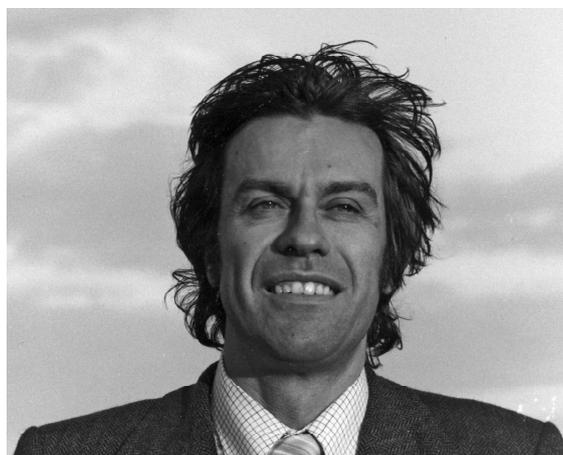

PIERRE-GILLES DE GENNES : L'HOMME ET SON HÉRITAGE SCIENTIFIQUE

Les 23 et 24 novembre 2021 a été organisé à Paris un colloque intitulé : « L'héritage de Pierre-Gilles de Gennes : une source d'inspiration pour l'avenir ». Trente ans après son prix Nobel, quatorze ans après sa disparition (à 74 ans), voici le témoignage que nous propose David Andelman¹, l'un de ses proches collaborateurs présents à ce colloque.

É. Guyon, l'un de ses « mousquetaires »

Pierre Gilles de Gennes, que ses proches appelaient aussi PGG, est resté une source d'inspiration même pour la jeune génération de scientifiques qui ne l'ont pas connu personnellement. Qui était ce scientifique français extrêmement atypique et original ? Et pourquoi son approche scientifique et ses contributions ont-elles eu un impact aussi fort sur la science pendant plus de soixante ans ?



Sa vie

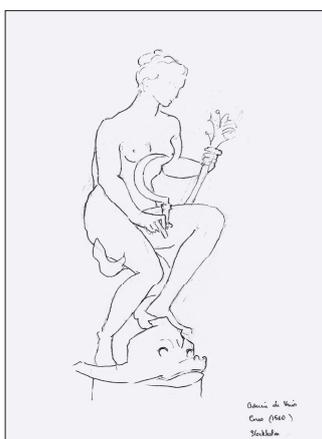
PGG, comme nous l'appellerons aussi ici, est né à Paris en 1932 et a été éduqué à la maison par sa mère jusqu'à l'âge de 12 ans. Après deux années de classe préparatoire au lycée Saint-Louis, il intègre l'École normale supérieure (1951 s) par le concours option sciences naturelles (où la part d'observation et d'analyse est importante). Après un doctorat au CEA (Saclay, en 1957) sur la diffusion des neutrons et le magnétisme,



il part durant trois années au service militaire dans le Sahara pour suivre les essais nucléaires. Il fait un séjour postdoctoral à l'Université de Californie à Berkeley, puis rejoint, en 1961, l'Université de Paris à Orsay où il crée le « groupe d'Orsay sur la supra-conductivité » et quelques années plus tard le « groupe sur les cristaux liquides ». En 1971, il devient professeur de physique de la matière condensée au Collège de France et, en parallèle, directeur de l'ESPCI. Il y restera jusqu'à sa retraite en 2002. Enfin il ira à l'Institut Curie pour travailler sur l'adhésion cellulaire et les neurosciences.

Ses méthodes de travail

Pour tous ceux qui ont connu PGG après son entrée à l'ENS, il est clair que sa vision et sa profondeur de pensée étaient extraordinaires. Son travail scientifique extrêmement productif a été distingué par de nombreux prix, récompenses, doctorats honorifiques et il a été élu membre d'académies scientifiques du monde entier. Une liste partielle de ses honneurs comprend la médaille Matteucci de l'Académie italienne, le Prix Harvey (Israël), la médaille Lorentz de l'Académie néerlandaise, la médaille d'or du CNRS, le prix Ampère de l'Académie des sciences, le prix Wolf (1990) et le prix Nobel (1991). Ce prix Nobel attribué à un seul nominé lui a été décerné « pour avoir découvert que les méthodes développées pour étudier les phénomènes d'ordre dans des systèmes simples peuvent être généralisées à des formes plus complexes de la matière, en particulier aux cristaux liquides et aux polymères ». Ce prix lui a fourni l'occasion de partager son savoir avec le grand public et les lycéens en visitant plus de deux cents lycées pour y faire des conférences suivies de débats passionnés. Ce qui caractérise PGG, c'était son goût du partage, de la transmission des idées et du savoir. Excellent dessinateur, il faisait comprendre ses idées scientifiques par des croquis d'une grande simplicité qui en donnaient cependant la signification profonde. Par rapport à la « Big Science » il valorisait l'expérience du coin de table et était avant tout à l'écoute de ceux qui venaient pour l'entendre.





Son œuvre

Au cours de sa longue carrière, PGG a apporté des contributions fondamentales dans de nombreux domaines de la physique de la matière condensée complexe et mal organisée tout comme, plus tard, aux systèmes chimiques et biologiques.

Ses premières contributions concernaient le magnétisme : il a montré comment la diffusion des neutrons est liée aux transitions de phase magnétiques et de « double échange » dans les matériaux de terres rares, qui sont un type spécial de matériaux magnétiques. Dans les années 1960, sous le parrainage de PGG, le « groupe d'Orsay sur la supraconductivité » associe la théorie microscopique des Américains Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS), qui reçoivent le prix Nobel de physique en 1972, à l'approche phénoménologique du célèbre physicien russe, Lev Davidovich Landau, dans des géométries compliquées, en mettant en place une équipe expérimentale de quatre chercheurs qu'il appellera ses « mousquetaires ». Il obtiendra des prédictions et des résultats expérimentaux très originaux sur le comportement des supraconducteurs aux surfaces et aux interfaces avec d'autres matériaux, résultats qui seront exploités pour la découverte d'une nouvelle classe de supraconducteurs utilisés actuellement. L'ouvrage de Pierre-Gilles de Gennes de 1966, intitulé *Supraconductivité des métaux et alliages*, est encore aujourd'hui une référence.

Les travaux sur les cristaux liquides commencent à la fin des années 1960 à Orsay et ont aussi fait l'objet d'un ouvrage de référence. Certaines de ces recherches, comme la transition entre les phases nématiques et smectiques des cristaux liquides, s'appuient sur l'analogie de la transition de phase entre les métaux et les supraconducteurs. Ici, PGG a commencé à utiliser sa célèbre méthode d'analyse des phénomènes physiques par des « lois d'échelle » (2005), qui mettent l'accent sur le comportement universel plutôt que sur des détails spécifiques. Son approche est ensuite appliquée à une multitude de géométries confinées, de transitions de phase, de défauts et de perturbations externes. Son livre intitulé *La Physique des cristaux liquides* (1974 ; deuxième édition, avec J. Prost, en 1994) résume ses vues sur ces systèmes.

Un autre changement clé dans ses intérêts se produit au début des années 1970 lorsque PGG commence à étudier des molécules longues et flexibles (des spaghettis emmêlés) appelées *polymères* (et qui sont les éléments constitutifs des matières plastiques ainsi que des protéines biologiques et des hydrocarbures). Son travail marquant de 1972 met en évidence la correspondance exacte d'un polymère physique (marche au hasard auto-évitante) avec un système de spins magnétiques dans une limite complètement imaginaire appelée le « théorème $n=0$ » (pour zéro dimension !). Ce travail s'inspire de l'approche du groupe de renormalisation de K. Wilson pour les transitions de phase et les phénomènes critiques (prix Nobel 1982). Son livre de 1979 sur des effets d'échelle intitulé *Scaling Concepts in Polymer Physics* résumait ses vues



sur les comportements de chaîne unique ainsi que sur les polymères dans différentes solutions, l'invention des « blobs » de polymères et l'autosimilarité (comportement fractal) des chaînes aux surfaces. La dynamique déroutante des chaînes enchevêtrées est modélisée par un modèle de « reptation dans un tube ». Le travail de PGG avait ici une forte proximité avec celui du célèbre scientifique britannique, Sir Sam Edwards. Ils n'ont jamais travaillé ensemble mais avaient un grand respect mutuel et étaient en contact étroit.

Pierre-Gilles de Gennes a apporté des contributions fondamentales dans d'autres domaines des matériaux désordonnés et complexes. Son article de 1984 sur « Le mouillage : statique et dynamique » est très cité aujourd'hui encore et a été suivi par la publication d'un livre intitulé *Capillarité et phénomènes de mouillage* (2005 ; en collaboration avec F. Brochard-Wyart et D. Quéré). Il a également travaillé sur les microémulsions (mélanges stables d'huile, d'eau et de tensioactifs), sur l'adhésion biocellulaire et, plus tard, sur la neurobiologie.

Une conclusion

Voici quelques phrases que Pierre-Gilles de Gennes a prononcées en diverses occasions pour tenter d'expliquer son approche scientifique singulière² :

« Le vrai point d'honneur d'un scientifique n'est pas d'avoir toujours raison. C'est oser proposer de nouvelles idées, et ensuite les vérifier. »

À propos de la fusion thermonucléaire, il écrit : « Nous disons que nous ferons entrer le Soleil dans une boîte. L'idée est jolie. Le problème, c'est qu'on ne sait pas comment faire la boîte. »

Lors du banquet du prix Nobel en 1991, il déclare publiquement : « C'est la première et probablement la dernière fois de ma vie où je vais dîner avec des reines et des princesses. Je suis inquiet. Je soupçonne qu'avec les carillons de minuit, je serai transformé en citrouille... »

Et dans la Bibliothèque imaginaire du Collège de France, il écrit : « La mélancolie de nos sciences, c'est la difficulté de transmettre. Trois lignes de Picasso, une phrase de Vinteuil suffisent pour nous émouvoir, mais il faut de longues années pour sentir la beauté d'une nouvelle idée en physique. »

Lorsque nous essayons de comprendre pourquoi il était si influent, nous sommes confrontés à un paradoxe. Son style scientifique était unique. C'était extrêmement attrayant pour les autres mais impossible à reproduire. Sa grande originalité scientifique était son immense curiosité pour tout phénomène nouveau et pour les résultats expérimentaux. Ses puissantes compétences techniques étaient souvent dissimulées derrière un raisonnement physique intuitif. Il maîtrisait de nombreux domaines de la physique et utilisait librement des analogies abstraites entre ce qui semblait être



des systèmes très différents. Par exemple, il avait recours à l'analogie entre la supraconductivité et les cristaux liquides pour expliquer la transition de phase nématique à smectique, ou à celle entre une chaîne polymère et un système de spins magnétiques. Ces analogies (tout comme l'indique sa citation au prix Nobel) lui ont permis de donner naissance à une nouvelle vision sur des systèmes physiques inexplorés et complexes tels que les cristaux liquides, les polymères, les colloïdes, la matière granulaire et les phénomènes de mouillage et d'interface.

Dans le choix des phénomènes qu'il a étudiés, PGG a toujours mis l'accent sur une approche holistique, où la nouvelle compréhension est fondée sur la synergie entre théorie et expériences, entre recherche fondamentale et recherche appliquée, et sur les avantages d'échanger des idées et des concepts entre disciplines scientifiques différentes : physique, chimie, biologie et ingénierie. Sur un plan plus personnel, son charisme, son enthousiasme et sa persévérance ainsi que le respect qu'il a montré envers les autres scientifiques établis et même les étudiants étaient très appréciés, ce qui a beaucoup contribué à son leadership et à son héritage.

Je terminerai sur une note plus personnelle. Après l'obtention de mon doctorat au MIT en 1984, j'ai été post-doctorant pendant deux ans dans le laboratoire de PGG au Collège de France. Ces deux années ont eu un énorme impact sur ma carrière scientifique. L'atmosphère du laboratoire était très différente de celle à laquelle j'avais été habitué au MIT. Fortement inspiré par son style personnel, il y a eu de nombreuses collaborations avec différents groupes. J'ai été témoin de sa façon incroyable de résoudre des problèmes complexes ou de comprendre de nouveaux résultats expérimentaux. Il déconstruisait le problème, puis le reconstruisait à partir de ses éléments essentiels, en faisant abstraction des détails sans importance.

Au décès de PGG, en 2007, de nombreuses nécrologies et articles sont parus dans la presse. Je conclurai en citant simplement les mots d'une physicienne indienne, Anita Mehta, publiée dans *The Hindu* le 31 mars 2007 : « Pierre-Gilles de Gennes, le physicien lauréat du prix Nobel, pratique la science comme beaucoup pratiquent l'art. »

David Andelman

Notes

1. David Andelman est professeur de physique statistique et de biophysique à l'Université de Tel Aviv. Après son doctorat au MIT (Cambridge, États-Unis) en 1984, il a passé deux ans dans le laboratoire de Pierre-Gilles de Gennes au Collège de France. Il s'intéresse à la matière molle et désordonnée telles que les polymères, les biomembranes et les liquides ioniques.
2. On trouvera un ensemble de textes de références dans l'ouvrage de F. Brochard, M. Veysie et D. Quéré, *L'Extraordinaire Pierre-Gilles de Gennes*, paru chez Odile Jacob en 2017.