



# Fondation Francqui-Stichting

Fondation d'Utilité Publique - Stichting van Openbaar Nut

## **Plechtige uitreiking van de Francqui-Prijs door Zijne Majesteit de Koning Albert II in het Paleis der Academiën op 13 juni 2006**

*Curriculum Vitae - Research Activities - Verslag van de Jury - Toespraak*



Pierre Gaspard

### ***Curriculum Vitae***

Pierre Gaspard was born in Brussels, Belgium, the 6th of December 1959. He carried out his high school studies at the « Athénée Fernand Blum » in Schaerbeek. Thereafter, he studied physics at the « Université Libre de Bruxelles » (ULB) from 1978 till 1982 and received his doctoral degree in 1987 under the supervision of Professor Grégoire Nicolis on homoclinic chaos in dissipative dynamical systems.

After a postdoctoral stay of two years at the University of Chicago from 1987 till 1989, he held a research position at the « Fonds National de la Recherche Scientifique » (FNRS Belgium) from 1989 till 2004.

He was appointed Lecturer at the ULB in 1996 and obtained a position of Professor in 2004 within the Department of Physics. Since 2005, he is the director of the « Service de Physique Non-Linéaire et Mécanique Statistique » of ULB. He is teaching in the Departments of Physics, Mathematics, and Chemistry of the Faculty of Sciences of ULB.

He has been invited Professor at the « Université Pierre et Marie Curie, Paris VI » in 1996 and has been visiting the Max-Planck Institute for the Physics of Complex Systems (Dresden, Germany), Cambridge University (United Kingdom), Utrecht University (The Netherlands), the University of Maryland (College Park, USA), Waseda University (Tokyo, Japan), among others.

He received, from the Royal Academy of Sciences, Letters and Arts of Belgium, the Théophile DE DONDER prize of Mathematical Physics in 1988 and the

Adolphe WETREMS prize of mathematical and physical sciences in 1995.

He has been or is member of the editorial boards of the journals :

- Advances in Chemical Physics (J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1995-);
- Chaos (American Institute of Physics, 1999-2005);
- Journal of Statistical Physics (Kluwer Academic Press, 2000-2002);
- Nonlinearity (Institute of Physics & London Mathematical Society, 1998-2003);
- The European Physical Journal D: Atomic, Molecular and Optical Physics (Springer, 2001 - 2003).

He is member of the C3 Commission of Statistical Physics of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) from 2002 till 2008 and associate member of the C16 Commission of Plasma Physics of IUPAP from 2003 till 2006. He has been member of the Committee of the conferences « Dynamics Days Europe » from 1997 till 2005. He is member of the Local Scientific Committee of the International Solvay Institutes of Physics and Chemistry. He has organized or co-organized six international conferences, including the XXth Solvay Conference on Chemistry « Chemical reactions and their control on the femtosecond time scale » in 1995. He has published a monograph entitled « Chaos, scattering and statistical mechanics » by Cambridge University Press and about 150 articles in international journals of physics and chemistry.

His research fields are Nonlinear dynamics, chaos theory, and fractals ; Physics of complex systems, chemical physics, and nanosciences ; Statistical physics and thermodynamics ; Quantum physics.

\* \* \*

### ***Research Activities***

The research field of Pierre Gaspard is nonlinear and statistical physics, which is today one of the most fundamental and active domains of physics at the frontier with the other natural sciences and, in particular, chemistry and biology. Pierre Gaspard and his research group are working in the Interdisciplinary Center for Nonlinear Phenomena and Complex Systems of the Université Libre de Bruxelles. This Center was founded in 1991 by Professor Grégoire Nicolis and coworkers and is devoted to nonlinear science and the modeling of complex systems.

Pierre Gaspard's work has been devoted to the development of theoretical and mathematical methods to bridge the conceptual gap between the equations of motion of physics and the complex phenomena they are supposed to describe such as irreversible processes, oscillations and pulsations, chaotic behaviors, or the generation of fractals, among others. He has contributed to nonlinear dynamics, the theory of chaos and fractals, nonequilibrium statistical mechanics, and quantum mechanics.

One of the major preoccupations of the contemporary society is to perform certain tasks in given times with given energy resources. In this context, it is essential to know the characteristic times of the natural phenomena. This question is important not only at the macroscopic scale of the order of the meter or more, but also at smaller scales where the functional properties of materials such as the electric resistance or the energy dissipated by friction also depend on the characteristic times of the system of interest. For electric resistance or friction, the characteristic times are those of the motion of the particles composing matter. This motion is extremely irregular but in principle ruled by the same Newtonian equations as the motion of planets around the Sun. What is the difference between these motions? The motion of planets is periodic and described by Kepler's ellipses, although the motion of particles in matter is typically chaotic. This chaoticity is also observed in the turbulence of fluids where it limits our ability to make reliable predictions in meteorology for instance. Even the smallest lack of knowledge on the state of a chaotic system at a given time may rapidly be amplified during its latter time evolution. This sensitivity to initial conditions has for consequence that the motion of chaotic systems should be mathematically described in terms of statistics and probability. The contributions of Pierre Gaspard have been to show that this idea can be mathematically developed in order to understand better the properties of chaotic systems.

One of his main results has been to show that irreversible processes such as electric resistance can be understood at the level of the irregular motion of particles in matter with the mathematical tools of the theory of chaos. One of the founding fathers of the theory of chaos is the mathematician Henri Poincaré (1854-1912) who was the first to describe the geometry of chaotic motions. In chaotic systems, the diversity of motions is one of the highest possible. Often, the set of all the possible motions form fractal objects. An example is given in the attached figures which depict a fractal generated by an irreversible process similar to electric resistance. In this example, we could say that the details of the fractal provide a microscopic picture of electric resistance in this particular system. This fractal gives an idea of the complexity of the possible motions of the particles. Beside their geometrical aspects, the chaotic motions can be characterized in terms of probability. In this context, mathematical relationships have been recently established between resistance, chaos, fractal, and probability. Since electric resistance is an irreversible process responsible for energy dissipation and entropy production, these relationships shed a new light on the second law of thermodynamics and are nowadays actively studied worldwide in nonlinear and statistical physics. Applications concern, in particular, the nanosciences where the new results contribute to understand how nanosystems such as molecular motors or proteins can perform their tasks with given energy.

The scale of the nanometer is just above the size of the atoms, which are in principle described with quantum mechanics. In quantum mechanics, the time evolution is ruled by the famous Schroedinger equation instead of Newton's equation of classical mechanics. Both equations can be used to describe the time evolution of natural systems so that the comparison between both descriptions is a fundamental question. In this context, Pierre Gaspard has contributed to develop mathematical methods bridging the gap between

quantum and classical mechanics as well as algorithms for the control of quantum systems. These methods and algorithms have applications to electric resistance in electronic nanodevices, as well as to chemical reactions and their control in femtochemistry.

Pierre Gaspard's research group at ULB is currently developing new theoretical and mathematical methods for the study of dissipative, classical, and quantum dynamical systems and, especially, out-of-equilibrium nanosystems (friction in carbon nanotubes, chemical clocks and reactions at the nanoscale in heterogeneous catalysis and biochemical systems, molecular motors, nucleation of protein crystals and zeolites, mesoscopic electronic circuits and quantum Hall effects).

\* \* \*

### ***Verslag van de Jury (22 april 2006)***

Professor Pierre GASPARD continues a long and excellent Belgian tradition in the field of statistical mechanics.

He has amassed substantial knowledge leading to a growing understanding of chaos theory in order to explain general and fundamental laws in classical and quantum physics. In particular he has developed a new scattering approach in connecting microscopic (and reversible) laws to macroscopic (and irreversible) laws of nature, applicable to every day life.

The subatomic world is governed by quantum (wave) mechanics. Yet various properties display the fingerprints of the underlying classical mechanics. Professor Pierre GASPARD played a fundamental role in explaining these effects, in particular in the context of chaotic scattering and has thereby been able to analyse experiments in the fields of atomic and molecular physics.

For exceptional contributions in uncovering these fundamental aspects of nature, the committee now proposes Professor Pierre GASPARD for the award of the Francqui Prize 2006.

de internationale jury waartoe behoren :

**Professor Stanislas Penczek**

Centre of Molecular and Macromolecular Studies  
Polish Academy of Science  
Lodz  
Poland

*Voorzitter*

en verder

**Professor Dr. Juha Aystö**

Department of Physics  
University of Jyväskylä  
Finland

**Professor Joergen Christensen-Dalsgaard**

Department of Physics and Astronomy  
University of Aarhus  
Denmark

**Professor Avelino Corma Canos**

Instituto de Tecnologia Quimica  
Valencia  
Spain

**Professor Dr. Kenneth Dawson**

Chemistry Department  
University College Dublin  
Ireland

**Professor Ernest Freeman**

Professor Emeritus Imperial College  
«Mizpah » - The Chapel  
Brecon - United Kingdom

**Professor Dr. Peter Hall**

Centre for Mathematics and its Applications  
Mathematical Sciences  
Institute Australian National University  
Canberra - Australia

**Professor E. John Hinch**

Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics  
University of Cambridge  
United Kingdom

**Professor Cecilia Jarlskog**

Fysika Institutionen  
Lund University  
Sweden

**Professor Sir Peter Knights**

Principal of the Faculty of Natural Sciences  
Imperial College  
London - United Kingdom

**Professor Em. Dr. Jon McCleverty**

Emeritus Professor of Chemistry  
School of Chemistry - University of Bristol  
United Kingdom

**Professor Raffaele Resta**

Dipartimento di Fisica Teorica  
Universita di Trieste  
Italy

**Professor David Rogers**

Professor of Ecology  
Department of Zoology  
Oxford University  
United Kingdom

**Professor Karl Barry Sharpless**

Department of Chemistry  
The Scripps Research Institute  
La Jolla - U.S.A

**Professor Uzy Smilansky**

W. Gentner Professor of Physics  
Department of Physics of Complex Systems

Weizmann Institute of Science  
Rehovot - Israel

**Professor Michael J. Todd**

Leon C. Welch Professor of Engineering  
School of Operations Research and Industrial Engineering  
Cornell University  
Ithaca - U.S.A

**Professor A.G.J. Voragen**

Biotechnion  
Wageningen - The Netherlands

\* \* \*

**Toespraak van Professor Pierre Gaspard**

Sire,

Het feit dat ik de 2006 Francqui-Prijs uit Uw handen mag ontvangen is een zeer grote eer voor mij. Dit is een blijk van steun van Zijne Majesteit voor het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek in België en vormt dan ook een grote aanmoediging voor alle vrouwen en mannen die door het wetenschappelijk onderzoek bijdragen aan het onderwijs, onze welvaart en het welzijn van éénieder. In naam van de Belgische wetenschappelijke gemeenschap dank ik U dan ook van ganser harte.

Sire,

C'est un immense honneur que me fait Votre Majesté en me remettant le Prix Francqui 2006 en Sciences Exactes. Votre Majesté témoigne ainsi de Son soutien essentiel à la recherche fondamentale dans notre pays et apporte Son encouragement à toutes les femmes et tous les hommes qui oeuvrent par la recherche scientifique à l'éducation, à la prospérité et au bien-être de tous. Je Vous en remercie au nom de l'ensemble de la communauté scientifique de notre pays.

Sire, Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs,

C'est avec beaucoup d'émotion, de fierté et de joie que je m'adresse à vous aujourd'hui. Je ne sais comment exprimer ma profonde gratitude à la Fondation Francqui pour l'honneur et le privilège qu'elle me fait en me décernant ce prix prestigieux. Je loue ici les nobles buts de la Fondation Francqui de stimuler l'épanouissement de la recherche fondamentale non-ciblée et de promouvoir le développement du haut enseignement et de la recherche scientifique en Belgique. Je loue aussi la valeur des femmes et des hommes qui comme Emile Francqui ont compris que la science et les connaissances qu'elle prodigue peuvent former le meilleur rempart contre la misère. La science est une activité internationale depuis l'antiquité. Aujourd'hui, ses principaux centres sont répartis sur le globe entier et nombreux sont les pays qui ont compris que la science est un extraordinaire moyen de promotion pour leur peuple. Je rends hommage à Emile Francqui d'avoir compris ceci en oeuvrant à la création du Fonds National pour la Recherche Scientifique en 1928 et de la Fondation Francqui en 1932. J'exprime ma profonde gratitude aux membres de

la Fondation Francqui d'avoir perpétué cette oeuvre jusqu'à nos jours.

A l'heure où je reçois cette reconnaissance exceptionnelle, je souhaiterais qu'elle rejaillisse sur tous mes collègues et amis sans lesquels je ne serais pas ici devant vous aujourd'hui.

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde tristesse causée par le décès récent du Professeur Radu Balescu de l'Université Libre de Bruxelles qui aurait dû être parmi nous aujourd'hui. Le Professeur Radu Balescu (Prix Francqui 1970) m'enseigne la mécanique statistique lors de mes études de physique à l'ULB. Le Professeur Radu Balescu est célèbre pour ses travaux sur la mécanique statistique de non-équilibre et ses enseignements exercent une influence durable sur mes propres travaux qui s'inscrivent ainsi dans une longue tradition belge remontant à feu les Professeurs Ilya Prigogine (Prix Francqui 1955) et Léon Van Hove (Prix Francqui 1958).

La récompense prestigieuse que j'ai l'honneur et le privilège de recevoir est pour moi un signe très fort de l'importance croissante de la physique statistique et de la science du non-linéaire pour comprendre et éventuellement contrôler la complexité des systèmes naturels. J'ai la chance et le bonheur de travailler au Centre Interdisciplinaire des Phénomènes Non-Linéaires et des Systèmes Complexes qui fut créé à l'ULB par le Professeur Grégoire Nicolis et ses collaborateurs en 1991 et où j'ai trouvé la richesse intellectuelle et l'épanouissement nécessaire à mes travaux scientifiques. Le domaine de la science du non-linéaire et des systèmes complexes est né de l'observation que des phénomènes admettant des descriptions mathématiques similaires se retrouvent dans les différentes sciences naturelles comme la physique, la chimie, la biologie ou les sciences de la terre. J'ai toujours été fasciné et séduit par cette vision transversale à travers les sciences naturelles car elle permet de construire des ponts et de transférer les connaissances entre les disciplines. Je voudrais rendre hommage au Professeur Grégoire Nicolis pour son oeuvre scientifique où cette vision est développée mieux qu'ailleurs et le remercier du fond du coeur pour tout ce qu'il a apporté et continue d'apporter à des générations successives de jeunes scientifiques.

Le Professeur Grégoire Nicolis a joué un rôle déterminant dans ma carrière depuis ses enseignements sur les phénomènes non-linéaires lors de mes études de physique à l'ULB vers 1980. A l'époque, la théorie du chaos connaît des développements considérables et des comportements chaotiques sont découverts dans toutes les sciences naturelles et, en particulier, dans les écoulements de fluides visqueux et dans les réactions chimiques autocatalytiques. La nouveauté et l'importance du sujet me convainquent de commencer mon mémoire de licence sous la direction du Professeur Grégoire Nicolis. Ma thèse de doctorat s'enchaîne sur le même sujet.

Après un postdoctorat aux Etats-Unis, je rejoins en 1989 l'équipe du Professeur Grégoire Nicolis pour continuer l'étude des systèmes dynamiques non-linéaires et des conséquences de la théorie du chaos notamment dans les systèmes microscopiques de la mécanique statistique de non-équilibre et de la mécanique quantique.

Ma carrière a connu un développement considérable grâce au postdoctorat de

deux ans de 1987 à 1989 que j'ai effectué chez le Professeur Stuart Rice à l'Université de Chicago. Je dois au Professeur Stuart Rice de m'avoir initié à la théorie microscopique et aux principes du contrôle laser des réactions chimiques, et d'avoir pu approfondir la question des liens entre systèmes dynamiques chaotiques et mécanique quantique.

Mon retour en Belgique a été rendu possible en 1989 grâce au Fonds National de la Recherche Scientifique (FNRS) qui a assuré le financement de mes recherches depuis le début de ma thèse de doctorat. Le FNRS joue un rôle vital pour une recherche fondamentale de qualité dans notre pays en permettant aux scientifiques de se consacrer pleinement à leurs recherches et de nouer des collaborations internationales de haut niveau. C'est grâce au FNRS que j'ai pu avoir des échanges scientifiques fructueux notamment avec le Professeur Predrag Cvitanovic quand il était à l'Institut Niels Bohr de Copenhague, le Professeur Uzi Smilansky de l'Institut Weizmann (Israël), le Professeur Bob Dorfman de l'Université du Maryland (Etats-Unis), le Professeur Katsuhiko Nakamura de l'Université d'Osaka (Japon), et le Professeur Shuichi Tasaki de l'Université de Waseda à Tokyo (Japon). Il faut remercier le FNRS de permettre à nos scientifiques de participer et de contribuer à l'aventure internationale de la recherche scientifique.

J'ai aussi la chance de travailler dans une Université qui a toujours placé la recherche fondamentale parmi ses priorités et offert une liberté de pensée sans pareille. Ces valeurs font de l'Université un lieu exceptionnel dans nos sociétés en permettant des échanges de connaissances et d'idées extrêmement fructueux entre les générations, ce qui d'une part pousse à se remettre sans cesse en question et d'autre part procure un dynamisme unique pour l'enseignement. Je souhaite exprimer ici ma profonde gratitude à mon Université.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à mes collègues belges travaillant comme moi en mécanique statistique et sur le non-linéaire et, en particulier, au Professeur Jean Bricmont de l'Université Catholique de Louvain pour son soutien constant.

Je voudrais également associer à mes remerciements mes co-auteurs pour le plaisir de travailler ensemble et de partager des idées et des résultats, ainsi que mes collègues du Service de Physique Non-Linéaires et Mécanique Statistique et du Centre Interdisciplinaire des Phénomènes Non-Linéaires et des Systèmes Complexes qui par leur qualité et leur valeur m'ont toujours apporté cette émulation intellectuelle sans laquelle l'esprit s'endort. Enfin, je profite de leur présence pour exprimer toute ma gratitude à mes parents et à mon épouse.

La matière a une remarquable tendance à se complexifier et à engendrer non seulement des structures ordonnées ou hiérarchisées mais encore des mouvements très variés depuis l'orbite périodique d'une planète autour du Soleil, jusqu'au mouvement brownien d'un grain de pollen soumis à des collisions incessantes avec les molécules de l'eau dans laquelle il est immergé.

Mon travail scientifique a principalement porté sur l'étude des mouvements aléatoires appelés mouvements chaotiques, qui sont étudiés en science du non-linéaire. Les mouvements chaotiques sont non périodiques mais moins

irréguliers que le mouvement brownien que décrivent Einstein et d'autres au début du XXe siècle. Ces mouvements chaotiques sont observés notamment dans les fluides turbulents et leur existence constitue une limite fondamentale pour la prévision des mouvements atmosphériques en météorologie. La théorie du chaos montre en particulier que la prévision météorologique est limitée à un intervalle de temps de l'ordre de 2 à 3 jours pour la Belgique. Au-delà de ce délai, il est nécessaire d'établir une description statistique en termes de probabilités.

Cependant, le problème de la prévision et l'introduction du concept de probabilité sont d'une portée plus générale et concernent de nombreux systèmes naturels non seulement dans le monde macroscopique qui nous entoure, mais aussi dans le monde microscopique des atomes et des molécules. Ainsi, grâce aux outils mathématiques de la théorie du chaos, nous avons découvert des relations nouvelles entre le caractère aléatoire des mouvements microscopiques des atomes et des molécules, et des propriétés irréversibles comme la résistance électrique ou la viscosité d'un fluide, propriétés qui sont responsables de la dissipation d'énergie et qui sont étudiées en physique statistique. La théorie du chaos est importante car elle permet d'appréhender de façon mathématique et donc quantitative des concepts qui restent d'habitude assez vagues ou intuitifs comme l'aléatoire, le désordre, mais également l'ordre qui peut apparaître parmi le désordre dans les systèmes mentionnés ici.

Récemment, nous avons réussi à montrer que tout système qui s'écarte un tant soit peu de son état d'équilibre thermodynamique brise la symétrie sous renversement du temps et présente un ordre temporel comme corollaire de la seconde loi de la thermodynamique. Ces résultats ont des applications dans les nanosciences pour comprendre les propriétés de conduction électrique et de dissipation d'énergie dans des systèmes miniaturisés jusqu'à la taille des molécules. Ils permettent aussi d'entrevoir les raisons fondamentales de la complexification de la matière et les origines physico-chimiques de l'information biologique.

Sire,

On prête au mathématicien Henri Poincaré la phrase disant qu'il n'y a rien de plus pratique qu'une bonne théorie. En effet, la recherche fondamentale a souvent abouti à des résultats d'une grande utilité pratique. La recherche fondamentale est une activité parmi les plus nobles par sa quête sans condition de la vérité scientifique. Elle est aussi un pari gagnant sur l'avenir, notre avenir. Elle relève les défis qui se posent à l'intelligence humaine et ouvre des voies possibles pour l'innovation technologique. Je voudrais conclure en interprétant ce Prix Francqui qui m'est généreusement accordé aujourd'hui comme un gage d'avenir et un encouragement pour la recherche scientifique fondamentale dans notre pays. Je Vous remercie au nom de tous.

Sire,

Men ontleent van de wiskundige Henri Poincaré het gezegde dat niets praktischer is dan een goede theorie. Inderdaad, fundamenteel onderzoek leidt dikwijls tot resultaten die van groot praktisch belang zijn. Door haar

onafgebroken zoektocht naar de onvoorwaardelijke wetenschappelijke waarheid is fundamenteel onderzoek één van de edelste menselijke activiteiten. Fundamenteel onderzoek is ook een gewonnen weddenschap op de toekomst, onze toekomst. Ze neemt de uitdagingen gesteld aan de menselijke intelligentie aan en opent nieuwe wegen naar technologische innovatie. Ik zou willen afsluiten door de Francqui Prijs die mij vandaag gul toegekend wordt te interpreteren als een borg voor de toekomst en een aanmoediging voor het wetenschappelijk onderzoek in ons land. Ik dank U in naam van allen.

\* \* \*