



Extrait du Sciences : histoire orale

<http://www.sho.espci.fr/spip.php?article80>

FRIEDEL Jacques, 2001-10-17

- Individus -

Date de mise en ligne : lundi 19 septembre 2011

Sciences : histoire orale



Jacques Friedel, born in Paris, February 11, 1921, entered the Ecole polytechnique (1944-46) then the Ecole nationale supérieure des mines (1946-48). He thus followed up the family tradition starting with his great-grand father Charles Friedel, a famous organic chemist and crystallographer at Paris Sorbonne, his grand-father Georges Friedel best known for his work on liquid crystals, his father Edmond Friedel who was the director of the National School of Mines (1937-65). Jacques Friedel obtained a Licence ès sciences degree at the University of Paris in 1948, then was initiated to physical metallurgy in the Metallurgy Laboratory of the School of Mines headed by C. Crussard. He spent three years at Bristol University (UK) in Nevill F. Mott's physics department. There he became acquainted with the electronic structure of metals and with dislocations, a topic developed by Charles Frank. In 1952 he got a PhD. from Bristol and a Doctorat d'Etat in Paris in 1954 on the electronic structure of impurities in metals.

In 1956, he became assistant professor at Paris University, then full professor of Solid State Physics at Paris Sud in Orsay from 1959 to 1989. For thirty years he developed a research school in solid state physics, authored a volume *Les dislocations* (Paris, Gauthier Villars, 1956, 2nd ed. *Dislocations*, Pergamon, 1964) and more than 200 journal articles. His original contributions dealt with various branches of solid state physics, in particular the electronic structure of metallic alloys and of metals, the structure of surfaces of dislocations and of clusters.



Jacques Friedel chaired the Consultative Committee to the French Government for scientific and technological research (1978-1980), was the President of the Société française de physique and of the European Physical Society. Among many responsibilities in French scientific institutions, Jacques Friedel became the President of the French Academy of Sciences (1992-1994)

<dl class='spip_document_178 spip_documents spip_documents_right' style='float:right;'>



Pour citer l'entretien :

« Entretien avec Jacques Friedel », par Hervé Arribart et Bernadette Bensaude-Vincent, 17 octobre 2001, *Sciences : histoire orale*, <https://sho.espci.fr/spip.php?article80>.



JACQUES FRIEDEL (JF) : Je voudrais commencer par quelques remarques générales que m'inspire votre projet. La première concerne la notion de matériaux. Le terme et ce qu'il représente pour l'enseignement comme pour la recherche font partie d'une évolution générale des universités après la Deuxième Guerre mondiale. Il faut se rappeler, en effet, que jusqu'à cette époque et au delà, les départements universitaires étaient définis par grands secteurs - mathématiques, physique, chimie, biologie, géologie, astronomie - à l'intérieur desquels les « chaires » professorales de spécialité étaient définies, en physique du moins, par la nature de l'instrumentation employée : cristallographie (c'est-à-dire rayons X), acoustique, optique, thermodynamique, etc. En chimie, par contre, l'opposition entre minérale et organique était transcendée par le développement plus récent de la chimie physique qui, avant guerre, avait tendance à couvrir le futur domaine des matériaux. Ces subdivisions existaient aussi dans les organismes de recherche comme le CNRS. Le développement des applications pratiques de la physique nucléaire comme des grands laboratoires de recherche industriels (Philips, GECO, Bell, IBM) avaient fait éclater ces divisions et montré la nécessité de repenser l'organisation de la recherche comme de l'enseignement.



C'est dans ce contexte lors d'une réunion de l'American Physical Society que Roman Smoluchowski a le premier, je crois, proposé le développement d'instituts de recherche et la création d'une société (américaine) centrée sur l'étude des matériaux. Elle devait regrouper chimistes, physiciens, mécaniciens et aussi cristallographes et métallurgistes alors dispersés dans diverses sociétés.

Cette proposition avait une résonance évidente dans les grands laboratoires appliqués, relevant soit de l'industrie soit d'organismes d'Etat. Mais elle était trop extrême pour la recherche universitaire. Celle-ci avait commencé à se réorganiser à l'intérieur de la physique comme de la chimie, en départements distincts mais spécialisés autour des particules et des noyaux, des atomes et des molécules, et finalement des solides. Pour ces derniers Bristol, avec N.F. Mott et bien d'autres, a été un premier noyau conscient et organisé, dès avant la guerre. Mais la personnalité de F. Seitz, auteur du premier livre sur la physique de l'état solide, a joué un grand rôle, avec la création au début des années 50 de son département de physique à Urbana (Illinois). De la même époque, datent l'Institut de physique des solides de Tokyo et le groupe de physique des solides de Pierre Aigrain à l'Ecole normale supérieure (Paris). Notre laboratoire de physique des solides a été fondé à Orsay en 1959. Le Max Planck de Stuttgart (Physique et chimie des solides) et le laboratoire correspondant du centre nucléaire de Jülich (Allemagne) datent des années 1960. Enfin, en France, le développement des 3^e cycles universitaires à partir de 1955 s'est fait en physique et (sauf pour la cristallographie) suivant le même découpage. Peu après, le CNRS suivait la même voie pour réorganiser ses commissions avec une section « physique des solides » remplaçant, à ma suggestion, l'électronique, la thermodynamique et l'optique des solides. Toutes ces réformes confortaient le découpage des universités comme des organismes type CNRS ou Max Planck en domaines disciplinaires de physique, chimie, mécanique etc. Ce grand découpage sera maintenu dans la réforme Fouchet de l'université française en 1968. Elle supprimait en physique quelques vieilles chaires remplacées par des enseignements plus modernes, vus d'un point de vue plus général. Cette évolution s'est poursuivie dans les années 70 avec le passage vers 1975 de physique des solides à physique de la matière condensée. En Europe, ceci a permis de regrouper dans une même division de European Physical Society les gens des solides et les gens des liquides - sans oublier les cristaux liquides et les polymères remis à l'honneur par Pierre-Gilles de Gennes et d'autres. En France, le changement de dénomination a permis aussi aux cristallographes de rentrer dans le rang au CNRS, par la création de deux sections de matière condensée, au prix d'une séparation regrettable entre aspects atomiques et aspects électroniques.

C'est donc dans ce contexte général qu'il faut juger le développement du concept de matériaux. Aux USA, la création au milieu des années 60 d'instituts universitaires des matériaux - dont seuls certains ont survécu - a été présentée et jugée comme une tentative d'introduire l'interdisciplinarité dans un milieu encore dominé par le découpage en départements de grandes disciplines et par l'individualisme des enseignants, souvent encore instables et toujours dépendants de contrats personnels de recherche.

En France, les matériaux ont émergé officiellement en 1970-71. J'étais alors le premier président physicien (et non chimiste) d'une Action Concertée en Métallurgie de la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technologique, précurseur du ministère de la recherche). Cette action, comme bien d'autres en électronique, par

exemple, avait pour but de favoriser l'octroi de contrats de 3 ans, des travaux en commun de laboratoires différents, appartenant si possible à l'université et à l'industrie. Sous la poussée du vent de réformes post-1968, la commission de cette Action concertée a bâti un programme d'enseignement des matériaux, animé par mon cousin et premier patron Crussard, alors de retour d'un voyage aux Etats Unis et membre de la Commission. Ce programme, qui accordait une place prépondérante aux matériaux de structure, a été immédiatement adopté par les écoles d'ingénieurs impliquées dans ce domaine (métallurgie, plastiques, céramiques). Il y a eu aussi la création de DEA universitaires en matériaux en province comme à Paris. Le rapprochement entre physiciens et chimistes, comme les débouchés industriels ont été jugés positifs. Les cristallographes y ont souvent vu une manière de s'épanouir, de former des gens qui iraient plus facilement dans l'industrie. En se séparant en 1971, cette Action Concertée de Métallurgie a laissé un rapport émettant le voeu qu'une Action Concertée Matériaux pour la recherche lui succède, en suggérant un premier programme. Sous la direction de Pierre Aigrain, ce projet a été accepté par la DGRST. Le CNRS a suivi très rapidement en créant les premiers programmes de recherche intersectoriels, destinés à jeter des ponts entre les départements. Celui des matériaux, l'un des plus importants et des plus stables, a longtemps été dirigé par Jean Hanus.



Ce démarrage des matériaux reste relativement modeste. En France, comme aux USA, il concerne surtout l'enseignement des écoles d'ingénieurs et de certains DEA. Il se réduit bien souvent à une alliance entre métallurgistes et physicochimistes dans une perspective d'ingénieurs. L'électronique reste au départ en dehors du mouvement.

Je pense que l'importance qu'ont prise graduellement les matériaux est venue principalement de ce que c'était un terme commode pour couvrir une large gamme de recherches à la fois interdisciplinaires et débouchant sur des applications pratiques, dont on pouvait affirmer l'importance pour la société et garantir d'un mot le secteur dans les plans et les budgets. C'est incontestablement ce qui s'est produit en France comme à Bruxelles (siège de l'Union européenne) dans les années 1980. La situation a dû être similaire aux USA. Cela explique le ralliement des gens de l'électronique et des semiconducteurs à cette époque.

Ensuite le mouvement s'est affermi avec la création de la Materials Research Society (1973) dont la branche européenne, animée par des physiciens nucléaires de Strasbourg, s'est développée nettement plus tard. La réponse des sociétés de métallurgie en Europe a été de se transformer en sociétés de matériaux et de se fédérer à l'instigation des Britanniques, pour faire front à l'impulsion venue des USA. Même dans la Materials Research Society, on peut noter que des réunions plus « électroniques » alternent avec des réunions plus « atomiques » !

Pour moi, la conclusion est claire : si un minimum de connaissances communes est nécessaire pour tous les gens actifs dans les matériaux, et s'il est utile qu'ils fassent front commun pour défendre ce secteur, il est moins facile de gérer au jour le jour des recherches en commun et il faut tenir compte d'autres forces et d'autres nécessités, dans l'enseignement universitaire notamment. De ce fait je ne pense pas que la notion de matériaux ait le même sens actuellement en France et aux USA.

Deuxième remarque, l'interdisciplinarité, souvent présentée comme caractéristique de la recherche en matériaux, s'est pratiquée bien avant le développement de ce terme. Ainsi la Société française de métallurgie avait, juste après la deuxième guerre, un groupe de physique du métal, présidé par André Guinier et qui réunissait dans des discussions et des colloques tout le gratin d'alors : industriels, gens des organismes, des écoles, des universités, mais aussi des physiciens, des chimistes, des mécaniciens, des cristallographes. Pendant dix ans, entre le milieu des années 60 et 70, la même Société de métallurgie a copatronné avec le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et l'IRSID (Institut de recherche sidérurgique), des écoles d'été annuelles fort suivies. Ces écoles d'été menées par Y. Adda (CEA), Yves Quéré (CEA, puis Ecole polytechnique), et J. Philibert (IRSID puis Orsay) réunissaient de jeunes chercheurs et des gens confirmés des universités, des organismes et de l'industrie. Elles couvraient des thèmes généraux qui seraient maintenant jugés matériaux. A partir de 1969 des groupes dits de Monestier (l'endroit où s'est tenue l'école cet été là) ont fait périodiquement le point sur l'état des recherches dans une dizaine de domaines spécialisés (défauts ponctuels, plasticité, surfaces, etc.). Ces réunions régulières sont maintenant oubliées car elles ont été publiées chacune séparément, en français, par un éditeur différent. Ce qui fait qu'elles n'apparaissent pas comme une série homogène.

L'interdisciplinarité a été aussi renforcée par les Actions Thématiques Programmées (ATP) du CNRS, assez similaires aux Actions concertées décrites plus haut mais dans des domaines plus pointus et variables. J'ai moi-même suscité et présidé des ATP sur les surfaces et sur les agrégats, qui ont fortement développé l'interdisciplinarité de ces domaines en France.

Un dernier aspect de l'interdisciplinarité est la nécessité de collaboration entre chimistes et physiciens pour produire des matériaux et en étudier les propriétés physiques. Dans certains cas, et sans parler de l'approche « matériaux », ceci a été fait sur place, dans le même (grand) laboratoire. Ce fut le cas (peut-être pas si souvent) dans les deux grands instituts de Stuttgart et de Jülich par exemple. A Orsay, notre laboratoire de physique des solides a cherché à résoudre partiellement le problème en implantant de petites équipes de chimistes d'abord dans la production d'alliages métalliques, puis de cristaux liquides, enfin de composés organiques conducteurs. Si ces groupes ont été très utiles, il a été parfois difficile de défendre leurs membres avec succès dans leur commission CNRS respective. Les grands laboratoires de chimie des solides français ont aussi acquis une compétence utile dans certaines techniques physiques.

Une solution très différente et, je pense, de plus d'avenir, est une collaboration entre deux groupes, l'un physicien, l'autre chimiste, sur le développement et l'étude de matériaux nouveaux. C'est de cette façon que Jean Rouxel (Nantes) et Monceau (Grenoble) ont découvert le courant de Frölich des ondes de densité de charge, que Beckgaard (Copenhague) et Jérôme (Orsay) ont découvert la supraconductivité organique (à la suite des travaux d'une ATP sur les conducteurs organiques), etc.

Donc pour résumer, avec la création des DEA, des écoles d'été, les ATP les enseignements et la recherche en matériaux ont été développés en France et assez actifs. Mais ce mouvement est assez difficile à saisir car l'ensemble ne s'appelait pas science des matériaux comme aux Etats Unis.

Troisième remarque : comme les matériaux sont un peu une création américaine, une dynamique américaine, il faudrait éviter de rééditer les problèmes posés par la réduction de l'histoire de la physique du solide jusqu'aux années 50. Le groupe de spécialistes qui avait initialement travaillé à ce projet - principalement anglosaxons et quelques allemands- ont fait une sorte d'hymne un peu excessif à John Bardeen, passant sous silence la plupart des contributions européennes notamment entre les deux guerres. Dans un deuxième temps, d'autres personnes ont été consultées. Alors trop occupé et voyant l'ampleur de la tâche, j'ai refilé la demande qui m'était faite à Guinier qui a pu rétablir un minimum de corrections, sur la conduction électrique des métaux (Linde) ou le magnétisme (Néel), par exemple. Mais le résultat final reste biaisé et j'ai été frappé récemment de voir citer cet ouvrage comme une référence irréfutable. Votre projet aussi est initialement américain et internet est surtout implanté en Amérique. Vous avez donc un biais dont il faudra vous dégager.

BERNADETTE BENSAUDE-VINCENT (BBV) : *Pourriez vous préciser ce qu'il en est de l'essor de la recherche en matériaux en France ?*

JF : Comme je vous l'ai expliqué, il m'est difficile de vous répondre clairement. Qu'est-ce qui appartient aux

recherches matériaux, aux phases condensées, aux solides ? Si on prend l'ensemble, il est considérable et je pense comparable en valeur et en quantité par chercheur à ce qui se fait dans les autres pays développés.

Si vous prenez le sens restreint d'une recherche dans un institut analogue aux instituts de recherche en matériaux américains, je vous répondrai que cela débute bien avant le mot matériaux dans quelques laboratoires industriels comme Saint Gobain, Péchiney, Thomson CSF, CGE Alcatel comme dans les organismes de recherche appliquée, en particulier à l'ONERA (Office national en recherches aéronautiques) et au CEA (Commissariat à l'énergie atomique). Le CEA a eu, dès le départ, des sections de recherche fondamentale mais aussi beaucoup d'activités science des matériaux, où il fallait fabriquer quelque chose pour quelque chose de précis dans un but donné. De même à un moindre niveau, l'IRSID pour la sidérurgie, l'ONERA pour l'aviation et l'Ecole des mines de Paris dans son centre de Corbeil puis de Sophia Antipolis, ont développé assez tôt une approche génie des matériaux, reprise par l'université de Compiègne.

BBV : Pourquoi la science des matériaux s'est-elle mieux développée en Grande Bretagne ?

JF : S'est-elle vraiment mieux développée là bas qu'en France ? Je n'en suis pas convaincu.

BBV : Oui si l'on en croit Robert Cahn.

JF : Je connais Robert Cahn depuis 1948. C'est un métallurgiste très distingué, qui a fait des travaux remarquables dès sa jeunesse sur la polygonisation des métaux écrouis. Ses fonctions d'éditeur l'ont amené au contact d'énormément de choses. Mais il a quand même des limites, comme tout le monde.

HERVE ARRIBART (HA) : Il se pose comme un fondateur de la science des matériaux.

JF : Robert Cahn a certainement contribué à développer une image positive et vivante de la recherche en matériaux. Ceci dit, il faut tenir compte de deux effets d'optique : les matériaux dont il parle dans son livre sont surtout les matériaux de structure. Il y a fort peu de choses sur les semi-conducteurs et encore moins sur les supraconducteurs, assez peu aussi sur le magnétisme. On reconnaît là la dichotomie atomes/électrons qu'il est d'ailleurs difficile de maîtriser dans un domaine aussi étendu.

Robert Cahn est maintenant connu par les livres qu'il a écrits sur les matériaux. Les auteurs qu'il a sollicités sont loin d'être tous britanniques. En fait, il a, comme je l'ai dit, des contacts depuis longtemps avec la France (où il a été professeur à Orsay trois ans en métallurgie) comme avec les USA et bien d'autres pays. Ses livres reflètent donc la pluralité des pays actifs dans ce domaine avec un biais bien compréhensible pour la Grande Bretagne.

HA : Et connaissez vous John Goodenough ?

JF : Depuis moins longtemps que Robert Cahn mais je l'ai pas mal vu lors de ses séjours à Bordeaux puis à Oxford. Je pense que c'est un chimiste de grande valeur, qui a des idées théoriques intéressantes tout en produisant des matériaux nouveaux.

HA : Pourquoi avez vous choisi d'aller à l'Université de Bristol ?

JF : J'explique cela dans mon discours à la Materials Research Society pour le von Hippel Award en 1988. Je développe aussi ce point dans Graine de mandarin (Odile Jacob, 1995).

J'ai commencé une recherche expérimentale chez C. Crussard au laboratoire de Métallurgie de l'Ecole des mines de Paris, en 1948. Après quelques tâtonnements où je me suis familiarisé avec les instruments, presque tous conçus par Chevenard d'Impley, Crussard m'a donné une petite plaquette d'aluminium recristallisé dont les grains avaient des

joints perpendiculaires à la plaquette. J'ai mesuré la variation de l'énergie de joints en fonction des désorientations entre grains et j'ai voulu comparer avec des calculs. A part le cas des faibles désorientations, où on se ramène à un problème de dislocations, rien n'existait alors dans les livres de physique des solides. Seul Seitz considérait l'énergie d'un cristal parfait de métal alcalin. Mais rien n'existait sur les énergies de changement de phase ou sur les énergies de défauts. Je ne pouvais pas progresser dans ce domaine sans avoir compris un peu mieux les électrons dans les métaux, responsables de leur cohésion.

Crussard me présenta alors à son ami Nevill Mott, physicien du solide à Bristol lors d'un de ses nombreux voyages sur le continent. J'étais payé par le Corps des Mines pour faire de la recherche (par le décret Suquet de 1939, applicable à 10% des corps techniques de l'Etat). J'ai ainsi passé trois ans à Bristol à apprendre la physique et à faire un Ph D. Bristol était connue, outre les travaux sur les rayons cosmiques autour du futur prix Nobel Powell, pour les travaux sur la structure électronique des solides (N. Mott) et les dislocations (F. Charles Franck). Mott m'a mis sur un problème fondamental, celui des impuretés. Quand on change la nature d'un atome de métal, qu'on ajoute ou retire un atome de ce cristal, comment les électrons réagissent-ils ? J'ai été le premier à étudier les franges de diffraction ainsi produites autour de l'impureté, d'abord numériquement (à la règle à calcul) dans des études autocohérentes puis par des théorèmes généraux simples que j'ai ainsi découverts. Dans un second temps, revenu à Paris, j'ai compris avec A. Blandin, un de mes premiers thésards, que quand les effets de diffusion par les atomes étaient faibles comme dans l'aluminium, les forces interatomiques étaient additives à volume constant et pouvaient se déduire simplement de la diffusion des électrons par chaque atome pris isolément. Le détour par Bristol m'a ainsi permis de comprendre la nature des forces interatomiques dans les métaux comme l'aluminium et donc de calculer l'énergie des joints de grains.

Avec F.C. Franck j'ai appris les dislocations, un domaine alors en grande expansion. De retour en France en 1952 j'ai continué sur les deux sujets. J'ai d'abord passé une thèse française, pour pouvoir éventuellement entrer à l'Université. Je ne voulais pas réitérer les ennuis de mon grand père, directeur de l'Institut de cristallographie à Strasbourg après avoir dirigé l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, mais barré de la Faculté des sciences parce qu'il n'avait jamais passé sa licence ! En 1956, je suis finalement entré à la Sorbonne et en 1959 André Guinier, R. Castaing et moi avons emménagé à Orsay. Pierre Gilles De Gennes nous a rejoints en 1961 et nous avons été un des premiers laboratoires associés au CNRS (le N°2) dépendant de plusieurs commissions.

HA : *Quand vous avez eu un laboratoire à Orsay avez vous accueilli des chercheurs de Bristol ou d'Angleterre ?*

JF : Nous avons assez vite recruté au CNRS un Ecossois, J. Campbell qui avait fait une thèse expérimentale avec N. Kurti à Oxford dans les techniques nucléaires à basses températures. Nous avons aussi recruté C. Froidevaux, un Suisse issu du Polytechnicum de Zurich, spécialisé en techniques de résonance à Berkeley après avoir lui aussi fait une thèse chez Kurti à Oxford.

Mais c'est au niveau des échanges temporaires que nous avons eu le plus de contacts avec l'étranger, dans les deux sens et la plupart avec des pays industriels. Des thésards étrangers sont venus quand nos groupes théoriques et expérimentaux ont pris de l'ampleur. Dans la vingtaine de mes propres élèves j'ai eu ainsi un Polonais, un Chilien, un Libanais, un Croate, un Allemand. Ce dernier H. Schulz, sans doute le plus brillant et le dernier de mes thésards, est malheureusement décédé récemment.

Avec l'Angleterre, j'avais des relations privilégiées avec N. Mott, devenu mon beau-frère, chez qui j'ai passé en famille de nombreux étés, surtout à Cambridge. Par lui j'ai développé des contacts avec P.B. Hirsch, S. Zimian, V. Heine. J'ai maintenu de fréquents contacts avec F.C. Franck à Bristol. F.R.N. Nabarro et R.W. Cahn ont été aussi visiteurs à Orsay.

A Bristol, où il y avait peu de thésards britanniques à l'époque, j'ai établi autant de liens avec les visiteurs étrangers, notamment des spécialistes allemands des défauts cristallins comme A. Serger, G. Leibfried, D. Kuhlmann-Wilsdorf. Enfin j'ai eu très tôt des contacts avec nombre d'Américains, dont C. Kittel, H. Brooks, W. Kohn, N. Bloembergen ont le plus compté pour mon début de carrière.

HA : *Pour autant que je m'en souviens il n'y avait pas beaucoup d'étudiants étrangers dans le DEA de physique du solide à Orsay, du moins l'année où j'y étais ?*

JF : En effet on en a eu que quelques uns par an, surtout d'Europe de l'Est et des pays méditerranéens, parsemés de quelques Allemands, Hollandais, Chinois et une année deux Américains du Nord. Il n'y avait pas d'Anglais. Le DEA qu'on a créé à Orsay avec Guinier et Castaing en 1959 ne s'intégrait pas dans le cadre de formation des thèses anglaises. Leurs thèses se faisaient beaucoup plus vite en trois ans au maximum après une licence en 3 ans. Donc c'est après leur thèse que les Anglais venaient et nous nous envoyions nos propres étudiants en post-docs à l'étranger. Cette formule d'échanges de post-docs me semble de toutes façons meilleure. Il faut dire aussi que le DEA de physique des solides couvrait toute la région parisienne et que notre laboratoire recrutait (et recrute) aussi sur d'autres DEA de la région parisienne ou de province.

BBV : *Votre enseignement de DEA était-il expérimental ou théorique ?*

JF : Après un démarrage officieux en 1955 à Paris avec l'aide de Roman Schmolukovski nous avons eu longtemps trois cours de base, essentiellement théoriques : cristallographie, phénomènes de transport, structure générale des solides, assurés au départ par Guinier, Aigrain et moi-même. Seul Guinier avait des travaux pratiques. A partir de 1961, De Gennes a fait un cours de physique quantique. Par la suite nous avons demandé aux étudiants de faire un court stage dans un laboratoire et de rédiger et soutenir un mémoire à l'issue du stage. Mais nous n'étions pas un DEA classique, la plupart des DEA ayant la moitié de leur temps en laboratoire. Dès le début nous avons aussi développé des cours complémentaires de deuxième année beaucoup plus spécialisés et variant d'une année à l'autre. C'est ainsi que sont nés de nombreux ouvrages comme les premiers livres de De Gennes mais aussi des introductions par différents auteurs aux défauts ponctuels, à la mécanique électronique, aux ondes de spin, à la supraconductivité, le cours de G. Toulouse sur les statistiques en dimensions fractionnaires, le livre de M. Kléman Points, lignes, parois et bien d'autres.

BBV : *Avez vous développé des liens avec les chimistes d'Orsay ?*

JF : J'avais au départ des liens avec P. Lacombe qui dataient de l'Ecole des Mines. Je connaissais Chaudron et ses élèves, notamment Collongues et surtout Revcholevski qui collabore depuis longtemps avec Jérôme sur les supraconducteurs. Je connaissais beaucoup de gens à Vitry, particulièrement D. Gratias, dont j'ai suivi le démarrage pour sa thèse sur les structures incommensurables de surfaces et surtout sa découverte des quasicristaux. Les chimistes avaient au départ, en France, une plus longue tradition de théorie quantique et j'ai eu des contacts fructueux dans les années 60 avec plusieurs chimistes de mon âge à Orsay. Il en a été de même avec la chimie physique, initialement brillante à Orsay dans des domaines originaux comme les cristaux plastiques ou la tenue aux irradiations des molécules organiques, deux domaines dispersés par la mort ou le déménagement des acteurs, à part la réaction photographique de Mme Belloni. Quant à Henri Kagan dont on parle beaucoup ces jours-ci, je l'ai surtout connu et apprécié au Conseil de Troisième Cycle à Orsay quand je le présidais.

BBV : *Et des liens avec les industriels ?*

JF : Soyons clair : je suis un modeste théoricien des solides, pas un grand manitou des matériaux. Ceci dit, au laboratoire de métallurgie de Crussard j'ai eu l'occasion de rencontrer des métallurgistes industriels comme Herenguel et surtout Chevenard. Au retour de Bristol, j'ai fait systématiquement le tour des laboratoires industriels ; Péchiney à Chambéry a même cru que je venais espionner ! C'est l'époque où j'ai fait deux expériences extrêmes. Un sidérurgiste très distingué m'a demandé de visiter le centre de recherche d'un de ses groupes sur les ferrites ; il s'agissait en fait seulement de fabrication et on me suggérait d'espionner Philips, ce qui n'était pas dans mes cordes. Un jeune ingénieur italien de St Gobain (alors au Sud du Brésil) m'a spontanément invité à visiter le laboratoire et m'a parlé de recherches intéressantes qu'il avait engagées sur les centres colorés des verres trempés ; jusqu'à sa mort prématurée, j'ai ensuite reçu chaque année un cadeau, production Saint-Gobain.

Plus sérieusement, j'ai gardé deux contacts suivis mais avec des organismes de recherche appliquée : avec l'IRSID où j'ai été conseiller pendant près de 30 ans et avec le CEA où j'ai été également conseiller de 1955 jusqu'après ma

retraite. E. Grison, qui m'a recruté, dirigeait la métallurgie civile de l'uranium et du plutonium (qui donnera le MOX). Mais très rapidement, j'ai débordé vers des problèmes de chimie physique et la physique de Saclay. Mon activité a été essentiellement fondamentale, au CEA comme à l'IRSID. J'y ai dirigé des thèses toujours dans des domaines fondamentaux : Y. Quéré par exemple sur les défauts d'irradiation dans les métaux, travaux sous-tendus par les questions de fragilité, gonflement, fluage sous irradiation dans les réacteurs nucléaires ; M. Kléman sur les phénomènes magnétoélastiques qui jouent un rôle majeur dans les mémoires magnétiques, en couches minces. J'ai aussi été longtemps au conseil d'administration du LEP (Laboratoire d'études de Philips en France). J'ai présidé les conseils scientifiques de Saint-Gobain et de France-Télécom, après celui du CENT (Centre national d'études en télécommunications) de Bageux sur les semiconducteurs.

BBV : Ces présidences étaient-elles honorifiques ou plutôt directives ?

JF : Comme toujours c'était ni blanc ni noir. Le CNET Bagneux puis France Télécom sont de bons exemples. Les créateurs du CNET Bagneux, M. Bernard et J. Serphagnon, avaient le souci que le laboratoire garde une excellence fondamentale tout en s'ouvrant largement sur la recherche appliquée. Présidant alors la Commission de physique des solides du CNRS, j'ai facilité la création d'un laboratoire associé CNET/CNRS dont j'ai présidé le Conseil scientifique durant plusieurs années. Ces réunions annuelles obligeaient les gens de laboratoire à rendre compte et les dirigeants du CNET à prendre position sur le développement du laboratoire. Avec l'adjonction d'une section venant purement des applications, puis d'un groupe propre du CNRS, l'ensemble était, lors de la création de France-Télécom l'un des meilleurs laboratoires de semiconducteurs hors silicium en Europe (composés II-V et organiques essentiellement).

J'ai quitté le CNET-Bagneux pour devenir le premier président du Conseil scientifique de France Télécom. Là les problèmes étaient d'un tout autre ordre, techniques d'abord, puis rapidement économiques et politiques. Dans un premier temps, quand France Télécom était nationalisé, nous avons de nouveau obligé les gens à présenter leurs problèmes et leurs solutions et nous avons oeuvré pour l'ouverture de France Télécom à la recherche française extérieure. Le temps de la privatisation, avec le développement d'Internet et du portable, a conduit à l'abandon des grands secteurs de la recherche - y compris au Centre de Bagneux - et à la mise en sommeil de réflexions à long terme sur les nouveaux matériaux (organiques en particulier) comme sur les réseaux. Nous avons éclairé, dans notre mesure, sur les dangers tant immédiats qu'à long terme et cherché à éviter que France Télécom se referme sur elle-même au point de vue recherche.

HA : Vous avez mentionné les deux orientations de vos recherches vers l'électronique des métaux et les dislocations. J'ai le sentiment qu'à un moment vous avez favorisé le premier et un peu abandonné le second.

JF : Depuis Bristol, j'ai toujours eu une activité de recherche sur l'électronique des solides. J'ai essayé de développer des modèles approximatifs mais simples, compréhensibles et même utilisables par des non-spécialistes. Je suis un vrai élève de N. F. Mott en ce que, dans un domaine complexe où 10²⁴ particules sont en interactions fortes, des caricatures faites sur un dos d'enveloppe me semblent pouvoir être plus pertinentes que des collections de papillons, photos léchées à l'ordinateur mais souvent peu généralisables. Après de nombreuses études sur les alliages métalliques développées avec mes thésards, je me suis intéressé à la cohésion et au magnétisme des métaux purs, dont les électrons de valence sp, d ou f sont progressivement localisés et demandent des approximations différentes. Je me suis aussi intéressé aux covalents sp qui gardent, avec l'ordre local, une bande interdite de covalence même dans l'état amorphe. Plus récemment je me suis intéressé à la physique, très riche, des surfaces et des agrégats, sans oublier des sujets à la mode comme les supraconducteurs ou les quasicristaux.

J'ai abandonné pour un temps les dislocations après la seconde édition de mon livre (1964) sous la pression des événements et puis parce que j'avais le sentiment de n'avoir plus trop à dire sur le sujet, du fait notamment que je n'avais pas développé de groupe expérimental à Orsay sur ce sujet. Mais j'y suis revenu avec les cristaux liquides. De Gennes avait été persuadé par G. Durand, rentrant de Harvard, de l'intérêt de ce domaine mésoscopique justiciable de méthodes d'analyse analogues à la méthode qu'il avait utilisée pour les supraconducteurs. De Gennes s'est penché sur l'étude des dislocations de ces corps. Mais c'est plutôt Maurice Kléman (laboratoire de Physique

des solides d'Orsay, puis laboratoire de minéralogie et cristallographie de Jussieu) qui a développé ce domaine en liaison avec F.C. Franck. Je me suis remis à ce sujet, notamment aux possibilités de dislocations de rotation caractéristiques de certaines de ces phases. Les réseaux plus ou moins réguliers de telles dislocations posent des problèmes topologiques intéressants, mis en jeu dans certaines phases mésomorphes dites cholestériques (germes, phases bleues) mais aussi dans les quasicristaux. J'ai gardé le contact puisque cette année j'ai rédigé des préfaces substantielles pour deux gros livres sur la dislocation dans les cristaux liquides. J'ai fait aussi un commentaire introductif à un gros bouquin sur l'érouissage des métaux qui reste toujours un problème ouvert.

HA : Vous avez évoqué les supraconducteurs à propos de De Gennes. Comment avez vous vécu l'arrivée des cuprates et l'excitation sur les supraconducteurs ?

JF : Les Français auraient dû découvrir les supraconducteurs cuprates si les chimistes des cuprates avaient accueilli des physiciens. C'est un beau contre-exemple de l'interdisciplinarité.

J'étais intéressé par les supraconducteurs organiques. Il y a pas mal d'analogies avec les cuprates car ce sont des structures anisotropes faites de chaînes ou de plans d'atomes parallèles ou faiblement liés. Donc d'un certain point de vue les oxydes m'ont attiré toute de suite un peu comme une extension des organiques de Jérôme (J. Denis Jérôme, laboratoire de Physique des solides d'Orsay). Mais je m'intéressais aux oxydes dans un esprit assez conservateur. Au lieu d'aller vers des choses nouvelles et compliquées, je préférais voir si une approche BCS classique ne pouvait pas marcher. Je pensais notamment que les corrélations électroniques dont B. Schrieffer, M. Rice et P.A. Anderson faisaient tout un plat, existaient certainement mais peut-être pas de façon plus notable que dans les métaux de transition comme le nickel ou le chrome que j'avais précédemment étudiés. Je ne crois donc pas aux constructions magnifiques de Phil Anderson pour les oxydes. Mais ma position est controversée : on m'a demandé près de 100 tirés-à part d'un article de revue écrit l'année de ma retraite ; mais on ne me cite jamais ! D'une façon plus générale, je pense que trop de gens se sont lancés dans une quête sans espoir d'un second Nobel après Müller.

BBV : Et comment voyez vous le futur des supraconducteurs ?

JF : Il n'y a pas encore d'applications industrielles mirobolantes. Il faudra du temps ! Mais les supraconducteurs ont deux apports quasi certains :

- ils permettront peut-être de petits montages dans des systèmes électroniques de faibles puissances. De ce point de vue les gens de la Bell (Batlog, Scön) ont montré récemment une voie certes difficile à mettre en oeuvre mais très intéressante.
- ils ouvrent la voie à des méthodes qu'on pourrait utiliser en d'autres domaines. Par exemple, Fischer à Genève fabrique des couches atome par atome. L'idée est de faire des composés à la demande avec des structures choisies, des composés qui n'existent pas à l'état naturel, tout à fait en dehors des équilibres thermodynamiques. Par le choix de ionocovalents qui ont une interdiffusion atomique faible, les interfaces chimiques entre couches gardent leur netteté.

HA : Quelle fut d'après vous la démarche de Müller à Zurich ?

JF : Müller était un spécialiste très connu des ferroélectriques. Il est allé à une école d'été à Cargèse où des théoriciens de Grenoble ont évoqué la possibilité pour des ferroélectriques de devenir supraconducteurs. A son retour, il a cherché lesquels conduisent l'électricité et il a obtenu une supraconductivité à assez haute température. Le tort de Müller a été de s'accrocher à l'idée de ferroélectriques à laquelle personne ne croit plus guère.

BBV : Pensez vous qu'il y a un lien historique ou logique entre la supraconductivité et la conductivité ionique qu'on a appelée pendant un temps superconductivité ionique ?

JF : Il n'y a aucun lien. L'analogie des noms est trompeuse. La conductivité ionique est un phénomène atomique classique, alors que la supraconductivité est de nature quantique et électronique (malgré Müller).

Par contre, les superfluides, ou liquides quantiques ont un lien avec les supraconducteurs, rendu possible par la légèreté des atomes mis en jeu.

HA : Quelle est votre attitude à l'égard des instruments en général et des grands instruments en particulier ?

JF : Je suis un pur théoricien mais, comme De Gennes, j'aime être entouré d'expérimentateurs. A Orsay, où De Gennes nous a rejoints en 1961, on a recruté des expérimentateurs pour compléter les groupes déjà existants de A Guinier et R. Castaing. C'était difficile car il y avait en France peu d'expérimentateurs qualifiés en structure électronique des solides, surtout des métaux. Les premiers ont été J. P. Burger, puis Etienne Guyon et C. Froidevaux, un Suisse que nous avons attiré par un poste de professeur d'échange et Campbell, un Ecossais invité par le CNRS. De toute façon il s'agissait d'expériences avec de petits instruments.



Quand j'étais conseiller de la DRME (Direction de la recherche militaire et des études) j'ai facilité l'équipement de nombreux laboratoires, notamment en province, couplés à des programmes de recherche fondamentale. Il s'agissait de ce qu'on a appelé plus tard les « instruments mi-lourds », basses températures, microscopie électronique, appareils de résonance... C'était d'une certaine façon prendre le relais des contrats militaires américains qui ont aidé beaucoup de mes collègues à démarrer la recherche fondamentale après la guerre.

Quant aux grands instruments, j'ai toujours pensé que, comme la langue d'Esopé, tout dépendait de la façon de s'en servir. Collectionner des spectres de phonons ou de neutrons pour un composé ou un autre, n'a pour moi guère d'intérêt et prend beaucoup de temps. Mais le programme de l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble ne fait heureusement guère de place à ce genre d'activités. J'ai toujours pensé que ces grands instruments peuvent offrir des possibilités absolument inédites pour la physique, la chimie, la biologie en général et pour les matériaux en particulier. J'ai donc travaillé dans ce sens en plusieurs occasions.

A Orsay, par exemple, j'ai suscité la réunion de physiciens des particules et de physiciens des solides qui a permis d'ouvrir l'accélérateur nucléaire au rayonnement synchrotron, c'est à dire à la naissance de LURE (Laboratoire d'Utilisation du Rayonnement Electromagnétique). Sous la pression du radiobiologiste V. Luzzati, que j'avais connu au Conseil scientifique de l'ILL, et de mon jeune collègue Y. Farge de notre laboratoire, j'ai convaincu mon ami Laguarrigue, directeur de l'accélérateur linéaire, de tenter cette expérience. J'en ai suivi les premiers pas.

En 2000 je suis intervenu auprès du gouvernement pour le faire revenir sur sa décision d'annuler le projet SOLEIL, successeur de LURE. Cette démarche avait trois raisons :

1. Il faut quelques très grands instruments (comme l'ESRF de Grenoble pour le rayonnement synchrotron)

fonctionnant à l'échelle européenne. Leur fonction est de découvrir des techniques nouvelles en physique et en chimie ce qui est rendu possible par les propriétés spécifiques (polarisation, cohérence, hachage temporel) et par l'accroissement de la puissance et la définition de ce rayonnement comparé aux sources classiques ou aux lasers. Mais un tel équipement est trop vite saturé pour répondre aux besoins à l'échelle nationale, où il faut former des chercheurs et appliquer ces techniques, dans des expériences souvent longues. Tout cela coûte de l'argent mais si l'on considère le nombre de personnes engagées dans ces expériences ce n'est pas exorbitant.

2. Le synchrotron est aussi utile aux études biologiques. Il y a là un domaine en plein développement où le synchrotron n'est pas actuellement remplaçable, notamment pour l'étude structurale de molécules complexes. On peut noter qu'il y a là une extension nécessaire de la notion de matériaux : par exemple, les techniques de croissance des cristaux de molécules à longues chaînes posent des problèmes spécifiques qui devraient être analysés en priorité et où la participation de physiciens et de chimistes est indispensable.
3. Enfin ces grosses machines sont aussi des lieux de rassemblement interdisciplinaire...du moins si on s'y prend bien. Il ne suffit pas d'installer des machines pour générer de la collaboration.

BBV : Quelle fut votre attitude à l'égard de la politique française sur les matériaux ?

JF : Je regrette que le gouvernement ait abandonné pour la recherche son affichage d'une priorité matériaux. Je suis convaincu que c'est un secteur essentiel de la recherche où le fondamental et les applications, les universités, l'industrie et les organismes de recherche appliquée peuvent et doivent se rencontrer sur un pied d'égalité. L'idée que l'on puisse développer les sciences de l'information ou les sciences de la vie sans une solide base matériaux est une idée de pays sous-développé !

Il me semble aussi clair que le domaine général des matériaux est en évolution rapide, avec une importance croissante des secteurs matériaux organiques, composites à l'échelle atomique, importance croissante aussi du mésoscopique. Tout pays qui ignorera les problèmes de « hard » en ne privilégiant que le « soft » ou le « bio » perdra à la longue dans la compétition.

Je suis aussi pour l'interdisciplinarité qui sous-tend la recherche en matériaux. De ce point de vue que l'on ait développé ce facteur dans les maîtrises universitaires, que l'on ait créé aussi des enseignements d'écoles d'ingénieurs et des DEA spécifiquement matériaux me semble une bonne chose, comme aussi la réussite de certains instituts CNRS-universités ou CNRS-industrie de matériaux.

Mais ce n'est pas la panacée : le secteur est tellement énorme qu'il faut forcément se spécialiser. Je crois au travail en commun de chercheurs formés de différentes façons ; je crois aux échanges de chercheurs, aux collaborations. Mais ceci n'implique pas pour tout le monde l'abandon des grandes divisions de spécialistes, que ce soit à l'Université ou au CNRS. Je regrette pareillement l'abandon de laboratoires fortement affichés dans certaines branches de la physique et de la chimie.

Enfin je pense que, particulièrement dans le secteur des matériaux, le développement instrumental - des microscopes atomiques au rayonnement synchrotron - a joué un rôle majeur dans les développements récents. Et rien ne permet de dire que cette dynamique très interdisciplinaire, va se tarir.

Fin de l'enregistrement



Chère Madame Bensaude-Vincent,

J'ai lu avec attention et intérêt votre analyse sur « Materials Science in the United States ». Je pense que vous avez fait un effort de synthèse remarquable sur un sujet aussi diffus et la lecture de votre texte avant notre interview aurait peut-être permis de mieux polariser notre discussion.

J'ai quelques remarques générales : le titre comporte « sciences » mais le texte parle autant (dans la 2^o moitié) d'« engineering ». D'autre part le texte déborde largement des US.

Je pense que la « dynamique » matériaux s'est développée aux US par suite d'un manque d'instituts ou de grands laboratoires de recherche universitaire en dehors des domaines à grands instruments comme le nucléaire, les hautes énergies, le spatial... La situation est un peu similaire en GB (à part des centres peu nombreux comme Cambridge, Oxford, Bristol...), mais différente en Allemagne (avec les Max Planck), en France : à partir des années 40 (LP CNRS) et surtout 60 (LA CNRS).

Il y a d'autre part certains manques. Vous ne parlez pas des cristallographes qui, en GB, en Allemagne et en France mais aussi aux USA, ont joué un rôle pionnier dans l'étude des cristaux, des défauts cristallins, des amorphes, des changements de phase comme dans le développement des instruments (neutrons aux USA), électrons en GB, rayonnement synchrotron (en Italie puis aux USA et en France...).

La césure entre matériaux de structure et matériaux électroniques, très dommageable aux deux, particulièrement forte aux USA n'est que notée au passage. Enfin des domaines certes très européens au départ comme les agrégats et les quasicristaux manquent un peu.

Une étude aurait pu être faite sur l'analyse des relaxations plastiques en front de fissure. Celle-ci avait, avant le développement des dislocations, pris un virage très fondamental, barré avec les accidents des Comets par l'urgence de trouver des parades pratiques. On est revenu aux analyses macroscopiques, avec des paramètres tirés de l'expérience mais qui varient avec les conditions de fracture. Ce n'est qu'assez récemment, avec des gens comme Pinault à l'Ecole des mines - Corbeil, qu'on est revenu à des analyses plus microscopiques et physicochimiques. Cet aller-retour est, je pense, typique de bien des domaines. Il souligne une difficulté fondamentale de traiter un domaine comme un tout. C'est le dialogue qui doit être perpétuel entre les progrès fondamentaux et les applications. Sauf cas très rares, je ne crois pas qu'un seul institut des matériaux, universitaire ou industriel, ait créé de toutes pièces et en

allant jusqu'à l'application une seule découverte utile.

Enfin sous cette pression US notamment, c'est le soutien de toute recherche dans le « hard » qui a été compris comme « materials », en opposition avec le « soft » et le « bio ». Ces dernières années, ce sont ces deux autres domaines qui ont eu la suprématie. Mais je ne pense pas la situation viable très longtemps.

Bien cordialement

Jacques Friedel



[haut de page](#)

[accueil du site](#)

Post-scriptum :

Entretien avec Jacques Friedel, par Hervé Arribart et Bernadette Bensaude-Vincent, 17 octobre 2001.

Lieu : Académie des Sciences, France.

Support : enregistrement sur cassette.

[Transcription : Bernadette Bensaude-Vincent](#)

[Hervé Arribart.](#)

Édition en ligne : [Sophie Jourdin.](#)
