

## 2020 abstract booklet

### Complexity-Disorder Workshop

Paris, 13-14 January 2020

#### Extended abstracts

#### Zêta-régularisation de suites arithmétiques

Jean-Paul Allouche, CNRS, IMJ-PRG

Les mathématiciens et les physiciens aiment bien s'affranchir des règles lorsqu'ils les trouvent trop rigides et qu'ils désirent « déborder » du cadre dans lequel ils travaill(ai)ent. C'est ainsi qu'un sens a été donné à des expressions comme  $(3 - 5)$ , pour dépasser l'obligation de ne soustraire un nombre à un autre que s'il est plus petit ; de même on s'est permis de rendre « légitimes » des expressions comme  $2 \div 3$ ,  $2^{1/2}$ , ...  $(-1)^{1/2}$ , puis  $\sum_{n \geq 1} 1/n^2$ . Un autre exemple est la théorie des distributions : plus personne n'est choqué qu'il existe une fonction nulle partout sauf en 0 où elle vaut l'infini, et qui soit d'intégrale égale à 1 ; une preuve en est que cette fonction porte un nom célèbre (Dirac bien sûr). Comment alors s'affranchir des règles de convergence des produits infinis pour définir, par exemple, le produit de tous les entiers ?  $1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n \times \dots$  C'est un exemple typique des produits que la « zêta-régularisation » permet de calculer : il vaut  $(2\pi)^{1/2}$ . Nous donnerons une définition de la zêta-régularisation en montrant que cette définition est « naturelle », nous ferons allusion à son utilisation en physique (par exemple pour définir le déterminant de certains opérateurs en dimension infinie), et nous fournirons de nombreux exemples (dont un ensemble d'exemples faisant intervenir des fonctions « arithmétiques » comme  $n^{d(n)}$  où  $d(n)$  est le nombre de diviseurs de l'entier  $n$ ). Enfin nous indiquerons nos tentatives (pour l'instant guère couronnées de succès) de déduire de cette notion une « mesure de complexité » pour les suites de réels positifs.

#### Le Roman de Renart. Un prédateur entre flux et stock.

Mathieu Arnoux (historien, LIED) et Christophe Goupil (physicien, LIED)

C'est entre 1170 et 1250 qu'un groupe de clercs, parisiens, normands et picards mit par écrit les aventures de Renart le Goupil. Au-delà du goût prononcé des auteurs pour la scatologie et la pornographie, les chapitres du roman, appelées « branches », se caractérisent par une vision particulièrement satyrique de la société, où aucune catégorie sociale, prêtres, chevaliers, vilains, n'échappe aux sarcasmes des auteurs, qui ne se donnent guère de mal pour dissimuler les traits humains

de leurs personnages animaux : le renard et le loup montent à cheval, par exemple ! Diverses lectures ont été proposées de cette œuvre collective, qui aborde de multiples aspects de la vie sociale. Comme souvent pour les textes du Moyen Âge, le réalisme est hors du débat, et les chercheurs ont privilégié les jeux d'intertextualité, souvent subtils, qui sous-tendent l'écriture. Une autre voie d'étude est possible, qui prend au sérieux l'écosystème socialisé inventé par les auteurs. *Renart* offre en effet une description très articulée de la transformation des paysages ruraux au plus fort de la croissance de la société seigneuriale. Organisés sur un modèle explicitement féodal autour de la figure monarchique du lion, les animaux sont aussi représentés comme constamment menacés par la famine et en butte à la brutalité des paysans, dont l'expansion au détriment des espaces incultes menace les ressources des prédateurs et leur offre en même temps, par la pratique du stockage des denrées, un accès, possible mais risqué, à des richesses prêtes à être consommées. Notre communication propose de lire ces textes comme autant de variations autour d'un modèle, qu'on peut lire comme une critique sociale ou comme une approximation du réel. Ce modèle est celui d'un lieu où se réalisent les conversions de l'énergie et de la matière, comme dans tout système thermodynamique, qu'il soit vivant ou non. Au-delà des règles qui régissent ces conversions au sein du système, il s'agit d'envisager les conditions aux limites de ce système, dans son accès à la ressource. La plupart des personnages du *Roman de Renart* acceptent leur sort et sont soumis à des conditions de flux, *in fine* celui du soleil qui gouverne la conversion de la matière en nourriture et remplit les greniers. Mais parmi eux est Renart, qui refuse la loi commune et décide que lui sera soumis à des conditions de stock, stock de jambons, de pots de miel et d'autres greniers remplis de grain. L'évolution d'un système et son devenir sont bien affaire de conditions aux limites ... toute ressemblance avec une situation d'actualité n'est ici pas nécessairement fortuite.

## Vaincre le chaos informatique par la logique

Hugolin Bergier  
Regis University

La complexité démesurée des programmes informatiques est devenue une réalité aussi banale qu'alarmante. Que ce soit dans les institutions financières ou dans les voitures, les programmes se comptent en millions de lignes de code et la réalité est que personne ne maîtrise la chose dans son ensemble. Ce qui, du point de vue de l'utilisateur, semble être une machine bien huilée est, du point de vue du développeur, une somme chaotique de modules et de programmes parfois appelée "code spaghetti." Ce problème est particulièrement prégnant dans ce que l'on appelle le *legacy code*. Pourtant il existe un ordre et une logique sous le désordre apparent. Pour révéler l'ordre sous-jacent, nous partons du principe qu'un programme est avant tout une "application" (c'est à dire une opération qui, appliquée à des données en entrée, produit des données en sortie) constituée de multiples niveaux d'abstractions. Notre hypothèse est que le désordre apparent est directement lié à l'absence d'abstraction. En s'appuyant sur une logique applicative comme le lambda-calcul, il est possible de modéliser le comportement d'un programme informatique du plus bas niveau d'abstraction (celui du code) au plus haut niveau (celui des spécifications). En navigant d'un niveau à l'autre, le développeur peut ainsi retrouver l'ordre sous-jacent quelque soit la taille du programme.

## **LINKs revue transdisciplinaire**

Laurent Bonnotte et Louis-José Lestocart

"LINKs" (L'art de Re-lie) est une revue annuelle transdisciplinaire et internationale offrant deux numéros à chaque fois, chacune comptant un dossier sur un thème spécifique.

Lieu de rencontres entre sciences dures et sciences humaines, *LINKs* lie actualités (et réflexions) scientifiques et artistiques, tout en abordant les champs d'une pensée philosophique (et aussi politique) questionnant les domaines techniques, les innovations universitaires et l'évolution des sociétés. *LINKs* sonde tout ce qui peut faire lien dans la pensée en une approche complexe, dynamique et réflexive et propose une *esthétique* nouvelle. La revue affirme la nécessité d'une vision non-linéaire et d'une pensée de la Complexité sur les phénomènes du monde et les enjeux, politiques, sociaux, techniques, contemporains. À la fois exigeant et accessible, *LINKs* offre une idée de réflexion épistémologique, fondée sur une connaissance approfondie des techniques et des innovations artistiques et scientifiques. Chacun venu d'horizons très divers apporterait ainsi son point de vue.

Elle propose des essais plus que des théories. Elle n'« enseigne » pas spécifiquement, mais s'éprouvant et se vivant à travers ses écrits, elle montre des tentatives, tout comme le thème du Gai Savoir nietzschéen.

Ainsi dans *LINKs* 1-2, réalité virtuelle/augmentée/mixte matérialisent des expériences étendues et protéiformes, tout comme la biologie systémique ou d'autres champs scientifiques et artistiques présents dans ses pages, alors que *LINKs* 3-4 sera surtout consacré à la musique et aux espaces habités (et d'autres peut-être un jour habitables).

Le séminaire sera l'occasion bien sûr de présenter la revue, mais aussi d'échanger sur des porosités, des frictions provoquées là où les domaines sont moins délimités qu'ils n'y paraissent.

## **Désordre et complexité dans une cinétique de luminescence.**

Eric Bringuier

MPQ UPD

Un feldspath de type granitique peut être daté par sa thermoluminescence (le signal lumineux émis durant une chauffe de la roche), car ce signal est stable au cours du temps de sorte que sa mesure est reproductible. En revanche, un feldspath volcanique (« sanidine ») ne peut pas être daté de façon fiable, car son signal de thermoluminescence s'affaiblit spontanément à la température ambiante. Les deux sortes de feldspath ont la même composition chimique et la même microstructure cristalline, mais un léger désordre existe dans la sanidine en raison de sa cristallisation rapide lors de sa formation à partir de lave volcanique. On se propose de montrer comment ce léger désordre peut considérablement accélérer la perte de signal de datation par thermoluminescence. La complexité microscopique associée au désordre signifie une connaissance incomplète du matériau, ce qui paraît obérer la compréhension théorique du phénomène de déclin accéléré. Des considérations d'ergodicité

permettent toutefois de construire un modèle quantitatif du phénomène qui rend compte du déclin accéléré et de sa dépendance en température. Des comparaisons seront faites avec d'autres domaines de la physique.

## **Le comté de Comminges du X<sup>e</sup> au XV<sup>e</sup> siècle**

### **Jean-Louis Brousse (L'Isle-en-Dodon)**

Pendant cinq siècles, du X<sup>e</sup> au XV<sup>e</sup>, les comtes de Comminges ont agrandi, développé, conservé leur important domaine entre Save et Garonne, qui allait de leur capitale Muret, proche de Toulouse, aux Pyrénées. Pendant cinq siècles ils ont résisté aux ambitions de leurs puissants voisins, le comte de Toulouse, le comte de Foix-Béarn, le comte d'Armagnac, le roi d'Aragon. Ils ont profité de leur intelligence, parfois de leur rouerie pour conserver leur couronne. Les alliances, les renversements d'alliances, les traités, la protection opportune de puissants, les mariages, les guerres, tout a été bon dans le seul but de préserver leur bien. Ces comtes ont joué avec bonheur de leur tempérament, de leurs forces, de leurs faiblesses, de leur malice, parfois de leurs erreurs.

Les comtes ont accompagné le développement économique et social de leur domaine. La population initialement installée dans la montagne, au sein de petites seigneuries, a progressivement migré vers la plaine, d'abord avec l'aide de l'Eglise et la création des sauvetés. La libéralité des comtes, l'octroi de chartes, la concession de droits de péages, l'ouverture des banalités a permis l'édification de nombreuses bastides au XIII<sup>e</sup> siècle, judicieusement implantées sur le territoire pour assurer une surveillance politique. Les familles comtales ont fourni la majorité des évêques commingeois et conforté l'importance de l'Eglise Séculière. Par leur soutien permanent à l'Eglise Régulière, elles ont favorisé l'implantation de grands domaines monastiques et templiers, et ainsi la mise en valeur d'autant de terres cultivables.

Le rapprochement progressif avec la cité raimondine de Toulouse, l'hommage de Bernard VI au comte de Toulouse en 1244, ont placé le Comté sous cette protection après la croisade des Albigeois et la bataille de Muret en 1213, puis la reprise de Toulouse en 1218. La guerre contre les Anglais, les dévastations du prince Noir en 1355 ont ouvert la dernière page de cette histoire, accompagnée de famines, d'épidémies de peste qui laisseront en 1453, à la mort du dernier comte, un Comminges exsangue aux mains du roi de France.

La vie, l'histoire, les aventures parfois romanesques de ces comtes habiles, entrepreneurs, guerriers, ont laissé de profondes traces en pays de Comminges. A côté des grands sites pyrénéens, de Saint Bertrand de Comminges, il existe bien des richesses, des monuments, des vestiges qui méritent attention et qui racontent cette belle histoire du Comté de Comminges. Si on prend le temps de parcourir la région, de visiter les sites, les villes, les monuments, on ira à la découverte d'une culture, d'une population gasconne qui a gardé de profondes marques de son passé.

## **Auto-organisation au sein des champs de dunes.**

Sylvain Courrech du Pont (MSC)

Les barchanes sont des dunes en forme de croissant qui se propagent sur un sol dénué de sable. Elles évoluent au sein de champs plus ou moins denses, structurés en corridors parallèles au vent. On observe des régions de grande densité de petites dunes et des régions où les dunes sont plus grosses mais en faible quantité. Ces régions coexistent alors que ni les conditions locales, ni les conditions aux limites ne diffèrent notablement [1]. Nous montrons à l'aide d'un modèle d'agent que les collisions entre dunes régulent leur taille et structurent le champ en faisant apparaître des agencements et formes au sein de la population [2,3].

## **Self-organization in dune fields.**

Barchans are dunes with a crescentic shape that migrate on a rocky floor. Although they are unstable when considered separately, they form large assemblies in deserts and spatially organize in narrow corridors that extend in the wind direction. Whereas they are exposed to the same forcing, some regions count numerous of small dunes while others are composed with sparse large dunes [1]. We show by means of an agent model that collisions between dunes regularize the size of dunes and lead to the self-organization of the field into narrow corridors. [2,3].

[1] H. Elbelrhiti, B. Andreotti, and P. Claudin. Barchan dune corridors : Field characterization and investigation of control parameter. *Journal of Geophysical Research*, 113(F02S15), 2008.

[2] An agent-based model of dune interactions produces the emergence of patterns in deserts, M Génois, S Courrech du Pont, P Hersen, G Grégoire, *Geophysical Research Letters* 40 (15), 3909-3914, 2013.

[3] Out-of-equilibrium stationary states, percolation, and subcritical instabilities in a fully nonconservative system, M Génois, P Hersen, E Bertin, S Courrech du Pont, G Grégoire *Physical Review E* 94 (4), 042101, 2016.

## **Communication between thalamus and cortex during absence epilepsy**

François David

Integrative Neuroscience and Cognition Center, University Paris-Descartes.

Absence epilepsy is one of the most common form of epilepsy during childhood. With some polygenic origins, absence-epilepsy is a loss of consciousness accompanied by abnormal electroencephalographic "spike-and-wave" discharges, that depend on electrical communication between thalamus and cortex.

The thalamus and cortex form reciprocally connected networks responsible for sensory processing and generate brain rhythms that are tightly linked to brain functions such as sleep, memory consolidation or perception. The same networks also generate pathological spike-and-wave discharges (at 2.5-4 Hz) during absence seizures. These paroxysmal oscillations rely on intrinsic mechanisms and inter-area synaptic processes, which result in 1) the dysfunction of inhibitory circuits at the thalamic and cortical levels and 2) a runaway excitation that propagates across the entire brain. Paradoxically, thalamus and cortex were recently shown to be partially inhibited during those events. Our experimental animal recordings of thalamic and cortical neuron assemblies showed for the first time the presence of bidirectional functional and dysfunctional neuronal connections between thalamus and cortex that could account for this excitatory/inhibitory net effect in cortical and thalamic networks. Moreover, intrinsic cellular properties mediated by low-threshold calcium channels i.e. high-frequency bursts, in the thalamic network were pharmacologically and electro-physiologically identified to play a critical role at the thalamic reticular and the cortical levels while playing no role at the sensory thalamic nuclei level.

These results reveal some principles of thalamocortical and corticothalamic communications and pave the way for a new understanding of absence seizures which are still not fully controlled by current medications.

## **Magnetic complexity and disorder within a cubic nanoparticle**

Philippe Depondt<sup>1</sup> and Jean-Claude Serge Levy<sup>2</sup>

1 INSP, UMR CNRS 7588, Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Universités  
Paris France

2. MPQ, UMR CNRS 7162, Université Paris Diderot, Université de Paris, 75013  
Paris France

Since Landau the energy balance between local exchange and long ranged dipolar interactions is known to lead to the quite complex and rather disordered magnetic domain structure of extended samples. The now frequent use of magnetic nanoparticles delivers a good opportunity to revisit this paradigmatic situation driven by competition between long ranged and short ranged interactions. In restricted samples, even if other interactions can act and develop more complex situations such as skyrmions, the effective cutoff of the long-ranged interaction by the sample size reduces this complexity. The results of an extensive Langevin's simulation of this competition at low temperature within a  $64 \times 64 \times 64$  cube for different values of the ratio  $d$  between dipolar interaction and exchange integral show a series of phase transitions starting from a monodomain and finally reaching a complete 3D network of domains and of singularity lines, vortices and antivortices. These transitions occur when the part of dipolar interactions is increased, which corresponds for a given material to a size increase. The critical parameter for this series of transitions is the domain size  $\rho$ , which is also the distance between singularity lines such as vortex lines and antivortex lines. This domain size  $\rho$  implies an effective topological repulsion between singularity lines as observed both in structures and in dynamics. The domain acts more or less as a "macrospin" with  $C\rho^3$  spins. So, in a sample of size  $R$ , if  $CdR^3 > 1$ , the dipolar field created at the border is stronger than the exchange field and other domains appear. This domain partition explains the series of complex transitions when more and more domains

appear within the sample. The low frequency dynamics of these complex magnetic structures are also studied along these transitions.

## **La philosophie de l'émergence et de la complexité au service de l'ostéopathie, A la recherche d'une épistémologie de l'ostéopathie en dialogue avec la philosophie contemporaine.**

Marjolaine BOUAISSIER Ostéopathe D.O. (ISO Lyon), Jean FIORE Ostéopathe D.O.  
(Atsa Lyon)

Membres du groupe de recherche E.C.O (Emergence, Complexité, Ostéopathie)

L'ostéopathie est aujourd'hui une actrice incontournable de la proposition de soins en France. Cette discipline a été fondée à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle par Andrew Taylor STILL aux Etats-Unis d'Amérique. Face à l'inefficacité des pratiques médicales de son époque, Still a eu la volonté de définir un champ de pratiques médicales rationnelles basées sur un apprentissage rigoureux et sur des principes à l'époque novateurs. Ces principes fondent l'approche complexe que l'ostéopathe entretient avec son patient. En effet l'ostéopathie est une approche médicale holistique et systémique dans laquelle l'interaction patient-thérapeute se fait sans intermédiaire technologique, le diagnostic de l'ostéopathe est principalement basé sur les informations perceptives qu'il collecte auprès de son patient. Il en résulte que chaque séance est singulière, non prédictible et non reproductible.

Cette pratique médicale relativement nouvelle est interrogée par nos institutions et la question de la légitimité du savoir-faire est mise en parallèle avec la capacité à apporter la preuve de son efficacité. J-M Gueullette a beaucoup travaillé sur la question du rapport de l'ostéopathie à la science médicale et il pose cette question : « (Les ostéopathes) Devront-ils infléchir leurs pratiques pour leur permettre de rentrer dans les méthodes de la recherche médicale ou sauront-ils imaginer des modèles adaptés<sup>1</sup> ? »

Le groupe E.C.O répond directement à la question de J-M Gueullette et porte un projet de recherche original pour définir une épistémologie de l'ostéopathie en s'appuyant sur la philosophie de la complexité et de l'émergence.

Nous pensons que l'ostéopathie est un art de la complexité qui ne peut pas se dire avec les seuls outils de la recherche médicale contemporaine tel que l'E.B.M (*Evidence Based Medicine*). Il nous semble que le recours unique à une *Evidence Based Osteopathy* reviendrait à commettre le pas qui limiterait la pratique à ce qui en est mécaniquement saisissable. A contrario, nous affirmons que le caractère imprédictible et non reproductible de la pratique ostéopathique impose de trouver un cadre de pensée qui dépasse le réductionnisme pour pouvoir saisir toute l'originalité de cette discipline.

Notre recherche porte sur l'application de la philosophie de l'émergence (telle qu'elle est circonscrite par Olivier Sartenaer<sup>2</sup>) à l'ostéopathie. Nous souhaitons par cette démarche apporter de nouveaux

---

<sup>1</sup> J.M. Gueullette, *L'ostéopathie une autre médecine*, Rennes, PUR, 2014, p. 130.

<sup>2</sup> O. Sartenaer, *Qu'est-ce que l'émergence ?*, Paris, VRIN, 2018.

outils pour permettre une compréhension étendue de l'approche ostéopathique. Nous travaillons actuellement à la caractérisation des différents lieux potentiels d'émergence en ostéopathie.

## **Are kinematic parameters embedded within the brain activity while an accurate movement is being achieved?**

Laurent Goffart<sup>1,2</sup>

1. Aix Marseille Univ, CNRS, Inst Neurosci Timone, Marseille, France

2. Aix Marseille Univ, CNRS, Centre Gilles Gaston Granger, Aix-en-Provence, France

Primary (interceptive) saccades toward a moving target have been proposed to be the outcome of the summation of signals "computed" by two parallel and distinct pathways in the brain. One computation would estimate the location where the target first appeared whereas the other would calculate the subsequent target displacement amplitude from velocity signals. These computations would involve activity propagating through a pathway involving the superior colliculus (snapshot of position) and another involving the cerebellum (motion integration).

Rather skeptical that kinematic parameters could be embedded within the brain activity and that massively distributed and recurrent neuronal networks would subtend human-like arithmetic computations, we re-examined this theory. We recorded the activity of saccade-related neurons in the superior colliculus with the aim to verify that the population bursting activity would not include cells coding for saccade vectors corresponding to the current and perhaps the future location of the target. Thus, we found that during the saccade-related burst, the active assembly consists of a continuum of commands, ranging from those related to antecedent target locations to commands related to its current location. Regarding the other pathway, we tested its contribution by inactivating one of its output nuclei, the caudal fastigial nucleus. Like saccades toward a static target, the horizontal component of interceptive saccades became hypometric when directed toward the contralesional side and hypermetric when they were ipsilesional. The horizontal dysmetria depended on target velocity, but the use of accelerating or decelerating targets revealed that velocity was not the crucial parameter.

Altogether, our investigations lead to a viewpoint where basic intrinsic properties of the brain suffice to explain the generation of accurate visually-guided (saccadic and pursuit) eye movements without considering that kinematic notions would be embedded within the brain activity and that the brain networks would perform arithmetic computations upon them.

## **L'organisation géographique de la recherche française vue par les publications**

Michel Grossetti (avec l'aide de Marion Maisonobe, Laurent Jégou, Béatrice Milard, Guillaume Cabanac)

EHESS et CNRS Toulouse



Les deux dernières décennies ont été marquées par de nombreuses initiatives politiques destinées à réorganiser le système scientifique français : dispositifs destinés à favoriser l'« excellence » ; regroupement d'universités, changement dans les procédures d'accès à l'enseignement supérieur, etc. Ces politiques sont en partie fondées sur des considérations relatives à la nécessité de figurer dans des classements internationaux pour attirer des étudiants et aux effets supposés de la concentration géographique des chercheurs sur le volume et la qualité de leurs publications. Cette communication s'appuiera sur un codage géographique à l'échelle des agglomérations urbaines des publications recensées par le « Web of Science ». Une analyse de ces données sur la cas français entre 1999 et 2017 montre 1) une tendance à la déconcentration géographique et 2) le fait que le nombre des publications (et des citations) est quasiment une fonction linéaire du nombre de personnes faisant de la recherche, ce qui suggère l'absence d'effets de concentration géographique.

## **Order and complexity in magnon macroscopic quantum states**

Burkard Hillebrands

Fachbereich Physik and Landesforschungszentrum OPTIMAS  
Technische Universität Kaiserslautern, 67663 Kaiserslautern, Germany

Magnons are bosons, and thus they can spontaneously form an ordered state of magnetic matter—a magnon Bose-Einstein condensate (BEC). This extended coherent macroscopic quantum state is established independently of the magnon excitation mechanism, even at room temperature. An extraordinary challenge is the use of macroscopic quantum phenomena such as the magnon BEC for the information transfer and processing.

The information transfer can be realized by imposing a phase gradient onto the BEC's wave function that results in a complex distortion of the coherent macroscopic quantum state in form of magnon supercurrents and Bogoliubov waves. We have succeeded to create magnon supercurrents, which constitute the transport of angular momentum, driven by a phase gradient in the magnon-condensate wave function. It has been found using Brillouin light scattering spectroscopy that local heating in the focal point of a probing laser beam leads to the excessive decay of the freely evolving BEC. This is a fingerprint of the supercurrent efflux of condensed magnons.

Moreover, another type of the macroscopic BEC transport mechanism was observed. The condensed magnons being pushed out from the heated area form compact density humps, which propagate over long distances through the thermally homogeneous magnetic medium. We refer to them as a superposition of Bogoliubov waves with oscillations of both the amplitude and the phase of the magnon BEC's wave function. In the long-wavelength limit, these waves have a linear dispersion law and can be considered as a magnon second sound potentially featuring viscosity-free propagation.

The discovery of the long-distance macroscopic magnonic quantum state transport opens up a gateway to low-loss data transfer and information processing in perspective magnon spintronic devices.

## **Introduction to the 7th « Complexity-disorder” days**

Jean-Claude Serge Levy

MPQ UPD

Welcome to all speakers and listeners of these two days. The reason for the already long continuity of these transdisciplinary days through years, is that complexity and disorder lie just at the common boundary between “hard” sciences and “human” sciences. That strategic position leads to a fruitful dialogue between different disciplines, even if such a dialogue is not common. The so-called “reductionism” of hard sciences cannot avoid to deal with real complex situations and even with some part of randomness when it occurs. Moreover, the richness of such complex cases can lead to new applications. We will see several examples of this potentially fruitful richness. On the other side, complexity and disorder are inherent in human sciences with so many people, so many topics. Here also this variety provides a full richness of behaviors. And the advantages of the careful analysis issued from statistical theories can be also useful for human and social sciences as observed here. From so many examples of complexity and disorder in different fields one can hope for some inductive treatment which can give rise to more general views. In such an unusual situation, this workshop can open some new perspectives at the limit between so different disciplines. Since so many disciplinary actions are centrifugal, the few centripetal ones are promising!

### **Reservoir computing leveraging the complex dynamics of spin-torque nano-oscillators**

Danijela Markovic

CNRS-Thales

Neuromorphic computing uses physical devices to build artificial neural networks that can perform learning tasks while consuming little energy. A reservoir is a particular type of a recurrent neural network that is particularly successful in classification of temporal and sequential data. It is composed of randomly interconnected artificial neurons whose complex dynamics enables the mapping of the input data to a high dimensional vector space. After a general introduction to neuromorphic computing, I will explain how a reservoir computes by taking benefit of the device variability.

We have realized a reservoir composed of spin-torque nano-oscillators. These magnetic tunnel junctions are non-linear oscillators and can thus emulate neurons at nanoscale. The non-linearity of their voltage oscillations was used to classify different waveforms through current-induced dynamics, distinguishing sines from squares, and even spoken digits. We show that other mechanisms, such as oscillator synchronization to the input waveform provide nonlinearity that can be leveraged for pattern recognition while also reducing the noise coming from the thermal fluctuations. Physical reservoirs with spin-torque nano-oscillators reach performances comparable to those of the state of the art neural networks in software.

## Turbulence dans les fluides : des équations de base à une théorie statistique

Yves Pomeau et Martine Le Berre

Grâce à l'hypothèse ergodique le génie de Boltzmann nous permet de faire la mécanique statistique d'équilibre sans résoudre les immensément complexes équations du mouvement de  $N$  corps en interaction. Le cas de la turbulence fluide ne bénéficie pas d'une telle simplification, puisqu'on ne peut analyser le comportement d'un fluide turbulent sans résoudre, d'une façon ou d'une autre les équations du mouvement, soit les équations d'Euler si l'on néglige la viscosité. La solution de ces équations pose des questions très difficiles, on ne sait toujours pas si des conditions initialement "lisses" donnent une évolution restant lisse à tout temps. Leray en 1934 a donné les équations à résoudre pour décrire la formation de singularité à temps fini. Je vais montrer une voie possible pour résoudre le problème de Leray dans une géométrie particulière et j'expliquerai ensuite comment les singularités de Leray permettent de comprendre le phénomène d'intermittence, observé depuis longtemps en turbulence sans être expliqué. L'explication de cette intermittence est en complet accord avec des analyses précises de signal turbulent faites dans la soufflerie de Modane.

### Figurations Artistiques et Sciences

Marcel Rodriguez

Lézarts de la Bièvre



Emergence de la pensée complexe



Réparation d'ADN

## Collective magnetic phenomena in artificial spin systems

N. Rougemaille, Y. Perrin, V. Schanilec and B. Canals

Institut Louis Néel

Grenoble CNRS

When we learn thermodynamics, we soon hear about the three laws: conservation of energy, increase of entropy, and the third one, dealing with the states of matter at absolute zero. In recent years, new systems appeared to have a residual entropy, i.e., which remain disordered, at thermodynamic equilibrium, and at the lowest accessible temperatures. These systems are often described by frustrated spin models, but also fall into another class of theoretical approaches, the so-called ice models. Our recent experimental contribution was to realize an artificial magnetic system which shares the properties of these ice models: it corresponds to a magnetic equivalent of water ice, in its two-dimensional version, and its low-energy excitations reveal that it violates the simplistic version of the third law (i.e., zero entropy at absolute zero temperature).

## INFORMATION ENTROPY OF MOLECULAR GRAPHS: COMPLEXITY OF MOLECULES – COMPLEXITY OF MOLECULAR ENSEMBLES – COMPLEXITY CHANGES IN CHEMICAL REACTIONS

Denis Sh. Sabirov

*Laboratory of Mathematical Chemistry,*

*Institute of Petrochemistry and Catalysis of Russian Academy of Sciences*

*450075 Ufa, Russian Federation*

*E-mail: [diozno@mail.ru](mailto:diozno@mail.ru)*

Information entropy ( $h$ ) and related indices are widely used for assessing complexity of molecular structures. The principles of calculating the information entropies of molecules are well known (see one of the first papers in this field [1]). A molecule is considered as a set of  $N_1$  atoms of the 1<sup>st</sup> type,  $N_2$  atoms of the 2<sup>nd</sup> type, ...  $N_n$  atoms of the  $n$ -th type, where  $n$  is a number of atom types (or cardinality of the set) and  $\Sigma N_j$  is a total number of atoms in the molecule. Information entropy of the molecule is introduced as a sum of the logarithms of the weights of each subset ( $N_j / \Sigma N_j$ ):

$$h = - \sum_{j=1}^n \frac{N_j}{\sum_{j=1}^n N_j} \log_2 \frac{N_j}{\sum_{j=1}^n N_j}$$

We have deduced the formula for calculating the information entropy of molecular ensemble ( $h_{ME}$ ) [2]:

$$h_{ME} = \Sigma h_j \omega_j + H_{\Omega},$$

where  $\omega_i = N_i/\Sigma N_i$  are the fractions of the atoms belonging to  $i$ -th molecule  $N_i$  of the ensemble in the total amount and  $H_\Omega = -\Sigma \omega_i \log_2 \omega_i$  is the cooperative information entropy of the molecular ensemble that shows the minimal  $h_{ME}$  value for the given set of molecules consisting of  $N_1, N_2, \dots,$  and  $N_n$  atoms. The first term of the equation for  $h_{ME}$  depends on the intrinsic structure of the molecules whereas  $H_\Omega$  depends only on the distribution of atoms over the molecules of the ensemble. Function  $h_{ME} = f(h_i, \omega_i)$  has a single maximum; its particular cases are discussed with their correspondence to NMR experiments [3].

The change in information entropy upon chemical reaction is defined as the difference in information entropies of the isomeric molecular ensembles corresponding to products and reactants (summations over  $j$  and  $i$ , respectively):

$$\Delta h_r = \Sigma h_j \omega_j - \Sigma h_i \omega_i + H_{reorg},$$

where  $H_{reorg}$  is the information entropy of reorganization  $H_{reorg} = H_{\Omega,j} - H_{\Omega,i}$ . Two first terms of the  $\Delta h_r$  equation show the difference in the structural changes upon a chemical reaction as the last one corresponds to the changes in the number of compounds and their molecular sizes. The application of the approach to diverse chemical reactions of organic compounds (atomization, isomerization, addition, polymerization, and exchange reactions) is presented [3, 5–7].

#### References

1. G. Karreman, Bull. Math. Biophys. 17 (1955) 279.
2. D. Sh. Sabirov, Chaos (*submitted*).
3. D. Sh. Sabirov, Comput. Theor. Chem. 1123 (2018) 169.
4. I. Ugi, P. Gillespie, Angew. Chem. Int. Ed. 10 (1971) 914.
5. D. Sh. Sabirov, E. Ōsawa, J. Chem. Inf. Model. 55 (2015) 1576.
6. D. Sh. Sabirov, I. S. Shepelevich, Comput. Theor. Chem. 1073 (2015) 61.
7. D. Sh. Sabirov, A. O. Terentyev, V. I. Sokolov, RSC Adv. 6 (2016) 72230.

## Disorder across phase transitions probed by scattering techniques

Sandra Helen Skjaervoe

*Paul Scherrer Institut  
Mesoscopic Systems, w/ Laura Heyderman  
ODGA/C101  
Forschungsstrasse 111  
5232 Villigen PSI Schweiz*

I will discuss the use of scattering techniques to probe disorder across phase transitions in two very different systems. The first system is the hexagonal manganite  $YMnO_3$  that undergoes a structural phase transition at 1220 K leading to improper ferroelectricity at lower temperatures. I will show how analysis in real space of the total scattering revealed an unconventional and so far unknown mechanism of structural ordering across the transition. The order-disorder mechanism involves local symmetry breaking over a continuum of structures, similar to how a 2D XY magnet disorders on

heating. The second system is artificial square ice, a magnetic metamaterial consisting of dipolar-coupled nano-sized magnets on a substrate. Using X-ray photon correlation spectroscopy, it was possible to observe how the magnetic domains evolve across the antiferromagnetic ordering transition at 357 K. I will highlight some of the differences between the two scattering methods in terms of the length scales they probe and the types of disorder they reveal.

## **A physical explanation of superconductivity**

Jacob Szeftel

ENS Cachan

A comprehensive picture of the properties of superconductors, based on classical mechanics, electromagnetism and thermodynamics, has been published in Phys. Lett. A 381, 1525 (2017), Prog. In. Electro. Res. M 69, 69 (2018), Prog. In. Electro. Res. L 81, 1 (2019), and Eur. Phys. J. B 92, 67 (2019). In this framework, the Meissner effect turns out to be a mere application of the skin effect in presence of persistent eddy currents. Furthermore, persistent currents are shown to arise, because their decay, through the Joule effect, would violate the second law of thermodynamics. The strange conduction properties of high  $T_c$  compounds for  $T > T_c$  are ascribed to a many bound electron state, identical to the BCS variational state, except for sustaining NO persistent current. Observable predictions, taking advantage of the anomalous Joule effect typical of superconductors, will be made in order to assess the relevance of this analysis.

### **- EchoSphère**

(association d'écho pour le son et Sphere / pour la version low tech cela renvoie à écologie)

Sylve Truyma

Real Dream

- Variantes : E-Sphère / Sphère System / Futur Sphère ...

EchoSphère est une architecture sphérique à vocation musicale. Une expérience unique basée sur les effets de son et d'écho qu'offre cette forme géométrique. Elle se présente sous deux formes : une salle de spectacle musical d'un nouveau genre et un dispositif urbain low-tech qui est totalement disruptif.

Car cet équipement peut se passer de toute technologie en soit, ainsi on va pouvoir le trouver dans la rue, accessible à tous. En approchant une petite enceinte ou un téléphone du centre focal de la sphère le son sera naturellement diffusé et amplifié sans aucun branchement.

# **Simplicité, efficacité, cohérence de la modélisation en physique : quand il faut choisir.**

Laurence Viennot

MSC UPD

L'analyse d'explications courantes en physique fait très souvent apparaître des failles dans la modélisation adoptée, sous forme de contradictions internes ou avec ce que l'on considère comme admis par ailleurs. Au-delà de leurs repérage et catégorisation se pose la question des critères de choix permettant de déterminer l'explication la plus adaptée à tel ou tel contexte de recherche ou d'enseignement, quand les critères de simplicité, efficacité et cohérence ne sont pas simultanément satisfaits. A la lumière d'enquêtes exploratoires, on détaillera les réactions d'enseignants débutants devant la nécessité d'un choix. On amorcera également une réflexion sur les pratiques des chercheurs.