

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

## Comptes Rendus Mecanique

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

## Out of Equilibrium Dynamics / Dynamique hors d'équilibre

## Preface

This special issue of the “Comptes rendus de l’Académie des sciences” contains a selection of communications presented at the colloquium on “Out of Equilibrium Dynamics”. The colloquium was held at the Institute for Research on Non-Equilibrium Phenomena (IRPHÉ) in Marseilles from 13th to 15th June 2012, it brought together around Paul Clavin his closest collaborators, many of who have also become his best friends. They have so desired to honor Paul, firstly the man for his enthusiasm and charisma, for his capacity to move mountains but also and above all to honor the scientist for his outstanding contribution to the physics of reactive systems throughout the past 40 years.

After obtaining his degree at the engineering school ENSMA in Poitiers, supplemented by a Master in Mathematics and a Master in Plasma Physics, Paul Clavin started his PhD. Whilst participating in spectroscopic analyses of ionized gases conducted at the time in the Combustion and Detonation Laboratory of Poitiers, he joined Ilya Prigogine’s laboratory in Brussels from 1967 to 1970 to prepare his “Thèse d’État”. It is here that he forged friendship with Manuel Velarde and René Lefever and later with Yves Pomeau. At the time, they all thought that Paul Clavin’s work on the dynamics of fluctuations and the propagation of molecular chaos would lead to him contradict the Master. But it was not so, and he defended his thesis without throwing doubt on Prigogine’s intuition. He then returned to Poitiers but throughout his career he kept close contact with his friends from the Brussels school of non-equilibrium thermodynamics. It is thus that Manuel Velarde explained during the colloquium how electrons surf on waves in two-dimensional crystals while René Lefever attempted to understand and interpret the patterns of vegetation in arid zones. As for Yves Pomeau, he revisited the old problem of Leidenfrost drops by predicting an unexpected behavior of bouncing that will be confirmed by the experimentalists of the INLN in Nice.

But let us return to the 1970s. Back in Poitiers, Paul Clavin joined forces with Guy Joulin and Michel Champion. While the former is more interested in laminar flames, Michel Champion has a passionate interest in modeling turbulent flames for which he presented the different possible strategies of attack during the colloquium.

Following the route traced by Yakov Borisovich Zeldovich, Paul obtained his first successes in combustion theory with, in particular, the calculation of the propagation speed of flames with a two-step chemical kinetics, published in 1975 with Guy Joulin (*Combust. Flame*), followed by the prediction of flame extinction due to heat loss (*Acta Astronaut.*, 1976). These successes were followed by a particularly remarkable analysis of the stability of flame fronts, published with Guy Joulin (*Combust. Flame*, 1979) that brought Paul to the front of the stage. During a conference in Bourges, he met Forman Williams and Amable Liñán who quickly became very close friends. The intense discussions they had at the time persist until today and will be inexhaustible sources of inspiration. In the tradition of their friendly discussions, Amable Liñán and Forman Williams present here the subtleties of detonation ignition by “blast waves”, to which Paul has contributed, and also the calculation with Antonio Luis Sánchez of the ignition time of hydrogen flames.

The late 1970s saw Paul move to Marseilles at the University of Provence (now Aix-Marseille University), soon joined by his friendly and exceptional experimentalists who are Louis Boyer and later Geoff Searby. The combustion research group created by Paul held the upper hand in the dynamics of flame fronts and attracted young researchers, fans of nonlinear dynamics. Thus, in 1985, the Combustion Research Laboratory (LRC) was created by the CNRS in Marseilles. It is at this time that Paul met Alain Arnéodo and Pierre Coulet who both contribute to this volume by original studies stemming from the theory of dynamical systems. Pierre Coulet amazed us with the bifurcations experienced by floating bodies and Alain Arnéodo and his colleagues at ENS-Lyon show how to decode some of the mysteries of the encoding of genes in DNA.

In line with the progress in nonlinear physics made in the early 1980s, Paul became familiar with the work of Gregory Sivashinsky on the stability of fronts. This latter shows us here how a shock-initiated detonation can be interpreted by a two-phase version of the Chapman–Jouguet theory. Whilst with Pierre Pelcé in Marseilles Paul developed the theory of the dynamics of flames, in close collaboration with experimental studies performed by Louis Boyer, Geoff Searby and Joël Quinard, his stays in California allowed him to continue collaboration with Forman Williams, Amable Liñán and Norbert Peters. The numerical approaches to combustion started to grow through the development of increasingly powerful computers, and it is in this spirit that Norbert Peters presents here new results on the scaling laws for the streamlines of turbulent flow. These multiple collaborations allowed Paul to obtain the first analytical expression for the Markstein number based

on the parameters of the flame (*J. Fluid Mech.*, 1982). This study, which remains today a major reference in combustion research, is actually a subtle extension of the work of his mentor, Yakov Zeldovich, who Paul met in 1983 during a visit organized in the USSR. Pedro Garcia-Ybarra, trained in Madrid in Manuel Velarde's group, came to Marseilles at this time to prepare his thesis. He has chosen to present here some experimental results on Bunsen flames leading to an estimation of the Markstein length by applying the Clavin–Joulin theory. It is in the 1980s that Paul also met Moshe Matalon who presents in this volume a calculation of turbulent flame speed in the highly nonlinear regime.

At the top of his art, Paul published in 1985 a now famous review on the dynamics of premixed flames. With his scientific achievements, he was then called on by the various agencies and research centers that wished to make use of his strong sense of criticism. Paul is uncompromising and throughout his career, he has always placed scientific excellence before any other consideration. He was successively appointed, by Michel Combarnous Director of the SPI, to steer the CNRS combustion programs and then by Jacques-Louis Lions, president of INRIA, to establish close connections between applied mathematics and combustion. It is at this period that he met Henri Berestycki who presented during the colloquium some recent work on the Fisher equation. In the early 1980s, Paul became an expert at the DRET chaired by Pierre Lallemand and also at the Los Alamos National Laboratory. Using this position, he worked to bring back to Marseilles one of the best American specialists in numerical simulation of combustion in reciprocating engines, founder of the Conchas Spray code that eventually became the famous “Kiva code” used extensively in France for many years. It was also during this period that Paul met Sébastien Candel who presents here a review of the recent progress on the dynamics of flames in swirling flows.

Following the failure of flight 18 of the Ariane rocket on 31 May 1986, Jacques-Louis Lions and René Pellat, successive presidents of the CNES, asked Paul to participate in the expertise of the ignition failure of the third stage engine of the rocket and then to set up and steer a national research program on the instabilities of rocket engines. Paul remained an expert to the Société Européenne de Propulsion until the early 1990s. Extending his work to compressible combustion phenomena, he published with Eric Siggia the calculation of the noise spectrum of turbulent flames, showing that the spectrum decreases as  $k^{-3}$ . He then generalized the transfer function of homogeneous solid propellants, removing the need for the quasi-stationary approximation of Zeldovich. His result demonstrates that a thermo-acoustic instability can develop in solid rocket engines even in the absence of any other cause, such as, for example, the generation of vortices. He was appointed Senior Professor at the Institut Universitaire de France (IUF) in 1993, became a corresponding member of the French Academy of Sciences and received the Marcel Dassault award in the same year. At Rouen as well as at the IUF, he met Luc Vervisch who proposes here a comparison between different LES numerical studies of turbulent flames in complex geometries.

In 1994, supported by Jean-Jacques Gagnepain and Victor Sanchez, director and future director of the SPI, and at the request of Marseilles universities and the CNRS, Paul began the reorganization of the mechanical engineering laboratories in Marseilles. Merging three laboratories in combustion, turbulence and fluid mechanics, he created IRPHÉ in 1995.

At the same time Paul turned his attention to detonations and derived, with Longtin He, important and innovative theoretical results concerning the criteria for the extinction and ignition (direct and spontaneous) of detonations. He thus obtained, in agreement with experiments, an expression for the critical ignition energy, correcting previous theories by a factor  $10^6$ . In 1997 he explained, with Longtin He and Forman Williams, the instability that develops in gaseous detonations and developed in 2002 the first coherent nonlinear theory of cellular detonation (*Phys. Rev. Lett.*, 2002, with B. Denet). His work, that was the subject of a review in 2012 in the *Phil. Trans. of the Royal Society*, brought him to interact with leading theorists of detonation, such as Ashwani Kapila, who proposes in his presentation a theoretical approach to the diffraction of detonations in confined geometry.

In 1998, Paul was appointed as a Scientific Director in the French Ministry of Education and Research, where he worked to reorganize and coordinate laboratories in engineering and physical sciences. At the request of René Pellat, now “Haut Commissaire” (President) of the Atomic Energy Authority (CEA), he then focused on the hydrodynamic instabilities of ablation fronts in inertial confinement fusion (ICF), and launched in the 2000s a national research program on the subject. In a 2004 publication with Laurent Masse, he explained how the Darrieus–Landau hydrodynamic instability is annihilated by the diffusive phenomena of ablation. Laurent Masse, engineer at the CEA currently visiting the Lawrence Berkeley Laboratory, shows in his presentation how this result led him to propose a practical method to overcome the hydrodynamic instabilities in ICF. Cooperating with the Madrid group, Paul is working on this problem with Javier Sanz who has chosen to describe here the interaction between an ultra-intense laser and a plasma (harmonic generation and absorption). In collaboration with Javier Sanz and Christophe Almarha, Paul obtained a simple nonlinear equation to describe the development of hydrodynamic instabilities of ablation fronts in FCI. This work led him to focus on finite time singularities. He predicted with Christophe Josserand and Laurent Duchemin the divergent behavior of the cusp in the Rayleigh–Taylor instability, well verified by a numerical study (*Phys. Rev. Lett.*, 2005). Christophe and Laurent propose here a study of the impacts of drops taking into account the effects of a rarefied gas.

After returning, with José Graña-Ottero, to his favorite subject, the dynamics of wrinkled flames, and extending his work on the Markstein number to complex kinetic schemes in combustion (*J. Fluid Mech.*, 2011), Paul is currently working on the interaction between a shock wave and turbulence. He is also working on the explosion of supernova with his friend Yves Pomeau, and with Guy Joulin on the morphology of flame fronts in the presence of a strong acoustic field.

Director of the IUF, founder and successively director of the LRC then IRPHÉ, Paul has played an important role in structuring the scientific pole of “l'Étoile” (Marseilles north) which involve the Physical Science department of the university,

the Graduate School of engineering, the Physics and Mechanics departments of Aix-Marseille University, the laboratories of the Château Gombert campus in coordination with the CNRS, and the engineering schools “École Centrale de Marseille” and “Polytech Marseille”. Responsible for many years of the Master programs in physical mechanics, he has thus maintained a vital link between teaching and high-level research.

The collection of papers presented at this colloquium<sup>1</sup> demonstrates the importance and development of the French school of combustion and non-equilibrium phenomena in Marseilles and other sites, combining theoretical, numerical and experimental studies. It is more than ever necessary to address applied problems (transport, space, energy) and to extract the important problems in fundamental science today. The sustainability of this school is based on the transmission between generations: the many perspectives and contributions given during this colloquium are the signs of a great vitality.

## Préface

Ce numéro spécial des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences rassemble les textes d'une sélection de communications données au colloque «Out of Equilibrium Dynamics». Ce colloque, qui s'est tenu à l'Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Équilibre à Marseille du 13 au 15 juin 2012, a permis de rassembler autour de Paul Clavin ses plus proches collaborateurs, souvent devenus ses meilleurs amis. Ceux-ci ont ainsi désiré honorer Paul, tout d'abord l'homme, pour son enthousiasme et son charisme, pour sa force à déplacer des montagnes mais aussi et surtout pour sa contribution scientifique qui a marqué le monde de la physique des milieux réactifs tout au long de ces 40 dernières années.

À la suite de ses études d'ingénieurs à l'ENSMA, complétées par une maîtrise de mathématique et un DEA sur les plasmas, Paul Clavin s'inscrit en thèse. Tout en participant aux analyses spectroscopiques des gaz ionisés menées alors dans le Laboratoire de Combustion et Détonation de Poitiers, il séjourne à Bruxelles dans le laboratoire de Ilya Prigogine de 1967 à 1970 pour préparer une thèse d'état. C'est là qu'il noue des liens d'amitié avec Manuel Velarde et René Lefever et un peu plus tard avec Yves Pomeau. Tous pensent alors que les travaux de Paul Clavin sur la dynamique des fluctuations et la propagation du chaos moléculaire le mèneront à contredire le Maître. Mais il n'en est rien et il soutient sa thèse sans mettre en défaut l'intuition de Prigogine. Il rentre alors à Poitiers mais conservera tout au long de sa carrière les liens avec ses amis de l'école Bruxelloise de la Thermodynamique Hors Équilibre. Ainsi, Manuel Velarde nous a expliqué au cours du colloque, comment des électrons peuvent surfer sur des ondes dans les cristaux bi-dimensionnels alors que René Lefever s'est attaché à comprendre et interpréter les motifs des végétations en zones arides. Yves Pomeau a quant à lui revisité le vieux problème des gouttes de Leidenfrost en prévoyant un comportement inédit : leur rebondissement, qui sera d'ailleurs vérifié par les collègues de l'INLN de Nice.

Mais revenons aux années 1970. De retour à Poitiers, Paul Clavin s'entoure de Guy Joulin et de Michel Champion. Alors que le premier est plus intéressé par les flammes laminaires, Michel Champion se passionne lui pour les modèles de flammes turbulentes dont il nous a d'ailleurs présenté les stratégies d'attaque lors du colloque.

Sur les pas de Yakov Borisovich Zeldovich, viennent alors pour Paul les premiers succès dans la théorie de la combustion avec en particulier le calcul de la vitesse de la propagation des flammes soutenues par une cinétique à deux étapes, publié avec Guy Joulin en 1975 dans *Combustion and Flame*, suivi en 1976 dans *Acta Astronautica* par la prédiction de l'extinction des flammes sous l'effet de pertes thermiques. Suivra rapidement une contribution particulièrement remarquée sur la stabilité des fronts de flamme, publiée dans *Combustion and Flame* en 1979, et qui amène Paul sur le devant de la scène internationale. Lors d'un congrès à Bourges, il rencontre Forman Williams et Amable Liñán devenus depuis des amis très proches. Les discussions animées qu'ils ont alors perdurent jusqu'à nos jours et seront sources intarissables de nombreuses inspirations. Dans la pure tradition de leurs discussions amicales, Amable Liñán et Forman Williams nous présentent ici les subtilités de l'allumage des détonations par «blast waves», sujet auquel Paul a contribué, ou encore le calcul des temps d'ignition des flammes d'hydrogène avec Antonio Luis Sánchez.

La fin des années 1970 voit Paul s'installer à Marseille à l'Université de Provence. Vite rejoint par ses compagnons expérimentateurs d'exception que sont Louis Boyer et plus tard Geoff Searby, le groupe de recherche en combustion créé par Paul tient le haut du pavé en dynamique des fronts de flamme et attire de jeunes chercheurs férus de dynamique non linéaire. Ainsi, en 1985, sera créé par le CNRS le Laboratoire de Recherche en Combustion (LRC) à Marseille. C'est à cette époque que Paul rencontre Pierre Couillet et Alain Arnéodo qui tous deux contribuent à ce volume par des études originales issues de la théorie des systèmes dynamiques. Pierre Couillet nous a émerveillés par les bifurcations rencontrées par les corps flottants alors qu'Alain Arnéodo et ses collègues de l'ENS-Lyon sauront décrypter certains des mystères du codage des gènes de l'ADN.

Dans la droite ligne des progrès réalisés au début des années 1980 par la physique du non linéaire, Paul prend connaissance des travaux de Gregory Sivashinsky sur la stabilité des fronts. Ce dernier nous montre ici comment un choc initié par une détonation peut-être interprété par une version diphasique de la théorie de Chapman-Jouguet. Alors qu'avec Pierre

<sup>1</sup> Speakers at the “Out of Equilibrium Dynamics” colloquium: C. Allègre, A. Arnéodo, B. Audoly, H. Berestycki, S. Candel, M. Champion, P. Clavin, Y. Couder, P. Couillet, J. Eggers, P.L. Garcia, G. Iooss, C. Josserand, G. Joulin, A.K. Kapila, R. Lefever, A. Liñán, L. Masse, M. Matalon, N. Peters, J. Piasecki, Y. Pomeau, J. Prost, A. Pumir, A.L. Sánchez, J. Sanz, E.D. Siggia, G. Sivashinsky, M.G. Velarde, L. Vervisch, J. Wallenborn and F.A. Williams.

Pelcé, ils développent les théories sur la dynamique des flammes en étroite liaison avec les études expérimentales développées à Marseille par Louis Boyer, Geoff Searby et Joël Quinard, les séjours en Californie de Paul lui permettent de poursuivre la collaboration avec Forman Williams, Amable Liñán et Norbert Peters. Les approches numériques de la combustion se développent grâce à l'émergence d'une informatique de plus en plus puissante, et c'est dans cet esprit que Norbert Peters nous présente ici de nouveaux résultats sur les lois d'échelle relatives aux lignes de courant d'écoulements turbulents. Ces collaborations permettront à Paul d'obtenir la première expression du nombre de Markstein en fonction des paramètres de la flamme (*J. Fluid Mech.*, 1982). Cette étude qui reste aujourd'hui une référence majeure de la recherche en combustion est en fait une extension subtile du travail de son mentor Yakov Zeldovich que Paul rencontrera en 1983 lors d'une visite organisée en URSS. Pedro Garcia-Ybarra, formé à Madrid chez M. Velarde viendra préparer sa thèse à Marseille à cette époque. Il a choisi de présenter ici des résultats expérimentaux de flammes de bec Bunsen, conduisant à une estimation de la longueur de Markstein par application de la théorie de Clavin-Joulin. C'est dans ces années 1980 que Paul rencontre aussi Moshe Matalon qui présente dans ce volume un calcul de la vitesse de flamme turbulente dans le régime fortement non linéaire.

Au sommet de son art, Paul publiera alors en 1985 une revue extrêmement connue sur la dynamique des flammes de prémélange. Fort de ses succès scientifiques, il est happé par les différentes agences et centres de recherche qui font appel à son sens exacerbé de la critique. Paul est sans concession et il placera tout au long de sa carrière l'excellence scientifique devant tout autre considération. Il est alors successivement nommé à la tête des programmes de combustion du CNRS par Michel Combarrous directeur du SPI, puis des rapprochements entre les mathématiques appliquées et la combustion au sein de l'INRIA présidé par Jacques-Louis Lions. C'est à cette occasion qu'il rencontre Henri Berestycki qui nous a présenté un travail récent sur l'équation de Fisher. Dans ce début des années 1980, il devient également expert auprès de Pierre Lallemant à la DRET ainsi qu'au Los Alamos National Laboratory. Fort de cette position, il va alors oeuvrer pour faire venir à Marseille l'un des meilleurs spécialistes américains en simulation numérique de la combustion dans les moteurs alternatifs, fondateur du code Conchas Spray qui deviendra le fameux « Kiva code » utilisé pendant longtemps en France. C'est également durant cette période que Paul rencontre Sébastien Candel qui passe ici en revue les progrès récents réalisés sur la dynamique des flammes en rotation.

A la suite de l'échec du vol 18 de la fusée Ariane le 31 mai 1986, Jacques-Louis Lions puis René Pellat, présidents successifs du CNES, lui demandent de participer aux expertises de l'allumage défectueux du moteur du troisième étage de la fusée et d'animer un programme de recherche national sur les instabilités des moteurs fusées. Paul restera d'ailleurs consultant à la SEP jusqu'au début des années 1990. Étendant, dès cette époque, ses travaux aux phénomènes compressibles en combustion, il publiera avec Eric Siggia le calcul du spectre de bruit en  $k^{-3}$  émis par une flamme turbulente, puis il généralisera la fonction de transfert des propergols solides homogènes, en s'affranchissant de l'approximation quasi stationnaire de Zeldovich. Ce résultat montre que l'instabilité thermo-acoustique peut se développer dans ces moteurs fusées en l'absence de tout autre cause comme, par exemple, l'émission de vortex. Il est ensuite nommé Professeur Senior à l'IUF en 1993, devient membre correspondant de l'Académie des sciences et reçoit le Prix Marcel-Dassault en cette même année. A Rouen ainsi qu'à l'IUF, il rencontre Luc Vervisch qui nous propose ici une comparaison entre études numériques LES de flammes turbulentes pour des géométries complexes liées aux cavités.

En 1994, soutenu par Jean-Jacques Gagnepain et par Victor Sanchez, directeur et futur directeur du SPI, Paul entreprend à la demande des universités de Marseille et du CNRS la réorganisation des laboratoires de mécanique Marseillais. Regroupant trois laboratoires en combustion, turbulence et mécanique des fluides, il crée l'IRPHE en 1995.

À cette même époque Paul s'intéresse aux détonations et il présente avec Longtin He des résultats théoriques importantes et novateurs sur leurs critères d'extinction et d'allumage (direct et spontané). Il obtient ainsi, en accord avec les expériences, une expression de l'énergie critique qui corrige d'un facteur  $10^6$  les théories précédentes. Dès 1997 il explique avec L. He et F.A. Williams l'instabilité des détonations gazeuses et développe en 2002 la première théorie non linéaire cohérente des détonations cellulaires (*Phys. Rev. Lett.*, 2002, avec B. Denet). Ses travaux qui font l'objet d'une revue en 2012 dans les *Phil. Trans. of the Royal Society*, le conduisent à interagir avec des théoriciens de la détonation, comme Ashwani Kapila qui nous propose dans son exposé une approche théorique de la diffraction des détonations dans un confinement.

En 1998, Paul est nommé Directeur Scientifique au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche où il travaille à la réorganisation et à la liaison des laboratoires de sciences de l'ingénieur et de sciences physiques. À la demande de René Pellat, devenu Haut Commissaire au CEA, il s'intéresse ensuite aux instabilités hydrodynamiques des fronts d'ablation en fusion par confinement inertie (FCI), et anime dans les années 2000 un programme national de recherche sur le sujet. Dans une publication de 2004 avec Laurent Masse, il explique comment l'instabilité hydrodynamique de Darrieus-Landau est annihilée par les phénomènes diffusifs de l'ablation. Laurent Masse, ingénieur au CEA, séjournant actuellement au Lawrence Berkeley Laboratory, nous a montré dans son exposé comment ce résultat l'a conduit à proposer un procédé pratique pour s'affranchir des instabilités hydrodynamiques en FCI. Coopérant avec le groupe de Madrid, Paul travaille sur ce sujet avec Javier Sanz qui a choisi de décrire ici l'interaction entre un laser ultra intense et un plasma (génération d'harmoniques et absorption). En collaboration avec Javier Sanz et Christophe Almarcha, Paul a obtenu une équation non linéaire simple pour décrire le développement des instabilités hydrodynamiques de front d'ablation en FCI. Ce travail l'a conduit à s'intéresser aux singularités en temps fini. Il prédit avec Christophe Josserand et Laurent Duchemin le comportement divergent de la pointe dans l'instabilité de Rayleigh-Taylor, qui est bien vérifié par l'étude numérique (*Phys. Rev. Lett.*, 2005). Christophe et Laurent proposent ici une étude d'impacts de gouttes prenant en compte les effets de gaz raréfié.

Après être revenu avec José Graña-Otterot sur son sujet de prédilection, la dynamique des flammes plissées, en étenant ses travaux sur le nombre de Markstein aux schémas cinétiques complexes en combustion (*J. Fluid Mech.*, 2011), Paul

s'intéresse actuellement à l'interaction entre une onde de choc et la turbulence. Il travaille aussi sur l'explosion des supernovae avec son ami Yves Pomeau et, avec Guy Joulin, sur la morphologie des fronts de flammes soumises à un fort champ acoustique.

Administrateur de l'IUF, fondateur et directeur successif du LRC puis de l'IRPHE, Paul joue ainsi un rôle important dans la structuration du pôle scientifique de l'Etoile qui rassemble l'UFR sciences de la matière à Saint Jérôme, l'école doctorale des sciences pour l'ingénieur, les départements physique et mécanique de l'Université d'Aix-Marseille, les laboratoires de Château Gombert, en liaison avec le CNRS, l'Ecole Centrale de Marseille et Polytech Marseille. Responsable pendant de nombreuses années du master de mécanique physique, il a maintenu ainsi un lien essentiel entre des enseignements et des recherches du meilleur niveau.

L'ensemble des travaux présentés lors du colloque<sup>2</sup> montre l'importance et le développement de l'école française de combustion et des phénomènes hors équilibre sur Marseille et d'autres sites, associant études théoriques, numériques et expérimentales. Plus que jamais, l'importance de se saisir de problèmes appliqués (transports, spatial, énergie) pour en dégager les fondements scientifiques est d'actualité. La pérennité de cette école repose sur une transmission entre générations : les nombreuses perspectives et contributions données au cours de ce colloque en sont signes de grande vitalité.

Patrice Le Gal\*, Michel Provansal, Geoff Searby  
Aix-Marseille Université, IRPHE, Technopole de Château-Gombert,  
49, rue Frédéric Joliot-Curie, 13384 Marseille cedex 13, France  
E-mail address: [legal@irphe.univ-mrs.fr](mailto:legal@irphe.univ-mrs.fr) (P. Le Gal)

Available online 20 November 2012

---

<sup>2</sup> Sont intervenus au colloque « Out of Equilibrium Dynamics » : C. Allègre, A. Arnéodo, B. Audoly, H. Berestycki, S. Candel, M. Champion, P. Clavin, Y. Couder, P. Coulet, J. Eggers, P.L. Garcia, G. Iooss, C. Josserand, G. Joulin, A.K. Kapila, R. Lefever, A. Liñán, L. Masse, M. Matalon, N. Peters, J. Piasecki, Y. Pomeau, J. Prost, A. Pumir, A.L. Sánchez, J. Sanz, E.D. Siggia, G. Sivashinsky, M.G. Velarde, L. Vervisch, J. Wallenborn et F.A. Williams.

\* Corresponding author.