard de l'Observatoire CS 34229 – F 06304 Nice Cedex 4, France
jpolanco@oca.eu

Finite-temperature quantum turbulence is often described in terms of two immiscible components, an inviscid and a classical fluid, which can flow with a nonzero mean relative velocity. Such out-of-equilibrium state is known as counterflow superfluid turbulence. We describe here the emergence of a counterflow-induced inverse energy cascade in forced three-dimensional superfluid flows, by performing extensive numerical simulations of the Hall–Vinen–Bekarevich–Khalatnikov model [1]. As the intensity of the mean counterflow is increased, an abrupt transition, from a fully three-dimensional turbulent flow to a quasi-two-dimensional system exhibiting a split energy cascade, is observed (Fig. 1). In addition, we characterise the critical counterflow velocity leading to this abrupt transition, in terms of the parameters of the forcing and of the mutual friction between both fluid components. The findings of this work could motivate new experimental settings to study quasi-two-dimensional superfluid turbulence in the bulk of three-dimensional experiments. They might also find applications beyond superfluids in other systems described by more than one fluid component.

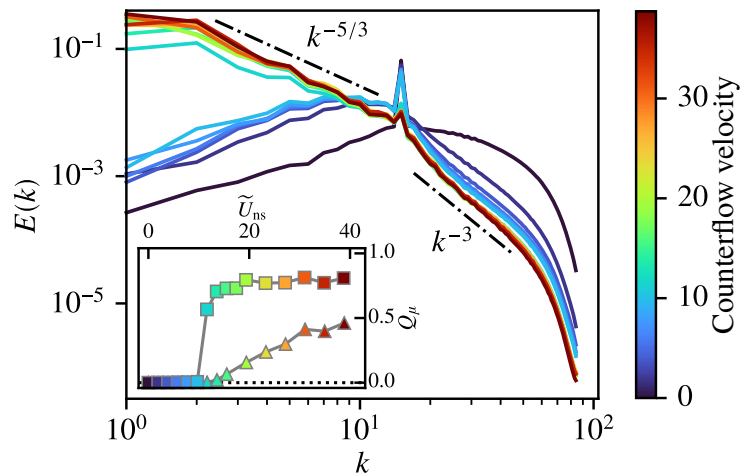


Figure 1. Kinetic energy spectrum for different counterflow velocities U_{ns} , using a two-dimensional forcing scheme. Inset: normalised large-scale energy dissipation rate Q_{μ} , indicating the presence of an inverse energy cascade at sufficiently large U_{ns} . Forcing schemes are 2D (squares) and 3D (triangles).

References

1. J. I. POLANCO & G. KRSTULOVIC, Counterflow-induced inverse energy cascade in three-dimensional superfluid turbulence, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 254504 (2020).

Instabilité paramétrique d'un système conservatif

Johann Maddi, Michel Saint-Jean & Christophe Coste

Laboratoire MSC, UMR 7057 CNRS - Université de Paris, 75013 Paris, France
johann.maddi@univ-paris-diderot.fr

Un oscillateur paramétrique est un oscillateur harmonique dont les paramètres physiques varient dans le temps. Dans les systèmes usuels, souvent décrits par l'équation de Mathieu [1], le forçage paramétrique nécessite une action extérieure apportant de façon continue de l'énergie à l'oscillateur. Il existe cependant des systèmes qui, bien qu'énergétiquement isolés, peuvent présenter des instabilités paramétriques internes [2]. Dans ce cas, la conservation de l'énergie se traduit par une résonance dite auto-paramétrique dans laquelle l'amplitude du forçage n'est plus constante au cours du temps.

Nous présentons ici le cas d'un dimère-ressort évoluant sur un potentiel sinusoïdal de même période que la longueur au repos du dimère. La présence de ce potentiel induit alors un couplage non linéaire entre le mode de translation et le mode de vibration du dimère. Cette non-linéarité peut conduire à un forçage paramétrique d'un mode vers l'autre permettant le déclenchement d'une instabilité paramétrique. Dans le cas du système considéré ici, on montre que seul le mode de vibration peut être instable. Cet exposé exhibe les différents comportements du dimère en fonction de l'énergie injectée dans le système et les énergies caractéristiques d'interaction.

Deux régimes principaux d'évolution du dimère sont mis en évidence par des simulations numériques selon que le centre de masse reste ou non piégé dans un puits du potentiel extérieur. Dans la configuration « piège », on trouve analytiquement la frontière du domaine instable, associée à un important transfert d'énergie entre les deux modes. On donne également une estimation des extrema d'amplitude de ces modes dans le cas où le système se trouve dans cette zone d'instabilité. Dans la configuration « dérive », on observe numériquement que le déclenchement de l'instabilité mène systématiquement à un comportement chaotique du dimère. Les frontières du domaine instable obtenues à l'aide de l'équation de Mathieu dans cette configuration semblent confirmer cette observation.

Références

1. L. RUBY, Applications of the Mathieu equation, *Am. J. Phys.*, **64**, 39–44 (1996).
2. B. DENARDO, J. EARWOOD & V. SAZONOVA, Parametric instability of two coupled nonlinear oscillators, *Am. J. Phys.*, **67**, 187–195 (1999).

Dynamique saccadée du séchage de feuilles biomimétiques

Ludovic Keiser, Benjamin Dollet & Philippe Marmottant

Laboratoire Interdisciplinaire de Physique (LiPhy), 140 rue de la Physique, 38402 Saint-Martin-d'Hères, France
ludovic.keiser@univ-grenoble-alpes.fr

La circulation de la sève dans les plantes repose sur un ensemble de phénomènes physiques et physico-chimiques couplés, parmi lesquels l'évaporation d'eau par les feuilles joue un rôle essentiel [1]. L'eau, présente dans les nervures de la feuille, diffuse à travers la membrane pour ensuite s'évaporer dans l'air ambiant : on parle de pervaporation. Cette pervaporation peut être reproduite dans des modèles biomimétiques en PDMS [2]. Durant les épisodes de sécheresse intense, l'évaporation dans les feuilles peut être telle que de l'air pénètre dans les nervures de la feuille. La propagation de ces embolies est déterminante pour la survie de la plante car sa capacité à réaliser la photosynthèse en dépend [3].

Dans des canaux biomimétiques à section constante, la dynamique de séchage est relativement douce et bien décrite par des exponentielles décroissantes tronquées [4]. Or, la dynamique de séchage d'une feuille est nettement plus saccadée et présente des événements de séchage violents séparés par des moments d'apparente accalmie [5]. En introduisant des régions de section très réduite, semblables aux ponctuations présentes dans les feuilles, nous retrouvons dans nos canaux biomimétiques des dynamiques analogues. Initialement, l'embolie se trouve arrêtée au niveau des ponctuations pendant des temps relativement longs. Puis soudainement, l'embolie progresse en parcourant des distances très grandes sur des temps très courts.

L'étude de cette brusque séquence d'accrochage/décrochage à l'échelle d'une ponctuation unique servira de point de départ pour la compréhension des dynamiques de séchage dans des réseaux de feuilles plus complexes.

Références

1. A. STROOCK, V. PAGAY, M. ZWIENIECKI & M. HOLBROOK, The physicochemical hydrodynamics of vascular plants, *Annu. Rev. of Fluid Mech.*, **46**, 615–642 (2014).
2. X. NOBLIN, L. MAHADEVAN, I. COOMARASWAMY, D. WEITZ, N. HOLBROOK & M. ZWIENIECKI, Optimal vein density in artificial and real leaves, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **105**, 9140–9144 (2008).
3. T. BRODRIBB, J. POWERS, H. COCHARD & B. CHOAT, Hanging by a thread? Forests and drought, *Science*, **368**, 261–266 (2020).
4. B. DOLLET, J.-F. LOUF, M. ALONZO, K. JENSEN & P. MARMOTTANT, Drying of channels by evaporation through a permeable medium, *J. Roy. Soc. Interface*, **16**, 20180690 (2019).
5. T. BRODRIBB, D. BIENAIMÉ, & P. MARMOTTANT, Revealing catastrophic failure of leaf networks under stress, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **113**, 4865–4869 (2016).

Mesure ultra-rapide du champ complexe en optique et analyse spectrale non linéaire

Alexandre Lebel¹, Giacomo Roberti², Alexey Tikan¹, Gennady El², Stéphane Randoux¹, Francois Copie¹ & Pierre Suret¹

¹ Univ. Lille, CNRS, UMR 8523—PhLAM—Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59 000 Lille, France

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

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 (picoseconde) typiques de l'instabilité modulationnelle (MI) 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 sub-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.

L'équation de Schrödinger non linéaire, régissant la propagation de la lumière dans la fibre optique, est une équation dite intégrable [3], c'est-à-dire résoluble par la méthode de l'*Inverse Scattering Transform* (IST). Cette méthode, assimilable à une analyse spectrale non linéaire, permet notamment de calculer des ensembles de valeurs propres discrètes. Ces derniers restent constants lors de la propagation. Nous étudions ici le cas d'une onde monochromatique déstabilisée, soit par du bruit soit par une modulation sinusoïdale (deux scénarios différents de l'instabilité modulationnelle), se propageant dans une fibre optique longue de plusieurs centaines de mètres. Bien que la dynamique temporelle de tels systèmes soit complexe (et pseudo-aléatoire dans le premier cas), l'IST donne accès à des résultats analytiques très forts sur la distribution des valeurs propres discrètes [4, 5].

La mesure en phase et en intensité du champ électrique nous permet d'effectuer cette analyse spectrale non linéaire et de comparer les résultats obtenus expérimentalement à la fois à la théorie ainsi qu'aux simulations numériques prenant en compte des effets d'ordre supérieurs (dispersion d'ordre 3, pertes, diffusion Raman).

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. V. E. ZAKHAROV, A. B. SHABAT, A scheme for integrating the nonlinear equations of mathematical physics by the method of the inverse scattering problem, *Func. Anal. Appl.*, **8**, 226–235 (1974).
4. A. GELASH, D. AGAFONTSEV, V.E. ZAKHAROV, G. EL, S. RANDOUX & P. SURET, Bound state soliton gas dynamics underlying the spontaneous modulational instability, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 234102 (2019).
5. P. G. GRINEVICH & P. M. SANTINI, The finite gap method and the analytic description of the exact rogue wave recurrence in the periodic NLS Cauchy problem. 1, *Nonlinearity*, **31**, 5258 (2018).

Micro-glissements dans une bande de cisaillement : nano-séismes à l'échelle du laboratoire

David Houdoux¹, Axelle Amon¹, David Marsan², Jérôme Weiss³ & Jérôme Crassous¹

¹ Univ Rennes, CNRS, IPR (Institut de Physique de Rennes) - UMR 6251, F-35000 Rennes, France

² Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, IRD, IFSTTAR, ISTerre, Le Bourget-du-Lac, France

³ ISTerre, CNRS/Université Grenoble Alpes, 38401 Grenoble, France

`axelle.amon@univ-rennes1.fr`

Les tremblements de terre sont causés par des libérations soudaines d'énergie le long de failles. Bien que difficilement prévisibles, leurs propriétés statistiques suivent des lois empiriques robustes mettant en évidence une organisation complexe des forces de frottement le long des failles. Nous présentons ici un analogue expérimental d'une faille qui reproduit toute cette complexité à l'échelle du laboratoire. En examinant les déplacements localisés dans un matériau désordonné cisailé, nous sommes en mesure d'identifier des glissements élémentaires. Ils s'organisent spontanément le long d'une faille et leurs propriétés statistiques suivent les lois empiriques des tremblements de terre naturels. Cette organisation spatio-temporelle complexe des glissements élémentaires résulte de cascades de déclenchement d'événements, tout comme pour les tremblements de terre [1].

Références

1. D. HOUDOUX, A. AMON, D. MARSAN, J. WEISS & J. CRASSOUS, Micro-slips in an experimental granular shear band replicate the spatiotemporal characteristics of natural earthquakes, [arXiv:2007.02867](https://arxiv.org/abs/2007.02867), à paraître dans *Commun. Earth Environ.* (2021).

Description multi-échelle d'une instabilité interfaciale

Fad Aboudou, Marie-Charlotte Renoult, Jorge-César Brändle de Motta & Christophe Dumouchel

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

Les résultats des premiers essais d'application de l'analyse multi-échelle à l'instabilité de Rayleigh–Taylor sont rassemblés sur ce poster. Cette instabilité apparaît à l'interface entre deux fluides de densité différente lorsque le fluide le plus dense est positionné au-dessus du fluide le moins dense. L'analyse multi-échelle a été effectuée sur des images issues de simulations numériques directes réalisées avec le code ARCHER développé au CORIA. Deux cas sont examinés : le cas 1 est une association de deux liquides de même viscosité cinématique et le cas 2, une association d'air et d'eau. Les images permettent d'identifier deux régimes d'évolution de l'instabilité : un régime linéaire pour lequel l'interface se déforme avec une allure sinusoidale et une (apparente) symétrie entre les deux phases et un régime non linéaire pour lequel la déformation n'est plus sinusoidale.

La dynamique de l'interface est décrite par la mesure de sa distribution d'échelle en fonction du temps, dont l'analyse permet de révéler trois domaines temporels :

- (1) initialement, la déformation est faible et presque indétectable ;
- (2) ensuite, elle est sinusoidale laissant apparaître progressivement une différence entre les digitations du fluide le plus dense (pointes) et les digitations du fluide le moins dense (bulles) ;
- (3) enfin, des structures plus complexes (dites de champignons pour le cas 1) se forment.

Considérer la valeur de la distribution d'échelle pour l'échelle nulle donne accès à la longueur d'interface dont l'évolution temporelle permet d'estimer le taux de croissance. Dans le régime linéaire, celui-ci est approximativement égal au double du taux de croissance de l'amplitude de la déformation, conformément aux résultats de travaux antérieurs.

La dérivée dans l'espace des échelles de la distribution d'échelle fait apparaître des échelles spécifiques comme, par exemple, celles représentatives des étranglements présents dans chacune des deux phases. Pour les cas étudiés, ces échelles sont majoritairement décroissantes démontrant que ces étranglements s'accroissent et concernent de moins en moins de liquide au fur et à mesure du temps. Cependant, pour le cas 2, après une période de décroissance, l'échelle de l'étranglement dans l'air augmente. Cette différence de comportement entre les deux phases et les deux cas témoigne de la sensibilité appropriée de l'outil multi-échelle pour détecter les premiers effets non linéaires et, par conséquent, pour décrire et étudier les instabilités interfaciales.

Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov–Maxwell

Aurélien Cordonnier¹, Xavier Leoncini¹ & Guilhem Dif-Pradalier²

¹ Aix Marseille Univ., Université de Toulon, CNRS, CPT, Marseille, France

² 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 le 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 confinés. 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. VITOT, 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).

Frequency comb formation in a driven mechanical oscillator

Baptiste Chomet, Djamel Gacemi, Carlo Sirtori & Yanko Todorov

Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure, ENS, Paris Sciences et Lettres, CNRS, Université de Paris, 24 rue Lhomond, 75005 Paris, France

`baptiste.chomet@phys.ens.fr`

Optical frequency combs have significantly transformed modern metrology and molecular spectroscopy [1]. In this work, using a resonantly driven nonlinear nanomechanical resonator with a high quality factor, we demonstrate direct analogue for an optical comb in the radio frequency domain. While optomechanical frequency combs have been previously demonstrated [2, 3], they always rely on nonlinear coupling between several mechanical modes. Here we demonstrate such combs achieved from a single mechanical mode of a doubly-clamped semiconductor beam strongly driven by gradient forces in the deep Duffing regime. Similar system has been theoretically predicted very recently [4, 5]. Study of the nonlinear effects leading to the spontaneous formation of equally frequency spaced mechanical oscillations reveals strong modulation of the carrier frequency. Moreover we show through homodyne detection that thermally induced classical fluctuations about the stable states of forced vibrations are squeezed. This work could be interesting in precision sensing enabling the advent of a new generation of nanomechanical detectors at room temperature.

References

1. T. UDEM, R. HOLZWARTH & T. W. HANSCH, Optical frequency metrology, *Nature*, **416**, 233–237 (2002).
2. R. SINGH *et al.*, Giant tunable mechanical nonlinearity in graphene–silicon nitride hybrid resonator, [arXiv: 1904.01613v3](https://arxiv.org/abs/1904.01613v3) (2020).
3. A. GANESAN & A. SESHIA, Resonance tracking in a micromechanical device using phononic frequency combs, *Sci. Rep.*, **9**, 9452 (2019).
4. M. I. DYKMAN, G. RASTELLI, M. L. ROUKES & E. M. WEIG, Resonantly induced friction and frequency combs in driven nanomechanical systems, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 254301 (2019).
5. A. A. BATISTA & A. A. LISBOA DE SOUZA, Frequency-comb response of a parametrically driven Duffing oscillator to a small added ac excitation, *J. Appl. Phys.*, **128**, 244901 (2020).

Annexes

Index des auteurs

Programme du mini-colloque

Programme de la 24^e rencontre

Index des auteurs

- Aarão Reis F. D. A., 92
Abbasi Mehdi, 69
Abou Bérengère, 100
Abramian Anaïs, 17, 58
Aland Sebastian, 20
Alexakis Alexandros, 105
Amon Axelle, 120
Anzoleaga Grandi Alvaro, 70
Aouane Othmane, 62
Apffel Benjamin, 52
Argentina Médéric, 22
Arora Nitesh, 93
Audoly Basile, 16, 19
Aulnette Marine, 89
Aumaître Sébastien, 59
- Bahrani S. Amir, 96, 101, 110
Barber Dylan M., 24
Barkley Dwight, 106
Barois Thomas, 15, 102
Bartolo Denis, 28
Basset Thomas, 102
Bastien Renaud, 41
Baudoin Michaël, 56
Béjot Pierre, 57
Ben Amar Martine, 9
Bénisti Didier, 72
Benoist Félix, 27
Benyoussef Abdelilah, 69
Berhanu Michael, 109
Bertails-Descoubes Florence, 10
Berthe Laurent, 38
Berti Stefano, 48
Bico José, 25
Bielinski Clément, 62
Binysh Jack, 115
Boëdec Gwenn, 34
Bonn Daniel, 30
Bonney Félicien, 46
Borcia Ion D., 73
Bouchet Freddy, 77
Bourgoin Mickaël, 102, 104
Boury Samuel, 107
Brachet Marc-Étienne, 105
Brändle de Motta Jorge-César, 121
Brau Fabian, 11
Briole Alice, 100
Brisard Sébastien, 21
Brunet Maxime, 55
Brunet Philippe, 19, 86, 101, 113
Bussonnière Adrien, 60
- Cal Raúl Bayoán, 102
Calzavarini Enrico, 48, 63
Cantat Isabelle, 60
Canu Romain, 114
Carpentier David, 28
Castillo Gustavo, 109
Cattaud Nicolas, 25
Cazaubiel Annette, 46
Celestini Frank, 22
Charitat Thierry, 88
Charles Antoine, 110
Charrondièrè Raphaël, 10
Chen Jan, 73
Chen Tian, 16
Chibbaro Sergio, 48
Chomet Baptiste, 123
Cohen Caroline, 19
Combescure Christelle J., 23
Copie François, 46, 119
Cordonnier Aurélien, 122
Cortet Pierre-Philippe, 55
Costalonga Maxime, 101
Coste Christophe, 117
Coulais Corentin, 30
Coulibaly Saliya, 108
Coulouvrat François, 38
Coupier Gwennou, 20
Couston Louis-Alexandre, 37
Crassous Jérôme, 120
Crosby Alfred J., 24
Cuenca Eduardo, 38
- Daïeff Marine, 24
Dambrine Julien, 47
Darbois-Texier Baptiste, 19
Darras Alexis, 66
Debayle Arnaud, 72
Deike Luc, 74
Delabre Ulysse, 51
de Langre Emmanuel, 32
Delplace Pierre, 50
Delville Jean-Pierre, 51
Dervaux Julien, 68, 113
Deschamps Julien, 34
Desprat Nicolas, 49
Devauchelle Olivier, 40, 58
Dif-Pradalier Guilhem, 122
Djellouli Adel, 20
Dollet Benjamin, 118
Dottori François, 110
Douady Stéphane, 83

- Drenckhan Wiebke, 75
 du Roure Olivia, 24
 Duchesne Alexis, 56
 Ducouso Mathieu, 38
 Ducrozet Guillaume, 46
 Dumouchel Christophe, 121
 Dykstra David, 30
- Eddi Antonin, 52
 El Gennady, 46, 119
 España Andrea, 90
 Ez-zahraouy Hamid, 69
- Facchini Giulio, 83
 Fad Aboudou, 121
 Falcon Éric, 46, 99, 109, 111
 Farago Jean, 75
 Farutin Alexander, 69
 Fauve Stéphan, 59, 111
 Favier Benjamin, 37, 39, 45, 73
 Fillette Jules, 111
 Fort Emmanuel, 52, 84
 Fossas Tenas Ariadna, 42
 Fourdrinoy Johan, 47
- Gacemi Djamal, 123
 Galich Pavel, 93
 Gallagher Isabelle, 3
 Gallet Basile, 55
 Garg Akash, 19
 Gayout Ariane, 104
 Gelash Andrey, 46
 Georgelin Marc, 34
 Ghorbani Aref, 30
 Gibaud Thomas, 91
 Gibert Mathieu, 102
 Gilet Tristan, 43
 Ginot Gaël, 75
 Giombini Guillaume, 22
 Gomé Sébastien, 106
 Gondret Philippe, 44
 Guest Simon D., 29
 Guzmán Marcelo, 28
- Habibi Mehdi, 30
 Hakim Vincent, 64
 Hamann M., 75
 Hariz Marwan, 31
 Harlander Uwe, 73
 Harris Daniel M., 82
 Harting Jens, 62
 He Zeyuan, 29
 Healey Timothy J., 23
 Herbert Corentin, 77
 Herreman Wietze, 76
 Hester Eric, 37
 Hidalgo-Caballero Samuel, 52, 84
 Hiremath Anupam Mahantayya, 95
 Ho Ian, 82
 Höhler Reinhard, 75
 Holland Paul R., 37
 Holmes Douglas, 20
- Houdoux David, 120
 Huang Yongxiang, 63
- Ibelings Bastiaan Willem, 42
- Jaccod Alice, 48
 Jacomine L., 75
 James François, 40
 Jana Anirban, 24
 Jeanneret Raphaël, 49
 Jenkins Adrian, 37
 Joanny Jean-François, 6
 Josserand Christophe, 40
 Joubaud Sylvain, 107
 Juel Anne, 4
- Kang Ling, 64
 Kaoui Badr, 62
 Kasparian Jérôme, 42, 57
 Keiser Ludovic, 118
 Krishnakumar Jaya, 42
 Krstulovic Giorgio, 103, 116
- Labousse Matthieu, 84
 Lacassagne Tom, 96
 Lagrée Pierre-Yves, 40
 Lajeunesse Éric, 40, 58
 Lamèche Mona, 98
 Laurent Limat, 68
 Laurent-Lucchetti Jérémy, 42
 Lazarescu Alexandre, 83
 Lazarus Arnaud, 10, 18, 70
 Le Bars Michael, 39
 Lebel Alexandre, 119
 Le Cam J.-B., 85
 Le Dizès Stéphane, 73
 Le Doudic Gabriel, 78
 Le Gal Patrice, 73
 Le Marrec Loïc, 31
 Lemasquierier Daphné, 39
 Lenz Martin, 27
 Leoncini Xavier, 90, 122
 Le Quiniou Clotilde, 63
 Lerbet Jean, 31
 L'Homme Alfredo, 49
 Li Jian, 93
 Liné Alain, 80
 Lindner Anke, 24
 Lozano Emilio, 17
 Lucente Dario, 77
 Lumay Geoffroy, 66
 L'vov Victor, 94
 Ly Mickaël, 10
- Maddi Johann, 117
 Magnoli Nicodemo, 65
 Marguet Bastien, 92
 Marmottant Philippe, 118
 Marouane Ayyad, 108
 Marques Carlos Manuel, 88
 Marsan David, 120
 Martin-Calle David, 97

- Marzin Tom, 32
 Mathiesen Joachim, 22
 Maurer Paco, 107
 Merminod Simon, 109
 Meyer Antoine, 95
 Michel Guillaume, 46
 Mignolet Florence, 66
 Miloshevich George, 77
 Minenna Damien F. G., 72
 Misbah Chaouqi, 69
 Moazzen Masoud, 96
 Moisy Frédéric, 89
 Mokbel Marcel, 20
 Monsalve Eduardo, 55
 Mordant Nicolas, 102
 Morize Cyprien, 44
 Mostert Wouter, 74
 Müller Nicolás P., 103
 Mutabazi Innocent, 95
- Naert Antoine, 98
 Nazarenko Sergey, 94
 Neukirch Sébastien, 10, 13
 Nore Caroline, 76
- Odier Philippe, 107
 Oléron Mathieu, 68
- Parmentier Justine, 43
 Paul Grandgeorge, 12
 Peacock Thomas, 107
 Pedro M. Reis, 12
 Perez Nicolas, 50
 Périnet Nicolas, 101
 Perna Andrea, 83
 Perrard Stéphane, 74
 Petcu Madalina, 47
 Peter Favreau, 56
 Pierre Morgan, 47
 Pierre-Louis Olivier, 92, 97
 Piot-Durand Hélène, 81
 Pivard S., 75
 Plihon Nicolas, 104
 Podgorski Thomas, 100
 Poincloux Samuel, 16
 Polanco Juan Ignacio, 103, 116
 Popović Predrag, 58
 Poryles Raphaël, 60
 Prabhudesai Gaurav, 46
 Prévost Lucas, 24
 Prigent Arnaud, 80
 Protière Suzie, 70
 Pucci Giuseppe, 82, 85
- Qi Yao, 93
 Quilliet Catherine, 20
- Rabaud Marc, 89
 Ramamonjy Aina, 113
 Ramanarivo Sophie, 32
 Randoux Stéphane, 46, 119
 Ranft Jonas, 64
- Rasheed Abdullah Haroon, 10
 Raufaste Christophe, 22
 Reichert Benjamin, 85
 Reis Pedro, 16
 Renoult Marie-Charlotte, 114, 121
 Reyssat Étienne, 25
 Ricard Guillaume, 99
 Rigolli Nicola, 65
 Rivière Aliénor, 74
 Roché Matthieu, 68, 78
 Rolland Joran, 71
 Roman Benoît, 25
 Romanczuk Pawel, 41
 Romanò Francesco, 110
 Romero Victor, 10, 18
 Rosasco Lorenzo, 65
 Rousseaux Germain, 47
 Royon Laurent, 101
 Rubinstein Shmuel, 17
 Rudykh Stephan, 93
 Ruiz Chavarria Gerardo, 112
- Saggiorato Guglielmo, 27
 Saint-Jalmes Arnaud, 85
 Saint-Jean Michel, 117
 Saiseau Raphael, 51
 Santucci Stéphane, 81
 Sarlin Wladimir, 44
 Saulgeot Marie, 78
 Sauret Alban, 44, 67
 Schmitt François G., 61, 63
 Schneider Tobias, 17
 Seminara Agnese, 65
 Shvarts Andrei G., 26
 Siéfert Emmanuel, 25
 Singh Harminder, 80
 Sirtori Carlo, 123
 Skipp Jonathan, 94
 Skouras Mélina, 33
 Slesarenko Viacheslav, 93
 Souissi Sami, 63
 Stein-Montalvo Lucia, 20
 Steinberger Audrey, 87
 Suret Pierre, 46, 119
 Suzanne Tristan, 34
- Tacu Mikael, 72
 Taylor John R., 37
 Thbaut Manon, 21
 Thiévenaz Virgile, 67
 Thomy Vincent, 96
 Thorens Louison, 79
 Tikan Alexey, 46, 119
 Todorov Yanko, 123
 Tomohiko G. Sano, 12
 Tournat Vincent, 5
 Tuckerman Laurette S., 106
- Ugalde Edgardo, 90
- van der Linden Erik, 30
 Vandewalle Nicolas, 66

Vanel Loïc, 81

van Kan Adrian, 105

Venaille Antoine, 50

Videau Laurent, 38

Viggiano Bianca, 102

Virost Emmanuel, 17

Volk Romain, 102

Wadee Ahmer, 14

Walzel F., 75

Weiss Jérôme, 120

Yastrebov Vladislav A. , 26

Zoueshtiagh Farzam, 56

Programme du mini-colloque

Programme de la 24^e rencontre

Géométrie et élasticité 24 mars 2021 (visioconférence)

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. 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 mettrons l'accent sur les analogies et les techniques proches de la communauté du Non-Linéaire.

08h55 Introduction

Exposés invités en bleu

09h00 Martine Ben Amar (LPENS) *From non-linear physics to bio-mechanics*

09h20 Samuel Poincloux

Réponse en flexion d'un livre avec frottement entre les pages

09h30 Arnaud Lazarus

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

09h40 Manon Thbaut

Un modèle non linéaire d'actuateur en flexion pour robots mous

09h50 Étienne Reyssat

Bilames texturés : courber en étirant

10h00 – 10h20 Break + discussions (breakout-rooms or wonder.me)

10h20 Ahmer Wadee (Imperial College) *Happy catastrophe: analysis and exploitation of elastic instabilities*

10h40 Marwan Hariz

Explicit analysis of catastrophe on a Timoshenko beam

10h50 Abramian Anaïs

Buckling-load prediction of a damaged Coke can

11h00 Gwennou Coupier

Dynamique de flambage et post-flambage de coques sphériques

11h10 Philippe Brunet

The flat bounce of an elastic ball on a corner: how to make the perfect shot in squash game

11h20 Guillaume Giombini

Super-propulsion d'objets élastiques élanés

11h30 – 11h40 Short Break + discussions (breakout-rooms or wonder.me)

11h40 Mélina Skouras

Simulating wrinkled inflatables (and other folded thin shells)

11h50 Florence Bertails-Descoubes (INRIA Grenoble)

Simulating nonlinear phenomena for films, fashion, and physics

12h10 Lunch Break

13h10 Discussions (breakout-rooms or wonder.me)

13h40 Fabian Brau (U. Libre Bruxelles) *Floating folds, analogies with non-linear dynamical systems*

14h00 Tristan Suzanne

Instabilité de flambage par confinement géométrique de disques minces

14h10 Thomas Barois

Crumpling without confinement: transition to stress focusing for a paper strip bent up to a self-contact

14h20 Lucas Prévost

Deformation of soft helices by viscous axial flows: a twisting to bending transition

14h30 Tom Marzin

Déformation de plaques élasto-poreuses kirigamis sous écoulement

14h40 – 15h00 Break – Discussions (breakout-rooms or wonder.me)

15h00 Zeyuan He

Foldable quadrilateral mesh and quadrilateral ring

15h10 Paul Grandgeorge (EPFL)

Équilibre d'une tige élastique en contact frottant autour d'un cylindre rigide

15h30 Félix Benoist

Generic stress rectification in nonlinear elastic materials

15h40 Vladislav Yastrebov

Morphological and topological evolution of contact clusters

15h50 – 16h00 Short Break + discussions (breakout-rooms or wonder.me)

16h00 Christelle Combescure

Unstable frameworks, symmetry groups and quaternions

16h10 Mehdi Habibi

Programming Poynting effect and nonlinear moduli in metamaterials

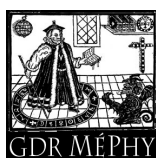
16h20 Marcelo Guzmán

Geometry and topology tango in mechanics

16h30 **Sébastien Neukirch** (d'Alembert)

Statics of rods as a dynamical system

16h50 Wrap-up + discussions...



Université
de Paris



24^e Rencontre du Non-Linéaire

Université de Paris, 24 – 26 mars 2021

Bienvenue à la 24^e Rencontre du Non-Linéaire 2021 qui aura lieu en visio-conférence en Zoom.

Nous aurons 89 contributions se répartissant en 4 conférences invitées, 16 communications longues et 69 posters présentés en salons virtuels.

Jeudi 25 mars 2021

09h10 : **Introduction**

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

10h00 - 11h20 : **Session posters en parallèle en 18 salons virtuels**

11h20 - 12h30 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues**

12h30 - 14h00 : Déjeuner

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

15h10 - 16h30 : **Session posters en parallèle en 18 salons virtuels**

16h30 - 17h15 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

17h15 - 18h00 : **Conférence invitée 2 (40 + 5 min.)**

Vendredi 26 mars 2021

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

09h45 - 11h20 : **Session posters en parallèle en 17 salons virtuels**

11h20 - 12h30 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues**

12h30 - 14h00 : Déjeuner

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

15h10 - 16h30 : **Session posters en parallèle en 16 salons virtuels**

16h30 - 17h15 : **Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues**

17h15 - 18h00 : **Conférence invitée 4 (40 + 5 min.)**

Nous remercions l'Université de Paris pour le support numérique de la réalisation de la visioconférence. Nous remercions également la Division de Physique Non Linéaire de la SFP, le CNRS, 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.

Cette année, nous sommes 180 inscrits au 12 mars 2021.

Le Comité d'Organisation de la RNL 2021 :

E. Falcon, M. Lefranc, F. Pétrélis & C.-T. Pham



Université
de Paris



Jeudi 25 mars 2021

09h15 - 10h00 : Conférence invitée d'Isabelle GALLAGHER (40 + 5 min.)
De Newton à Boltzmann, fluctuations et grandes déviations

10h00 - 11h20 : Session posters en 18 salons virtuels (No 1 à 18)

1. Observation expérimentale quantitative de la turbulence d'ondes d'inertie
P.-P. Cortet, E. Monsalve, M. Brunet, B. Gallet, présenté par Pierre-Philippe Cortet
2. Écoulement anti-Bretherton dans un tube
P. Favreau, A. Duchesne, F. Zoueshtiagh, M. Baudoin, présenté par Alexis Duchesne
3. Automodulation de phase et conservation de l'énergie
P. Béjot, J. Kasparian, présenté par Jérôme Kasparian
4. How laboratory rivers transport sediment
P. Popović, O. Devauchelle, A. Abramian, É. Lajeunesse, présenté par Predrag Popović
5. Intermittency in a turbulent model as consequence of stationary constraints
S. Aumaître, S. Fauve, présenté par Sébastien Aumaître
6. Impact de la concentration en tensioactifs sur la déformation d'une assemblée de films de savon
R. Poryles, T. Lenavetier, A. Bussonnière, E. Schaub, I. Cantat, présenté par Raphaël Poryles
7. Extraction des paramètres du modèle épidémique SIR à partir des données temporelles d'infection
présenté par François G. Schmitt
8. Squeezing multiple soft particles into a constriction: transition to clogging
C. Bielinski, O. Aouane, J. Harting, B. Kaoui, présenté par Badr Kaoui
9. Les copépodes en environnement turbulent : étude expérimentale de la vitesse et de l'accélération par caméras rapides
C. Le Quiniou, F. G. Schmitt, Y. Huang, E. Calzavarini, S. Souissi, présenté par Clotilde Le Quiniou
10. What is the mechanical basis of traveling waves of neural activity observed in motor cortex?
L. Kang, J. Ranft, V. Hakim, présenté par Ling Kang
11. Using sparse odor cues to infer the location of their source
N. Rigolli, N. Magnoli, L. Rosasco, A. Seminara, présenté par Nicola Rigolli
12. Auto-assemblage et manipulation d'objets sous champs
G. Lumay, A. Darras, F. Mignolet, N. Vandewalle, présenté par Geoffroy Lumay
13. Pincement de suspensions visco-élastiques
V. Thiévenaz, A. Sauret, présenté par Virgile Thiévenaz
14. Gouttes dévalant des substrats mous
M. Oléron, J. Dervaux, L. Limat, M. Roché, présenté par Mathieu Oléron
15. Erythrocyte–Erythrocyte aggregation dynamics as a bifurcation problem
M. Abbasi, A. Farutin, H. Ez-zahraouy, A. Benyoussef, C. Misbah, présenté par Mehdi Abbasi
16. Beyond the tip of the parametric instability tongue
A. A. Grandi, S. Protière, A. Lazarus, présenté par Alvaro Anzoleaga Grandi
17. Effondrement de la turbulence transitionnelle calculé par une méthode d'événements rares
présenté par Joran Rolland
18. Méthode de tracé de rayon pour la résolution de l'interaction onde–onde multiple appliquée à la diffusion Raman stimulée
D. F. G. Minenna, M. Tacu, D. Bénisti, A. Debayle, présenté par Damien F. G. Minenna

11h20 - 12h30 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues

La vision dans les modèles de mouvements collectifs
R. Bastien, P. Romanczuk, présenté par Renaud Bastien



Synthèse non linéaire d'un gaz de solitons en hydrodynamique

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

Formation spontanée de nœuds sur une fibre flexible advectée par un écoulement chaotique
présenté par Benjamin Favier

12h30 - 14h00 : Déjeuner

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

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

J. Parmentier, T. Gilet, présenté par Justine Parmentier

Predator-prey plankton dynamics in turbulent wakes behind islands

A. Jaccod, S. Berti, E. Calzavarini, S. Chibbaro, présenté par Alice Jaccod

Formation de motifs dynamiques par des micro-algues phototactiques

A. L'Homme, N. Desprat, R. Jeanneret, présenté par Alfredo L'Homme

15h10 - 16h30 : Session posters en 18 salons virtuels (No 19 à 36)

19. The instability of the stratified horizontal plane Poiseuille flow

P. Le Gal, U. Harlander, I. D. Borgia, S. Le Dizès, J. Chen, B. Favier, présenté par Patrice Le Gal

20. Déformations d'une bulle par un écoulement turbulent

A. Rivière, W. Mostert, L. Deike, S. Perrard, présenté par Aliénor Rivière

21. Getting into the thin-skinned emulsion drops stressed by elasticity and capillarity

G. Ginot, F. Walzel, L. Jacomine, M. Hamann, S. Pivard, J. Farago, R. Höhler, W. Drenckhan, présenté par Gaël Ginot

22. Metal pad roll à température ambiante ?

W. Herreman, C. Nore, présenté par Wietze Herreman

23. Predicting extreme events using dynamics based machine learning

D. Lucente, G. Miloshevich, C. Herbert, F. Bouchet, présenté par Dario Lucente

24. Propulsion soluto-capillaire des bateaux de Marangoni

G. Le Doudic, M. Saulgeot, M. Roché, présenté par Gabriel Le Doudic

25. Control of a frictional fluid and plug formation in confined geometry

L. Thorens, K. J. Måløy, M. Bourgoïn, S. Santucci, présenté par Louison Thorens

26. A generalized approach towards a new log law of the wall in Taylor-Couette flows at intermediate Reynolds numbers

H. Singh, A. Liné, A. Prigent, présenté par Harminder Singh

27. Adhesive tape peeling over soft micro-textured substrates

H. Piot-Durand, L. Vanel, S. Santucci, présenté par Hélène Piot-Durand

28. Capillary surfers on a vibrating bath

G. Pucci, I. Ho, A. U. Oza, D. M. Harris, présenté par Giuseppe Pucci

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

G. Facchini, A. Lazarescu, A. Perna, S. Douady, présenté par Giulio Facchini

30. Reconnaissance des formes grâce à une balade aléatoire

S. Hidalgo-Caballero, M. Labousse, E. Fort, présenté par Samuel Hidalgo-Caballero

31. Volatile active drops on liquid baths

B. Reichert, J.-B. Le Cam, A. Saint-Jalmes, G. Pucci, présenté par Benjamin Reichert

32. Spontaneous oscillations of subsonic liquid bells

présenté par Philippe Brunet

33. Shape disorder as a source for nonlinear compression behavior of aligned fibrous matter

C. M. Marques, T. Charitat, présenté par Carlos Manuel Marques



34. [Quand le vent lève des vagues solitaires...](#)

M. Rabaud, M. Aulnette, F. Moisy, présenté par Marc Rabaud

35. [Paths to synchronization](#)

A. España, X. Leoncini, E. Ugalde, présenté par Andrea España

36. [Propagation d'une maille qui file dans un tricot](#)

présenté par Audrey Steinberger

16h30 - 17h15 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues

Mise en évidence expérimentale d'une hystérésis entre deux régimes de jets zonaux : une résonance d'ondes de Rossby

D. Lemasquerier, B. Favier, M. Le Bars, présenté par Daphné Lemasquerier

Des ondes à polarité négative de Scott Russell aux eaux-mortes d'Ekman

J. Fourdrinoy, J. Dambrine, M. Petcu, M. Pierre, G. Rousseaux, présenté par Johan Fourdrinoy

17h15 - 18h00 : Conférence invitée d'Anne JUEL (40 + 5 min.)

[Life and fate of a bubble in a constricted Hele-Shaw channel](#)

18h15 – 20h15 : Cocktail virtuel

Vendredi 26 mars 2021

09h15 - 10h00 : Conférence invitée de Vincent TOURNAT (40 + 5 min.)

[Nonlinear waves in flexible elastic metamaterials](#)

10h00 - 11h20 : Session posters en 17 salons virtuels (No 1 à 17)

1. [Diffusion-limited interface collisions](#)

B. Marguet, F. D. A. Aarão Reis, O. Pierre-Louis, présenté par Bastien Marguet

2. [Instabilities in the spatiotemporal dynamics of a shear-thickening cornstarch suspension](#)

présenté par Thomas Gibaud

3. [Negative group velocity state in soft composites triggered via applied deformation](#)

N. Arora, Y. Qi, V. Slesarenko, J. Li, P. Galich, S. Rudykh, présenté par Nitesh Arora

4. [Wave turbulence in self-gravitating Bose gases and nonlocal nonlinear optics](#)

J. Skipp, V. L'vov, S. Nazarenko, présenté par Jonathan Skipp

5. [Stabilité d'un ferrofluide en apesanteur confiné entre deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle](#)

A. Meyer, A. M. Hiremath, I. Mutabazi, présenté par Antoine Meyer

6. [Nature de la bifurcation dans une suspension complexe pour un écoulement de Taylor–Couette en géométrie confinée](#)

M. Moazzen, T. Lacassagne, V. Thomy, S. A. Bahrani, présenté par Masoud Moazzen

7. [Detachment transition in a model of convexification of clusters of discs](#)

D. Martin-Calle, O. Pierre-Louis, présenté par David Martin-Calle

8. [Fluctuations du flux de chaleur entre deux thermostats stationnaires hors équilibre](#)

M. Lamèche, A. Naert, présenté par Antoine Naert

9. [Observation expérimentale de turbulence d'ondes quasi-1D](#)

G. Ricard, E. Falcon, présenté par Guillaume Ricard

10. [Intracellular rheology of red blood cells](#)

A. Briole, T. Podgorski, B. Abou, présenté par Alice Briole



11. [Vortex enhancement in streaming with viscoelastic fluids](#)
S. A. Bahrani, M. Costalonga, N. Périnet, L. Royon, P. Brunet, présenté par S. Amir Bahrani
12. [Lagrangian compressible dynamics in a self-similar incompressible jet](#)
T. Basset, B. Viggiano, T. Barois, M. Gibert, N. Mordant, R. B. Cal, R. Volk, M. Bourgoïn, présenté par Thomas Basset
13. [Intermittency of velocity circulation in quantum turbulence](#)
N. P. Müller, J. Ignacio Polanco, G. Krstulovic, présenté par Nicolás P. Müller
14. [Transitions spontanées « portance–traînée » d’un pendule en soufflerie](#)
A. Gayout, M. Bourgoïn, N. Plihon, présenté par Ariane Gayout
15. [On-off intermittency due to parametric Lévy noise](#)
A. van Kan, A. Alexakis, M.-É. Brachet, présenté par Adrian van Kan
16. [Extreme events and metastability in transitional shear flows](#)
S. Gomé, L. S. Tuckerman, D. Barkley, présenté par Sébastien Gomé
17. [Confined vs. unconfined: Triadic resonant instability in cylindrical geometry](#)
S. Boury, P. Maurer, S. Joubaud, T. Peacock, P. Odier, présenté par Samuel Boury

11h20 - 12h30 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 3 communications longues

Génération de topographie par fonte et solidification dans un écoulement cisailé turbulent

L.-A. Couston, E. Hester, B. Favier, J. R. Taylor, P. R. Holland, A. Jenkins, présenté par Louis-Alexandre Couston

Instabilité de Rayleigh–Plateau pour un mélange liquide binaire proche de son point critique

R. Saiseau, U. Delabre, J.-P. Delville, présenté par Raphael Saiseau

Compétition entre réduction des inégalités et préservation du bien public dans un réseau altruiste

A. Fossas Tenas, B. W. Ibelings, J. Kasparian, J. Krishnakumar, J. Laurent-Lucchetti présenté par Ariadna Fossas Tenas

12h30 - 14h00 : Déjeuner

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

Ondes non linéaires générées par effondrement d’un milieu granulaire dans l’eau

W. Sarlin, C. Morize, A. Sauret, P. Gondret, présenté par Wladimir Sarlin

Slow walkers in a propagating wave field

O. Devauchelle, É. Lajeunesse, F. James, C. Josserand, P.-Y. Lagrée, présenté par Olivier Devauchelle

Imagerie acoustique de la propagation d’un choc dans un métallique

E. Cuenca, M. Ducouso, L. Videau, L. Berthe, F. Coulouvrat, présenté par Mathieu Ducouso

15h10 - 16h30 : Session posters en 16 salons virtuels (No 18 à 33)

18. [Caractérisation et contrôle des états chimères dans des réseaux optiques](#)

M. Ayyad, S. Coulibaly, présenté par Marouane Ayyad

19. [“Granular turbulence” in a driven system of magnetized particles](#)

M. Berhanu, S. Merminod, G. Castillo, E. Falcon, présenté par Michaël Berhanu

20. [Transition to turbulence in a heated non-Newtonian pipe flow](#)

F. Romanò, A. Charles, F. Dottori, S. A. Bahrani, présenté par Francesco Romanò

21. [Focalisation d’ondes circulaires à la surface d’un fluide](#)

J. Fillette, S. Fauve, E. Falcon, présenté par Jules Fillette



22. [Convection naturelle dans l'écoulement d'un fluide dans un tube horizontal](#)
présenté par Gerardo Ruiz Chavarria
23. [Pattern formation in localized photo-controlled bioconvection](#)
A. Ramamonjy, J. Dervaux, P. Brunet, présenté par Aina Ramamonjy
24. [Analyse faiblement non linéaire de stabilité d'un cylindre de ferrofluide](#)
R. Canu, M.-C. Renoult, présenté par Romain Canu
25. [Active elastocapillarity](#)
présenté par Jack Binysh
26. [Counterflow-induced inverse energy cascade in three-dimensional superfluid turbulence](#)
J. I. Polanco, G. Krstulovic, présenté par Juan Ignacio Polanco
27. [Instabilité paramétrique d'un système conservatif](#)
J. Maddi, M. Saint-Jean, C. Coste, présenté par Johann Maddi
28. [Dynamique saccadée du séchage de feuilles biomimétiques](#)
L. Keiser, B. Dollet, P. Marmottant, présenté par Ludovic Keiser
29. [Mesure ultra-rapide du champ complexe en optique et analyse spectrale non linéaire](#)
A. Lebel, G. Roberti, A. Tikan, G. El, S. Randoux, F. Copie, P. Suret, présenté par Alexandre Lebel
30. [Micro-glissements dans une bande de cisaillement : nano-séismes à l'échelle du laboratoire](#)
D. Houdoux, A. Amon, D. Marsan, J. Weiss, J. Crassous, présenté par Axelle Amon
31. [Description multi-échelle d'une instabilité interfaciale](#)
F. Aboudou, M.-C. Renoult, J.-C. Brändle de Motta, C. Dumouchel, présenté par Fad Aboudou
32. [Solutions stationnaires auto-cohérentes des équations de Vlasov–Maxwell](#)
A. Cordonnier, X. Leoncini, G. Dif-Pradalier, présenté par Aurélien Cordonnier
33. [Frequency comb formation in a driven mechanical oscillator](#)
B. Chomet, D. Gacemi, C. Sirtori, Y. Todorov, présenté par Baptiste Chomet

16h30 - 17h15 : Exposés longs (20 + 2 min.) - 2 communications longues

[Manifestation de la courbure de Berry dans le tracé de rayon en géophysique](#)

N. Perez, Pierre Delplace, Antoine Venaille, présenté par Nicolas Perez

[Contrôle d'interfaces liquides par vibrations](#)

B. Apffel, S. Hidalgo Caballero, A. Eddi, E. Fort, présenté par Benjamin Apffel

17h15 - 18h00 : Conférence invitée de Jean-François JOANNY (40 + 5 min.)

Active Turbulence



Université
de Paris



Image de couverture : Christophe GISSINGER

24^e Rencontre du Non-Linéaire
Université de Paris
Paris 2021

Version provisoire du 13 mars 2022

Non-Linéaire Publications (NL Pub.)
Campus universitaire, Bâtiment 508
Rue John von Neumann
91400 ORSAY

An abstract graphic featuring a central globe with a blue and green color gradient. From the globe, numerous thin, curved lines radiate outwards, transitioning in color from yellow and orange on the left to red and orange on the right. The lines vary in length and curvature, creating a dynamic, starburst-like effect.

**24^e Rencontre du Non-Linéaire
Visioconférence
Paris 2021**

ISBN 978-2-9576145-0-9
EAN 9782957614509



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