

SYSTEMES NON-LINEAIRES HORS D'EQUILIBRE

Alessio Guarino



Habilitation à Diriger les Recherches

2007

Table des matières

1	INTRODUCTION	3
2	PROPRIETES STATISTIQUES DES PRECURSEURS DE LA FRACTURE ET MECANISMES D'ACTIVATION THERMIQUE DES MICRO-FISSURES.	5
2.1	MOTIVATIONS.....	5
2.2	LES EXPERIENCES (TRAVAIL DE THESE, 1996-1999).....	6
2.3	RESULTATS DES EXPERIENCES	7
2.4	LE TRAVAIL THEORIQUE (POST-THESE)	9
2.4.1	<i>Mes publications sur le sujet</i> :	11
3	INSTABILITES	12
3.1	CONVECTION DE RAYLEIGH-BENARD AVEC ROTATION AUTOUR DE L'AXE VERTICAL	12
3.1.1	<i>Mes publications sur le sujet</i> :	13
3.2	NON-LINEARITE OPTIQUE DES CRISTAUX LIQUIDES DOPES PAR COLORANTS	14
3.2.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	15
3.3	ETUDE DE L'INSTABILITE DE FARADAY DANS LES FLUIDES PEU VISQUEUX	16
3.3.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	17
3.4	ECOULEMENT D'UN FLUIDE AU TRAVERS D'UNE COUCHE DE MATERIAU GRANULAIRE IMMERGE	18
3.4.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	20
4	SYSTÈMES DYNAMIQUES	21
4.1	DYNAMIQUE ET STATISTIQUE DU LASER A ELECTRONS LIBRES (FEL).....	21
4.1.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	22
4.2	DYNAMIQUE DE MARCHÉ DES PERSONNES AFFECTÉES PAR UNE MALADIE NEURODEGENERATIVE	23
4.2.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	24
4.3	SOCIOPHYSIQUE : DYNAMIQUE DES OPINIONS EN PRESENCE DE PROPAGANDE.....	25
4.3.1	<i>Mes publications sur le sujet</i>	27
5	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	28
5.1	ETUDE DES INSTABILITES DES ONDES PARAMETRIQUES DE SURFACE	28
5.2	SOCIOPHYSIQUE : DYNAMIQUE DES OPINIONS	29
	ANNEXE : CURRICULUM VITAE	31
	NOTICE INDIVIDUELLE	31
	FONCTIONS ET DIPLOMES	31
	RESPONSABILITE ADMINISTRATIVES	31
	ACTIVITES DE RECHERCHE & PUBLICATIONS	32
	ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT	37

1 INTRODUCTION

Le fil conducteur de mes activités de recherche est l'étude des systèmes non-linéaires hors d'équilibre. J'ai eu la possibilité, et parfois la nécessité, de travailler sur divers systèmes et dans différents domaines de la physique.

Pendant ma thèse et mon séjour postdoctoral aux Etats Unis d'Amérique j'ai eu la chance de travailler dans des laboratoires avec des moyens considérables et qui m'ont permis de mener des activités de recherches expérimentales dans des conditions optimales et d'être assez indépendant.

Depuis ma nomination en tant que maître de conférences à l'Université de la Polynésie Française en septembre 2001 les choses ont sensiblement changé. En effet, bien que ce soit une expérience très enrichissante, du point de vue personnel et professionnel, les conditions à Tahiti sont assez difficiles. Du point de vue professionnel les difficultés sont dues principalement à l'isolement ; en effet, aucun laboratoire de Physique n'est présent sur la Polynésie Française, les plus proches étant en Nouvelle Zélande (à 6 heures d'avion). Aussi, les moyens dont l'Université met à disposition pour la recherche sont très limités. Afin de continuer à mener une recherche de bon niveau, en plus de continuer ma collaboration avec l'ENS-Lyon, j'ai commencé des fructueuses collaborations avec les équipes de Stefania Residori de l'Institut Non Linéaire de Nice (INLN) et de Stefano Ruffo de l'Université de Florence sur des sujets de recherches propres à ces équipes. La distance entre Tahiti et l'Europe nuit au bon déroulement des travaux, et l'effort financier et physique demandé devient de plus en plus difficile à assumer. Malgré cela, ma passion pour la recherche et surtout la patience et l'amitié de mes collègues « européen » sont plus forts que ces difficultés et les résultats obtenus n'en sont pas trop affectés.

Pendant ma thèse, (1996/99) je me suis intéressé aux propriétés statistiques des précurseurs de la fracture et au mécanisme d'activation thermique des microfissures en effectuant des expériences. Depuis, je continue à travailler sur des modèles théoriques et numériques de la fracture avec l'équipe de mon directeur de Thèse Sergio Ciliberto de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon. Les détails et les résultats de ces travaux sont présentés dans le chapitre 2 qui est entièrement dédiée à ce sujet.

Après ma thèse, entre 1999 et 2001, à l'occasion de mon séjour postdoctoral dans l'équipe de Guenter Ahlers à l'Université de Californie à Santa Barbara (USA), j'ai mené des

expériences sur la convection de Rayleigh-Bénard avec rotation. Les résultats relatifs à ces travaux sont détaillés dans le chapitre 3 dédié à mes études sur les instabilités. Dans ce chapitre, on trouvera aussi les résultats concernant les expériences réalisés en collaboration avec Stefania Residori de INLN sur les instabilités dans les cristaux liquides et les ondes de Faraday. Les résultats relatifs aux expériences sur les granulaires mouillés menés avec Jean-Christophe Géminard et Patrick Rigord de l'École Normale Supérieure de Lyon et Valérie Vidal de l'Institut de Physique du Globe de Paris seront aussi détaillés dans ce chapitre.

Le chapitre 4, *systèmes dynamiques*, touche essentiellement aux travaux purement théoriques et/ou numériques, réalisés en collaboration avec l'équipe de Stefano Ruffo de l'Université de Florence, sur l'étude de la dynamique et la statistique du laser à électrons libres, la dynamique de marche des personnes affectée de maladie neurodégénérative et la théorie des opinions.

Le chapitre 5 est dédié à aux projets de recherche que j'envisage de mener dans le futur proche. Enfin, mon Curriculum Vitae, qui résume mes activités de recherche, d'administration et d'enseignement est présenté dans le dernier chapitre de ce manuscrit, le chapitre 6.

2 PROPRIETES STATISTIQUES DES PRECURSEURS DE LA FRACTURE ET MECANISMES D'ACTIVATION THERMIQUE DES MICRO-FISSURES.

Mon activité de recherche dans le domaine de la fracture a commencé en 1996 lorsque je préparais ma thèse, sous la direction de Sergio Ciliberto, à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon. Mon travail de thèse a été essentiellement expérimental. Seulement vers la fin de ma thèse on a commencé à développer un modèle numérique et théorique pour expliquer les résultats obtenus dans nos expériences et dans celles menées par d'autres groupes de recherche. Depuis mon arrivé à Tahiti, je continue à collaborer avec le groupe de Sergio Ciliberto en me consacrant uniquement au développement du modèle d'activation thermique. Je peux donc diviser ma contribution au sujet en deux phases distinctes : travail de Thèse (les expériences) et travail post-thèse (théorique et numérique).

2.1 Motivations

La compréhension du mécanisme de la fracture est important pour la physique fondamentale, et elle a de remarquables applications pratiques, en particulier dans la géophysique et l'ingénierie. En géophysique, la théorie de la fracture est primordiale pour la sismologie, l'étude et la prédiction des tremblements de terre et des explosions volcaniques et enfin pour la recherche et l'exploitation des gisements et des mines. En ingénierie, la méconnaissance de l'exact comportement d'un matériau soumis à une contrainte conduit à définir des paramètres de sécurité. Les objets, allant des petites pièces jusqu'aux plus grandes constructions, sont toujours construits plus robustes, afin de garantir leur solidité et d'empêcher qu'ils ne se cassent ; seule une meilleure connaissance du comportement des matériaux permettrait de baisser ces paramètres, et construire ainsi des appareils plus performants. Comprendre la nature de la fracture, et les mécanismes qui régissent ce phénomène apparaît donc comme nécessaire. Cependant, malgré l'importance du sujet, les connaissances théoriques qui s'y rapportent restent pauvres. Seuls quelques modèles théoriques et numériques ont été proposés.

2.2 Les Expériences (Travail de Thèse, 1996-1999)

Des échantillons hétérogènes, en bois aggloméré ou en fibre de verre, de diamètre 22 cm et d'épaisseur 4 mm, sont placés entre deux chambres imperméables, figure 2.1. Dans l'une des deux chambres on injecte de l'air comprimé. L'échantillon est donc soumis à une différence de pression P . Un capteur de pression et un détecteur de déplacement nous fournissent, respectivement, la pression P appliquée à l'échantillon et la déformation du centre de la plaque. Un système de rétroaction nous permet d'imposer, à notre choix, la pression, la déformation ou le flux d'air comprimé au système. Des émissions acoustiques sont produites par l'échantillon lorsqu'il est soumis à une charge. Pour les mesurer, quatre microphones piézo-électriques sont placés sur le côté de l'échantillon avec un angle de 90° entre eux.

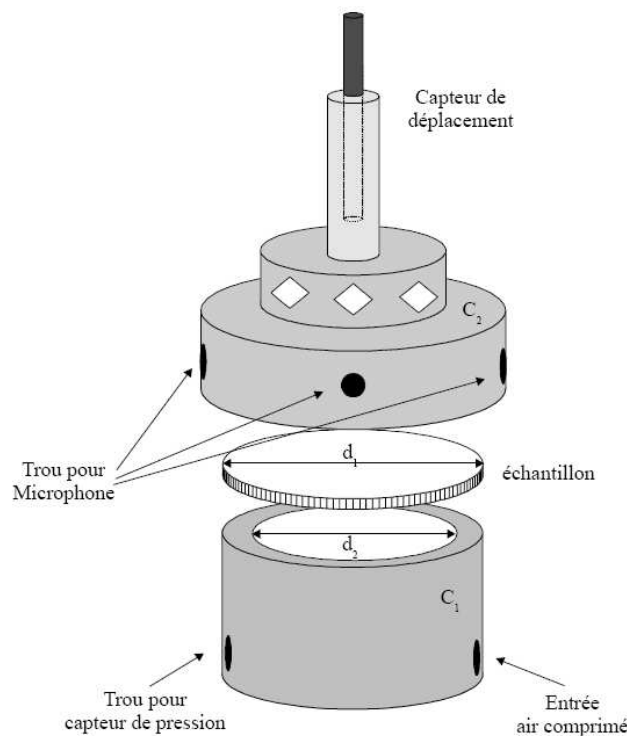


Figure 2.1 : Schéma de la chambre à haute pression

Le système d'acquisition est déclenché quand les signaux des microphones dépassent le niveau du bruit. L'ordinateur enregistre le temps t qui s'est écoulé entre le début de l'expérience et le moment de la détection, la pression et la déformation du centre de la plaque au temps t et les signaux des quatre microphones dans l'intervalle entre le temps t et le temps $(t+30\text{ ms})$. La fenêtre temporelle a été choisie de 30 ms car on a statistiquement constaté que c'est la durée maximale des émissions acoustiques. La charge est maintenue jusqu'à cassure

complète de la plaque. En analysant les signaux des microphones, on détermine le point d'émission et l'énergie des émissions acoustiques (les précurseurs) . A partir de ces données, on étudie les propriétés statistiques des précurseurs de la fracture et le temps de vie des échantillons. Pour vérifier que les résultats obtenus sont indépendants de la géométrie utilisée, nous avons effectué des mesures similaires à l'aide d'une machine à traction uniaxiale classique.

2.3 Résultats des expériences

Nous avons pu montrer que l'histogramme de l'énergie acoustique émise par l'échantillon et l'histogramme des temps écoulés entre deux événements consécutifs suivent une loi de puissance, c'est-à-dire que le système n'a pas d'échelle caractéristique d'énergie ni de temps. Ces résultats sont très similaires à ceux que les géophysiciens ont obtenus sur les tremblements de terre (loi de Gutenberg-Richter et loi de Omori). De plus, si dans le cas où l'on impose la pression P , on reporte l'énergie émise en fonction du paramètre réduit $(\tau - t)/\tau$ (τ étant le temps pour lequel l'échantillon se rompt), on voit que, près du point critique, l'énergie émise par unité de temps diverge selon une loi de puissance. Cela pourrait signifier que la fracture est un phénomène critique et que l'on ne peut donc modéliser la fracture qu'avec des modèles qui prévoient une transition de phase.

L'étude de la localisation spatiale des événements nous a montré qu'il n'est pas possible de connaître l'état d'endommagement de l'échantillon en mesurant la concentration spatiale des microfractures. Des résultats similaires ont été trouvés en étudiant la vitesse de propagation des microfractures et la distribution temps-fréquence de leur émissions acoustiques. Peut-être cela est-il dû au fait que les longueurs d'ondes des signaux que l'on mesure (entre 3 et 20 cm) sont beaucoup plus grandes que la taille typique des microfractures qui se forment dans le matériau ($\sim 1\text{mm}$). Les émissions acoustiques de longueur d'onde comparable à la taille des microfractures ne sont pas mesurables car elles sont presque totalement atténuées par le milieu ; c'est donc la nature même des matériaux qui limite notre étude. Cela signifie qu'il n'est pas possible de connaître l'état d'endommagement d'un échantillon à partir des émissions acoustiques produites par l'échantillon lui-même.

Nous avons aussi mis en évidence le fait que la rupture de nos échantillons est due à la coalescence d'une multitude de microfractures apparues par nucléation. En accord avec la théorie de Y. Pomeau, qui suggère que la rupture d'un échantillon soumis à charge constante est due à un mécanisme d'activation thermique, nous avons trouvé que le temps de vie τ d'un

échantillon est bien prédit par l'équation : $\tau \sim e^{\left(\frac{P_o}{P}\right)^4}$ (P_o étant une constante qui dépend du matériau et de la température), figure 2.2. Nous avons ensuite généralisé cette équation pour tout type de pression $P(t)$ imposée et nous avons trouvé que le temps de vie τ est prévu, à 10% près, par l'équation : $1 = \int_0^{\tau} \frac{1}{\tau_o} e^{-\left(\frac{P}{P_o}\right)^4} dt$ (τ_o étant une constante).

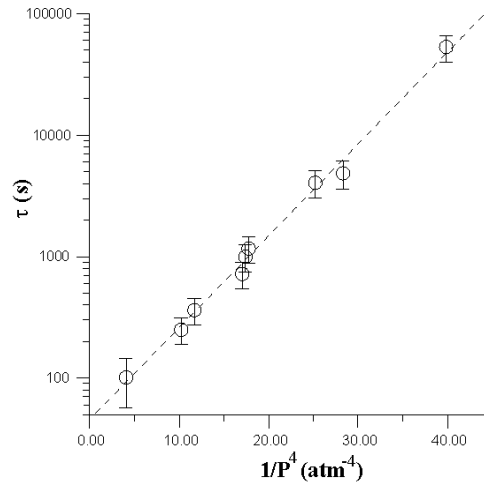


Figure 2.2 : Le temps de rupture en fonction de P^{-4}

Ces résultats nous ont montré que les fluctuations thermiques n'ont pas l'ampleur nécessaire pour provoquer la nucléation des microfractures. Nous avons donc fait l'hypothèse que ces fluctuations pouvaient être amplifiées par le désordre du matériau. C'est pour vérifier cette hypothèse que nous avons entamé notre travail théorique et numérique sur le sujet. Les détails et les résultats de ces travaux, qui constituent mon travail post-thèse sur la fracture, sont présentés dans le paragraphe 2.4.

Collaborations

Pendant cette période, nous avons noué d'étroites collaborations avec des physiciens d'autres organismes de recherche : Yves Pomeau de l'Ecole Normale Supérieure de Paris, Didier Sornette de l'Université de Nice, Stéphane Roux du laboratoire Surface du Verre et Interface et Alessandro Vespignani du Centre International de Physique Théorique de Trieste (Italie). De plus, la similitude de nos expériences avec celles menées par l'équipe de Jean-Robert Grasso, du LIRIGM (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique) de l'Université de Grenoble (étude des émissions acoustiques d'un échantillon de granit soumis à compression), nous a permis de collaborer assez régulièrement, et de nous montrer l'intérêt que la géophysique porte à ce type d'études. Ce rapprochement

avec la géophysique a également fait l'objet de discussions avec Maurizio Ripepe, des laboratoires de géophysique des Universités de Florence et de Camerino, concernant l'application de nos méthodes d'analyse aux mesures sismiques et acoustiques relevées sur les volcans Etna et Stromboli, ainsi que lors des tremblements de terre en Umbria en 1998.

2.4 Le travail théorique (Post-Thèse)

Après ma thèse, j'ai souhaité continuer mon travail sur ce sujet. Ne pouvant plus mener des expériences, je me suis entièrement consacré à l'étude numérique et théorique du problème. Les expériences menées pendant ma thèse, nous ont montrés que les évènements précurseurs (micro-fissures) qui se produisent lorsqu'un matériau hétérogène est soumis à une contrainte constante inférieure au seuil de rupture fragile appatentent le processus de fracturation à un phénomène critique [1]. Pomeau et Gobulovic [2] ont proposé un mécanisme d'activation thermique pour interpréter la nucléation de micro-fissures, et prédisent un comportement en accord qualitatif avec les expériences. Cependant, les fluctuations thermiques sont trop faibles pour expliquer quantitativement l'ordre de grandeur des temps de rupture [3].

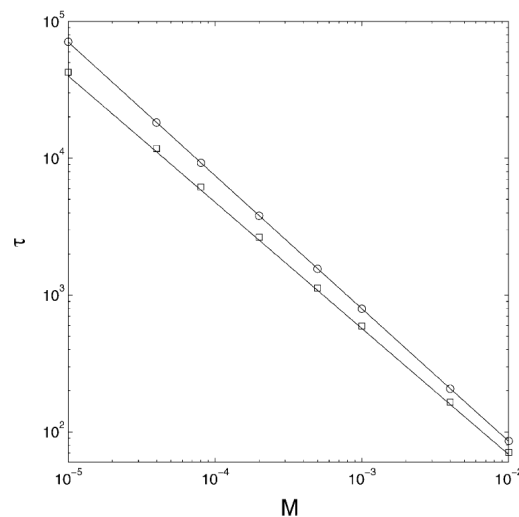


Figure 2.3 : Le temps de vie τ pour des échantillons en bois (cercles) et en fibre de verre (carrés) en fonction de la vitesse de la rampe de pression linéaire M . Les lignes continues représentent les solutions numériques.

Pour essayer d'expliquer les observations expérimentales, nous avons proposé un modèle démocratique de faisceau de fibres (Democratic Fiber Bundle Model) dans lequel

nous avons introduit un bruit thermique. La résolution numérique de ce système montre un comportement en bon accord avec les expériences, figure 2.3, et nous a permis de mettre en évidence et de quantifier l'influence des hétérogénéités spatiales sur le temps de rupture [4]. En effet nous avons montré que les hétérogénéités du matériel « amplifie » le bruit thermique. Nous avons ensuite adapté le modèle démocratique de faisceau de fibre à une situation bidimensionnelle, modèle de fusibles 2D en présence de bruit thermique, de manière à se rapprocher un peu plus aux expériences réelles [5-6]. L'analyse numérique et théorique du modèle bidimensionnel montre que aussi dans ce cas les hétérogénéités spatiales produisent une sorte d'amplification du bruit thermique qui permettent la nucléation de micro-fissures lorsqu'un matériau hétérogène est soumis à une contrainte constante inférieure au seuil de rupture fragile. Les résultats de notre modèle sont en très bon accord avec les temps des ruptures observés dans nos expériences sur les échantillons en bois et en fibre de verre et sur celles menés sur les gels et le microcristaux. De plus, notre modèle reproduit bien la progression par paliers du front d'une fissure macroscopique isolée que nous avons observé dans nos expériences sur de feuilles de papier étirées avec la machine à traction et qui a été beaucoup étudié dans des polymères tels que le polyéthylène [8]. En effet, ce processus de rupture couramment observé dans les conduites industrielles est donc de ample intérêt. Cependant, l'interprétation physique de cette croissance discontinue était resté, jusqu'à maintenant, seulement phénoménologique [9]. Notre modèle est le premier qui donne un explication physique du phénomène.

[1] A. Garcimartín, L. Bellon, A. Guarino and S. Ciliberto, *Physical Review Letters*, vol. 79, p. 3202, 1997.

[2] Y. Pomeau, *C. R. Acad. Sci. Paris, Série II*, pp. 553-556, 1992; L. Golubovic, and S. Feng, *Physical Review A*, vol. 73, p. 5523, 1991.

[3] A. Guarino, S. Ciliberto and A. Garcimartín, *Europhysics Letter*, vol. 47 (4), p. 456, 1999.

[4] S. Ciliberto, A. Guarino, and R. Scorretti, *Physica D*, vol. 158, p. 83, 2001.

[5] S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scorretti, and S. Ciliberto. *Thermal activation of rupture and slow crack growth in a model of homogeneous brittle materials. Europhysics Letters Vol 62, 3 pp 320-326, 2003*

[6] R. Scorretti, S. Santucci, A. Guarino, L. Vanel and S. Ciliberto. *Failure time of elastic materials submitted to a constant load. Materials Physics and Mechanics, No 1, Vol 6, 2003*

[7] A. Guarino, R. Scorretti, L. Vanel and S. Ciliberto. *The cooperative effect of load and disorder in thermally activated rupture of a two-dimensional random fuse network* *J. Stat. Mech.* P06020, 2006

[8] M. Parsons, E. V. Stepanov, A. Hiltner, E. Baer, *Journal of materials science*, vol. 35, p. 2659, 2000.

[9] A. Chudnovsky, and Y. Shuklin, *International Journal of fracture*, vol. 97, p. 83, 1999.

2.4.1 Mes publications sur le sujet :

- I. Statistical Properties of Fracture Precursors: A. Garcimartin, A. Guarino, L. Bellon and S. Ciliberto, *Physical Review Letters*, 79 3202 (1997)
- II. An Experimental Test of the Critical Behaviour of Fracture Precursors: A. Guarino, A. Garcimartin and S. Ciliberto, *European Physical Journal B*, vol 6, pp. 13-24 (1998)
- III. Failure Time and Microcrack Nucleation : A. Guarino, A. Garcimartin, and S. Ciliberto, *Europhysics Letters* 47 (4) 456-461 AUG 1999.
- IV. Disorder enhances the effects of thermal noise in the fiber bundle model : R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Guarino. *Europhys. Lett.*, 55 (5), pp. 626–632 (2001)
- V. The effect of disorder on the fracture nucleation process: S. Ciliberto, A. Guarino, and R. Scorretti. *Physica D* 158 (2001) 83–104
- VI. Failure time and critical behaviour of fracture precursors in heterogeneous materials : A. Guarino, S. Ciliberto, A. Garcimartin, M. Zei and R. Scorretti. *European Physical Journal B* 26, 141-151 (2002)
- VII. Thermally activated rupture in homogenous brittle materials : S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scorretti, and S. Ciliberto. *The Russian Journal of Physical Chemistry Vol 77, Suppl. 1* (2003).
- VIII. Failure time of elastic materials submitted to a constant load : R. Scorretti, S. Santucci, A. Guarino, L. Vanel and S. Ciliberto. *Materials Physics and Mechanics, No 1, Vol 6* (2003)
- IX. Thermal activation of rupture and slow crack growth in a model of homogeneous brittle materials : S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scorretti, and S. Ciliberto. *Europhysics Letters Vol 62*, 3 pp 320-326 (2003)
- X. Cooperative effect of load and disorder in thermally activated rupture of a two-dimensional random fuse network. A. Guarino, R. Scorretti, L. Vanel, and S. Ciliberto. *J. of Stat. Mech* P06020 (2006)

3 INSTABILITES

3.1 Convection de Rayleigh-Bénard avec rotation autour de l'axe vertical

Il s'agit du projet de recherche qui m'a permis d'intégrer, en tant que postdoc, l'équipe de Guenter Alhers à l'Université de Californie à Santa Barbara en Août 1999.

Le sujet de recherche était la convection de Rayleigh-Bénard [1] avec une rotation Ω autour de l'axe vertical. Les expériences étaient menées sur des mixtures gazeuses (He-Xe, Ar-CO₂, etc.) soumises à haute pression (entre 30 et 90 atm). Les cellules convectives étaient cylindriques, le diamètre étant de 10 cm, et l'épaisseur pouvant varier entre quelques centaines de microns et quelques millimètres. La technique de mesure utilisée était l'ombroscopie, permettant de visualiser le laplacien du champ de température (intégré sur l'épaisseur) de la cellule convective. Ceci nous permettait d'étudier les propriétés des structures spatiales (*patterns*) et temporelles qui se forment au-delà du seuil d'instabilité primaire, et de caractériser le type de bifurcation observée.

Dans les premiers mois de mon stage post-doctoral, je me suis occupé de la mise en oeuvre et à la calibration du montage expérimental. J'ai ensuite commencé le projet : l'étude, jamais menée auparavant, de la convection de Rayleigh-Bénard avec rotation pour un fluide en condition non-Boussinesq (i.e. lorsque les propriétés de transport du fluide dépendent, de manière non négligeable, de la température). La structure spatiale qui se forme au-delà du seuil d'instabilité primaire ΔT_c dans un fluide non-Boussinesq est hexagonale. De très récentes simulations numériques, conduites par B. Echebarria et H. Riecke [2], prédisent que les amplitudes des trois rouleaux constituant la structure hexagonale observée dans la convection de Rayleigh-Bénard d'un fluide non-Boussinesq commencent à osciller périodiquement et avec un déphasage tel que la somme des trois amplitudes reste constante lorsqu'une rotation $\Omega > 0$ est imposée à la cellule (figure 3.1).

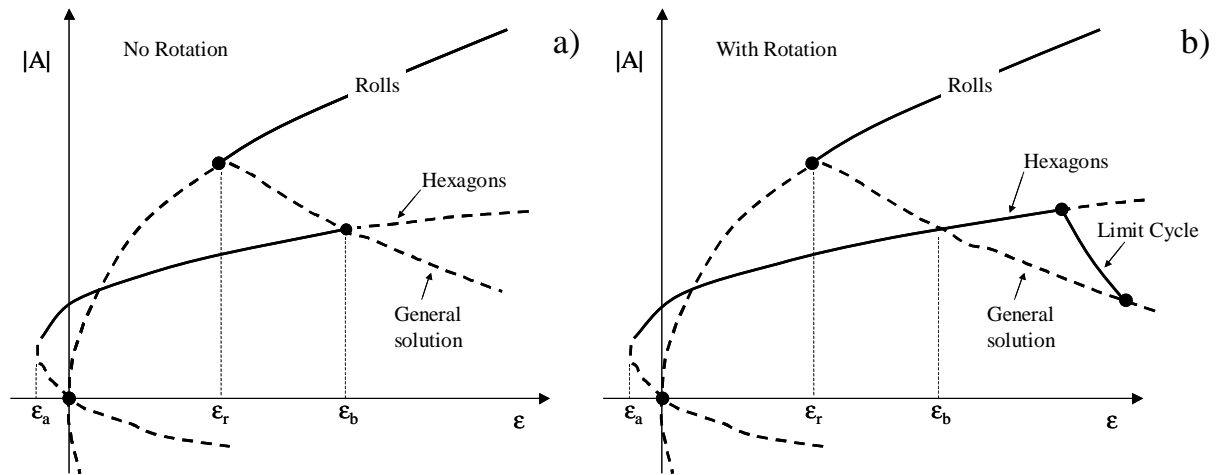


Figure 3.1- Diagramme de bifurcation (a) sans et (b) avec rotation.

L'objectif de ces mesures était de vérifier expérimentalement la validité de telles prédictions. Nous avons observé que la rotation tend à détruire les hexagones. L'oscillation de la structure hexagonale n'a donc pas lieu. Malgré le large rapport d'aspect de la cellule convective (~ 60), la destruction des hexagones est probablement liée à la taille finie du système (prise comme infinie dans les simulations numériques).

Nous avons ensuite observé un autre phénomène induit par la rotation : une rotation de la transformée de Fourier bidimensionnelle. La vitesse angulaire ω de celle-ci est liée à la vitesse de rotation de la cellule par l'équation : $\omega = c \Omega^3 \frac{\Delta T - \Delta T_c}{\Delta T_c}$, où c est une constante et ΔT_c la température seuil d'instabilité primaire.

[1] H. Bénard, *Rev. Gen. Sci. Pures Appl.* **11**, 1261 (1900); *Ann.Chim. Phys.* **23**, 62 (1901)

[2] B. Echebarria et H. Riecke, *Physica D* **139** (2000) 97-108

3.1.1 Mes publications sur le sujet :

- I. Hexagonal pattern instabilities on a non-Boussinesq fluid in rotating Rayleigh-Bénard convection: Experimental results : A.Guarino and V. Vidal. *Physical Review E* vol 69 066311 (2004)

3.2 Non-linéarité optique des cristaux liquides dopés par colorants

Ceci est l'un des deux sujets de recherche que je mène avec Stefania Residori de l'INLN. La collaboration sur ce thème a commencé en juin 2003.

Nous mesurons la réponse optique des cristaux liquides lorsqu'ils sont dopés par des colorants. Dans notre étude, nous utilisons des cristaux liquides 5CB dans la phase nématique, phase pour laquelle les axes des molécules sont quasiment tous orientés dans la même direction (directeur moléculaire). Nous mesurons la non-linéarité optique des cristaux liquides à travers leur réorientation lorsqu'on les soumet à un champ électrique [1]. La molécule de cristal liquide 5CB possède une anisotropie de susceptibilité électrique, permettant de l'assimiler à un dipôle qui s'aligne avec le champ appliqué. Comme la molécule de cristal liquide est fortement biréfringente, cette réorientation donne lieu à une variation d'indice de réfraction à l'intérieur de la cellule contenant les cristaux liquides.

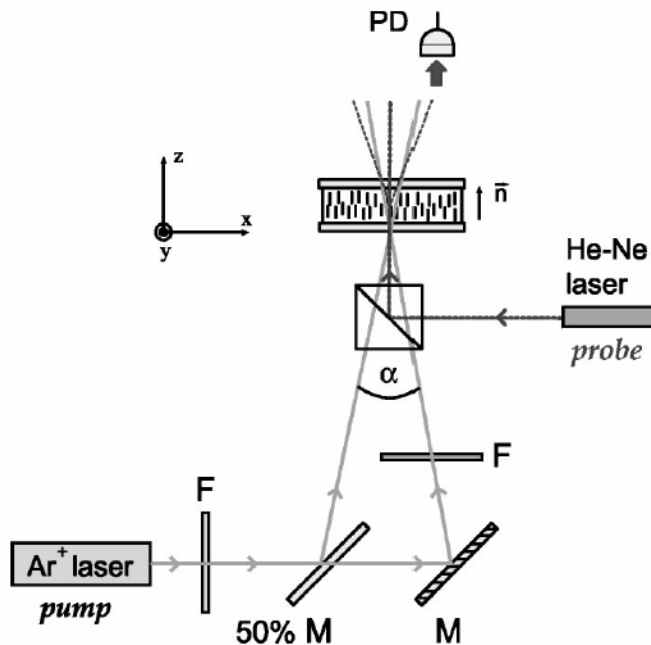


Figure 3.2- Dispositif expérimental : Le faisceau laser Ar^+ est divisé en deux sous-faisceaux de même intensité qu'on fait interférer sur la cellule. Les franges d'interférence modifient localement l'indice de réfraction dans la cellule et un réseau d'indice va alors apparaître. Pour lire le réseau, on utilise un laser Hélium-Néon de faible puissance (0.8 mW).

Lors de nos expériences, le champ électrique est celui associé au rayonnement d'un faisceau laser, figure 3.2. Par conséquent, la lumière elle-même induit une variation d'indice de réfraction Δn , qui est à la base de la réponse optique non-linéaire. Celle-ci peut s'exprimer

par le coefficient n_2 car la variation d'indice est proportionnelle à l'intensité I_p du laser, $\Delta n = n_2 \cdot I_p$. Ce coefficient est déterminé grâce à des expériences de diffraction dont on mesure l'efficacité $\eta = (\Delta n \cdot d \cdot \pi / \lambda)^2$, avec d l'épaisseur de la cellule et λ la longueur d'onde du rayonnement utilisé. Le dopage des cristaux liquides se fait par des concentrations de colorant comprises entre 0,1% et 1% du mélange. Les colorants utilisés changent de configuration moléculaire lorsqu'on les éclaire par un rayonnement de fréquence correspondante à une de leur raie d'absorption. Ce changement de configuration, appelé photo-isomérisation, est sensé faciliter la réorientation et donc augmenter la réponse optique [2]. Nous avons montré [3] que le dopage favorise la réorientation des molécules de cristaux liquides de manière très importante. En effet, l'intensité nécessaire pour avoir la réorientation d'une cellule de cristaux liquides pure est de l'ordre du kW/cm^2 alors que, pour les cristaux liquides dopés, quelques centaines de $\mu\text{W/cm}^2$ suffisent. Nous avons ensuite étudié la réponse optique en fonction de divers paramètres tel que le type de colorant, sa concentration et le type d'ancrage des cristaux sur la cellule.

[1] I.C. Khoo, *Liquid Crystals, Physical Properties & Nonlinear Optical Phenomena*, John Wiley & Sons, New York, (1995).

[2] I. Janossy, A.D. Lloyd, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 203, 77, (1991).

[3] S. McConville, D. Laurent, A. Guarino and S. Residori, *American Journal of Physics -- Vol. 73, 5*, pp. 425-432 (2005)

3.2.1 Mes publications sur le sujet

- I. Measurement of the giant non-linear response of dye-doped liquid crystals, S. McConville, D. Laurent, A. Guarino and S. Residori, *American Journal of Physics*, Vol 73, Issue 5, pp. 425-432 (2005)

3.3 Etude de l'instabilité de Faraday dans les fluides peu visqueux

J'ai commencé à collaborer avec Stefania Residori de l'INLN sur les instabilités de Faraday fin 2002.

Lorsqu'une couche horizontale de fluide possédant une surface libre est soumise à des oscillations verticales d'amplitude suffisamment importante, la surface ne reste pas plane et des ondes stationnaires (instabilité de Faraday), le plus souvent sous-harmoniques, prennent naissance [1]. La structure temporelle et spatiale de l'instabilité dépend fortement des paramètres du système (fréquence et amplitude d'excitation, viscosité du fluide,...). Plusieurs études théoriques et expérimentales ont été menées sur ce système pour différentes configurations. Toute une panoplie de structures spatiales et temporelles a été observée [2].

Nous avons étudié les instabilités de Faraday de fluides peu visqueux (alcool, eau, mélange d'eau et glycérol) dans une configuration quasi-unidimensionnelle. En effet, la cellule contenant le fluide est rectangulaire et avec un grand rapport d'aspect. La visualisation des ondes de Faraday est faite à l'aide d'une camera placée perpendiculairement à l'axe longitudinal des ondes. Ceci nous permet de voir la forme des ondes et de mesurer leur longueur d'onde. La fréquence d'oscillation des ondes est mesurée en envoyant un faisceau laser sur la surface du liquide et en mesurant ses oscillations avec un capteur de position, figure 3.3. Le mouvement de la cellule est mesuré avec un accéléromètre qui est placé sur un bord de la cellule.

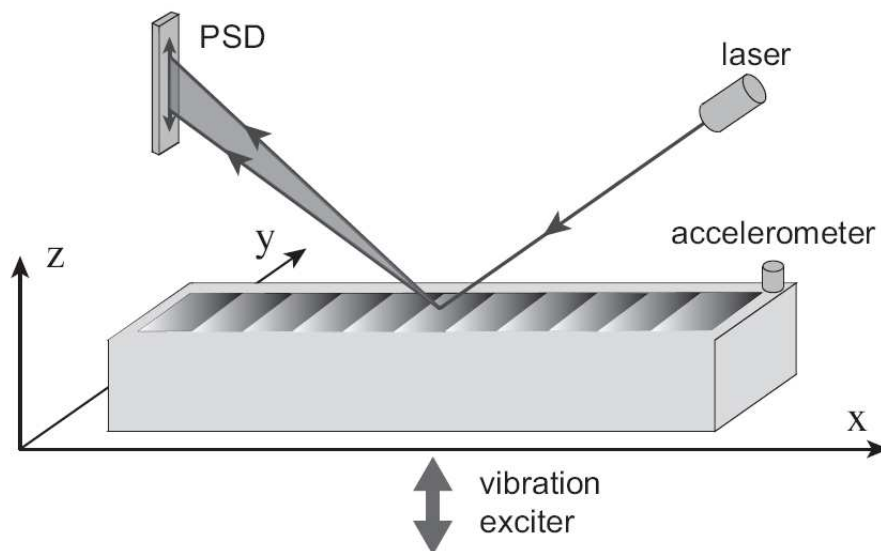


Figure 3.3- Dispositif expérimental.

Dans ces conditions, pour certaines fréquences, deux modes entrent en compétition. Nous avons focalisé notre attention sur les propriétés de stabilité des deux modes et nous avons montré qu'ils peuvent soit coexister de manière bistable, soit donner lieu à un mode mixte. Nous avons enfin développé un modèle, basé sur deux équations d'amplitude couplées, qui reproduit les observations expérimentales.

[1] M. Faraday, *Philos. Trans. London* 52 (1831).

[2] W.S. Edwards, S. Fauve *J. Fluid. Mech*, vol. 278, pp. 123-148 (1994).

3.3.1 Mes publications sur le sujet

- I. Two-mode competition in Faraday instability. S. Residori, A. Guarino and U. Bortolozzo, *Europhys. Lett.* 77, 44003 (2007).

3.4 Écoulement d'un fluide au travers d'une couche de matériau granulaire immergé

Je me suis intéressé à ce sujet dès mon arrivée à l'Université de la Polynésie Française (2001). Il s'agit d'une étude expérimentale, menée en collaboration avec Jean-Christophe Géminard et Patrick Rigord de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et Valérie Vidal de l'Institut de Physique du Globe de Paris.

Nous nous intéressons à l'écoulement d'un fluide dans un matériau granulaire. L'appareillage expérimental a été construit et financé par l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et ensuite installé dans les locaux de l'université à Tahiti. L'écoulement d'un fluide dans un matériau granulaire constitue le paradigme d'une multitude de systèmes réels dans les domaines de la physique, la géophysique, de l'ingénierie civile et des applications industrielles [1-4]. La compréhension du phénomène est donc d'une grande importance.

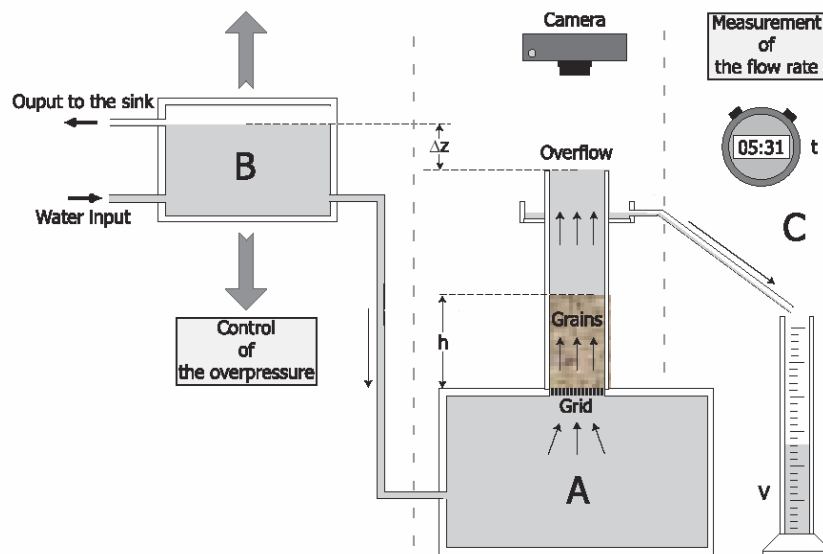


Figure 3.4 : Schéma du montage expérimental préliminaire. Dans le cylindre supérieur de la partie A est placé le matériau granulaire qui repose sur une grille mince l'empêchant de s'écouler vers le réservoir inférieur. Le réservoir de la partie B, qui peut être déplacé verticalement, permet d'imposer une surpression a priori constante entre les deux surfaces horizontales de la colonne de matériau. Le débit résultant est mesuré au moyen des instruments représentés dans la partie C.

Notre système expérimental (figure 3.4) a été conçu pour mesurer l'écoulement vertical d'un fluide qui passe à travers une colonne de matériau granulaire (billes de verre calibrées). L'expérience diffère du travail classique de Darcy sur l'écoulement d'un liquide au travers

d'un matériau poreux [5] par le fait que les grains sont, dans notre configuration, libres de se mouvoir selon la verticale. Nos premières mesures montrent l'existence d'une instabilité de la colonne granulaire. En effet, nous avons montré l'existence d'une vitesse critique v_c qui ne dépend que de la taille des billes de la colonne et non pas de leur nombre. Au-dessous de v_c le fluide s'écoule sans que les grains de la colonne soient mis en mouvement. Au-delà de v_c la colonne granulaire est déstabilisée.



Figure 3.5 : *Vue du haut. Le diamètre des dômes est toujours égal à 32 grains, indépendamment de la taille des billes.*

Vue du haut (Figure 3.5), on peut observer l'apparition d'un dôme dont le diamètre est toujours égal à 32 grains, indépendamment de la taille des billes. La mise en évidence du dôme a été faite à l'aide d'un appareil photo numérique. Cette méthode de mesure ne permet pas de mettre en évidence la dynamique du système. En effet, la fréquence d'acquisition d'un appareil photo est trop petite pour les vitesses en jeu dans le système ($\approx cm/s$).

[1] J. Duran, « *Sables émouvants : La physique du sable au quotidien* », Belin (2003).

[2] Dossier : « *Physique de la matière en grains* », rédacteur en chefs invités : J. Duran et J.-P. Bouchaud, C. R. *Physique* 3 (2002).

[3] J. Duran, « *Sand, Powders and Grains* », Springer Verlag, New-York (2000).

[4] P-G. de Gennes, *Rev. Mod. Phys.* **71**, S374 (1999).

[5] H. Darcy, « *Les fontaines publiques de la ville de Dijon* », Dalmont, Paris (1856).

3.4.1 Mes publications sur le sujet

- I. Localized instability of a thin granular layer submitted to an ascending liquid flow. *P. Rigord, A. Guarino, V. Vidal, and J.-C. Geminard. S Granular Matter Vol 7, 4, November (2005).*

4 SYSTÈMES DYNAMIQUES

4.1 Dynamique et statistique du laser à électrons libres (FEL)

J'ai commencé à collaborer sur ce sujet avec l'équipe de Stefano Ruffo de l'Université de Florence en Italie à l'occasion de mon séjour en tant que chercheur invité en septembre 2004. J'avais déjà travaillé sur ce sujet lors de mon année de stage de Laurea auprès de l'équipe Turbulence-Plasma de Marseille en 1995/96. Il s'agit d'une étude théorique et numérique.

En 1990, un Hamiltonien a été proposé pour étudier la dynamique d'un laser à électrons libres (LEL) à un seul passage [1]. Il traduit l'interaction onde-particule entre la radiation et les électrons. Ce formalisme Hamiltonien permet une approche mécanistique de problèmes classiques en physique des plasmas, comme l'amortissement de Landau ainsi que l'instabilité plasma-faisceau d'électrons. En outre, cet Hamiltonien correspond à une généralisation directe du modèle champ moyen que le groupe de S. Ruffo a étudié de manière intensive ces dernières années [2]. Dans la physique des systèmes à longue portée, et en physique des plasmas en particulier, il a été montré que dans la région d'instabilité, l'amplification de l'onde avait lieu en deux étapes successives.

- a. Il y a d'abord une croissance exponentielle vers un état quasi-stationnaire, inférieur à la valeur prédite par la statistique de Boltzmann-Gibbs.
- b. Dans un deuxième temps, le système relaxe lentement vers le plateau prédit par la physique statistique de Boltzmann-Gibbs.

Le second temps de relaxation croît de manière algébrique avec le nombre de particules N , de telle manière que la deuxième étape n'existe plus dans la limite continue ($N \rightarrow \infty$).

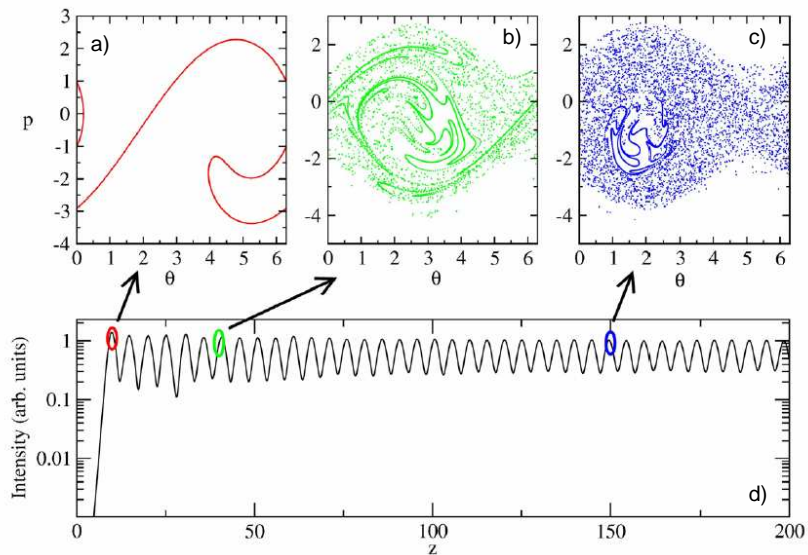


Figure 4. 1 : Espace des phases à la fin de la croissance exponentielle (a), pendant la relaxation (b) et après la formation de la macro-particule (c). d) Evolution spatiale de l'intensité de la radiation.

Les simulations numériques montrent que les premières particules piégées par le champ électrique se comportent comme une macro-particule en résonance avec le champ, figure 4.1. Les particules restantes sont uniformément distribuées dans l'espace des phases, confinées entre des limites oscillantes. Cette observation suggère l'introduction d'un Hamiltonien simplifié à quatre degrés de libertés. Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les données issues de l'Hamiltonien original à N degrés de libertés.

[1] R. Bonifacio et al., *Rivista del Nuovo Cimento*, 13, 1 (1990)

[2] J. Barré, T. Dauxois, G. De Ninno, D. Fanelli, S. Ruffo, *Phys. Rev. E* 69, 045501 (2004)

4.1.1 Mes publications sur le sujet

- I. Wave-particle interaction: from plasma physics to the free-electron laser. A. Antoniazzi, G. De Ninno, D. Fanelli, A. Guarino and S. Ruffo. *Journal of Physics Vol 7*, 143-153 (2005)

4.2 Dynamique de marche des personnes affectées par une maladie neurodégénérative

J'ai commencé à travailler sur ce sujet avec Timoteo Carletti de l'Université de Namur en Belgique et Duccio Fanelli de l'Université de Florence en Italie à l'occasion de mon séjour en tant que chercheur invité en septembre 2004.

Une maladie neurodégénérative est une maladie due à la détérioration de certaines cellules nerveuses (neurones). L'altération des neurones affecte les mouvements ou le contrôle des mouvements [1]. Nous étudions la dynamique de marche [2] de personnes affectées par l'une de ces trois maladies neurodégénératives : la maladie de Parkinson (PD), la sclérose latérale amyotrophique (ALS), et la maladie de Huntington (HD). Nous disposons également de données de dynamique de marche de personnes saines (CTRL). Si l'on suppose que chacun possède une « horloge interne » qui règle la marche, l'on peut alors supposer que la dynamique de marche est décrite par le modèle dynamique :

$$x_{n+1} = x_n + k (l_0 - x_n) + \sigma_r R_n,$$

où x_n représente la longueur du n -ième pas, l_0 la longueur du pas moyen (ou le « pas parfait ») et k est le paramètre de contrôle qui aide à stabiliser la marche. $\sigma_r R_n$ est un bruit Gaussien de moyenne nulle et de variance σ_r . Si $\sigma_r=0$ le modèle est alors déterministe : si $0 < k < 2$, alors x_n converge vers l_0 pour toute condition initiale. Nous avons montré que ce modèle reproduit les propriétés statistiques principales des séries expérimentales. De plus, l'analyse des séries expérimentales montrent que les paramètres k et σ_r dépendent du type de maladie et de sa progression (figure 4.2).

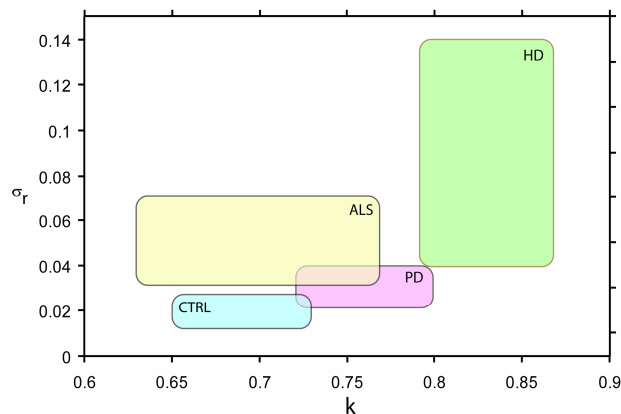


Figure 4.2 : Représentation graphique des intervalles de variabilité des couples (k, σ_r) calculés à partir des (des mesures effectuées sur les patients. Les rectangles sont centrés sur les valeurs moyennes de k et σ_r , leur largeur est déterminée par les erreurs de mesure.

Nos conclusions préliminaires nous amènent à penser qu'il est possible de discerner entre les différentes maladies, et donc, de mettre au point une méthode de diagnostic non invasive basée sur l'étude de la dynamique de marche. Nous pensons également qu'en étudiant la dynamique de marche en 2D, nous pourrions en savoir plus sur les effets que les maladies neurodégénératives ont sur les mouvements ou sur leur contrôle. Pour ce faire, nous travaillons à la mise au point d'un système de mesure 2D.

[1] J.M. Schroder, J. Bohl and U. Vonbardeleben, *Acta Neuropathol.* 76, (1988), pp. 471.

[2] A.L. Goldberger and al., *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet. Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals, Circulation*, 101, (23), (2000).

4.2.1 Mes publications sur le sujet

- I. A new route to non invasive diagnosis in neurodegenerative disease ? *T. Carletti, D. Fanelli and A. Guarino. Neurosciences Letters Vol. 394, Issue 3, pp. 252-255,(2006).*

4.3 SocioPhysique : Dynamique des opinions en présence de propagande

J'ai commencé à travailler sur ce sujet avec Timoteo Carletti de l'Université de Namur en Belgique et Duccio Fanelli de l'Université de Florence en Italie à l'occasion de mon séjour en juin 2005.

Les liens entre la physique et les sciences sociales sont très profonds. A la fin du XVII^e siècle des philosophes proposèrent d'appliquer des lois déterministes pour étudier des systèmes sociaux et politiques [1-3]. La découverte de constantes démographiques universelles [3] concernant des paramètres fortement dépendants du hasard et du libre arbitre individuel comme par exemple les nombre de mariages, de crimes ou de décès donne une base scientifique à cette idée. A la fin du XVIII^e siècle A. Comte introduit la « sociophysique », ancêtre de la sociologie moderne, qui se propose d'étudier des systèmes sociaux en utilisant des lois déterministes [4]. Un système sociale est composé par un nombre élevé d'individus, la statistique apparaît donc comme l'outil nécessaire pour une étude quantitative de ces types de systèmes. La dynamique des opinions est un domaine des sciences sociales qui a toujours intéressé les physiciens [5,6].

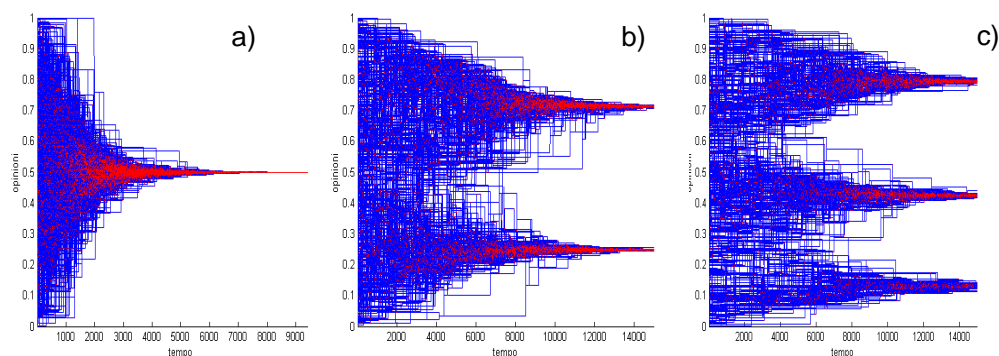


Figure 4.3 : Dynamique des opinion du système en absence de propagande : a) Tous les individus convergent à la même opinion ($\sigma = 0.35$). b) Les individus du système se divisent en deux groupes d'opinions ($\sigma = 0.2$). c) La population se partage en trois groupes d'opinion ($\sigma = 0.13$).

Notre étude concerne l'effet de la propagande dans une population dans laquelle les individus ajustent leur opinion en fonction des rencontres binaires aléatoires. Nous voulons déterminer sous quelles conditions la propagande affecte la dynamique du système et étudier les perturbations induite. Nous avons utilisé le modèle de Deffuant [7]. Ce modèle décrit N individus i pourvus de deux caractéristiques. La première est une opinion O_i , qui est

représentée par un nombre compris entre 0 et 1. La seconde caractéristique des individus est liée à leur degré de certitude σ , également exprimée par un nombre compris entre 0 et 1. A chaque pas de temps, deux agents sont tirés au hasard dans l'ensemble de la population. Quand deux individus se rencontrent, leurs opinions ne sont modifiées que si la distance entre leurs opinions $|O_i - O_j|$ est inférieure à leur degré de certitude σ . Si la différence entre les opinions est suffisamment petite alors leurs opinions convergent proportionnellement à un paramètre de convergence μ qui représente la capacité d'adaptation des individus. Mathématiquement :

$$\begin{aligned} \text{si } |O_i - O_j| > \sigma & \rightarrow \Delta O_i = \Delta O_j = 0 \\ \text{si } |O_i - O_j| < \sigma & \rightarrow \Delta O_i = \mu(O_j - O_i) \quad \text{et} \quad \Delta O_j = \mu(O_i - O_j). \end{aligned}$$

L'opération est répétée tant que le système ne parvient à l'équilibre. On peut démontrer que μ ne modifie pas la dynamique du système, sa valeur ne détermine que le temps qu'il faut au système pour arriver à l'équilibre. Dans nos simulations nous avons toujours considéré $\mu = 0.5$; c'est à dire que si les opinions des deux individus sélectionnés au temps t sont assez proches, au pas de temps successif $t+1$ les deux individus auront la même opinion. La valeur étant la moyenne de deux opinions.

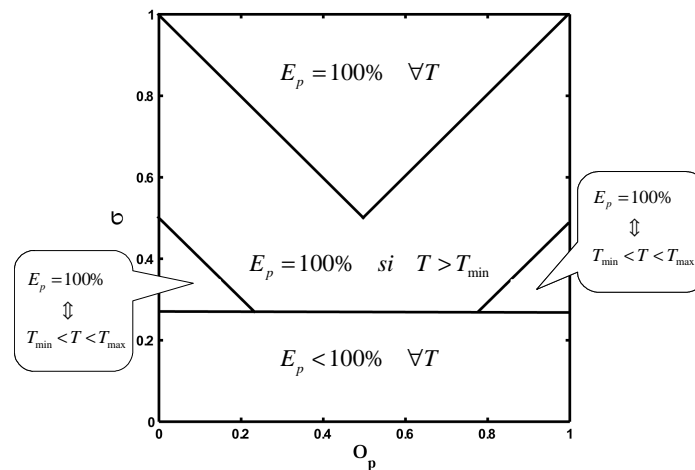


Figure 4.4 : Plan des phases (σ, O_p) . Chaque phase est caractérisée par une différente dépendance de E_p en fonction de T

Dans ce modèle, le système parvient toujours à un état d'équilibre stationnaire, figure 4.3.

Si $\sigma > 0.25$, tous les individus convergent à l'opinion moyenne (0.5). Si $\frac{1}{6} < \sigma < \frac{1}{4}$ on

observe alors la population se diviser en deux groupe d'opinion de même ampleur. Si $\frac{1}{8} < \sigma < \frac{1}{6}$ alors on voit la population se partager en 3 groupes d'opinions équi-peuplés. En

général, on trouve un nombre de groupe d'opinions $n_c = \text{Entier}(\frac{1}{2\sigma})$.

Après avoir étudié la dynamique de relaxation du modèle originale de Deffuant, nous avons introduit la propagande. Dans notre modèle, la propagande est représentée par un individu externe au système qui a une opinion invariable O_p et qui interagit, périodiquement avec période T , avec tous les individus en même temps. Nos simulations indiquent qu'en présence de propagande, le système peut exhiber quatre phases différentes, figure 4.4. Chacune des phases, déterminée par le couple (σ, O_p) , est caractérisée par une dépendance de l'efficacité de la propagande E_p de la période T de la propagande. L'efficacité de la propagande E_p étant le pourcentage d'individus qui partagent l'opinion de la propagande O_p . Il y a une phase dont l'efficacité de la propagande est toujours 100%, une autre pour laquelle $E_p=100\%$ seulement si $T > T_{min}$, une phase pour laquelle l'efficacité est totale seulement si $T_{min} < T < T_{max}$. Il y a enfin une phase pour laquelle la propagande n'arrive jamais à avoir une efficacité totale.

[1] T. Hobbes, "The elements of law" (1640), "The leviathan"(1660).

[2] O. Margaret, "Divine Will and the Mechanical Philosophy: Gassendi and Descartes on contingency and necessity in the created world", Cambridge Presse (1994).

[3] J. Grount's, "Observations on bills of mortality", London (1662)

[4] Comte, "The Positive Philosophy of Auguste Comte"(1896).

[5] S. Galam, Y. Gefen, Y. Shapir, "Sociophysics: A mean behavior model for the process of strike". *Math J Soc*, 9, 1–13 (1982)

[6] S. Galam, S. Moscovici, "Towards a theory of collective phenomena: consensus and attitude changes in groups" *Eur J Soc Psych*, 21, 49–74, (1991).

4.3.1 Mes publications sur le sujet

I. How to make an efficient propaganda. T. Carletti, D. Fanelli, S. Grolli and A. Guarino. *Europhysics Letters* 74 (2) pp 222-228, (2006)

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Travailler sur autant de sujets différents est très enrichissant et intéressant. Ceci m'a permis d'acquérir des compétences théoriques et expérimentales dans différents domaines de la physique. Néanmoins, dans le futur je souhaite limiter l'éventail de mes activités de recherches. A court terme, je compte concentrer mes efforts sur deux projets : un projet théorique concernant la SocioPhysique et une étude expérimentale sur les instabilités secondaires de Faraday.

5.1 *Etude des instabilités des ondes paramétriques de surface*

Le projet de recherche présenté ici s'insère dans les activités expérimentales du groupe de Stefania Residori et de celui de Christian Mathis et Philippe Maissa, actuellement à l'INLN. Des conditions très favorables sont présentes aujourd'hui pour la constitution d'un groupe de travail consistant autour des instabilités spatio-temporelles dans les fluides. Le but est de développer des nouvelles expériences, ainsi que de renforcer celles déjà actives. Ce sujet de recherche constitue à Nice un centre d'intérêt pour les théoriciens de l'INLN et pour les mathématiciens du Laboratoire Dieudonné.

Nous nous proposons de mettre en œuvre des expériences d'ondes de surface, afin d'étudier la dynamique spatio-temporelle complexe associée à l'instabilité de Faraday [1]. L'appareillage expérimental est le même que celui présenté dans le chapitre dédié aux instabilités de Faraday (chap. 3.3). Nous pensons aborder tout un ensemble de problèmes liés aux instabilités secondaires des ondes et à leur déstabilisation vers le chaos spatio-temporel.

De récents résultats théoriques [2] prédisent que, dans le cas d'une cellule torique remplie d'un fluide peu visqueux et soumise à une oscillation verticale, les ondes stationnaires issues de l'instabilité primaire peuvent se déstabiliser et donner naissance à des solitons ou à des fronts qui se propagent et interagissent entre eux. Cette configuration expérimentale sera un point central de notre projet de recherche.

D'autres études récentes ont montré un rôle important du bruit temporel dans le comportement des ondes près du point de bifurcation de l'instabilité de Faraday [3,4]. L'étude de défauts, ainsi que de la structure fine, des ondes de surface obtenues en présence du bruit sera l'objet de la deuxième partie de notre travail de recherche. Nous pensons aussi réaliser expérimentalement un bruit spatio-temporel et caractériser l'intermittence spatio-temporelle

qui résultera entre les modes de déformation de la surface liquide. Récemment, nous avons étudié la dynamique de compétition entre deux modes antagonistes d'oscillations de la surface et nous avons montré que, même en absence du bruit, des scénarios assez complexes peuvent être engendrés selon les paramètres de l'expérience [5]. Nous pensons d'élargir cette étude pour prendre en compte l'interaction entre un grand nombre des modes.

De plus, une fois installé, le dispositif expérimental permettra d'étendre ce même type d'étude aux milieux granulaires, pour lesquels se posent de nouvelles problématiques liées au caractère discontinu du milieu et aux interactions (élastiques ou plastiques) entre ses constituants élémentaires. L'étude des milieux granulaires a des implications immédiates pour les applications pratiques et, en particulier, pour expliquer la formation de toutes les structures naturelles que l'on trouve sur les plages, sur les fonds marins et dans les rochers volcaniques.

[1] M. Faraday, *Philos. Trans. Roy. Soc. London* 121, 319 (1831)

[2] C. Martel, J.M. Vega, E. Knobloch, *Physica D* 174, 198 (2003).

[3] R. Berthet, A. Petrossian, S. Residori, B. Roman, S. Fauve, *Physica D* 174, 84, (2003)

[4] S. Residori, R. Berthet, B. Roman, S. Fauve, *Phys. Rev. Lett.* 88, 024502, (2002)

[5] S. Residori, A. Guarino, U. Bortolozzo, *Europhys. Lett.* 77, 44003 (2007)

5.2 SocioPhysique : Dynamique des Opinions

L'intérêt pour les études à la frontière de la physique, des sciences cognitives et des sciences sociales est de plus en plus élevé. Notre objectif est de mettre en œuvre des techniques analytiques et numériques sur des problématiques de la théorie des opinions. En particulier, nous voudrions améliorer le modèle de dynamique des opinion présenté précédemment (*chap. 4.3*) pour le rendre plus proche des systèmes réels. Nous pensons que l'interaction avec des spécialistes en psychologies et en sociologie soit nécessaire pour ce genre d'études. C'est pour cela que nous avons commencé à collaborer avec de chercheurs en sciences cognitives. En particulier, depuis janvier 2006, nous encadrons la thèse, sur ce sujet, d'un étudiant issu d'un parcours de psychologie cognitive. Dans un premier temps nous envisageons d'introduire dans notre modèle les concepts *d'affinité entre individus* et de *température et distance sociale*. Il est bien connu en phycologie cognitive [1-2] que l'affinité entre les individus joue un rôle important dans la dynamique d'un groupe. Nous pensons introduire ce paramètre dans notre modèle sous la forme d'une matrice carré A d'ordre N .

dont le coefficient A_{ij} quantifie l'affinité que l'individu i éprouve envers l'individu j . L'affinité affectera les règles d'évolution des opinions: une bonne affinité entre deux individus favorisera le rapprochement des opinions alors qu'une mésentente la désavantagera. La matrice *affinité* ne sera pas symétrique (car on peut bien aimer quelqu'un qui nous méprise) et ses coefficients évolueront dans le temps (car l'estime peut se modifier au cours du temps). Les autres paramètres qui nous semblent importantes de considérer dans un modèle de dynamique d'opinions sont la température sociale T_S et la distance sociale D_S . Ces nouveaux paramètres rentrent en jeu dans le processus d'extraction des individus. Les rencontres ne seront plus fruit du hasard totale. Nous pensons changer les règles de sélection de cette manière : après avoir tiré au hasard un individu i , nous ordonnerons le restant de la population en fonction de la distance sociale $D_{ij}^S = D_{ij} + B_{sj}$. La distance D_{ij} étant une grandeur déterminée par l'affinité A_{ij} , la différence entre les opinions $O_i - O_j$ et éventuellement d'autres paramètres (distance spatiale, différence sociale etc.). Ce paramètre est introduit pour prendre en compte le fait que les individus ont plus de facilité à rencontrer certains individus plutôt que d'autres. En effet, dans la vie réelle, il est plus facile de rencontrer des individus de même zone géographique, de statut social comparable, d'opinions comparables etc. Le bruit social B_{sj} est un paramètre aléatoire, sa loi de distribution est une gaussienne centrée en zéro dont l'écart-type au carré représente ce qu'on appellera la température sociale T_S . Le bruit social est sensé prendre en compte les hasards de la vie réelle. L'agent k choisi pour la rencontre avec l'individu i est alors celui pour qui la distance sociale D_{ij}^S est minimum.

Une fois l'implémentation du modèle terminé, nous nous proposons de mener des expériences pour vérifier la validité de nos résultats. Dans ce domaine, une étude expérimentale consiste en des études de terrains, des enquêtes, des données statistiques etc.

[1] A. Nowak, R.R. Vallacher, and M. Zochowski. *Developmental Review* 25, no. 3-4 (2005)

[2] R. Vallacher, A. Nowak, and M. Zochowski. *Interaction Studies*, Volume 6, Number 1, (2005)

ANNEXE : CURRICULUM VITAE

Notice individuelle

Prénom, Nom :	<u>Alessio Guarino</u>
Date et lieu de naissance :	Le 22 Juin 1970 à Florence (Italie),
Fonction Actuelle	Maître de Conférence en Physique (sect. 28)
Adresse professionnelle :	Laboratoire Terre–Océan Université de La Polynésie Française BP 6570 Faa'a Aéroport Tahiti- Polynésie Française
Téléphone professionnel :	++689 803 880
Fax :	++689 803 842
e-mail :	guarino@upf.pf

Fonctions et Diplômes

- 2006/07 **Chercheur invité (échange Erasmus)**, (2 mois), Université de Florence, Italie.
- 2005/06 **Chercheur invité (échange Erasmus)**, (2 mois), Université de Florence, Italie.
- 2004/05 **Chercheur invité (échange Erasmus)**, (3 mois), Université de Florence, Italie.
- Depuis 2001 **Maître de Conférence en Physique** , Université de la Polynésie Française, Tahiti.
- 2000/01 **Attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER)**, Ecole Normale Supérieure de Lyon
- 1999/00 **Formation post-doctorale**, Guenter Ahlers Group, Université de Californie à Santa Barbara (UCSB), USA.
- 1996/99 **Doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon**, spécialité Physique, Ecole Normale Supérieure de Lyon
Titre : *Propriétés statistiques des précurseurs de la fracture*
- 1996 **Laurea en Physique (équivalent Bac+ 5)**. Université de Florence, Italie.
Equivalence obtenue avec le DEA "Physique statistique et phénomènes non linéaires" de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon

Responsabilité administratives

- Membre élu du Conseil d'Administration de l'Université de la Polynésie Française (depuis 2004)
- Responsable de l'échange Erasmus entre l'Université de la Polynésie Française et les Universités Italiennes de Florence et Rome (depuis 2004) et l'Université Belge de Namur.
- Membre de la commission de discipline de l'Université de la Polynésie Française (depuis 2003)
- Membre élu de la commission de spécialiste n°4 de l'Université de la Polynésie Française (depuis 2003)

Activités de recherche & publications

Projets en cours :

Le rôle du désordre dans la dynamique de nucléation des microfractures dans les matériaux hétérogènes . *En collaboration avec Sergio Ciliberto de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon*

Etude des instabilités des ondes paramétriques de surface - *En collaboration avec Stefania Residori de l'INLN (Institut Non Linéaire de Nice)*

Etude numérique de la dynamique des opinions. *En collaboration avec Timoteo Carletti de l'Université de Notre Dame de la Paix à Namur (Belgique) et Duccio Fanelli, Franco Bagnoli et Andrea Guazzini de l'Université de Florence, Italie.*

Etude de la circulation lagunaire dans les baies de Phaéton (Tahiti) et de Paopao (Moorea). *En collaboration avec Franco Bagnoli et Lorenzo Cappiotti de l'Université de Florence (Italie).*

Etude de la dynamique d'agrégation de la Cerato-Platanine par images AFM. *En collaboration avec des groupes de D. Fanelli , B. Tiribilli et G. Cappugi de l'Université de Florence (Italie).*

Activités de recherche passées

2004-2006 Dynamique de marche des personnes affecte par une maladie neurodégénérative. *En collaboration avec Timoteo Carletti de l'Université de Notre Dame de la Paix à Namur (Belgique) et Duccio Fanelli de l'Université de Florence, Italie.*

2003-2005 Non-linéarité optique des cristaux liquides dopés par des colorants . *En collaboration avec Stefania Residori de l'INLN (Institut Non Linéaire de Nice)*

- 2002-2004 Écoulement dans les milieux granulaires. *En collaboration avec Jean-Christophe Gémard et Patrick Rigord de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, et Valérie Vidal de l'Institut de Physique du Globe de Paris*
- 2003-2004 Dynamique et statistique du laser à électrons libres. *En collaboration avec Stefano Ruffo et Duccio Fanelli de l'Université de Florence, Italie.*
- 2001-2003 Étude des propriétés thermiques du récif corallien de Tahiti . *En collaboration avec Keitapu Maamaatuaiahutapu de l'Université de la Polynésie Française.*
- 1999-2003 Convection de Rayleigh-Bénard avec rotation autour de l'axe vertical dans les gaz à haute pression. *Avec Guenter Ahlers et Valérie Vidal, University of California Santa Barbara, CA, USA*
- 1995-96 Etude de la turbulence dans les plasmas en utilisant un T.O.P. (Tube à Ondes Progressives). *Avec Fabrice Doveil, Institut Méditerranéen de Technologie, Château Gombert, Marseille*

Publications :

Revues de Rang A (internationales avec comité de lecture) :

1. Statistical Properties of Fracture Precursors: A. Garcimartin, A. Guarino, L. Bellon and S. Ciliberto, *Physical Review Letters*, 79 (1997) 3202.
2. An Experimental Test of the Critical Behaviour of Fracture Precursors: A. Guarino, A. Garcimartin and S. Ciliberto, *European Physical Journal B*, vol 6, pp. 13-24 (1998)
3. Failure Time and Microcrack Nucleation : A. Guarino, A. Garcimartin, and S. Ciliberto, *Europhysics Letters* 47 (4) 456-461 AUG 1999.
4. Disorder enhances the effects of thermal noise in the fiber bundle model : R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Guarino. *Europhys. Lett.*, 55 (5), pp. 626–632 (2001)
5. The effect of disorder on the fracture nucleation process: S. Ciliberto, A. Guarino, and R. Scorretti. *Physica D* 158 (2001) 83–104
6. Failure time and critical behaviour of fracture precursors in heterogeneous materials : A. Guarino, S. Ciliberto, A. Garcimartin, M. Zei and R. Scorretti. *European Physical Journal B* 26, 141-151 (2002)
7. Thermally activated rupture in homogenous brittle materials : S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scorretti, and S. Ciliberto. *The Russian Journal of Physical Chemistry Vol 77, Suppl. 1* (2003) .
8. Thermal activation of rupture and slow crack growth in a model of homogeneous brittle materials : S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scorretti, and S. Ciliberto. *Europhysics Letters Vol 62*, 3 pp 320-326 (2003)

9. Failure time of elastic materials submitted to a constant load : *R. Scorretti, S. Santucci, A. Guarino, L. Vanel and S. Ciliberto. Materials Physics and Mechanics, No 1, Vol 6 (2003)*
10. Hexagonal pattern instabilities on a non-Boussinesq fluid in rotating Rayleigh-Bènard convection: Experimental results *A. Guarino and V. Vidal. Physical review E vol 69 066311(2004)*
11. Measurement of the giant non-linear response of dye-doped liquid crystals : *S. McConville, D. Laurent, A. Guarino and S. Residori, American Journal of Physics, Vol 73, Issue 5, pp. 425-432 (2005)*
12. Wave-particle interaction: from plasma physics to the free-electron laser *A. Antoniazzi, G. De Ninno, D. Fanelli, A. Guarino and S. Ruffo. Journal of Physics Vol 7, 143-153 (2005)*
13. Localized instability of a thin granular layer submitted to an ascending liquid flow. *P. Rigord, A. Guarino, V. Vidal and J.-C. Geminard, Granular Matter, Vol 7, 4, November (2005)*
14. A new route to non invasive diagnosis in neurodegenerative disease?, *T. Carletti, D. Fanelli and A. Guarino. Neurosciences Letters Vol. 394, Issue 3, pp. 252-255, (2006)*
15. How to make an efficient propaganda, *T. Carletti, D. Fanelli S. Grolli and A. Guarino. Europhys. Lett. 74(2), pp. 222-228 (2006).*
16. Cooperative effect of load and disorder in thermally activated rupture of a two-dimensional random fuse network. *A. Guarino, R. Scorretti, L. Vanel, and S. Ciliberto. J. of Stat. Mech P06020 (2006).*
17. Two-mode competition in Faraday instability. *S. Residori, A. Guarino U. Bortolozzo, Europhys. Lett. 77, 44003 (2007).*

Autres publications :

1. Précurseurs de fracture dans des milieux hétérogènes. *A. Guarino, A. Guarcimartin, S. Ciliberto, Proceeding des Journées Simulation Numerique, Matière Condensée et Désordre, Interface Simulation/Expérience, 25-26 may 1998, Paris, France.*
2. The critical exponents of fracture precursors : *A. Guarino, R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Garcimartin, Cond. Matter 9906146 10 Jun 1999*
3. Material failure time and the fiber bundle model with thermal noise: *A. Guarino, R. Scorretti and S. Ciliberto Cond. Matter 9908329 24 Aug 1999*
4. Scaling properties of fracture precursors : *A. Guarino, R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Garcimartin. Proceeding of the " 4^{ème} Rencontre du non Linéaire ", Institut Henri Poincaré, Paris, France (2001). Non Linéaire Publications, ISBN 2-9516773-0-8, EAN 9782951677302.*

5. The Role of Disorder and Thermal Noise on Delayed Fracture in the Fiber Bundle Model. *Riccardo Scorretti, Sergio Ciliberto and Alessio Guarino. Compte rendu des 7^{èmes} Journées Simulation Numérique, Matière Condensée et Désordre et deuxième École simulation en Matière Condensée, 31 mai-1 juin 2001, Paris, France.*
6. A numerical model to evaluate the thermal structure in the coral reef in Papeete (Tahiti) : *K. Maamaatuaiahutapu, A. Guarino . Proceeding des 8^{èmes} Journées Simulation Numérique, Matière Condensée et Désordre, 27-28 mai 2002, Paris, France.*
7. Thermally activated rupture in homogenous brittle materials *Santucci S, Vanel L, Guarino A, Scoretti R, Ciliberto S. Proceeding of the 14th International Conference on Chemical Thermodynamics/2nd International Workshop on Nucleation and Nonlinear Problems in First-Order Phase Transitions St. Petersburg, Russia, 01-05 July 2002, Interperiodica, ISSN: 0036-0244, IDS Number: 705QW (2002).*

Contributions présentés à des conférences internationales :

- I. Précurseurs de fracture dans des milieux hétérogènes. (Séminaire)
*A. Guarino, A. Guarcimartin, S. Ciliberto
Journées Simulation Numérique, Matière Condensée et Désordre, Interface Simulation/Expérience, Paris, France. 25-26 mai 1998*
- II. Scaling properties of fracture precursors. (Séminaire)
*A. Guarino, R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Guarcimartin.
4^{ème} Rencontre du non Linéaire, Institut Henri Poincaré, Paris, France, Avril (2001).*
- III. The Role of Disorder and Thermal Noise on Delayed Fracture in the Fiber Bundle Model. (Séminaire)
*R. Scorretti, S. Ciliberto and A. Guarino.
7^{èmes} Journées Simulation Numérique, Matière Condensée et Désordre et deuxième École simulation en Matière Condensée, Paris, France. 31 mai-1 juin 2001*
- IV. The thermal structure in the coral reef in Papeete. (Poster)
*K. Maamaatuaiahutapu and A. Guarino,
2002 Ocean Sciences Meeting, Honolulu, Hawaii, 11-15 February 2002*
- V. A numerical model to evaluate the thermal structure in the coral reef in Papeete (Tahiti). (Séminaire)
*A. Guarino and K. Maamaatuaiahutapu,
8^{èmes} Journées Simulation Numérique, Matière Condensée et Désordre, Paris, 27-28 mai 2002.*
- VI. Thermally activated rupture in homogenous brittle materials. (Séminaire)
*S. Santucci, L. Vanel, A. Guarino, R. Scoretti, S. Ciliberto.
14th International Conference on Chemical Thermodynamics/2nd International Workshop on Nucleation and Nonlinear Problems in First-Order Phase Transitions, St. Petersburg, Russia, 01-05 Juillet 2002*

- VII. Seeking Hopf Bifurcation in rotating Rayleigh-Bénard convection: an experimental approach. (Séminaire)
A. Guarino
56th meeting of the American Physical Society, Meadowlands, NJ, USA, 23-25 November 2003
- VIII. Localized instability of a thin granular layer (Poster)
A. Guarino, P. Rigord, V. Vidal, J.C. Geminard
8th Experimental Chaos Conference, Florence Italie, 14-17 Juin 2004
- IX. A vibrating set-up for studying the dynamics of granular media. (Poster)
 B.Tiribilli, F.Bagnoli, M.Vassalli, A.Guarino, M.D'Uva
MMD Meeting, Genova, Italie, 22-25 Juin 2005
- X. Instability of a granular layer submitted to an ascending liquid flow. (Séminaire)
A. Guarino, P. Rigord, J.C. Geminard and V. Vidal,
Granular Matter: Mathematical Modeling and Physical Instances, Reggio Calabria, Italie, 26-29 Juin 2005
- XI. Single pass Free Electron Laser: The reduced Hamiltonian. (Poster)
 A. Antoniazzi, G Deninno, D. Fanelli, A. Guarino, S. Ruffo.
2005 Free Electron Laser Conference, Standford, California, USA, 21-26 Août 2005
- XII. Model of Cerato-Platanin aggregation by atomic force microscopy images. (Poster)
 C. Zoppi, L. Pazzagli, F. Sbrana, D. Fanelli, A. Guarino, B. Tiribilli, G. Cappugi
Conference : proteine 2006, Novara, Italie, 01-03 Juin 2006
- XIII. AFM images suggest aggregation mechanism in Cerrato-Platanin. (Poster)
 F. Sbrana, L. Bongini, G. Cappugi, L.Carraresi, D. Fanelli, A. Guarino, B. Pantera, L.Pazzagli, B. Tiribilli, M. Vassalli and C. Zoppi
XVIII Congresso Nazionale della Societa' Italiana di Biofisica Pura e Applicata (S.I.B.P.A.), Palermo, Italie, 17 - 21 Settembre 2006

Etudiants encadrés :

- 2006 Andrea Guazzini : Etude de la dynamique des opinions.
 Université de Florence (Italie), Niveau Doctorat
 Durée : En cours depuis Janvier 2006. Durée prévue 3 ans.
- 2006 Luca Sardi : *Etude de la morphologie et la dynamique des plages*
 Université de Florence (Italie), Niveau Master
 Durée : En cours depuis Juin 2006. Durée prévue 8 mois.
- 2005 Benjamin Bailleul : *Ségrégation et écoulement d'un milieu granulaire biphasique.*
 Ecole Normale Supérieure de Cachan, Niveau Maitrise
 Durée: 3 mois

2004 Stefano Grolli : *Dynamique des opinions et propagande*.
Universite de Pavia (Italie) ,Niveau Master,
Durée : 8 mois

Financements :

- 1) *Etude de la circulation hydrodynamique dans les baies de Oponohu et de Phaéton*.
Appel MOM 2004. Fin projet/financement : Avril 2007
Financement reçu : 7100 Euros

Activités d'enseignement

A l'Université de la Polynésie Française

Cours magistraux (CM) et Travaux Dirigés (TD) :

- Mécanique Quantique
LMD 3^{ème} année Sciences Physique : 12h CM, 6h TD
- Physique Nucléaire et Radioactivité
LMD 3^{ème} année Sciences Physique : 12h CM, 6h TD
- Ondes et Radioactivité
LMD 1^{ère} année Sciences de la Vie et de la Terre : 12h CM, 6h TD
- Optique
LMD 1^{ère} année Sciences de la Vie et de la Terre : 12h CM, 6h TD
- Techniques mathématiques pour la physique 2
LMD 2^{ème} année Sciences Physique : 18h CM, 9h TD
- La Physique de tous le Jours
Unité libre, ouvert a tous les étudiants, 25h CM
- Histoire de la Physique, DEUG 1^{ère} année
Unité libre, ouvert a tous les étudiants, 8h CM
- Techniques mathématiques pour la physique 1
LMD 1^{ère} année Sciences Physique : 18h CM, 9h TD (jusqu'à 2005)
- Physique Générale
LMD 3^{ème} année Pluridisciplinaire: 7.5h CM, 7.5h TD (jusqu'à 2004)
- Physique 1
LMD 1^{ère} année Sciences Physique : 25h TD (jusqu'à 2004)

Travaux Pratiques :

- TP Physique (Optique/Électricité/Thermodynamique)
LMD 1^{ème} année Sciences de la Vie et de la Terre : 12h TP
- TP Physique 1 (Optique/Électricité/Thermodynamique)
LMD 1^{ème} année Sciences Physique : 24h TP (jusqu'à 2003)

A l'Université de Florence, Italie (1^{er} semestre 2004/05, 2005/06 et 2005/07)

Cours magistraux :

- Physique non-linéaire expérimentale
Ecole doctorale : 8h CM
- Lumière et couleurs
Université du troisième âge : 6h CM

A l'École Normale Supérieure de Lyon (2000/01):

Travaux Dirigés :

- Mécanique des fluides
Maîtrise de Physique, 20h TD

Travaux Pratiques :

- TP de Physique
Licence de Physique : 40h TP
- TP de Physique
Classe préparatoire à l'Agrégation de Physique : 40h TP