



Prizes of the French Academy of Sciences 2015 / Prix de l'Académie des sciences 2015

Foreword



The present issue of the *Comptes Rendus Physique* aims to provide the scientific reader with an opportunity to become acquainted with current scientific trends that have been distinguished by prizes of the French Academy of Sciences.

Leticia Cugliandolo has received the Irène-Joliot–Curie prize for 2015, citing her work on coarsening. What we mean by coarsening is shown schematically in Fig. 1. It occurs when atoms are randomly deposited on a plane surface, for instance by molecular beam epitaxy. Atoms form clusters that grow with the passage of time. The phenomenon takes place in three dimensions too, and is extremely important in the metallurgy of alloys. The number of atoms of each species is then fixed. This satisfies what is called *Kawasaki dynamics*. There are also cases, however, where clusters can grow or decay without any conservation rule. This defines *Glauber dynamics*; an example would be the case where there are two types of domains with different magnetizations. The geometry of Fig. 1, where clusters retain a compact form, is just one example, which has been chosen for its simplicity. In her article, Leticia Cugliandolo describes the geometric properties of various physical systems mimicked by several different models, some of which rely on a Hamiltonian, e.g., the Ising or the Potts model; other models have no Hamiltonian, e.g., the voter model, which simulates a collection of citizens whose opinions change according to those of the people they meet (Fig. 2). A success of the author is to have, in a special case, derived a precise form to what is generally just a “scaling hypothesis” (see formula 20 of her article).

Johann Troles and Laurent Brilland won the Peychès prize 2015 for their work on chalcogenide microstructured optical fibers for mid-IR applications. Most of the kilometers of optical fibers operating since about 30 years are used for long-distance communications, especially between different continents, and are made of silica glass. Optical fibers made of chalcogenide glasses are designed for other tasks, as the authors tell us. They have many applications in areas such as the environment, biology, medicine, industrial processes, defense, and astrophysics. Those fibers have been an innovation for their microstructured design, as well as the material. Their qualities are very different from those of the usual silica fibers. In silica fibers, the resolution of Maxwell's equations leads to a certain number of “guided” modes that propagate without loss along the fiber. There is always a guided mode, and sometimes there is only one, just as in a quantum well there may be a single bound state. These single-mode fibers are the only ones convenient for information transport over long distances. In chalcogenide micro-structured optical fibers, all modes suffer losses. The fiber is single-mode when one of the modes (the fundamental mode) has much lower losses than the other ones.

Jean-Jacques Greffet won the Servant prize. His article is a complete course on classical and modern optics. The modern part (which motivated the attribution of the prize) is devoted to near-field optics, that which takes into account the whole

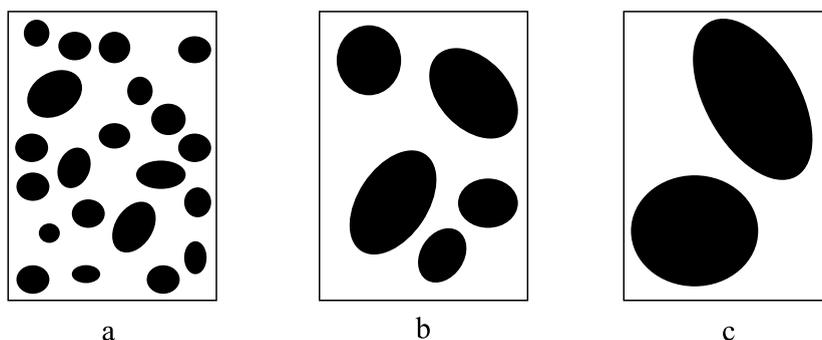


Fig. 1. A coarsening process. The black and white regions represent clusters of atoms of two different types. The length scales of the regions increase with the passage of time.

Fig. 1. Un processus de *coarsening*. Les zones blanches et noires représentent des amas d'atomes de deux espèces différentes. Les dimensions des amas deviennent de plus en plus grandes lorsque le temps s'écoule.

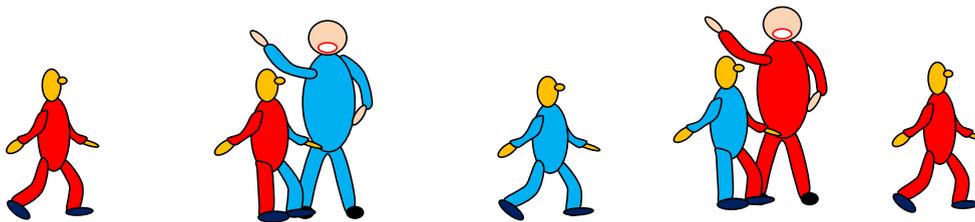


Fig. 2. The voter model. An initially red voter meets a persuasive blue voter and becomes blue until he meets a persuasive red voter.

Fig. 2. Schéma du modèle de l'électeur. L'électeur initialement rouge rencontre un beau parleur bleu et devient bleu jusqu'à ce qu'il rencontre un beau parleur rouge.

radiation of vibrating dipoles, including the parts in $1/r^2$ and $1/r^3$, not only the $1/r$ term. The classical part will be appealing for the non-expert, invited to refresh his knowledge of the historical article by which Kirchhoff, in 1860, introduced the concept of a black body (which absorbs all the light it receives) and proved that its luminance $f(T, \nu)$ is the same for all black bodies at a given temperature T and frequency ν . The determination of $f(T, \nu)$ was, according to Kirchhoff's prophecy, "a problem of the highest importance; and though difficulties stand in the way of our effecting this by experiment, there is nevertheless a well-grounded hope of ultimate success, since the form of this function is no doubt simple, as is the case with all functions hitherto discovered that do not depend on the properties of individual bodies." Forty years later, the function $f(T, \nu)$ was identified by Planck, and this was the foundation of quantum mechanics. While Kirchhoff's statements about the black body are undoubtedly correct, another part of his paper has been the object of controversies which are alluded to in Greffet's paper. Indeed, Kirchhoff claimed that "the ratio of the radiating and absorbing powers of all bodies at the same temperature is the same." This ratio would thus be equal to $f(T, \nu)$ for all bodies. Actually, there are exceptions. As Kirchhoff himself recognized, his theorem does not hold in an applied magnetic field. Neither does it hold for a nonlinear optical material. And if one reads the textbook on statistical physics of Landau and Lifshitz [2], one sees that these authors impose additional restrictions on the generality of Kirchhoff's law. An interesting point of view on this point will be found in Greffet's article.

Jean-Claude Garreau, who received the Leconte prize, explains in his article how the localization of an electron in a metal under the effect of disorder can be "simulated" by a single atom subject to periodic pulses. This analogy is based on a theory of Fishman, Grempl and Prange, which corresponds to Anderson's localization in one dimension. The situation of one spatial dimension is special since, as first pointed out by Mott and Twose in 1961, an arbitrarily weak disorder will localize (almost) all wave-functions. This analogy might be viewed as a fancy idea born from the imagination of a few theorists. However, in section 3.2, the reader becomes aware that this theory has been transformed into beautiful experiments performed in Lille in the last 15 years, which in fact motivated the attribution of the prize to Jean-Claude Garreau. Another surprise occurs in section 3.4, when one learns that the monoatomic simulator is not only able to simulate disorder in one dimension, but also in two or three dimensions (or more if desirable!). For this purpose, it is sufficient to have pulses that are no longer periodic, but superimpose two or three incommensurable periods. However, whatever the number of dimensions or periods, it may look surprising that a mathematical problem with disorder (which implies something like drawing lots) is equivalent to a deterministic quantum problem. Indeed, the author says in his abstract that this disorder is rather a "pseudo-disorder". In fact, it is an effect of quantum chaos. Incidentally, what is quantum chaos? In the first lines of the paper, it is defined as a system whose classical counterpart is chaotic. This definition, which somehow denies autonomy to quantum physics, has worried one of the referees. Perhaps our readers will have a better definition to propose. In any case, they will probably appreciate this article, which mixes well-known facts and new discoveries, not only those of the author and his group.

The winner of the Madeleine Lecoq prize for 2015 does not contribute to the present dossier. Actually she already described her work in a recent issue of our journal [3]. In her article, Cécile Grèzes described a new type of quantum device, which combines an ensemble of electronic spins with long coherence times, and a small-scale superconducting quantum processor. The goal is to store arbitrary qubit states over long times in orthogonal collective modes of the spin ensemble, and to retrieve them on demand.

Avant-propos

Ce numéro des *Comptes rendus Physique* veut offrir au lecteur scientifique cultivé l'occasion de faire connaissance avec les courants actuels dont les progrès récents ont été couronnés par un prix de l'Académie des sciences.

Leticia Cugliandolo a été désignée comme *femme scientifique de l'année 2015* (c'est-à-dire lauréate du prix Irène Joliot-Curie) pour s'être notamment illustrée par ses travaux sur le *coarsening* (que l'on appelle quelquefois en français *mûrissement*). Ce qu'est le *coarsening*, la Fig. 1 en donne une idée. Il s'agit d'objets déposés au hasard sur une surface, par exemple des atomes par épitaxie par jets moléculaires. Ces atomes tendent à se grouper et à former des amas qui deviennent de plus en plus gros. Le phénomène existe aussi en trois dimensions et est très important pour la métallurgie des alliages. Le nombre d'atomes de chaque espèce est alors fixé; c'est ce qu'on appelle la *dynamique de Kawasaki*. Mais il y a aussi des problèmes analogues où les amas peuvent grossir ou décroître sans aucune règle de conservation. C'est la *dynamique de*

Glauber, valable par exemple si les deux types de domaines diffèrent par leur aimantation. La géométrie de la Fig. 1, où les amas gardent une forme compacte, n'est qu'un exemple parmi d'autres, et nous ne l'avons choisi que pour sa simplicité. Leticia Cugliandolo décrit dans son article les propriétés géométriques de différents systèmes simulés par différents modèles théoriques, dont certains reposent sur un hamiltonien, comme le modèle d'Ising ou le modèle de Potts; d'autres n'en ont pas : c'est le cas du « modèle de l'électeur », qui simule une collectivité de citoyens dont les opinions changent au gré de leurs rencontres (Fig. 2). Une des réussites de la lauréate est d'avoir, dans un cas particulier, donné une forme précise et démontrée (c'est la formule 20 de son article) à ce qui n'est habituellement qu'une « hypothèse d'échelle ».

Johann Troles et Laurent Brilland ont reçu le prix Peychès 2015 pour leurs travaux sur les fibres optiques microstructurées en verres de chalcogénures pour l'infrarouge moyen. La plupart des kilomètres de fibres optiques qui ont été mis en service depuis une trentaine d'années assurent des communications à longue distance, notamment intercontinentales, et sont en verre de silice. Les fibres optiques en verres de chalcogénures vont se voir confier d'autres tâches, et ce sont celles-là que nous exposent les auteurs. De très nombreux domaines d'application sont concernés : l'environnement, la biologie, la médecine, les procédés industriels, la défense et sécurité, l'astrophysique. Les fibres dont il est question dans ce numéro ont été une innovation tant par leur architecture microstructurée que par le matériau qui les compose. Leurs qualités sont bien différentes de celles des fibres classiques en silice. Dans ces dernières, la résolution des équations de Maxwell conduit à un certain nombre de modes dits « guidés », qui se propagent sans pertes le long de la fibre. Il y a toujours au moins un mode guidé et, pour un diamètre de cœur suffisamment petit, il y en a un seul (c'est un peu la même chose que pour le nombre d'états confinés dans un puits quantique). Ces fibres monomodes sont seuls appropriées au transport d'information à longue distance. Dans les fibres optiques microstructurées en verres de chalcogénures, tous les modes sont à perte. La fibre est alors monomode, lorsqu'un des modes (le mode fondamental) a beaucoup moins de pertes de confinement que les autres modes.

L'article de Jean-Jacques Greffet, lauréat du prix Servant, est un cours complet d'optique classique et moderne. La partie moderne (qui a motivé l'attribution du prix) est relative à l'optique en champ proche, celle qui tient compte de tout le rayonnement d'un dipôle oscillant, pas seulement la partie proportionnelle à l'inverse $1/r$ de la distance, mais aussi les termes en $1/r^2$ et $1/r^3$. La partie classique éclairera le profane, qu'elle invite à réfléchir à l'article historique [1] où Kirchhoff, en 1860, introduisait le concept de corps noir (un corps qui absorbe toute la lumière qu'il reçoit) et démontrait que sa luminance $f(T, \nu)$ était la même pour tous les corps noirs à température T et fréquence ν données. La détermination de $f(T, \nu)$ était, prophétisait Kirchhoff, « une tâche de la plus grande importance. Sa détermination expérimentale se heurtera à de grandes difficultés ; on peut cependant avoir bon espoir de la déduire de l'observation, car elle est certainement d'une forme simple, comme le sont toutes les fonctions connues jusqu'ici qui ne sont pas reliées à un corps particulier ». C'est quarante ans plus tard que la fonction $f(T, \nu)$ fut déterminée par Planck et inaugura la mécanique quantique. Si l'article de Kirchhoff est indiscutable quant à la partie relative au corps noir, une autre partie est sujette à des discussions, dont Jean-Jacques Greffet se fait l'écho : Kirchhoff affirmait que « le rapport entre le pouvoir émissif » (nous dirions : la luminance) « et le pouvoir absorbant est le même pour tous les corps à la même à la même température ». Ce rapport serait donc égal à la fonction $f(T, \nu)$. Pour tous les corps ? Il y a en fait des exceptions ; comme Kirchhoff lui-même l'admettait, son théorème n'était pas vérifié en présence d'un champ magnétique, et aussi de non-linéarités. Et si l'on consulte le manuel de physique statistique de Landau et Lifshitz [2], on constate que ces auteurs font des réserves supplémentaires sur la généralité de la loi de Kirchhoff. Le lecteur trouvera dans l'article de Jean-Jacques Greffet une abondante matière à réflexion sur ce point.

Jean-Claude Garreau, lauréat du prix Leconte, explique dans son article comment la localisation d'un électron dans un métal sous l'effet du désordre peut être « simulée » par les aventures d'un atome unique soumis à des impulsions périodiques. Cette analogie était à l'origine une théorie de Fishman, Grepel et Prange, relative à la localisation d'Anderson à une dimension. On pourrait y voir une idée saugrenue sortie de l'imagination fertile de théoriciens. Mais une première surprise apparaît au § 3.2, quand on s'aperçoit que cette idée est le thème d'expériences remarquables faites à Lille depuis 15 ans, et qui précisément ont motivé l'attribution du prix Leconte à Jean-Claude Garreau. La deuxième surprise survient au § 3.4 quand on s'aperçoit que le simulateur monoatomique est capable de simuler un désordre, non plus à une, mais à deux dimensions, ou à trois (ou plus si on le souhaite !). Il suffit pour cela que les impulsions ne soient plus périodiques, mais superposent deux ou trois périodes incommensurables. Que le nombre de dimensions ou de périodes soit 1, 2 ou 3, on peut être intrigué par l'équivalence entre un problème mathématique avec désordre (qui implique quelque chose comme des tirages au sort) et un problème quantique déterministe. L'auteur précise prudemment dans son résumé qu'il ne s'agit que d'un « pseudo-désordre ». C'est donc un effet du chaos quantique. À propos, qu'est-ce que le chaos quantique ? L'auteur le définit dans les premières lignes de son article comme un système dont la version classique est chaotique. Cette définition a provoqué l'embarras d'un de nos experts. Peut-être nos lecteurs auront-ils mieux à nous proposer. En tout cas, ils devraient apprécier cet article pédagogique et complet, qui dresse un panorama mêlant des propriétés déjà classiques et des résultats récents, dont certains vont au-delà du travail de l'auteur et de son équipe.

Par ailleurs, la lauréate du prix Madeleine Lecoq 2015 ne figure pas dans le présent dossier, car elle a déjà évoqué son travail dans un précédent numéro de notre revue [3]. Cécile Grèzes y décrivait un nouveau type de dispositif quantique, dans lequel un ensemble de spins électroniques avec des temps de cohérence longs est associé à un processeur quantique supra-conducteur à quelques qubits. Le but est de stocker les états des qubits dans les degrés de liberté collectifs de l'ensemble de spins, et de les récupérer à la demande, bénéficiant ainsi d'une meilleure protection contre la décohérence.

References

- [1] G. Kirchhoff, Ann. Phys. 109 (1860) 275–301, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18601850205/epdf>, translation into English: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14786446008642901?needAccess=true>.
- [2] L. Landau, E. Lifshitz, Statistical Physics, Pergamon Press, 1969, §60. In this textbook, it is claimed that the presence of light scattering, Kirchhoff's law does not hold in its general form. Kirchhoff's law states that the ratio of the luminance in any direction to the absorption power in the same direction is equal to $f(T, \nu)$.
- [3] C. Grèzes, et al., Towards a spin-ensemble quantum memory for superconducting qubits, C. R. Physique 17 (2016) 693–704.

Jacques Villain
Theory Group, ILL, Grenoble, France
E-mail address: villain@ill.fr

Available online 28 November 2016