

Physique de la matière condensée

M. Pierre-Gilles DE GENNES, professeur

Le cours fait pendant l'année 1971-1972 avait pour titre « Symétries brisées et transitions de phase ». Le point de départ était le phénomène de rupture de symétrie : pourquoi et comment un système initialement symétrique peut évoluer spontanément vers des configurations à symétrie plus réduites — pourquoi par exemple un plateau calcaire initialement plat, développe progressivement, sous l'action de l'érosion, un relief de canyons et de mesas tel que nous l'observons dans les Causses. On a donc commencé par analyser quelques exemples de ces instabilités remarquables, pris dans des domaines très variés : établissement des courants de convection dans une atmosphère chauffée par le bas (instabilité de Benard), rupture de la symétrie droite gauche pour la matière vivante (modèle de Franck), effets électrohydrodynamiques dans les cristaux liquides, etc. Puis, dans une deuxième étape, les diverses transitions de phase impliquant un changement de symétrie ont été comparées : les ferromagnétiques, les superfluides et les cristaux liquides ont été les principaux exemples choisis. Ces derniers nous offrent des séquences particulièrement remarquables, où l'on va progressivement du désordre caractéristique d'un fluide usuel à l'ordre 3- dimensionnel complet d'un cristal. Cette présentation « en parallèle » de situations apparemment très différentes a fait découvrir des analogies insoupçonnées : ainsi le type d'ordre trouvé dans certains cristaux liquides smectiques a une parenté géométrique très profonde avec l'ordre réalisé dans les supraconducteurs. Les objets en cause sont très différents (de nature quantique pour les superfluides, et de nature purement classique pour les smectiques) mais la correspondance est remarquable : elle a fait prévoir toute une série de phénomènes nouveaux à la transition smectique nématique, — dont certains ont été effectivement observés dans les tous derniers mois.

La suite du cours a été consacrée aux phénomènes critiques, c'est-à-dire aux situations où le système hésite entre deux phases distinctes, l'une ordonnée, l'autre désordonnée. La nature des corrélations dans ce domaine a résisté pendant très longtemps à tous les assauts théoriques. Les lois phéno-

ménologiques (dites « lois d'échelle ») ont été décrites dans le cours. Jusqu'à la fin de 1971, ces lois restaient rebelles à toute analyse théorique fondamentale. Mais la fortune a voulu que, précisément cette année, un progrès majeur soit réalisé dans le domaine par K. G. Wilson. Les idées et les méthodes diagrammatiques spécifiques de Wilson ont donc été exposées. Puis, débordant le problème des transitions de phase, on a montré comment elles pouvaient se transposer à des questions tout à fait différentes ; en particulier, le vieux problème des « marches aléatoires sans intersection » (qui joue un rôle important en physique des polymères) a été clarifié, et les exposants anormaux qui le caractérisent ont été calculés.

Au total, et comme on pouvait s'y attendre, le thème très vaste des symétries brisées et des transitions de phase n'a été que très partiellement exploré. Mais il a permis de réunir des chercheurs issus de disciplines très différentes, de les initier à certains concepts tous récents, et de suggérer quelques expériences.

En parallèle avec le cours, on a d'ailleurs créé un séminaire de chimie physique, d'orientation voisine, mais un peu plus axé sur l'aspect expérimental avec les conférences suivantes :

SÉMINAIRE

H. KAGAN (Orsay), « Synthèse asymétrique » (12 novembre 1971).

P. BERGE (C.E.N., Saclay), « Fluctuations dans les fluides » (19 novembre 1971).

C. GARY-BOBO (Collège de France), « Problèmes de transport passif dans les membranes » (26 novembre 1971).

D. LISTER (Orsay), « Static scaling laws and equations of state near the critical points » (3 décembre 1971).

G. SPACH (C.N.R.S., Orléans), « Les polypeptides de synthèse en tant que molécules modèles » (10 décembre 1971).

J. MESSIER (C.E.N., Saclay), « Etude et propriétés des couches monomoléculaires organiques déposées sur des supports solides » (17 décembre 1971).

E. GUYON (Orsay), « Expériences thermiques dans les cristaux liquides en champ magnétique » (21 janvier 1972).

W. H. de JEU (Philips Research Laboratories - Eindhoven), « Nematic liquid crystals in magnetic and electric fields » (28 janvier 1972).

A. RASSAT (C.E.N., Grenoble), « Marquage de spin » (4 février 1972).

F. RONDELEZ (Orsay, LEP), « Effet de champ magnétique sur les cholestériques » (11 février 1972).

G. BRIÈRE (Université Sc. et médicale de Grenoble), « Transport électrique dans les liquides isotropes et nématiques » (18 février 1972).

H. GASPAROUX et J. PROST (Bordeaux), « Effets de champs magnétiques variables sur les cristaux liquides » (24 février 1972).

P. MARTIN (Harvard-Orsay), « Hydrodynamics of liquid crystals » (10 mars 1972).

N. C. FORD (Physical Biochemistry Laboratory - Oxford), « Large scale harvesting of solar energy » (17 mars 1972).

J. JACQUES (Collège de France), « Problèmes autour des mélanges d'antipodes optiques » (5 mai 1972).

J. W. DOANE (Kent state University, et Institut J. Stefan, Ljubljana, Yougoslavie), « Nuclear magnetic resonance experiments in the smectic phases » (19 mai 1972).

TRAVAUX DU LABORATOIRE

Le laboratoire actuel est uniquement constitué de chercheurs issus de l'ancien laboratoire de Physique théorique, animé par M. Jean LAVAL. Parmi ces chercheurs, ceux qui se consacraient aux cristaux liquides maintiennent leur orientation. Les expérimentateurs des rayons X, eux, accomplissent actuellement un courageux effort de reconversion. Enfin, le groupe de microscopie électronique est hébergé à titre temporaire.

I - Recherches théoriques (P. G. de Gennes)

a) La possibilité d'état nématique à 2 dimensions, dans des films monomoléculaires a été analysée. Certains travaux récents de l'école de Halle suggèrent que le phénomène existe vraiment. Il est également possible que le quasi-ordre correspondant joue un rôle important dans la structure des lipides.

b) Un modèle a été proposé, en collaboration avec G. Sarma, pour comprendre la structure de la (mystérieuse) phase smectique B.

c) On a montré l'analogie qui existe entre smectiques A et superfluides, et interprété certains effets prétransitionnels (en phase nématique) observés par Gruler. On a aussi exploité des analogies superfluides pour prévoir les exposants critiques de la transition smectique C \leftrightarrow smectique A.

d) Une méthode de dépouillement des expériences de diffusion X sur les nématiques a été imaginée.

e) Le problème du « volume exclu » pour une chaîne polymérique a été résolu par la méthode diagrammatique de Wilson : on a montré que ce problème est isomorphe à celui d'un système magnétique, pour lequel le nombre de dimensions de l'espace spin serait égal à zéro.

II - *Expériences sur les stases anisotropes*

Le groupe animé par le professeur J. Billard s'est scindé en deux sections, dont l'une est fixée à Lille, l'autre restant au Collège de France. Ce groupe poursuit ses travaux sur la propagation des ondes électromagnétiques dans les phases cristallines et mésomorphes, et sur quelques propriétés physiques des mésomorphes.

a) *Physique des mésomorphes*

En collaboration avec le Laboratoire de Chimie organique des hormones du Collège de France, l'étude des tolanes est poursuivie. Des corps mésomorphes sont recherchés dans des séries chimiques nouvelles : dérivés du stilbène, de l'estradiol, de l'androstane, de l'androstène, du prégnène, du prégnane, et de l'hexahydrochrysène.

M. W. Urbach étudie les relations d'isomorphie de diverses phases smectiques de type B.

En collaboration avec M. le Professeur A. Blumstein du Lowell technological Institute (Massachussets), invité actuellement au laboratoire, des diagrammes de phases de mélanges de monomères et de solvants mésomorphes sont établis pour définir des conditions optimales de polymérisation dans une phase organisée.

En collaboration avec le Laboratoire de Spectroscopie Raman de l'Université des Sciences et Techniques de Lille, l'étude des spectres Raman de basses fréquences des phases cristalline, nématique et liquide du (p. méthoxy) benzylidène (p. n. butyl) aniline a été effectuée. Des effets prétransitionnels ont été observés avant la transition cristal-nématique. Une étude analogue sur un tolane qui possède deux phases smectiques en plus d'une phase nématique est en cours.

Une méthode de micro-diagnostic rapide du sens de torsion des phases mésomorphes torsées a été mise au point. La torsion a été recherchée, jusqu'ici en vain, dans les phases smectiques des types B, D et E.

La règle des phases de Gibbs et le théorème de Duhem ont été généralisés pour les systèmes qui comportent un nombre quelconque de couples de phases énantiomorphes.

b) *Propagation des ondes électromagnétiques*

Ces études portent sur la propagation des ondes planes et uniformes homogènes ou hétérogènes.

a) *Ondes homogènes*

L'étude des piles torsées de lames biréfringentes est poursuivie. Une pile de deux lames peut constituer un monochromateur très sélectif. Dans des piles hélicoïdales à nombre de lames infini il existe quatre répartitions de champ itératives. Elles peuvent être soit toutes d'amplitudes constantes, soit deux d'entre elles sont d'amplitudes et de phases croissantes et les deux autres sont d'amplitudes et de phases décroissantes, soit deux d'entre elle sont d'amplitudes constantes et les deux autres de phases constantes, soit encore elles sont toutes quatre de phases constantes.

β) *Ondes hétérogènes*

Une onde hétérogène a un vecteur d'onde complexe dont la partie imaginaire n'est pas colinéaire à la partie réelle. La réflexion de ces ondes sur un dioptre plan qui sépare deux milieux homogènes, isotropes, inactifs et transparents est étudiée pour diverses orientations de la partie imaginaire du vecteur d'onde par rapport au plan d'incidence. Il existe deux vibrations qui se réfléchissent sans modification de leur état de polarisation : vibrations principales. La vibration principale réfléchie d'amplitude égale à celle du rayon incident provient, en général, d'un point différent du point d'incidence. Ainsi s'expliquent les effets Goos-Hänchen et Imbert qui correspondent à deux cas particuliers.

L'ensemble des travaux rapportés ici a été effectué avec la collaboration technique de M. B. Soulestin.

III - *Rayons X*

Le groupe mis en place par M. Jean Laval termine ses études sur les effets de température en diffusion des rayons X par les cristaux isolants (M. R. Ober, assistant) ou métalliques (M. H. Hervet, maître-assistant). Les rôles respectifs de la diffusion Compton, de la diffusion à plusieurs phonons, et des variantes thermiques des fréquences, ont été largement éclaircis.

Ce travail a bénéficié du concours de M. Lamouret, électronicien.

L'ensemble des chercheurs de ce groupe se reconvertit actuellement vers des thèmes de recherche différents — mais en continuant à utiliser des techniques voisines.

— M^{lle} Jouffroy étudie la diffusion anormale des rayons X par un smectique A monodomaine. Avec la collaboration de M^{me} Casagrande, elle est parvenue à préparer des spécimens monodomaines de grande taille (qui seront utiles pour de nombreuses expériences). Le Dr A. Caillé a fait le calcul théorique des effets attendus dans un modèle simple.

— M. Hervet prépare des expériences de diffusion inélastique de neutrons sur les cristaux liquides, qui sont faites au réacteur à haut flux de Grenoble.

— M. Ober participe à partir du 1^{er} juin 1972 à des études faites sur les polymères avec les neutrons du réacteur EL3 (Saclay).

IV - Impulsions de phonons (M. Levinson)

M. Levinson poursuit l'étude de la propagation balistique des impulsions de chaleur dans différents cristaux pour observer entre autres :

— La levée de dégénérescence des ondes transversales de fréquences voisines d'un térahertz. On a mis en évidence ce phénomène ; des mesures de contrôle sont en cours.

— Le couplage des phonons avec les ondes de spin dans les antiferromagnétiques : on a observé la propagation d'ondes longitudinales suivant l'axe de haute symétrie dans le fluorure de manganèse. On n'a pas pu confirmer que la non observation des ondes transversales était due, comme le prévoit la théorie, au couplage avec les ondes de spin. Des expériences complémentaires sont en cours, en particulier la détection des ondes longitudinales suivant des directions où la théorie prévoit un couplage avec les ondes de spin.

Ce travail a bénéficié du concours technique de M^{me} Ch. Casagrande, physicienne, et de M. M. Moguilevsky, ingénieur.

V - Services généraux

L'étude et la fabrication des appareils nécessaires aux expériences ont été assurés par MM. M. Moisan (technicien), C. Depautex (chef d'atelier) et M. Crasson (dessinateur et mécanicien). Les principales réalisations ont été la construction de supports moteurs pour interféromètre, celle d'un four tournant pour l'étude des échantillons mésomorphes, celle d'un système isolant pour l'étude des lames minces par la diffusion des électrons (groupe transféré en cours d'année à la Faculté des Sciences de Reims).

La bibliothèque subit diverses transformations pour abriter les disciplines nouvelles : chimie physique, cristaux liquides, biophysique. Sa responsable est M^{me} A. Damais, assistée de M^{me} S. Léone, aide de laboratoire spécialisée.

Les travaux de photographie sont exécutés par M^{me} R. Seveste.

Le secrétariat et la comptabilité sont confiés à M^{lle} M.-F. Jestin.

M. R. Biaudet est chargé des travaux de menuiserie.

PUBLICATIONS

P. CUVELIER (1), A. MOÏSES (1) et J. BILLARD, *Direction de propagation de l'énergie électromagnétique et vecteur de Poynting* [C.R.A.S., 272 B (1971), p. 1172-5].

J. MALTHÈTE (2), M. LECLERCQ (2), J. GABARD (2), J. BILLARD et J. JACQUES (2), *Tolanes nématiques* [C.R.A.S., 273 C (1971), p. 265-7].

J. BILLARD, *Les études de la propagation des ondes lumineuses dans les milieux à la fois anisotropes et actifs* [Actes du XII^e Congrès international d'Histoire des Sciences, t. 5, Blanchard, Paris (1971), p. 5-11].

J. BILLARD, M. DELHAYE (1), J.-C. MERLIN (1) et G. VERGOTEN (1), *Spectres Raman de basses fréquences du (p. méthoxy) benzylidène (p. n. butyl) aniline* [C.R.A.S., 273 B (1971), p. 1105-7].

J. BILLARD, *Microdiagnostic rapide du sens de torsion des phases mésomorphes* [C.R.A.S., 274 B (1972), p. 333-6].

M. STEERS (1), P. CUVELIER (1), et J. BILLARD, *La réflexion des ondes électromagnétiques hétérogènes planes et uniformes et les déplacements Goos-Hänchen et Imbert* [C.R.A.S., 274 B (1972), p. 773-6].

J. BILLARD, *Les états mésomorphes de la matière* [Sciences 76 (1972), p. 3-13].

— *Les phases mésomorphes et leur identification* (Bull. Soc. fr. Min. Crist., à paraître).

P.-G. de GENNES, *Remarques sur la diffusion des rayons X* [C.R.A.S., 274 B (10-1-1972), p. 142-144].

P.-G. de GENNES, G. SARMA, *Tentative model for the smectic B phase* [Physics Letters, vol. 38 A, n^o 4 (14-2-1972), p. 219-220].

(1) Université des Sciences et Techniques de Lille.

(2) Laboratoire de Chimie organique des hormones du Collège de France.

P.-G. de GENNES, *Exponents for the excluded volume problem as derived by the Wilson method* [*Physics Letters*, vol. 38 A, n° 5 (28-2-1972), p. 339-340].

— *Sur la transition smectique A \leftrightarrow smectique C* [C.R.A.S., 274 B (13-3-1972), p. 758-760].

— *Analogie entre smectique A et supraconducteurs* (*Solid State Communications*, 1^{er} mai 1972, vol. 10, p. 753-756).

— *Possible experiments on 2 dimensional nematics* (*Faraday Society discussions*, à paraître).

THÈSES

N. ISAERT, *Contribution à l'étude de propriétés optiques de quelques milieux actifs et transparents* (Thèse de troisième cycle, Lille, 17 juin 1971).

G. JOLY, *Contribution à l'étude de la propagation de certaines ondes électromagnétiques dans les piles de Reusch* (Thèse de troisième cycle, Lille, 25 mai 1972).

MISSIONS ET CONFÉRENCES

J. BILLARD :

M. J. Billard a pris part au Colloque sur les cristaux liquides qui s'est tenu à Pont-à-Mousson du 27 juin au 3 juillet 1971.

M. J. Billard a été invité par l'Université Martin-Luther-de-Halle (R.D.A.). Il a participé, le 30 mars 1972, à un séminaire intitulé *Smektischen B Phasen*. Il a présenté le 4 avril 1972 une conférence intitulée *Kristallin flüssige Phasen mit verdrillter Struktur* devant la section de Halle de la Chemische Gesellschaft der D.D.R.

M. J. Billard a présenté à Lille, le 27 avril 1972, à l'assemblée générale de la section régionale de l'Union des Physiciens une conférence intitulée : *Les phases mésomorphes de la matière*.

P.-G. de GENNES :

Organisation du Colloque de Pont-à-Mousson sur les cristaux liquides (en collaboration avec M. Veyssié) (juin 1971).

Université Harvard « Loeb Lectures » : (1971) *Reptation in polymers ; Chirality, biochem symmetry, and the origin of life ; Order and fluctuations in mesomorphic phases*.

Faraday Society Discussions (Londres, 1971) : *Two dimensional nematics*.

Symposium Brésilien de Physique théorique (1972), quatre conférences sur les cristaux liquides.

Agence atomique internationale : Colloque de Grenoble (1972) : *Proposed experiments on liquid crystals using slow neutrons*.

Société française de cristallographie (1972), *Polymorphisme smectique*.

Colloque sur la diffusion des radiations par les polymères (Strasbourg, 1972) : *Principe des expériences neutroniques : détection des formes et des mouvements*.