

Introduction to the 8th « Complexity-disorder” days

Tribute to Fernand Braudel (1902-1985) and to Jean Delacour (1935-2005)

Jean-Claude Serge Lévy

MPQ UMR CNRS 7162 Université de Paris, 75013 Paris France

Fernand Braudel, an historian, geographer, sociologist and economist of immense skills, deserves this tribute for his global view of history. His exceptional power of observation and analysis led him to a major contribution in these so complex, so various disciplines. He performed this enormous work with scientific rigor and human sensibility. His quite numerous books gave the way to numerous main streams in human sciences.

His thesis, a masterpiece early started, “Mediterranean”, followed the heavy road of the “Annales School” and opened the path to the “World History” or “Global History”, where all social partners are treated on the same level, mixing both colonists and colonized people. The debate about Lepante battle (1571) as a singular event within a global history revealed his largely open and acute mindedness.

A few examples of this rich and fruitful thinking:

1. He showed that the transition from hunting-gathering to farming livestock herding was everywhere stabilized by a multiform religion which acted as a main social institution.
2. He observed that the transition from farming livestock herding to industrial era is detected by a considerable increase of activity. He also observed many fluctuations in scientific and technical growth during this long transition. And his study of the worldwide search for workforce revealed the full complexity of the relation between colonists and colonized people. His personal experience in Algeria and later in Brazil certainly added a central emotional part to a thorough analysis.
3. Looking the economy at the world scale, he evidenced the leading part of successive “world cities” : Bruges, Genoa, Venice, Antwerp, Amsterdam, New York, in a special city network which evidenced this strong localization property.

In my opinion, his exceptional work and results must be the basis for a further deep understanding of our history with the help of series of books and movies which can be seen and read by everybody, with a main contribution to human culture. The future of this collective work is also of great interest.

Finally, Fernand Braudel’s work underlines the main part of economy in our way of life. The classical trilogy knight, priest and layman must be revisited with the introduction of economy, i.e. controlled desire, at the priest place! On the other hand, the part of pollution and pandemic diseases leads also to introduce in the market not only the direct participants but also, the state and even the world, in a more complex view.

Tentative de suivi de la dynamique de circulation du virus covid-19



François VARRET, Physicien, Professeur Emérite à l'Université de Versailles Saint-Quentin,
Mathilde VARRET, Chargée de Recherche INSERM (Génétique, Biologie) Hôpital Bichat.
varret_francois@yahoo.fr; mathilde.varret@gmail.com

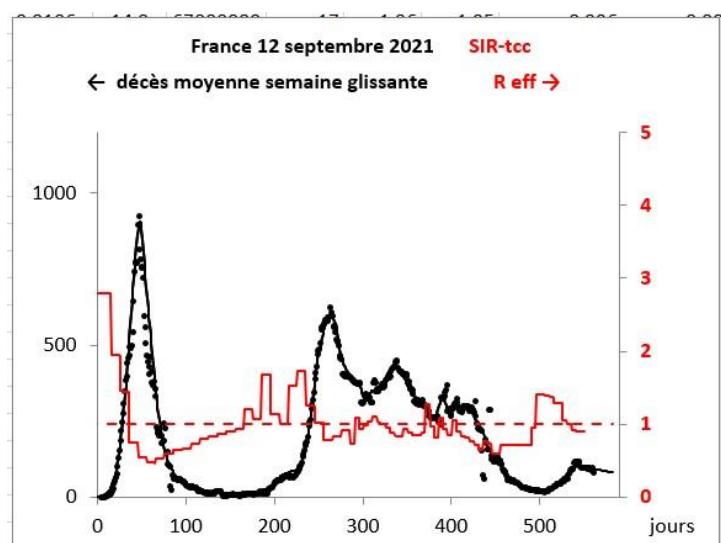
Nous tenons depuis mars 2020 une chronique visant à comprendre les développements de la pandémie covid-19, accessible sur <https://corona-circule.github.io/lettres/>

L'évolution de la pandémie est un phénomène hors d'équilibre qui peut être modélisé basiquement en considérant des états Sains, Infectés, Guéris (modèle SIR). Nous décrivons le système d'équations différentielles couplées qui gouverne les populations de ces différents états dans un traitement en champ moyen. La comparaison des simulations à l'historique des données expérimentales se fait aisément avec un tableur EXCEL. L'ajustement aux données a pour but de déterminer l'historique du *coefficcient de reproduction effectif*, dont les passages successifs par la valeur critique 1 sont de véritables points de repère pour l'évolution de la pandémie : pour $R_{eff} > 1$ le nombre d'infectieux croît, pour $R_{eff} < 1$ il diminue.

Au fil de ce travail, nous avons rassemblé des observations sur la fiabilité des données (cas déclarés, décès, tests) et la pertinence des divers indicateurs (taux d'incidence, taux de positivité des tests...). Les données hospitalières et l'effet de la vaccination ont été aussi abordés.

En cours d'année, nous avons adopté une variante « à temps de contagiosité constante » des équations du modèle SIR, basée sur une cinétique de la maladie, chez le patient infecté, plus réaliste que dans le traitement universellement adopté depuis 1927. [1]

Notre travail (39 numéros au jour de la rédaction de cet abstract) est régulièrement posté sur Linkedin et sur le blog. Il a concerné la France, ses régions et classes d'âge, nos voisins européens et divers autres pays.



La présentation se limitera à donner un aperçu du modèle, de la démarche au tableur et de l'analyse des données *en moyenne* nationale sur toute la période passée, permettant de tracer et discuter l'histoire de la pandémie dans notre pays.

[1] présentation par son auteur (FX Martin) dans La Jaune et la Rouge (mai 2021) : <https://www.lajauneetlarouge.com/la-modelisation-des-epidemies-covid-19/>.

Le désordre et la loi : une étrange prise d'otages

Didier JOUBERT,

Commissaire général de la police nationale,

Docteur en droit privé et sciences criminelles,

Chercheur associé à l'université de technologie de Troyes (UTT)

Chercheur associé à l'école nationale supérieure de la police (ENSP)

Terrorisme, gilets jaunes et coronavirus ont lourdement complexifié les relations entre le citoyen et le Droit, bousculant les praticiens et les scientifiques. Les masses ne supportent ni l'inconnaissance, ni l'impuissance. Elles exigent des résultats immédiats quitte à piétiner les principes revendiqués par ailleurs. Parallèlement, la vérité scientifique du réchauffement climatique est incapable d'exercer une contrainte suffisante pour mettre en œuvre des solutions elles aussi connues.

Les relations ambiguës entre l'individu et la règle s'accordent pour défendre et remettre en cause simultanément l'exercice démocratique et les savoirs. La science qui se nourrit de la complexité est ainsi victime d'une étrange prise d'otage.

Le propos consiste à aborder les notions de complexité et de désordre dans l'univers juridico-policier. Après en avoir témoigné au regard des derniers avatars de « La Crise », la réflexion s'efforce d'identifier avec humilité face à des praticiens des sciences « dures » quelques sources de cet imbroglio où la victime et le coupable se rejoignent au préjudice de vérités complexes.

L'Etat de droit bousculé par la rue et le législateur : cas pratiques

L'objectif est de porter un regard sur la complexité au cours de l'action avant de montrer comment cette complexité s'auto-alimente.

La complexité opérationnelle et technique : articulation des concepts et pratique judiciaire

En s'appuyant sur une manifestation de mai 2007 et une jurisprudence de la Cour de cassation du mardi 27 octobre 2015¹ dans un parcours qui se terminera en décembre 2018 devant le tribunal correctionnel de LYON, c'est d'abord la complexité juridique qui sera abordée pour mieux faire émerger la complexité opérationnelle.

La complexité juridique et judiciaire : le Droit et les magistrats

Les faits à l'origine de ce marathon judiciaire sont dramatiquement simples : Le 16 mai 2007, en marge d'une manifestation contre l'élection de Nicolas Sarkozy, une étudiante de 23 ans,

¹ Cass. crim, 27 octobre 2015, n°14-84952

est grièvement blessée au visage alors qu'elle traverse la place Grenette, au centre de Grenoble. La victime subit une infirmité permanente caractérisée par la perte de la vision de l'œil gauche et de l'odorat.

Pour fixer les responsabilités des acteurs impliqués, les éléments juridiques utilisés par le juge de cassation sont : le droit pénal de l'attroupement, les violences volontaires et involontaires, le mobile indifférent, l'erreur sur la personne, le fait justificatif du commandement de l'autorité légitime et la notion d'acte manifestement illégal, la question de la complicité d'un acte couvert par un fait justificatif, la violation manifestement délibérée d'une obligation particulière de sécurité ou de prudence imposée par la loi ou le règlement, en l'espèce en ayant donné ordre de disperser un attroupement par la force sans avoir procédé aux sommations réglementaires considérant que ni les sommations effectuées à 21 heures 34, ni les sommations et un lancer de fusée réalisés à 22 heures 26, ne peuvent s'adresser valablement à 22 heures 52, à un groupe de personnes nouvellement constitué.

À ce stade de la procédure, trois policiers sont mis hors de cause sur la base d'un ordre qui n'était pas « manifestement illégal ». Le commissaire responsable du dispositif renvoyé devant les tribunaux sur la base d'atteinte involontaire à l'intégrité physique d'autrui ayant entraîné une incapacité de plus de trois mois. *In fine*, le commissaire et un commandant de police ont été jugés coupables de blessures involontaires et condamnés respectivement à cinq mois et trois mois de prison avec sursis. Deux autres policiers « exécutants » furent relaxés.

Les complexités pratiques

À la complexité opérationnelle, s'ajoute la complexité procédurale permettant de garantir les droits des parties au procès.

L'arrêt de la cour de Cassation sus évoqué analyse ainsi la scène de désordre « ...Ces fonctionnaires n'ont pu, dans les conditions dans lesquelles ils étaient alors placés, s'interroger sur le point de savoir si les sommations avaient été ou non faites et s'ils les avaient entendues. Intervenant depuis plusieurs heures dans le cadre de la manifestation publique, plusieurs corps étant engagés, dans un niveau sonore élevé, attesté par exemple par la mention cote D 20 que M. B. se trouvait « à 21h33, à l'angle des rues de la liberté et de la place Verdun, muni des insignes de sa fonction et dans l'impossibilité d'utiliser son porte-voix eu égard au volume sonore ambiant » et alors qu'il pleuvait, les fonctionnaires en cause ont pu obéir aux consignes données sans pouvoir en apprécier le caractère illégal; que en tout en état de cause, le caractère illégal de l'acte qu'on leur demandait d'accomplir, ne ressortait ni de sa nature ni des conditions dans lesquelles l'ordre de l'accomplir leur avait été donné... »².

La cour européenne a souligné la complexité de la prise de décision dans une situation de manifestation violente « eu égard aux difficultés pour la police d'exercer ses fonctions dans les sociétés contemporaines et à l'imprévisibilité du comportement humain »³. La même cour a jugé que « les progrès en matière de technologie de communication [permettent] de mobiliser des protestataires rapidement, secrètement et à une échelle sans précédent. Les

² Extrait de la jurisprudence précitée du 27 octobre 2015

³ CEDH, GIULIANI et GAGGIO c. Italie, 24 mars 2011, req n°23458, § 245

forces de police des États contractants⁴ font face à de nouveaux défis, que nul n'avait peut-être prévus à l'époque où la convention a été rédigée »⁵.

Nonobstant l'aridité des notions qui s'entrecroisent et la difficulté de la prise de décision dans le feu de l'action en raison du contexte, il faut relever aussi la complexité procédurale destinée à protéger les droits de toutes les parties qui se traduit par un calendrier étendu sur plus de 11 ans au fil des appels et des pourvois. Trop long pour toute victime, ce délai témoigne de la capacité à mener une quête effective de justice et de responsabilité et conduit à s'interroger sur la source des complexités évoquées.

La complexification, comme réponse aux désordres : infraction-obstacle et état d'urgence.

Les notions juridiques énumérées ci-dessous ne procèdent pas d'une volonté de compliquer la vie du juge et du justiciable mais de la volonté de rendre justice en utilisant les concepts permettant de répondre aux réalités des faits et des comportements criminels.

Comme le montrent les débats sur le projet de loi relatif à la sécurité globale de novembre 2020, ces bourgeonnements sont des créations d'un législateur et d'un Etat soucieux de montrer qu'il répond aux besoins du citoyen et à l'actualité d'où une forme d'incontinence législative qui s'exprime par exemple avec l'état d'urgence et les infractions obstacles.

La notion d'infractions obstacle est facilement illustrée par quelques exemples comme le port d'arme et : il s'agit d'incriminer un acte ou un comportement susceptible d'entraîner la commission d'autres infractions. Dans le cadre de la criminalité organisée cela donne l'incrimination d'association de malfaiteurs pour réprimer un groupe de personnes avant la commission d'actes graves. Dans le cadre la délinquance « de banlieue », cela donne le délit autonome d'embuscade considérant que la circonstance aggravante de guet-apens n'est pas suffisamment opérante. La technique de l'infraction obstacle renvoie à l'interrogation sur la nature de l'acte susceptible de faire l'objet de poursuite mais aussi sur le moment du déclenchement de la judiciarisation, sujets qui seront abordés un peu plus loin.

Un autre mode de complexification est le recours aux législations d'exception. La séquence terroriste ouverte en 2015 a entraîné le recours à une législation d'exception prévue dans notre système juridique et à l'article 15 de la convention européenne des droits de l'Homme précitée. La difficulté est de sortir « le moins mal » et le plus opportunément d'une telle parenthèse juridique. Après la tentative d'une constitutionnalisation à chaud de l'état d'urgence, nous avons assisté, au prix de quelques glissements sémantiques, à un transfert des mesures de cet état d'urgence dans le droit commun et à ce que certains juristes ont considéré comme étant une forme de complaisance des juridictions pour laisser à l'Etat la latitude qu'il souhaitait pour répondre à une situation exceptionnelle⁶. Cette plasticité interroge sur la complexité de la matière juridique. Les distorsions juridiques évoquées sont-

⁴ Les États auxquels s'appliquent la convention européenne de sauvegarde des droits de l'Homme

⁵ CEDH [GC] Austin et autres c. Royaume-Uni, 15 mars 2012, req n° 39692/09, §56

⁶ Sur ces sujets voir Julie Alix, Olivier Cahn, *Mutations de l'antiterrorisme et émergence d'un droit répressif de la sécurité nationale*, Revue de Science Criminelle et de Droit Pénal Comparé, Dalloz, 2018, p.845

elles fondamentalement différentes des changements d'états de la matière que les sciences dures connaissent par ailleurs en fonction des conditions de l'environnement ?

La complexité du comportement criminel et les questions de sécurité comme défi scientifique et objet d'antagonismes

Il s'agit ici, sans prétention, d'aborder d'autres complexités techniques et pratiques permettant de provoquer le débat et la réflexion sur l'éthique.

Élément moral et intentionnel de l'infraction

L'*iter criminis*, c'est-à-dire le chemin qui mène à l'infraction, et la quête de responsabilité illustrent la construction de la complexité.

S'agissant de l'*iter criminis*, la volonté de prévenir le crime a conduit à reculer sans cesse le moment où il est possible d'entrer en répression. Punissable classiquement au stade du commencement d'exécution qui caractérise la tentative d'une infraction, nous sommes passés au stade des actes préparatoires comme évoqué plus haut avec les infractions obstacles, avant peut-être d'envisager la résolution criminelle voire, plus en amont, d'incriminer la simple pensée criminelle. Sous la pression du risque ou du clientélisme, les notions de répression et prévention convergent et plusieurs auteurs évoquent désormais la prévention répressive et la répression préventive ! Au-delà d'une remise en cause de l'infraction consommée comme objet du pénal, et, de la conscience de son geste par l'auteur comme fondement de la culpabilité, surgissent un droit de la dangerosité, la menace d'un principe de précaution en droit criminel et le droit pénal de l'ennemi, par exemple à propos des fichiers « S ».

Complice et auteur sont aussi deux notions aux contours mobiles qui interrogent la théorie et l'opinion après l'assassinat de Samuel PATY. Au terme de l'article 121-7 du code pénal, « Est complice d'un crime ou d'un délit la personne qui sciemment, par aide ou assistance, en a facilité la préparation ou la consommation. Est également complice la personne qui par don, promesse, menace, ordre, abus d'autorité ou de pouvoir aura provoqué à une infraction ou donné des instructions pour la commettre. »

La question la dimension intentionnelle de l'acte positif ou de l'omission matérialisant la complicité est aussi un enjeu crucial comme l'a montré notre manifestation grenobloise.

La complicité a été admise aussi dans deux hypothèses dont les éléments excluent la possibilité d'un accord de volonté entre l'auteur et le complice ou toute collusion⁷. Il s'agit de la complicité d'une infraction en l'absence de faute intentionnelle de l'auteur⁸ et de la complicité non intentionnelle dans des hypothèses de manquements professionnels notamment en termes de contrôles et vérifications des opérations faites par les commettants ou employeurs⁹. La Cour de cassation a ainsi retenu la complicité de blessures involontaires à

⁷ Carole GIRAUT, Le relâchement du lien de concertation entre l'auteur principal et le complice, D. 2008, 1714

⁸ Chambéry 8 mars 1956, pour un accident de Bobsleigh.

⁹ Cass. crim. 31 janviers 2007, n°05-85.886, Bull. crim. 2007 n°25, D. 2007, Jur. p. 1843

l'encontre d'un médecin en raison d'une surveillance insuffisance caractérisée par le fait que le prévenu « n'est intervenu à aucun moment avant ou après les séances d'opérations d'épilation comme il en avait l'obligation. »¹⁰

La responsabilité pénale du fait d'autrui avait aussi connu une évolution importante avec la loi du 9 août 2010 portant adaptation du droit pénal à l'institution de la Cour pénale internationale. Cette loi transpose en droit français des modalités de participation criminelle tirées du droit international pénal avec deux cas nouveaux de complicité définis à l'article 213-4-1 du Code pénal permettant de poursuivre la complicité par omission et ceux qui « connaissant » le crime n'ont rien fait.

L'assassinat de Samuel PATY a violemment réintroduit la nécessité d'approfondir la notion d'auteur moral ou d'instigateur.

Les questions posées par les différents cas de figure évoqués appellent à prendre en compte l'éthique comme le font les sciences du vivant. Elles doivent pousser au dialogue entre philosophie du droit et sciences criminelles. Au fait, le droit n'est-il pas une science du vivant ?

Le désordre élément du Droit et la querelle des sciences criminelles

Pour continuer sur le chemin de la complexité, c'est à nouveau la jurisprudence européenne qu'il convient d'observer pour noter que, le juge fait du désordre sinon une condition du moins une occurrence inévitable de l'exercice du droit de manifestation. Il l'explique fort logiquement : « La Cour reconnaît que toute manifestation dans un lieu public est susceptible de causer un certain désordre pour le déroulement de la vie quotidienne, y compris une perturbation de la circulation, et qu'en l'absence d'actes de violence de la part des manifestants, il est important que les pouvoirs publics fassent preuve d'une certaine tolérance pour les rassemblements pacifiques, afin que la liberté de réunion ne soit pas dépourvue de tout contenu ». On conçoit que, ramené à l'exercice concret de la sauvegarde de l'ordre public qui constitue un objectif de valeur constitutionnelle, la conciliation des injonctions soit complexe et qu'il faille beaucoup d'habileté sinon de science pour traiter les questions de sécurité publique !

Sécurité et les sciences criminelles font dès lors l'objet de multiples expertises que se disputent tour à tour le juriste, le sociologue, le politiste, le psychologue, le médecin en refusant parfois d'entendre le savoir expérientiel du policier. Le sujet n'étant pas mince, un prince décida naguère la création d'une section de criminologie au sein du conseil national des universités provoquant derechef un tollé que « Le Monde » résumait ainsi : La « criminologie » entre succès médiatique et rejet universitaire¹¹. La section de criminologie ne vit pas le jour mais le désordre continue qu'il s'agisse de querelles idéologiques ou de légitimes controverses universitaires dans le champ des sciences humaines et sociales. Il se traduit *in fine* par l'importation plus ou moins opportune et réussie de concepts anglo-saxons qui sont de nature à nuire à la réflexion en niant la dimension culturelle historique et locale des faits sociaux avec le risque de calquer des schémas inadaptés et de troubler l'objectivité. C'est une faiblesse des

¹⁰ Cass. crim. 13 septembre 2016, n° 15-85046, Bull. crim. Gaz. Pal. n°4/2017, p. 44

¹¹ Le Monde, 28 mars 2012

Sciences humaines et sociales que pointe Wictor STOCZKOWSKI, dans un essai intitulé « La science sociale comme vision du monde »¹².

Le fait criminel suscite un intérêt politique immédiat parasitant la confiance entre les acteurs impliqués qui, à l'inverse, appelle le temps long. Le désordre reste entier sans que l'intelligence des complexités, objet de la science ; vienne nécessairement l'éclairer. Dans cette étrange prise d'otages de l'objet de la science, du droit et de la loi, tour à tour espérés et rejetés, les auteurs et les victimes se rejoignent et nous ressemblent étrangement.

Le confinement comme montée en généralité du désordre

Michel Grossetti (CNRS Toulouse & IHESS Paris)

Dans les sociétés contemporaines, la vie sociale s'organise en grande partie dans des « sphères d'activité », des contextes régulés par des institutions : activité économique, santé, vie familiale, politique, etc. Chaque sphère présente des dispositifs qui ont pour effet de transformer l'imprévisibilité des parcours individuels en régularités statistiques et en relative prévisibilité collective. Le système de santé prend en charge les pathologies diverses qui touchent les personnes et en limite autant que possible les effets. Pour les personnes, la santé est une source d'incertitude forte. Mais, en situation ordinaire, à l'échelle du système, cette incertitude est cadree par des réponses organisées qui se traduisent par des distributions statistiques assez régulières. A l'échelle individuelle un problème de santé peut « déborder » sur la vie au travail ou la vie familiale, mais à l'échelle collective le système de santé n'est pas censé créer de fortes incertitudes sur les autres sphères sociales.

L'épidémie de Covid-19 a généré une situation dans laquelle, dans de nombreux pays, et pour des raisons qui interrogent évidemment les politiques des dernières années, le système de santé n'a pas pu gérer seul la situation et a généré des débordements vers d'autres sphères sociales. La solution du confinement tel que celui-ci a été mis en place au printemps 2020 dans des pays comme l'Italie, l'Espagne, la France ou le Royaume Uni, est un débordement de grande ampleur, qui touche la vie économique, la sphère familiale, le monde éducatif, etc. Si l'on mesure la généralité d'un phénomène à la diversité des sphères d'activité concernées, alors le confinement est une montée en généralité brutale et massive, ce qui se traduit évidemment par une situation d'incertitude d'autant plus élevée. La préservation du système de santé et la nécessité de limiter le nombre des malades et des décès se sont traduites par une rafale de changements, temporaires ou plus durables sur les interactions et les relations sociales, les formes de travail, la surveillance policière, les activités économiques, l'éducation, les circuits alimentaires ...

Cette analyse sera étayée par des résultats d'une enquête conduite en France durant le confinement du printemps 2020 auprès de plus de 16000 personnes, puis réitérée en décembre 2020 et janvier 2021 auprès de 3620 personnes ayant répondu à la première enquête.

Lockdown as a rise in generality of disorder

¹² Wiktorek Stoczkowski, La science sociale comme vision du monde. Émile Durkheim et le mirage du salut, Paris, Gallimard, coll. « NRF essais », 2019, 629 p..

In contemporary societies, social life is largely organized in "spheres of activity", contexts regulated by institutions: economic activity, health, family life, politics, and so on. Each sphere has mechanisms that have the effect of transforming the unpredictability of individual paths into statistical regularities and relative collective predictability. The health system takes care of the various pathologies that affect people and limits their effects as much as possible. For individuals, health is a source of great uncertainty. But, in ordinary situations, at the level of the system, this uncertainty is framed by organized responses that result in fairly regular statistical distributions. At the individual level, a health problem can " overflow " into work life or family life, but at the collective level, the health system is not supposed to create strong uncertainties in other social spheres.

The Covid-19 epidemic has generated a situation in which, in many countries, and for reasons that obviously question the policies of recent years, the health system has not been able to manage the situation alone and has generated spillovers to other social spheres. The solution of lockdown as it was implemented in the spring of 2020 in countries such as Italy, Spain, France or the United Kingdom, is a large-scale spillover, affecting economic life, the family sphere, the educational world, etc. If the generality of a phenomenon is measured by the diversity of the spheres of activity concerned, then lockdown is a brutal and massive increase in generality, which obviously results in a situation of even greater uncertainty. The preservation of the health system and the need to limit the number of sick and dead have resulted in a flurry of changes, temporary or more lasting, in social interactions and relations, forms of work, police surveillance, economic activities, education, food circuits, etc.

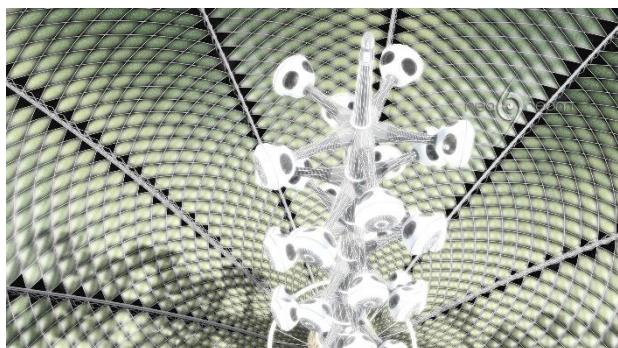
This analysis will be supported by the results of a survey conducted in France during the spring 2020 containment among more than 16,000 people, and then repeated in December 2020 and January 2021 among 3,620 people who responded to the first survey.

Architectures extrémophiles

Sylve TRUYMAN

Architect, CEO of Real Dream

Les architectures « extrémophiles » nous passionnent et nous avons décidé d'y consacrer toute notre énergie en fondant l'agence Real Dream. Depuis 2017, nous avons dessiné plusieurs concepts spatiaux et créé des partenariats avec les principaux acteurs du secteur en France.



Le cosmos est un terrain d'expérimentation sans égal et concevoir avec des contraintes fortes reste pour nous le meilleur moyen d'innover. Laissez-nous vous présenter notre philosophie. Inventer est un processus immuable. Une idée nouvelle se crée à partir d'une autre plus ancienne. L'architecture

ne fait pas exception à cette règle, et l'architecte s'improvise parfois chercheur, scientifique ou archéologue. Ainsi, Pierre-Paul Riquet a exploité le génie des aqueducs et des canaux antiques pour réaliser le canal du Midi. Canal qui a inspiré le baron Haussmann pour assainir les rues de Paris. Autre exemple, la redécouverte de l'antiquité qui a fait émerger les règles mathématiques encore en application de nos jours, et qui étaient, elles-mêmes, à l'origine, un savant collage des cultures arabe, grecque, indienne et chinoise.

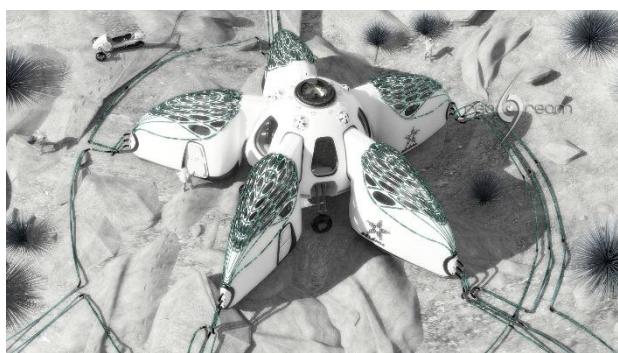
Les concepts nouveaux trouvent toujours leurs origines dans l'existant. C'est notre point de départ.

Le biomimétisme est né de l'observation de la nature : Une bibliothèque infinie, source de notre imaginaire depuis la nuit des temps. La copier à des seules fins esthétiques serait un véritable gâchis, car les bénéfices seraient alors perdus. Loin du greenwashing, la conception bio morphologique n'a d'intérêt que si on l' limite de façon littérale. Rien ne l'interdit ! Ainsi, quand Airbus a cherché, de multiples manières, à diminuer la trainée des ailes de ses avions, seule la reproduction fidèle du bord courbé de celles des aigles s'est avérée efficace. Il n'y a pas de pastiche dans le biomimétisme, sauf si, bien-sûr, on retire les effets directs pour ne prendre que le « beau ». La nature n'a pas de copyright et son retour sur expérience date de millions d'années. Si la biosphère le fait, alors nous le pouvons aussi.

En conception architecturale, nous traitons un projet comme s'il était un organisme vivant :

Comment respire-t-il ? Où se situent ses organes vitaux et comment sont-ils reliés ? La flore et la faune ont su se métamorphoser, en fonction de leurs environnements, même les plus contraignants. La nature est d'ailleurs championne à ce jeu. A la vitesse à laquelle notre écosystème planétaire évolue, l'adaptabilité est une qualité dont nous avons de plus en plus besoin. Nos productions architecturales sont, pour la plupart, des prototypes et chaque bâtiment s'harmonise à un terrain particulier.

C'est ainsi que nous débutons chaque projet au sein de Real Dream. Nous découvrons une parcelle, un site géographique avec son tissu urbain, et notre première question est toujours la même : « Quel organisme serait le plus approprié ? Celui qui creuse et s'enfouit dans la terre ? Ou au contraire, qui se dresse sur des échasses ? Et la forme ? Squelette ou coquille ? Et pourquoi pas tisser une toile ? » Pour répondre, il suffit alors d'observer et d'étudier notre écosystème tout en gardant à l'esprit que n'importe quel organisme fini toujours par s'approprier son environnement.



Ces réflexions sont essentielles lorsqu'elles s'appliquent à un contexte extrême. Concordia, la base polaire franco-italienne, en est un exemple. Composée de deux grands dômes polygonaux reliés par un tube, on y retrouve une organisation similaire aux organes vitaux (cœur, poumons...). La station repose également sur des pilotis munis de vérins qui la font monter et descendre en fonction de la quantité de glace accumulée au sol.

Le réchauffement climatique, accompagné de son lot de catastrophes naturelles et sanitaires, pousse à appliquer ce schéma de pensée à d'autres édifices. Augmentation du niveau de la mer, sécheresses à répétitions, cyclones dévastateurs, il nous faut réinventer les méthodes de construction pour nous adapter à ces conditions inouïes. Cette étape s'accompagnera sans nul doute d'un bouleversement des styles et des formes architecturales auxquelles nous sommes habitués.

L'espace est le lieu le plus inhospitalier que nous connaissons et y faire vivre des êtres humains est une idée qui semble aberrante. Pourtant, l'habitat spatial existe et des solutions d'avant-garde applicables à notre planète émergent de ces endroit clos, dans lesquels vivent des hommes en totale autarcie. L'ISS est, en ce sens, et depuis vingt ans, un outil de découvertes incontournables. Les questions liées au recyclage des déchets et au contrôle du CO₂ trouvent déjà des applications terrestres quotidiennes. Les inventions qui proviennent du domaine spatial sont nombreuses mais il peut se passer plusieurs décennies avant que l'on en trouve une traduction sur terre. Citons l'exemple des panneaux solaires : Développés spécifiquement pour le satellite Vanguard-1, lancé en 1958, ils sont très vite généralisés pour d'autres lancements mais n'apparaissent sur les toitures des bâtiments que dans les années 1970. Puis, il faut attendre le début des années 2000 pour que naîsse une filière dédiée.



Les milieux aux contraintes extrêmes sont propices à la création et l'innovation et permettent de tester et réaliser les solutions du futur. Ce domaine au croisement des techniques humaines d'avant-garde et du savoir multimillénaire de la nature cherche une manière d'étendre la vie là où, à priori, elle est impossible. Cette capacité du vivant à triompher des situations les plus délicates et dangereuses, souvent avec audace, force le respect.

Adaptation et résilience ! Un vocabulaire bien actuel qui dénote le gouffre qui nous sépare d'une époque pas si lointaine qui nous demandait toujours plus. Pendant des siècles nous avons cherché à domestiquer notre écosystème, fiers de nos progrès techniques et persuadés d'une certaine supériorité sur la nature. Le constat d'échec qui nous apparaît en ce début de XXI^e siècle est d'autant plus cinglant. Nous sommes maintenant entrés dans une ère d'humilité dans laquelle nous devons faire mieux, avec moins, et avancer petit à petit. Mais nous ne cesserons jamais d'être innovants et rêveurs ! En considérant la nature comme une partenaire, c'est peut-être elle qui nous apprendra à nous sortir de ce mauvais pas, pour peu qu'on sache l'écouter.

Symmetries, fractals and metamorphoses*

Giuseppe Vitiello,
Department of Physics "E.R. Caianiello"
University of Salerno, Italy

vitiello@sa.infn.it

In particle physics, condensed matter, biology and neuroscience, we have systems generally made by an enormous number of degrees of freedom. Quantum field theory (QFT) provides the tools for their study.

A central problem is the derivation of macroscopic properties starting from the microscopic dynamics of quantum fields. These are field “operators” mathematically defined only on specific sets of functions, or *spaces of states*, called *phases* or *representations* of the canonical field algebra.

In QFT, infinitely many different representations exist, describing physically different realizations of the dynamics into different ordered patterns. These are generated by the process of *spontaneous symmetry breakdown*. Order arises as *lack* of symmetry. The dynamical rearrangement of symmetry into different ordered structures (*forms*), is the process of *metamorphosis*. The same dynamics, i.e. the same set of field equations, thus governs the evolution of the states in each of the different phases it can access.

The coherence of the ordering correlations plays a crucial role in the generation of self-similar fractal patterns. The properties of dissipation, functional stability, the arrow of time can be discussed in such a framework. Our conclusions can be also applied to linguistics in the generation of meanings, in the transition from syntax to semantics.

Any distinction or antinomy between structure and function is dissolved in such an integrated vision pointing to the “cultural” turning point: the transition from the “atomist” vision of the world, to its “dynamical” vision, where not only the individual components, but also their *coherent* interactions are considered, their “playing together” in a large orchestra...

* G. Vitiello, Symmetries and Metamorphoses. *Symmetry* 2020, **12**(6),907
<https://doi.org/10.3390/sym12060907>

Can a group act as one?

The Combinatorial Emergence of Building-Blocks

Bruno Pace

A Universe emerges. Spontaneously. Matter is predisposed to self-organize. Four kinds of forces combine protons and electrons; coalesce clouds of hydrogen atoms; collapse gas clouds into stars; fuse the hydrogen into heavier elements inside these stars before and after their explosive death. Supernovas. The chemically-rich debris of such explosions - the nebula - become a laboratory for substance combinatorics. Different sorts of molecules emerge. New-generation stars form with their orbiting planets, comets, asteroids: the variety of material building blocks has increased. At least in one of these planets, after being bombarded by water and organic molecules, the complexity of its chemistry starts escalating. Across electrochemical

gradients, possibly in the surroundings of hydrothermal vents under water, the self-organizing nature of matter out of equilibrium takes combinatorics to the next level. Molecules grow in length. The astronomic number of interactions between chemical species starts selecting for autocatalysis: a proto-reproduction of chemicals. Molecular machines emerge, group, cooperate, act on other machines, self-assemble, coordinate. Codes, programs and information-processing emerge. Agency and self-replication emerge. Time, now, is more cyclic than ever; living systems are somewhat autonomous. Cells become complex building blocks for a new kind of diversity-generating, branch-and-merging process: evolution. Photosynthesis emerges and renders the atmosphere toxic for many of the living beings. Then, respiration emerges and starts consuming the abundant oxygen. Endosymbiosis merges two evolutionary branches, making energy production more sophisticated. The codes for intercellular communication improve and multicellularity emerges. Biological tissues specialize into organs. Sex emerges - evolution is now faster. Neurons emerge, boosting further the speed of information processing. Some populations leave the oceans and occupy land, in migration waves. Lichens, plants, arthropods, amphibians. Different species cohabit different places, combining into different ecosystems. A few mass extinctions, ecosystems reorganize. Humans emerge, migrate. With them, languages and cultures start an evolutionary process in their own right. Now, to be reading these brief words about our genealogies, your body requires the simultaneous coordination of an astonishing number of components that, together, are like memories of this long chain of ancestral layers. I will delve into emergence-evolution tangles, braiding together diachronic and synchronic views of Emergence.

Qualitative stochasticity in translation

Marco Casali

IHPST and Sapienza

The majority of research into chance in molecular and cellular biology focuses on the concept of noise at the level of transcriptional processes (e.g. Elowitz *et al* 2002). Noise is often quantified in terms of random variation around the mean value of gene expression (i.e., the average number of RNAs or polypeptides produced; see Levine *et al* 2020). This kind of study is what we call *quantitative stochasticity* (QS). We define the study of QS as the study of stochastic processes, the effects of which influence the concentration (the numbers) of genetic products (e.g. see Pilpel 2011 and Salari *et al* 2012).

In the presentation we stress that studies on stochasticity are mainly focused on QS in *transcription*. But what about stochasticity in *translation*? Since transcription and translation processes happen in similar biophysical conditions, theoretically speaking there exist no *a priori* reasons to prevent chance from influencing this stage of gene expression, either in a negative or in a positive way. This theoretical intuition finds empirical confirmation. The latest empirical evidence clearly shows the pervasive influence of stochasticity in translation (e.g. Boersma *et al* 2019).

In addition, this evidence underlines how stochasticity can influence the *type* of polypeptides produced. We call this kind of stochasticity *qualitative stochasticity* (here after QLS). We define the study of QLS as the study of stochastic processes, the effects of which influence the diversity (type) of genetic products (i.e. the diversity of polypeptides sequences) which start

from the same RNA sequence. More specifically, QLS involves having polypeptide sequences that differ not only in concentration (quantity) but mainly in type (quality).

Nonetheless, the way in which the latest evidence describes chance shows that finding a definition for it is not always so easy. For example, there is a tendency to exclude stochasticity as a possible function of cell metabolism. But what is meant by “stochasticity” and “function” is seldom specified. Lexical meanings must be intuited or understood via tacit semantic agreement present within biological communities. But intuition and tacit agreement guarantee neither clearness nor universality. Indeed, since different scientific communities use different terminology, what could be intuitive and universal for one community might cause confusion for another.

In taking the latest empirical evidence seriously, we aim to establish coherence and clarity. We propose focusing attention on time, a parameter often undervalued in biological descriptions. In our view, time is pivotal to properly understanding the meaning and role of QLS in translation.

More specifically, in light of the complexity of translation processes, our strategy is to focus on a specific example, namely the alternative start-codon selection event as it appears particularly influenced by chance. We describe in detail the way in which the alternative start-codon selection event is modeled and highlight the lack of reference to time. By contrast, we argue in favor of a plurality of time models that can, in turn, highlight a variety of ways that stochasticity can act in alternative start-codon selection and, more generally, in translation.

Individuation and organization of holons in living ecosystems: Recursive integration and self-assertion by holon-lymphocytes

Véronique THOMAS-VASLIN, PhD Immunology, CNRS Researcher

Sorbonne Université, INSERM, Immunology-Immunopathology-Immunotherapy (I3); UMRS959; Paris -France
veronique.thomas-vaslin@sorbonne-universite.fr <https://immunocomplexit.wordpress.com/about/>

The complexity of living ecosystems and organisms is interwoven with the complexity of the immune systems. Our mammal immune system has emerged from the **co-evolution of cells with their environment** during phylogenesis and ontogenesis. The immune system develops as a cognitive bio-diversified ecosystem with **dynamic interactive perceptive, reactive and adaptive network of cells and molecules**. Emerging from stochastic processes, the adaptive immune system organizes from the early ontogeny, in the fetus. Then, with historicity **transmission from mother's** immunoglobulins and microbiota, the immune system network is required to preserve the identity and integrity of our complex **holobiont poly-genomic organism**. Stochastic molecular and cell events, progressively allow to diversify, a dynamic set of heterogeneous cell populations. The particularity of the adaptive immune system is to emerge from the progressive differentiation of **somatically diversified lymphocytes**. Each lymphocyte acquires an **identity at the somatic level**: hypermutation processes generate a **unique and stochastic type of immunoreceptor** for antigens, displaying a unique amino acid sequence in variable regions. Then each lymphocyte has an intrinsic individuality of **“immunoception”** meaning differential interaction, perception/adaptive reaction capacities to its changing environment. This identity

contributes to the functional recursive “**self-assertion**” and “**integration**” of each autonomous lymphocyte to its environment. **Degenerative properties** of the immunoreceptor allow each lymphocyte to potentially interact with a million of stochastic antigens with differential affinities, leading at the lymphocyte population level to a quorum sensing and global immunoception. With their **adaptive capacities**, each lymphocyte is then able to capture local signals and **integrate** the messages as potential information’s from its environment and modulate its behavior: the lymphocyte can induce its proliferation and clonal expansion, or its clonal cell death and extinction, and orient its functions according to changes in local environment. Then, the **dynamical behaviors** of the body cell and molecular networks, act in turn as constraints to the adaptive landscape of the lymphocyte population repertoires, according to the changing context of the cell/organism environments. Therefore, **various levels of stochastic variations**, are progressively introduced into biological entities co-evolving under various processes: by stochastic combination of V-D-J gene regions, stochastic addition and deletion of nucleotides, protein combinations and receptor triggering, and degeneracy of molecular and cellular interactions in lymphoid tissues. From a “theoretical” stochastic lymphocyte receptor repertoire, an “emergent” repertoire of somatically diversified and adaptive lymphocyte heterogeneous populations is produced. Then, from the tissue distributed “available” repertoire, upon antigenic interactions, the clonal selection activates for an adaptable time an “actual” lymphocyte repertoire able of inflammation and rejection, submitted to feedback regulations. A **dynamic modeling** of the differentiation, interaction and selection/regulation of lymphocytes is proposed. At a global level, the immune system preserves the molecular and cellular identity and integrity of each organism, by the emergence of **dominant functions, as tolerance or rejection of antigens**. Complex links allow for the emergence of immunological memory, with adaptive anamnestic responses, allowing for the resilience of the holobionte organisms, adapting to stochastic changing environment. I propose an abstraction with dynamic interacting discrete holons: Holon-cells, Holons lymphocytes, and Holon-organisms able to individualize, react and organize altogether from the stochastic interactions, as a complex multi-level emerging functional system. The recursive self-assertion and integration of living holons, allow for emergence of new links and functions, in the complex communicating dynamic multilevel ecosystems that can progressively co-evolve and functionally organize together, at the various scales. The immune system and the holobionte organism are rather robust and resilient to perturbations, unless aging and repeated multi-level perturbations disorganize them.

References, link to pdf: <https://immunocomplexit.wordpress.com/an-overview-on-modelling-t-lymphocyte-dynamics-fromphysiology-to-perturbations-of-immune-system/>

- Thomas-Vaslin, V. (2020). *"Individuation and the Organization in Complex Living Ecosystem: Recursive Integration and Selfassertion by Holon-Lymphocytes."* Acta Biotheor Vol 68 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31541308>
- Lavelle, C., ... V. Thomas-Vaslin and P. Bourgine (2008). *"From molecules to organisms: towards multiscale integrated models of biological systems."* Theoretical Biology Insights 1: 13-22.
- Thomas-Vaslin, V., H. K. Altes, R. J. de Boer and D. Klatzmann (2008). *"Comprehensive assessment and mathematical modeling of T cell population dynamics and homeostasis."* J Immunol 180(4): 2240-2250.
- Thomas-Vaslin, V. (2016). *Understanding and modelling the complexity of the immune system.* First Complex Systems Digital Campus World E-Conference 2015, Tempe, United States, Springer.
- Vibert, J. and V. Thomas-Vaslin (2017). *"Modelling T cell proliferation: Dynamics heterogeneity depending on cell differentiation, age, and genetic background."* PLoS Comput Biol 13(3): e1005417.

Chapitres de livres, lien vers pdf : <https://immunocomplexit.wordpress.com/about/veronique-thomas-vaslin/>

- Thomas-Vaslin, V. (2015). *Complexité multi-échelle du système immunitaire: Evolution, du chaos aux fractales.* Le vivant critique et chaotique. Ed. Matériologiques. Paris: 333.
- Thomas-Vaslin V. (2017) *Le rôle des traces dans le système immunitaire : des anticorps au corps.* L'Homme-trace : Des traces du corps au corps-trace (Paris CNRS éditions), vol. 4.

Degeneracy models of receptors in biological immune systems

Dominique Pastor (1), Véronique Thomas-Vaslin (2) & Erwan Beurier (1)

(1) IMT Atlantique, Campus de Brest, Technopôle Brest-Iroise, CS 83818 , Brest -France

(2) Sorbonne Université, INSERM, Immunology-Immunopathology-Immunotherapy (I3); UMRS959;

Paris -France dominique.pastor@imt-atlantique.fr

[https://www.dominique-](https://www.dominique-pastor.com/)

veronique.thomas-vaslin@sorbonne-universite.fr

<https://immunocomplexit.wordpress.com/about/> erwan.beurier@gmail.com

The immune system (IS) is a complex system of 10^{12} somatically diversified and communicating cells in the human body. Each cell is able to adapt its decision to collectively tolerate or reject the 10^{13} cells of our microbiota and detect other infections among the 10^{31} virus surrounding us, to insure our organism integrity. Harnessing the interactions of the IS with its environment is crucial for the understanding of the organization of the IS during development and its disorganization through aging, and to propose personalized medicine and immunotherapy. The most popular disorders are the overreactions of the IS caused by an exponential augmentation of allergens and chemical antigens leading to allergies and inflammatory diseases, as well as infections such as those provoked by the Covid-19 agent that can destruct the host itself. It is then desirable to propose theoretical frameworks and computational models to develop in-silico biology on which research in biology and immunotherapy can rely. In this respect, we address the notion of “immunoreceptor”, which is central to understand the behaviour and performance of the vertebrate IS. Indeed, each lymphocyte acquires an identity at the somatic level through stochastic processes, by generating new genes encoding a unique type of protein immunoreceptor for antigens. An immunoreceptor is thus specific in that a unique variable sequence of amino acids composes it to achieve interaction, perception and adaptive reaction to the lymphocyte environment. In this sense, an immunoreceptor can be modeled as an adaptive holon capable of self-assertion and integration [1]. Albeit made up of a specific sequence, an immunoreceptor is not adapted to a unique antigen since it can actually react to a wide range of signals emanating from various antigens through “degeneracy”. Degeneracy is introduced by Edelman & Gally [2] as “*. . . the ability of elements that are structurally different to perform the same function or yield the same output*”. The question is then whether populations of lymphocytes through their repertoire diversity of immunoreceptors (theoretical repertoire diversity estimated to 10^{61}) could be optimal in some sense compatible with the trade-off these basic receptors achieve.

We address this question by modeling an immunoreceptor as a dynamical system, which can also be regarded as an automaton. Collectively, the membrane receptors on a lymphocyte can integrate successive input signals and discriminate them by exceeding a threshold. Then, if the intracellular transduction of signals is correctly provided the cell can update its functions and change its state. The individual receptor is memoryless in that the new state is computed regardless of the former one. Albeit very simple, this stimulus-response model can however be used, in a first stage, to pinpoint the existence of at least two families of update functions satisfying the Multiplicity Principle (MP). The Multiplicity Principle (MP) is a mathematical formalization of degeneracy [3] and extensively studied in [4]. In brief, the multiplicity of these update functions induces their complementary to achieve a better resilience [5] of the whole system composed by the corresponding dynamical systems.

More specifically, we have Neyman-Pearson (NP) update functions. An NP update function is adjusted to a specific signal and triggers a state change in an optimal way to reveal the presence of this signal. Therefore, NP update functions are good candidates to model receptors of cells from the innate IS. However, an NP update function cannot guarantee optimality when the input signal differs from the model to which it is adapted. On the other hand, a Random Distortion Testing (RDT) [6] update function is optimal to detect that an input signal drifts away by too much from a model to which the update function is attuned. As such, RDT update functions are appropriate to model lymphocyte immunoreceptors to detect input signals in interferences resulting from the disorder due to the multiplicity of antigens in the environment. RDT tests are thus robust to disorder and better candidates than NP update functions to model immunoreceptors of lymphocytes from the adaptive IS.

On-going work involves the design of experiments to assess the relevance of the approach and extending the model to dynamical systems or automata with memory.

References:

- [1] Thomas-Vaslin, V. (2020). "Individuation and the Organization in Complex Living Ecosystem: Recursive Integration and Self assertion by Holon-Lymphocytes." *Acta Biotheor* Volume 68: 171-199.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31541308>
- [2] Gerald M. Edelman & Joseph A. Gally (2001): Degeneracy and complexity in biological systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(24), pp. 13763–13768, doi:10.1073/pnas.231499798.
<https://www.pnas.org/content/98/24/13763>
- [3] Andrée Ehresmann & Jean-Paul Vanbremersch (2007): Memory Evolutive Systems; Hierarchy, Emergence, Cognition, first edition.
Studies in multidisciplinarity 4, Elsevier, doi:10.1016/S1571-0831(06)04001-9
- [4] Erwan Beurier (2020): Characterisation of organisations for resilient detection of threats : a cluster of multiplicity, Thèse de doctorat,
Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire, url =
<http://www.theses.fr/2020IMTA0188/document>
- [5] Dominique Pastor, Erwan Beurier, Andrée Ehresmann, Roger Waldeck. (2019) Interfacing biology, category theory and mathematical statistics. *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*, EPTCS, 2020, Proceeding of the international conference Applied Category Theory
- [6] Dominique Pastor and Quang-Thang Nguyen, (2013)"Random Distortion Testing and Optimality of Thresholding Tests," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 61, no. 16, pp. 4161-4171, Aug.15, , doi: 10.1109/TSP.2013.2265680

Du désordre à l'ordre : la complexité cellulaire comme principe d'organisation

Caroline Angéraux

Université de Padoue et IHPST Paris

Dans son ouvrage de 1839 *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen*, le physiologiste allemand Schwann (1810-1882) établit le fondement de la théorie cellulaire moderne, selon laquelle tout être vivant passe par une forme cellulaire au cours de son développement. En 1855, Virchow (1821-1902) précise les travaux de Schwann en proposant, suivant l'aphorisme *Omnis cellula e cellula*, que chaque cellule provient d'une cellule préexistante. La théorie cellulaire s'instaure progressivement comme un programme de recherche opérationnel que les recherches sur l'hérédité, la génétique ou la composition moléculaire du vivant ont modifié, précisé, mais non désavoué, et aujourd'hui encore, la cellule et la théorie cellulaire restent au fondement du paradigme biologique. Par-delà la diversité des approches, la cellule désigne généralement l'unité vivante fondamentale, l'entité vivante minimale en-deçà de laquelle une entité n'est pas considérée comme vivante en tant que telle. En cela, la cellule se présente comme un système complexe minimal, une entité s'auto-organisant et s'adaptant à son environnement, et dont le contenu dynamique donne naissance à des effets non-linéaires.

En tant qu'entité biologique simple dans sa composition et pourtant capable, par des procédés complexes, de faire émerger des processus propres au vivant, l'idée de cellule se présente donc comme une entité vivante simple douée d'une complexité intrinsèque. En ce sens, considérer la cellule comme le vivant minimal fait d'une complexité intrinsèque suppose de réinsérer ce concept dans son contexte d'élaboration pour préciser ce que sa complexité désigne. En d'autres termes, étudier la complexité de l'entité vivante simple invite à rappeler que le concept de cellule s'est développé dans un contexte de recherche large, fait de différentes manières d'exercer la science, mêlant observations empiriques et considérations ontologiques ou spéculatives. La scène scientifique allemande assez bigarré du début

du XIX^e siècle rappelle donc que le concept de cellule n'est pas seulement le résultat d'une découverte empirique sous le microscope, mais aussi celui d'une tradition métaphysique et spéculative qui a travaillé les mentalités de longue date.

L'objectif de notre présentation sera donc de s'appuyer sur ce contexte général d'émergence de la cellule pour préciser ce que la simplicité dans le vivant et sa complexité inhérente désignaient. Nous pourrons ainsi dégager deux lignes conceptuelles de cette notion de complexité : une première, issue surtout du contexte romantique allemand, qui incite à identifier une unité vivante simple caractérisée par une complexité intrinsèque intensive, faite de forces actives immatérielles ; et une seconde, issue d'observations naturalistes sur les infusoires, qui incite, elle, à identifier une unité vivante simple qui se combine avec d'autres, semblables, pour réaliser une structure vivante plus complexe. En étudiant l'idée de complexité inhérente à l'entité vivante simple, nous verrons que la notion de complexité peut se considérer, dans cette démarche, comme un principe d'organisation, créateur d'ordre.

Jacyna, S. (1990). Romantic Thought and the Origins of Cell Theory. In *Romanticism and the Sciences*, (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 161–168

Nicholson, D.J. (2010). Biological atomism and cell theory. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41, 202–211.

Reynolds, A. (2010). The redoubtable cell. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41, 194–201.

Richards, R. (2013). The impact of German Idealism and Romanticism on biology in the nineteenth century. In *The Impact of Idealism: The Legacy of Post-Kantian German Thought*, (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 105–133.

Typologie d'écueils pour les analyses causales en physique. Le cas de la capillarité.

Laurence Viennot

MSC : Matter and Complex Systems, UMR 7057, University of Paris

Les erreurs de raisonnement de la part d'experts en situation d'enseignement ou de vulgarisation ont toujours de quoi surprendre. Elles répondent pourtant souvent à des schémas « réducteurs de complexité », dont certains sont déjà catégorisés depuis longtemps, notamment quant au rôle qu'y joue la causalité. Si l'on se restreint au cas où les raisonnements en question amènent au résultat correct et excluent les fautes techniques, il reste encore un éventail de types d'invalidité relativement méconnus - ceci bien qu'ils soient de fait très représentés dans les pratiques d'enseignement et de vulgarisation. Cette présentation vise à souligner l'intérêt de savoir reconnaître et caractériser ces raisonnements en les situant dans une liste de situations d'explication problématiques préalablement répertoriées. Après un rappel rapide des éléments les plus connus d'une telle liste, tels la « réduction fonctionnelle » et le « raisonnement linéaire causal », la présentation se centrera sur les cas où la démonstration utilisée semble faire subrepticement disparaître du paysage explicatif une des variables pertinentes du phénomène à expliquer. On

montrera qu'un tel cas peut s'observer dans des domaines très divers de la physique. Un cas concernant les forces capillaires - le « pont liquide » – introduira une discussion sur l'impact très divers que nous pouvons avoir en tant que formateurs selon notre traitement plus ou moins informé de ces situations d'explication. En jeu : la cohérence conceptuelle de l'énoncé.

Errors in reasoning by experts in teaching or popularizing situations are always surprising. However, they often correspond to 'complexity-reducing' patterns, some of which have long been categorized, particularly as regards the role of causality. If we restrict ourselves to cases where the reasoning in question leads to the correct result and excludes technical errors, there is still a range of relatively unknown types of invalidity - even though they are in fact very well represented in teaching and popular science practices. The aim of this presentation is to highlight the importance of being able to recognize and characterize these types of reasoning by situating them in a list of problematic explanatory situations previously identified. After a quick reminder of the most well-known elements of such a list, such as "functional reduction" and "linear causal reasoning", the presentation will focus on cases where the demonstration used seems to surreptitiously remove from the explanatory landscape one of the relevant variables of the phenomenon to be explained. Various examples will show that such a case can be observed in very diverse fields of physics. A case concerning capillary forces - the "liquid bridge" - will introduce a discussion on the very diverse impact we can have as educators according to our more or less informed treatment of these explanatory situations. At stake : conceptual coherence.

Références:

Viennot L and Décamp N 2020 *Developing Critical Thinking in Physics: The Apprenticeship of Critique*, (Contributions from Science Education Research, vol. 7) (Berlin: Springer)
Viennot L 2020: How to choose which explanation to use with students? Discussing the tensiometer with beginning teachers, *International Journal of Science Education* 42(17),28982920, <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1843082>

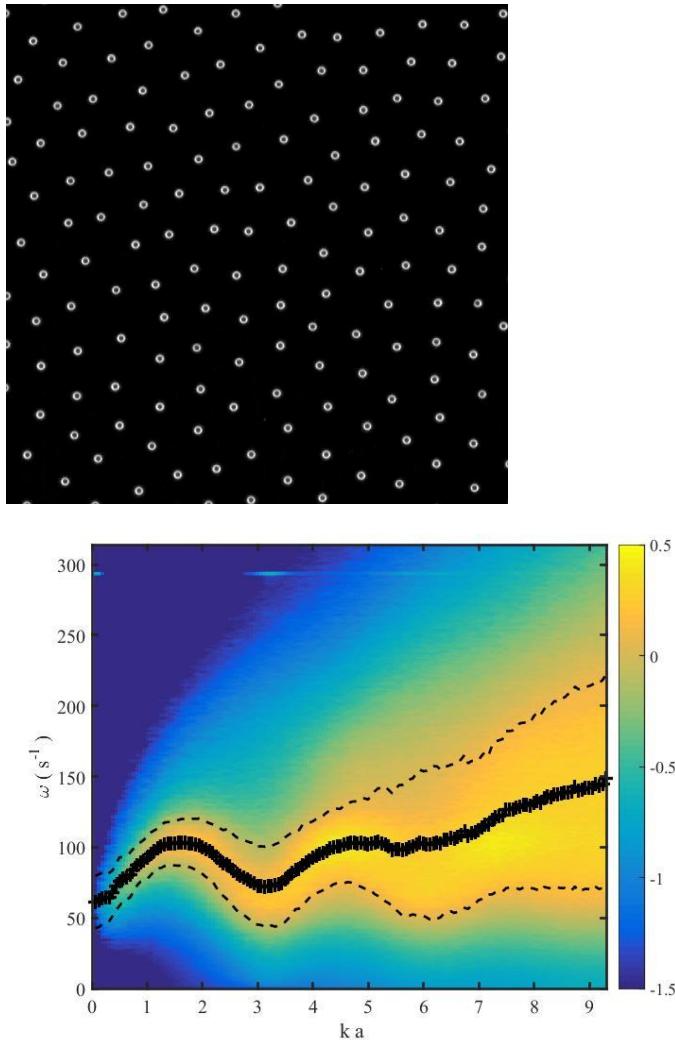
Observation de phonons à l'échelle macroscopique.

Michaël Berhanu

MSC UMR 7057 UP

En matière condensée, en conséquence de l'agitation thermique et du potentiel d'interaction, les mouvements des atomes se décrivent comme la propagation d'ondes mécaniques, les phonons. Nous proposons un analogue macroscopique en utilisant un système de billes de fer vibrées interagissant par un potentiel d'interaction dipolaire, dont la force est ajustable au moyen d'un champ magnétique appliqué. En utilisant une caméra rapide, nous mesurons la trajectoire et la vitesse de chaque particule. L'analyse du champ des vitesses dans l'espace de Fourier permet d'étudier les modes collectifs et de mettre en évidence des relations de dispersion révélant la présence d'ondes mécaniques. Pour une interaction dipolaire faible, les mouvements apparemment aléatoires des particules individuelles s'auto-organisent en un mouvement collectif correspondant à la propagation des ondes sonores dans un état gazeux. Ensuite, pour des forces d'interaction plus élevées, les particules s'organisent en une structure ordonnée hexagonale. Les mouvements des billes sont alors maintenant caractéristiques des ondes sonores dans un solide avec des ondes longitudinales et transverses. Les vitesses du son

extraites fournissent une mesure des paramètres mécaniques du système. Par ailleurs les relations de dispersion mesurées présentent une largeur significative, du fait de la dissipation importante des ondes. En effet à la différence des phonons en matière condensée, ce système granulaire est dissipatif en raison des collisions inélastiques. Il est donc nécessaire d’injecter constamment de l’énergie pour obtenir un état statistiquement stationnaire. Ces états hors-équilibres présentent des similarités avec certains régimes dit turbulent. En effet, on a un système avec un grand nombre de degrés de liberté dont la dynamique est régie par des ondes non-linéaires.



A gauche, image des billes en interaction dipolaire magnétique répulsive, en présence d’agitation. A droite, spectre spatio-temporelle des fluctuations de vitesse longitudinale. Les maxima du spectre définissent une relation de dispersion des ondes longitudinales.

Disorder-induced quantum-to-classical transition, or how the world becomes classical

Eric Bringuier

MPQ UP

Decoherence theory explains how quantum physics gives rise to classical physics through the entanglement of a quantum system's evolution with the degrees of freedom of the environment surrounding the system. The present contribution will describe another route from the quantum to the classical behavior. We consider a particle interacting with a disordered landscape of potential energy. The particle's evolution is handled within time-dependent quantum statistical mechanics in which the statistical operator is replaced by its Wigner transform defined in position-momentum space. Over spatial scales exceeding the correlation length of the disordered potential, it is found that the evolution only involves the classical phase-space populations derived from the Wigner function. Quantum-coherence effects are significant only over shorter spatial scales, where they give rise to a noise superimposing onto the classical evolution. The waning of coherence, which reflects the emergence of classicality, is due to the multiple scattering of matter waves; and the framework may be viewed as a stochastic wave mechanics.

Symmetry Breakings in the interactions of Molecular Hydrogen with Solids

Ernest Ilisca, Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université Paris 7 Denis Diderot, France

Loïc Houssais, Acadomia, Rennes, France

Filippo Ghiglino, Laboratório de Óptica, Laser e Fotônica, Federal University of São Carlos, Brazil

The intertwining of quantum, spectroscopic and thermodynamical properties of the hydrogen molecule leaded to the discovery in 1927 that the proton being a fermion of spin $\frac{1}{2}$. It unified the nuclear spin alternation of the Lyman bands with the differences in the specific heat by considering the gases with odd and even rotational quantum number as two separate gases which do not interconvert, the ortho and para varieties. Their lifetimes are longer than the age of the universe for isolated molecules, but observed to be quite short when the hydrogen interacts with a solid. Their range of orders, scales from seconds when interacting with magnetic solids, to minutes for noble metals, hours for semiconductors or days for dielectric nanocages. These lifetimes recently measured are new hyperfine measures of the nuclear symmetry breakings in the hydrogen molecular space. The following reviews a few optical and electronic measurements reported since the turning of the new century. Their theoretical interpretation relies on 2 symmetry breakings that a catalyst operates on the hydrogen configuration space. A first one concerns the molecular Born-Oppenheimer approximation modified by the surface electron cloud. A second concerns the Pauli Principle extended by the fundamental-excited electron admixture mixing different electron-nucleus fermion characters.

The quantum taste of hydrogen: trying to understand Nuclear Quantum Effects

Simon Huppert¹, Philippe Depondt¹, and Fabio Finocchi¹

¹Institut des NanoSciences de Paris (INSP), Sorbonne Université,
CNRS-UMR 7588

When doing so-called ab-initio simulations of materials, matter is considered as an assembly of atomic nuclei and electrons. Then, the Born-Oppenheimer approximation is applied: electrons being much lighter than nuclei, adapt quasi-instantly to any comparatively slow change in the nuclear configuration, so they are considered as always at equilibrium, in their ground state, with the nuclei. This allows to treat electrons separately through methods such as the density functional theory (DFT) and the interactions between nuclei are thus obtained with usually good accuracy. The mass of the lightest nucleus hydrogen, a proton, $m_H = 1836:15m_e$ is much greater than that of an electron, so nuclei are usually considered as classical particles and Newton's equations of motion numerically solved using the forces obtained via the DFT. This procedure works quite well and many remarkable results are thus obtained. This approximation, although tremendously convenient, is not always valid, even in normal conditions, especially when light nuclei such as hydrogen are involved. For instance, water H_2O is not toxic and is even a essential ingredient for life as we know it: but it turns out

that heavy water D₂O, in which hydrogen is replaced by deuterium, twice as heavy but with the exact same chemical properties, is: bacteria exposed to heavy water suffer heavy casualties. . . Lye, or caustic soda, NaOH, in its solid state, can be heated up from the temperature of liquid nitrogen 77K to room temperature without anything special happening, but NaOD exhibits a phase transition at 150K. Again, the only change is in the mass of deuterium versus hydrogen. Ice, submitted to high pressures at room temperature, undergoes a phase transition at 65GPa while for deuterated ice D₂O that transition occurs at a much higher pressure near 90GPa. Thus, isotopic effects, obtained by replacing hydrogen with deuterium, are observed experimentally and are a clear indication of Nuclear Quantum Effects (NQE). Zero point energy and proton tunneling can be relevant. Although solving Schrödinger's equation for a large number of particles is not possible, astute approximate methods allow to introduce NQEs into simulations at an acceptable computational cost. The results are often unexpected and subtle.

Mécanique quantique et incertitude

Yves Pomeau (ENS Paris)

Depuis ses débuts la mécanique quantique a fait face à l'existence de l'aléatoire dans ses prédictions. Ceci semble contredire, au moins formellement, le fait que les équations d'évolution (Schrödinger et Dirac) sont parfaitement déterministes. Cette notion de déterminisme n'est bien définie que pour les systèmes à nombre fini de degrés de liberté. Dirac a expliqué en 1927 comment l'infinité de degrés de liberté du champ électromagnétique justifie le caractère aléatoire en temps de l'émission de photons par un atome dans un état excité retournant à l'état fondamental. Avec Jean Ginibre et Martine Le Berre, nous avons incorporé de façon précise ces idées de Dirac dans l'équation d'évolution de l'amplitude des deux états, excité et fondamental sous l'effet d'un pompage optique résonnant et de l'émission de photons par les transitions atomiques spontanées. Cette approche évite complètement l'ajout injustifié de termes non Hermitiques à l'équation de Schrödinger.

Complexité et désordre dans un analogue magnétique de la glace

Nicolas Rougemaille

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut NEEL, 38000 Grenoble, France

Disorder in molecular assemblies

Maria Alfonso Moro, Johann Coraux, Benjamin Canals, Nicolas Rougemaille
Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut NEEL, 38000 Grenoble, France

Fullerenes, also called C₆₀, are football-like molecules constituted by 60 carbon atoms. They have been extensively studied in nanotechnologies because of their potential applications in molecular electronics [1]. In particular, the way the molecules attach to metals and share electrons with them have attracted much attention [2-4]. A single fullerene placed onto a metallic surface is already a complex system, due to the large number of carbon and metal atoms that form bonds. Complexity increases when a lattice of C₆₀ is considered, as the molecules interact both with each other and with the metal atoms. In most cases, C₆₀ self-assemble forming layers matching the metallic lattice underneath. However, fullerenes sometimes induce an atomic rearrangement of the metal surface: part of the molecules sits on tiny shallow depressions called vacancies [5-7]. As a consequence, fullerenes can take two different heights (“high” and “low”) with respect to the metal surface. The arrangement of vacancies, and thus of “high” and “low” molecules, is far from being trivial. Depending on the metallic substrate and the deposition temperature several height patterns are observed. In some cases, these patterns even coexist, and the system seems unable to choose a unique molecular state. The molecular layer may have an ordered or disordered embossed surface, resembling a Braille pattern at the molecular scale (see scanning tunneling images shown in Fig. 1). The disordered phases resemble those expected in some triangular lattice models of antiferromagnetically coupled Ising spins [8, 9]. In these phases, geometrical frustration is present and exotic states of matter, such as spin liquids, arise [10]. Here, we study the case of C₆₀ molecules on copper and observe five different phases coexisting at room temperature. In particular, we investigate the properties of the disordered phase, which exhibits a complex pattern of “low” and “high” molecules. We first show that disorder is not a trivial, random one, but correlated, i.e., following certain local rules. We then examine whether the molecular phase can be considered a spin liquid. To account for the experimental observations, we propose an original approach which links the structural properties of the molecular assembly (how are molecules sitting on the metal and interact with one another?) to an emergent magnetic description of the C₆₀ pattern (an Ising model). Our approach not only explains the properties of the disordered phase, but also successfully describes all the other imaged phases, offering new opportunities to bridge concepts used in magnetism to those commonly employed in surface science.

[1] Guldi et al., Chem. Soc. Rev., **38**, 1587 (2009)

[2] Wilson et al., Nature, **348**, 621 (1990)

[3] Altman et al., Surf. Sci., **295**, 13 (1993)

[4] Sakurai et al., Prog. Surf. Sci., **51**, 263 (1996)

[5] Stengel et al., Phys. Rev. Lett, **91**, 166101-1 (2003)

- [6] Felici et al., Nat. Mat., **4**, 688 (2005)
- [7] Pai et al., Phys. Rev. Lett, **104**, 036103-1 (2010)
- [8] Pai et al., Phys. Rev. B, **69**, 125405 (2004)
- [9] Paßens et al., Beilstein J. Nanotechnol, **6**, 1421 (2015)
- [10] Wannier, Phys. Rev., **79**, 357 (1950)

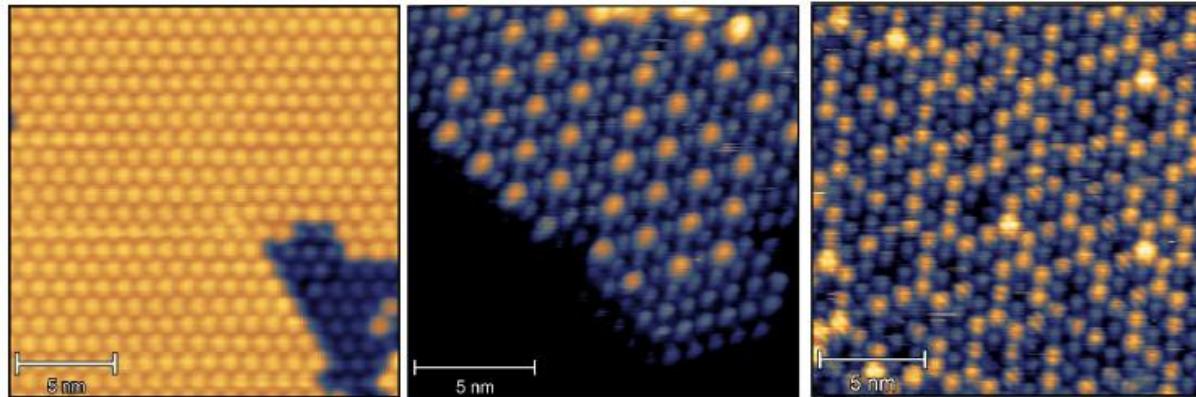


Fig. 1: Scanning tunneling microscopy images of fullerenes on Cu(111). Bright, yellow and dim blue dots correspond to “high” and “low” molecules, respectively. From left to right: uniform-height phase, periodic phase and disordered phase.

The search for the ground states of dipolar-coupled Archimedean spin lattices

G. M. Macauley^{1,2}, A. Weber^{1,2}, R. Stewart^{1,2}, V. Scagnoli^{1,2}, L. J. Heyderman^{1,2}

¹ Laboratory for Mesoscopic Systems, Department of Materials, ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland

² Laboratory for Multiscale Materials Experiments, Paul Scherrer Institute, 5232 Villigen PSI, Switzerland

Artificial spin systems provide an excellent playground in which to study a wide range of interesting physical phenomena, including frustration and the role of disorder in phase transitions. These systems are composed of lithographically defined nanoscale magnets, whose collective properties are selected by the choice of array. Up until now, most work has concentrated on flat, i.e. two-dimensional, structures. In this contribution, we will discuss accessing the ground states of dipolar-coupled, quasi-three-dimensional systems based on the Archimedean lattices. We will consider how disorder across the sample affects the observed magnetic configurations, and how this can be used to tune avalanche behavior.

Using superconductivity to tune magnetic interactions in artificial spin ice

R. Stewart^{1;2}, V. Scagnoli^{1;2}, G. Macauley^{1;2}, M. Gabureac³, A. Weber^{1;2}, S. L. Lees and L. J. Heyderman^{1;2}

¹Laboratory for Mesoscopic Systems, Department of Materials, ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland

²Laboratory for Multiscale Materials Experiments, Paul Scherrer Institute, 5232 Villigen PSI, Switzerland

³Laboratory for Solid State Physics, Department of Physics, ETH Zurich, 8093 Zurich, Switzerland

⁵Department of Physics and Astronomy, University of St Andrews, St Andrews, Fife, KY16 9SS, United Kingdom

Artificial spin ices, which are composed of dipolar coupled precision engineered arrays of elongated nanomagnets, host a broad range of physical phenomena usually the preserve of bulk condensed matter systems [1]. Due to their elongated shape, the individual nanomagnet moments lie along one of the two directions parallel to their long axis and take on the role of Ising spins in bulk systems. Arranging these simple nanomagnetic building blocks onto different periodic and aperiodic lattices provides a means to uncover and characterize new complex magnetic phases. Important experimental observations in these systems include frustration [2], where an individual nanomagnet cannot find a single energetically favorable orientation for its magnetic moment based on that of its neighbors; phase transitions between ordered and disordered states [3]; and emergent magnetic monopoles [4]. The complex phases observed in artificial spin ices occur largely as a consequence of magnetic interactions between nearest neighbor magnetic moments. In order to better control the collective behavior of the spins one must tune the interactions between the nanomagnets. Traditionally this has been achieved by either varying the lengthscales within the lattice or by altering the dimensions of the individual nanomagnets. Here we will instead discuss utilizing superconducting correlations to tune the strength and nature of these interactions. Superconducting materials have long been combined with magnetism in artificial heterostructures where both magnetic screening and magnetic proximity effects play an important role [5]. It is an interesting question to ask how these effects may interact with the dynamics of artificial spin ice.

References

[1] S. H. Skj_rv_ et. al. Nat. Rev. Phys., 2019.

[2] I. Gilbert et. al. Nat. Phys., 2014.

[3] O. Sendetskyi et. al. Phys. Rev. B, 2019.

[4] E. Mengotti et. al. Nat. Phys., 2011.

[5] M. Eschrig. Rep. Prog. Phys., 2015.

Elementary account of superconductivity :

why has it been so elusive ?

Jacob Szeftel

A comprehensive explanation of superconductivity, based mainly on thermodynamics, will be presented together with a critical review of the

achievements dating back to its infancy, which led eventually to the current confusion.

Excitations collectives en régime non linéaire d'un réseau périodique de parois dans un film de grenat à anisotropie perpendiculaire

N. Vukadinovic^{1*} and J. Ben Youssef²

¹Dassault Aviation, 92552, Saint-Cloud, France

²LabSTICC,CNRS, Université de Bretagne Occidentale, 29238 Brest, France

La configuration régulière en domaines magnétiques séparés par de fines parois telle qu'elle existe dans les films minces à anisotropie perpendiculaire constitue un système modèle pour étudier la dynamique de l'aimantation. Les excitations collectives à hautes fréquences existant dans un réseau de parois magnétiques consistent en des modes de précession (ondes de spin de paroi) et des modes de translation. Les ondes de spin de paroi ont été prédites théoriquement dans le cas de parois de type Bloch [1] et possèdent un caractère non réciproque [2]. Les modes de translation correspondent à des déplacements collectifs de parois dans la direction normale au plan des parois. Le cas le plus simple est celui de modes uniformes de translation où l'amplitude de ce déplacement est identique pour les parois de même chiralité, cette amplitude pouvant varier dans le plan des parois (modes de flexion) [3,4]. La présente communication s'intéresse aux modes collectifs de translation de paroi en régime non linéaire. Des mesures microondes large bande réalisées en fonction de la puissance microonde excitatrice révèlent des modes uniformes de translation de paroi ainsi que leurs subharmoniques au-dessus de puissances critiques (Fig. 1). Les caractéristiques de ces résonances subharmoniques (seuil d'apparition, dépendances en puissance des fréquences de résonance, des largeurs de raie et des amplitudes des signaux à la résonance) ont été déterminées expérimentalement. Le modèle d'ondes de paroi de Slonczewski [5] permet de justifier l'existence de ces résonances de paroi subharmoniques et d'identifier les vecteurs d'onde de translation de paroi mis en jeu dans ces processus non linéaires.

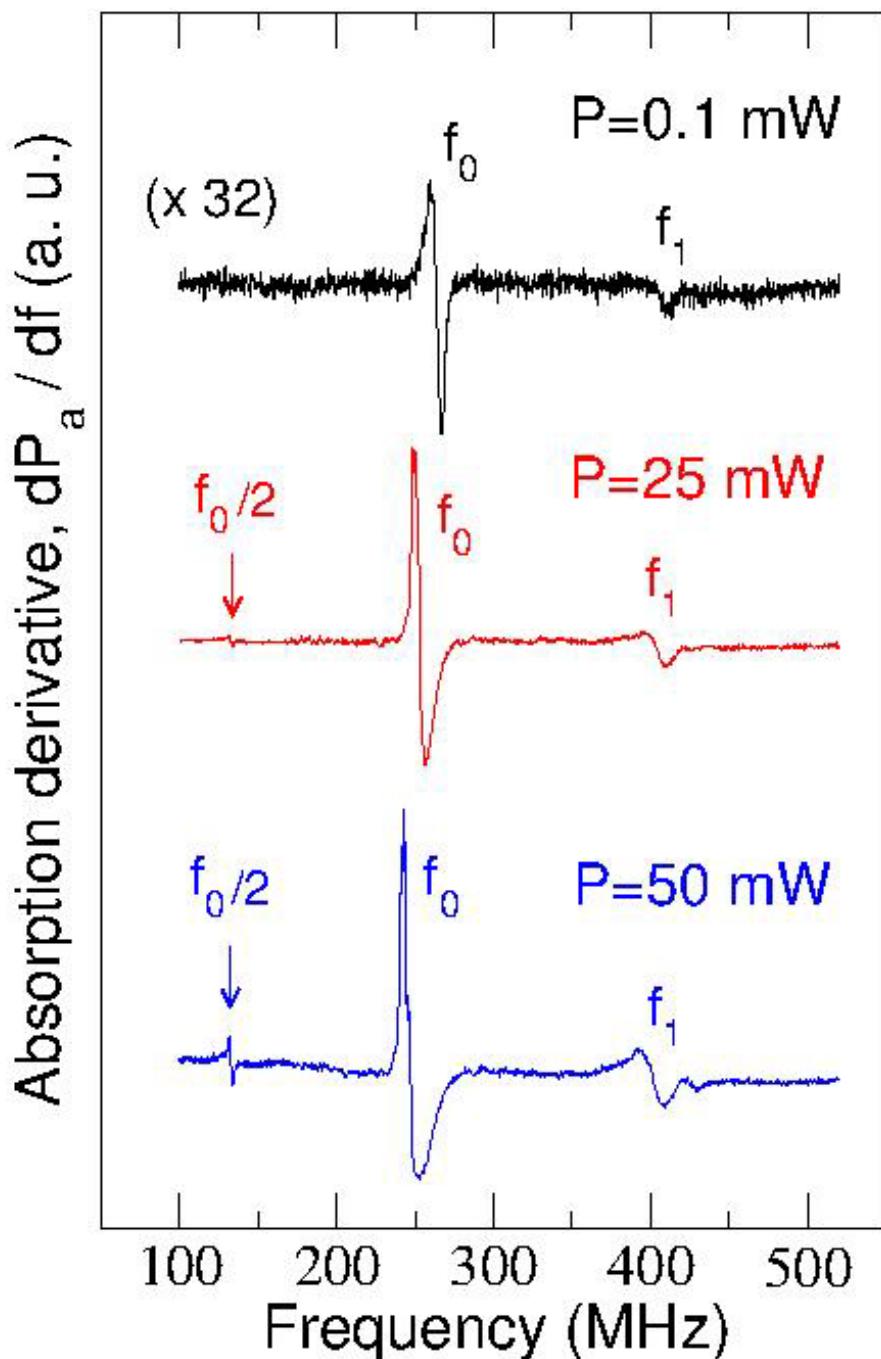


Figure 1 – Spectres de résonance de paroi pour différentes valeurs de la puissance microonde excitatrice et mise en évidence d’une résonance subharmonique à fréquence moitié

- [1] J. M. Winter, Phys. Rev. 124, 462 (1961)
- [2] Y. Henry, D. Stoeffler, J. V. Kim, and M. Bailleul, Phys. Rev. B 100, 024416 (2019)
- [3] B. E. Argyle, and J. C. Slonczewski, J. Appl. Phys. 54, 3370 (1983)
- [4] N. Vukadinovic, J. Ben Youssef, and M. Labrune, Phys. Rev. B 66, 132418(2002)
- [5] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. 23, 305 (1981)

From spin-waves to space-time magnonic crystals

M. Krawczyk, P. Gruszecki,

Institute of Spintronics and Quantum Information, Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University,
Poznań, Poland

Corresponding author: krawczyk@amu.edu.pl

Spontaneous pattern formation is an intriguing process that starts from linear dynamics and ends in spontaneously broken translational symmetry occurring in a non-linear phase transition. The effect was observed in hydrodynamic systems, such as thermal convection or parametric-wave instabilities, in nonlinear optics, chemical reactions, as well as in biological systems. [Cross1993] In ferromagnetic materials, such a phase transition can result in a magnetization pattern formation usually appearing with a change of the bias magnetic field. In the extended samples, the process of the pattern formation starts from a high symmetry saturated state, goes through a complex domain nucleation process, giving rise to stabilization of a regular stripe domain pattern. [Hub98]

We realized spontaneous translational symmetry breaking by strong homogeneous microwave pumping of a micron-sized permalloy stripe with the resulting transition directly imaged by scanning transmission x-ray microscopy. For a understanding of the experimental findings, the micromagnetic simulations are adapted. Beyond the formation of discrete translational symmetry in space, we observed also a regular oscillation in time, being clear indication of generation magnonic space-time crystals. Periodicity allows to observe the formation of a magnonic band structure and also to show interactions of spin waves with this space-time crystals, which results in the generation of ultrashort spin waves down to 100-nm wavelengths that cannot be described by classical dispersion relations for linear spin-wave excitation.

The research leading to these results has received funding from the Polish National Science Centre projects No. 2019/35/D/ST3/03729 and UMO-2020/37/B/ST3/03936.

Bibliography

- [1] M. C. Cross and P.C. Hohenberg, *Pattern formation outside of equilibrium*, Rev. Mod. Phys. 65, 851 (1993).
- [2] A. Hubert and R. Schäfer, *Magnetic Domains: The Analysis of Magnetic Microstructures* (Springer, Berlin, 1998).
- [3] N. Träger et al., *Real-space observation of magnon interaction with driven space-time crystals*, Phys. Rev. Lett. 126, 057201 (2021).