La brillante histoire du laboratoire de physique des solides d'Orsay

Denis Jerome
Membre de l'Académie des sciences

Introduction

Jacques Friedel, né en 1921, nous a quittés au mois d'août 2014. Avec lui a disparu, au terme d'une longue et brillante carrière scientifique, le dernier survivant des scientifiques éminents qui ont créé, il y a plus de 50 ans, le prestigieux Laboratoire de physique des solides (LPS) d'Orsay. C'est en effet en 1959 qu'André Guinier, Jacques Friedel et Raimond Castaing ont uni leurs efforts et équipes de recherche pour bâtir un laboratoire qui a profondément marqué le renouveau de la recherche française dans l'après-guerre et dont nous souhaitons retracer brièvement l'histoire à l'occasion du décès de Jacques Friedel

Avant d'évoquer les conditions de la création puis de la réussite du LPS, rappelons qui étaient ses trois créateurs, dont les carrières scientifiques avaient suivi des voies originales et déjà prometteuses. André Guinier, le doyen de l'équipe (1911-2000), s'était engagé dans l'étude des rayons X à sa sortie de l'ENS et avait soutenu sa thèse juste avant la guerre ; il animait une équipe au sein du CNAM et la confiance de ses pairs au sein de l'Université lui valait d'être, à la Faculté des sciences, le vice-doyen, chargé du nouveau campus d'Orsay. Raimond Castaing (1921-1998), après l'ENS et l'agrégation en 1946, avait fait sa thèse à l'ONERA sous la direction de Guinier ; après avoir mis au point *la microsonde Castaing*, il y pilotait un groupe de recherche. Jacques Friedel, qui avait « fait Polytechnique » comme ses prestigieux ancêtres et commencé sa recherche dans le laboratoire du professeur Sir Nevill Mott (PhD à Bristol en 1952, prolongé par la thèse d'état en 1954), animait à l'Ecole des mines de Paris une équipe surtout dédiée aux propriétés mécaniques des cristaux et aux propriétés électroniques des impuretés dans les métaux.

André Guinier.

Raimond Castaing en 1994.

Mentionnons ici, en les associant dans notre souvenir, que ces trois pionniers obtinrent tous les trois la médaille d'or du CNRS. Tous trois furent membres à l'Académie des sciences. Ils ont également chacun présidé la Société française de physique (SFP) et multiplié les prix et récompenses scientifiques.

La création du Laboratoire de physique des solides et le contexte scientifique

Les premières réflexions sur la création d'un laboratoire de physique des solides à Orsay remontent à 1958, à l'occasion d'une réunion regroupant le « père Rocard », comme on appelait affectueusement le directeur du Laboratoire de physique de l'ENS, Maurice Lévy qui y dirigeait le Laboratoire de physique théorique, ainsi qu'André Guinier et Jacques Friedel. Yves Rocard souhaitait la construction d'un bâtiment pour l'ENS, proche de l'accélérateur linéaire d'Orsay alors en plein chantier. Dans ce bâtiment, une place serait affectée aux activités de recherche de trois professeurs de physique des solides venant d'horizons différents, André Guinier, déjà senior à l'époque et deux juniors, Raimond Castaing et Jacques Friedel.

Dans les années 50, l'activité scientifique reprenait après les années de guerre et ne pouvait tenir dans un Paris limité à la Montagne Sainte Geneviève, avec l'ENS, Polytechnique et le Collège de France : comme l'exprimait Hubert Curien[1], *on devait faire respirer la physique parisienne sans toutefois la faire éclater.*

L'extension des bâtiments de l'ENS sur le campus d'Orsay fut décidée, comme annexe du Laboratoire de physique nucléaire et de physique théorique de l'ENS, et c'est en son sein que fut créé le Laboratoire de physique des solides. Les trois fondateurs, dont les compétences étaient complémentaires, avaient bien compris l'intérêt de coopérer pour réussir, en évitant les disputes et en maintenant la cohésion, avec mise en commun de l'ensemble des crédits universitaires au sein d'un laboratoire unique. On en était encore à la création du campus et il y avait fort à faire : ce n'était qu'un chantier boueux et Orsay était la seule Université de France non reliée

[1] Discours d'Hubert Curien à l'Académie des sciences le 4 décembre 2001 prononcé lors de la célébration des 80 ans de Jacques Friedel.

Le rayonnement de Jacques Friedel

Jacques Friedel en 2013.

Ce retour sur… le LPS évoque largement mais succinctement les contributions scientifiques de Jacques Friedel tout au long de sa longue et brillante carrière. Les lecteurs intéressés par des développements plus précis et complets se reporteront avec intérêt aux témoignages et explications disponibles sur le site de la Société française de physique (www.sfpnet.fr) qu'il présida en 1970.

Nous voudrions ici souligner l'importance des diverses responsabilités que Jacques Friedel exerça, en plus de la direction du LPS, et qui contribuèrent à son large et exceptionnel rayonnement. Nombreux sont ceux qui se souviennent de son enseignement, de ses conseils (combien de jurys de thèses ne présida-t-il pas !), toujours exercés avec une bienveillance et où la forte autorité morale accompagnait l'impressionnante envergure scientifique.

Directeur du LPS, Jacques Friedel présida aussi pendant un temps l'UER 3e cycle d'Orsay (où à la différence des autres universités le découpage suivait les ordres d'enseignement et non pas le découpage disciplinaire). Membre éminent de la SFP, Jacques Friedel, fut à ses débuts (1982-1984) président de la Société européenne de physique (SEP/EPS), qu'il avait contribué à créer quand les blocs divisaient encore l'Europe. Membre de l'Académie des sciences, il en fut élu Président par ses pairs pour la période de 1992 à 1994 puis présida l'Institut.

Jacques Friedel appartenait à une famille de tradition protestante d'où est issue une longue lignée de scientifiques polytechniciens ; ceux-ci ont marqué la chimie, la cristallographie, la minéralogie et la géologie françaises : son arrière-grand-père Charles, son grand-père Georges et son père Edmond dirigèrent d'importants laboratoires et écoles ; cette histoire familiale, associant le cousin Charles Crussard, a fait en avril dernier l'objet d'un colloque sur Les Friedel, la chimie et les cristaux.

Le 12 juillet 2013, François Hollande avait remis à Jacques Friedel les insignes de Grand-Croix de la Légion d'Honneur ; aucun physicien depuis Branly, Langevin et de Broglie n'avait reçu cette très rare reconnaissance de la République envers ses savants.

à Paris par une route carrossable, selon André Guinier qui en sera le premier doyen !

Le laboratoire du 210, dont André Guinier fut le premier directeur, regroupait les activités d'imagerie et de rayons X, la physique des propriétés électroniques, magnétiques, mécaniques et plastiques des métaux et alliages. L'un des grands atouts du 210 fut de s'adosser dès ses débuts à un enseignement de DEA de haut niveau en physique des solides : Guinier enseignait les structures cristallines, Lévy la mécanique quantique, Aigrain les phénomènes de transport et Friedel la structure électronique. Ce fut le début d'un DEA moderne dont les cours, d'abord répartis entre Paris et Orsay, furent regroupés à Orsay dès 1960

Cet enseignement de DEA a joué un rôle fondamental dans les succès scientifiques du laboratoire. De nombreux étudiants pouvaient effectuer sur place le stage obligatoire d'un mois et il constituait un vivier d'étudiants de très haut niveau pour des thèses dans ses propres murs. Avec celui dispensé au CEA Saclay, Orsay fut alors, dans le cadre de l'université, le premier enseignement de haut niveau en mécanique quantique et c'est Pierre-Gilles de Gennes qui l'assura à partir de 1961, après avoir quitté les thèmes sur lesquels il travaillait à Saclay (antiferromagnétisme et diffraction de neutrons).

Le laboratoire associé au CNRS.

En 1966, le laboratoire formait déjà un tout pour l'université, mais vis-à-vis du CNRS chacune de ses composantes dépendait de commissions différentes du comité national, sans réelle harmonisation entre elles. Sur la suggestion de Guinier et Friedel[2], Pierre Jacquinot, alors directeur du CNRS, accepta que le Laboratoire de physique des solides soit considéré comme une seule entité par le CNRS, à l'image de ce qu'il était à l'université : cette décision conduisit au laboratoire associé N° 2 (ou LA2) – le premier pour la physique, et elle contribua à lancer en France la formule des laboratoires associés Université-CNRS, devenus plus tard unités mixtes de recherche (UMR). Cette formule inaugurée à Orsay en 1966 ne se généralisa pas sans réticence dans le pays, les doyens des universités n'étant pas ravis de voir le CNRS entrer dans le jeu de la recherche universitaire. C'était cependant une formule particulièrement bien adaptée à la

[2] J. Friedel, Graine de Mandarin, Editions Odile Jacob, p 226.

structure administrative de la France car elle assurait le lien entre enseignement et recherche ainsi que la stabilité des ressources à moyen terme.

Parti de quelques dizaines de chercheurs en 1959, le Laboratoire de physique des solides atteint rapidement une centaine de personnes, avec ses techniciens. Des locaux supplémentaires avaient été grignotés à la Physique théorique, pour loger l'arrivée des hautes pressions et celle de métallurgie théorique en 1967 ; une cabane avait même été construite sur le toit pour la branche Friedel, renforcée en expérimentateurs venus soit de Saclay et de l'IRSID, soit de l'Angleterre et de la Suisse.

La construction du 510 et ses débuts en recherches

Le problème de place se posa de manière aiguë en 1968 et c'est Pierre Aigrain, alors directeur de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) qui soutint la construction d'un nouveau bâtiment de 10 000 m² sur le plateau du Moulon. Peut-être inspiré par notre collègue helvétique Claude Froidevaux, l'un des fondateurs des basses températures et de la RMN au 210, le nouveau bâtiment, le 510, était doté de quatre ailes en forme de croix suisse. Il se trouva partagé entre les trois fondateurs. Guinier et Castaing occupèrent respectivement les ailes Ouest et Est ; Friedel, succédant au long règne de Guinier au 210, fut le premier du directeur du 510, avec autorité sur l'aile Sud des théoriciens et l'aile Nord des expérimentateurs de la structure électronique. L'extension autorisée par le nouveau bâtiment stimula de nouveaux axes de recherche et permit d'accueillir dans l'aile Nord de nouveaux chercheurs seniors, formés en province ou revenant de séjours postdoctoraux aux Etats-Unis.

Le bâtiment 510 du Laboratoire de physique des solides. Entrée principale avec l'amphithéâtre André Blandin et le gros chêne.

Quelques succès scientifiques significatifs

Il serait fastidieux d'énumérer les nombreuses réussites scientifiques du LA2. Aussi nous bornerons-nous à mentionner les résultats les plus marquants, considérés comme des réussites par les auteurs de l'ouvrage édité par l'Université Paris-Sud[3]. Toutes les composantes du LPS sont concernées et bien souvent la réussite est le fruit de coopérations fructueuses entre elles.

Des métaux et alliages aux réseaux de neurones

L'étude de la *pathologie des cristaux*, ainsi que Jacques Friedel aimait la nommer, fut une source constante d'inspiration. Elle avait démarré avec les effets d'écrantage d'une impureté dans un métal, écrantage oscillant associé à une « règle de somme » qui porte depuis le nom de Friedel. Emile Daniel, un agrégé venant de Rennes et qui avait été son premier étudiant à l'Ecole des mines, a d'ailleurs étendu le concept d'oscillation de la densité électronique au voisinage des impuretés pour interpréter des résultats de RMN d'alliages dilués sortis du laboratoire d'Harwell. Il s'agissait d'un traitement assez rustique mais cependant efficace qui caractérise bien « l'approche Friedel » en théorie des solides.

Peu après, André Blandin se joindra au groupe des théoriciens. Grâce à une grande expertise dans la structure électronique des alliages métalliques, il décrira les propriétés magnétiques d'impuretés de métaux 3d diluées dans un métal non magnétique et prédira le gel de ces impuretés dans un état magnétiquement désordonné, appelé verre magnétique ou verre de spins. Cet état a été étudié et observé expérimentalement à Orsay et à Grenoble. L'extension du concept de verre a donné lieu à application aux concepts de réseaux de neurones et d'algorithmes de satisfaction des contraintes en informatique.

Un autre aspect de la pathologie des cristaux concerne l'activité de Friedel sur le rôle des défauts *étendus* dans les structures cristallines : l'ouvrage consacré aux dislocations publié en 1956 fait encore autorité et a stimulé des études variées, d'abord au Laboratoire de l'Ecole des mines puis à Orsay.

De la diffraction diffuse à la supraconduction organique

Les méthodes de diffraction aux petits angles et en dehors des réflexions sélectives (taches de diffraction de Bragg), développées à l'origine par André Guinier, avaient contribué à comprendre le durcissement du duralumin par la formation de précipités de $CuAl_2$ dans une matrice d'aluminium (les zones de Guinier-Preston) ; elles ont été à l'origine des recherches sur les conducteurs de basse dimensionnalité et de leur succès au LPS. En effet, cette diffusion aux petits angles

[3] Les 100 plus belles découvertes d'Orsay, Université Paris-Sud, Vuibert, 2005.

provient de distorsions locales du réseau cristallin et peut fournir des informations sur la nature de l'ordre au voisinage de défauts et sur les corrélations des atomes au voisinage de transitions de phases.

Il s'est agi d'abord de la ferroélectricité des structures perovskites $BaTiO_3$ et $KNbO_3$, avec l'objectif d'établir une relation entre la ferroélectricité et des déplacements atomiques corrélés. Ensuite on a pu détecter les modulations de la distribution électronique, dues à des ondes de densité de charge (ODC) dans les conducteurs de basse dimensionnalité (1D) constitués par les chaînes d'atomes de platine des platinocyanates dites KCP ; découvertes en 1968 par Krogmann en Allemagne, ces chaînes forment en effet de réels conducteurs unidimensionnels dans des cristaux tridimensionnels.

Rudolf Peierls avait prédit en 1950 l'impossibilité de maintenir l'état conducteur unidimensionnel uniforme, stable à basse température. C'est cette conjecture que le groupe de rayons X put vérifier en 1973 en découvrant la transition de Peierls dans un conducteur à remplissage de bande incommensurable avec le réseau atomique (un nombre de porteurs différent d'un nombre entier par atome) grâce à l'utilisation de la méthode de diffraction diffuse. La transition de Peierls à 54K a également été observée en 1974 sur de nouveaux conducteurs unidimensionnels organiques incommensurables (TTF-TCNQ, en bref) juste découverts aux Etats-Unis.

Le domaine des conducteurs moléculaires organiques de basse dimensionnalité devait alors devenir l'une des grandes activités du laboratoire, qui perdure depuis des décennies. L'association d'équipes travaillant sur les structures cristallines et sur les structures électroniques, puis la découverte à Orsay de la supraconductivité organique dans les sels de Bechgaard $(TMTSF)_2PF_6$ en 1980, ont simultanément ouvert un nouveau domaine en supraconductivité et stimulé la physique de basse dimensionnalité, restée très active avec les récents développements sur les nanotubes de carbone.

A partir de 1986 la découverte de supraconductivité à haute température par A. Müller (prix Nobel avec G. Bednorz en 1987), dans des oxydes de cuivre dopés où elle n'était pas attendue *a priori*, marqua un engouement du laboratoire pour ce domaine. Spécialisé en résonance magnétique du solide, il contribua à plusieurs avancées significatives dont celle, grâce à la RMN, de la découverte d'un *pseudogap* dans la densité d'états au niveau de Fermi à l'extérieur de la phase supraconductrice. L'origine de ce *pseudogap* est sans doute liée à l'existence de fortes fluctuations antiferromagnétiques au voisinage d'une phase antiferromagnétique ordonnée dans le diagramme de phases de ces composés. Des études de photoémission résolue en angle ont aussi contribué à des avancées dans ce domaine.

Les mésomorphes

Le domaine des cristaux liquides dans leurs différents états constitue bien évidemment l'une des plus grandes réussites du laboratoire et il a contribué au prix Nobel de Pierre-Gilles de Gennes en 1991, après la médaille d'or du CNRS. Celui-ci avait dès ses débuts au 210 encadré et inspiré un groupe théorique et expérimental particulièrement actif sur l'étude de la supraconductivité des métaux et alliages (essentiellement supraconductivité dite de type II). Puis, en 1968, l'activité collective sur l'étude des structures et des propriétés des corps mésomorphes prit beaucoup d'ampleur : de Gennes a étendu avec succès la théorie de Landau pour les transitions de phases dans les supraconducteurs à celles entre diverses phases mésomorphes.

Parmi la moisson de résultats obtenus à cette époque par le brillant groupe des cristaux liquides d'Orsay, on peut citer l'analogie avec la supraconductivité pour décrire l'ordre smectique. Mais une réussite particulièrement éclatante sera celle de la première synthèse d'un *cristal liquide ferroélectrique*. La ferroélectricité des cristaux liquides était recherchée et elle avait été prévue grâce à une superbe idée de R. B. Meyer (visiteur de Harvard), basée sur un argument de symétrie et proposant les smectiques C chiraux comme candidats. En quelques mois le groupe de chimie du laboratoire et les expérimentateurs confirmèrent la validité de cette suggestion et rapidement les smectiques C gagnèrent trois ordres de grandeur dans la vitesse de commutation des dispositifs d'affichage. A la fin des années 60, de Gennes se tourna vers la physique des polymères, qu'il développa au Collège de France et à l'ESPCI.

Depuis 1994 le domaine de la matière molle a évolué. L'environnement expérimental et théorique du laboratoire a attiré de nouveaux chercheurs provenant de la biologie et de la biophysique, ce qui permet d'élargir le domaine de la matière molle aux fluides complexes, à la physique des surfaces et des interfaces, aux polymères et autres objets biologiques.

La magnétorésistance géante

La *magnétorésistance géante* constitue une autre découverte fondamentale, avec des retombées industrielles considérables. Dans le prolongement de ses premiers travaux effectués en collaboration avec Campbell en 1968 sur l'influence du spin sur la mobilité des électrons d'un métal ferromagnétique, Albert Fert (médaille d'or du CNRS en 2003 et prix Nobel de physique 2007) met en évidence, en 1988, le phénomène de la magnétorésistance géante dans des multicouches magnétiques ultra-minces.

La réalisation de telles couches nécessitait la maîtrise de l'épitaxie par jets moléculaires et c'est au laboratoire voisin de Thomson-CSF que Fert étendit aux multicouches ses travaux

Le LPS et les progrès de l'expérimentation
Sonde électronique et sonde ionique

Les réussites du LPS sont inséparables des progrès expérimentaux, à une échelle de plus en plus fine. Le nom de Raimond Castaing est inséparable de la microsonde qui porte son nom (en anglais EPMA : Electron Probe by Micro Analysis), mise au point à l'ONERA, avant donc la création du LPS. Le principe est d'analyser les rayons X émis par un échantillon bombardé par des électrons : on conçoit que le réarrangement des perturbations induites par les électrons s'accompagne de l'émission de rayons X spécifiques des atomes excités ; les perfectionnements du dispositif, inséparables de la microscopie électronique et de l'imagerie par balayage, permettent des analyses quantitatives très ponctuelles et partant des progrès considérables dans tous les laboratoires concernés par la cristallogenèse, la métallurgie ou l'étude des matériaux. La société CAMECA a commercialisé depuis les années 60 et 70 des centaines de dispositifs…

La sonde ionique, dispositif de spectrométrie de masse à ionisation secondaire, procède d'un autre principe : le bombardement ionique induit l'émission d'ions qu'on analyse par un dispositif de spectrométrie de masse : c'est à un élève de Raimond Castaing, George Slodzian, qu'il revient d'avoir développé à Orsay cet outil très performant d'analyse locale, chimique et isotopique. La sonde ionique constitue un équipement classique, complémentaire de la microsonde électronique et implanté dans les mêmes laboratoires. La littérature scientifique mentionne également sous l'acronyme SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) des dispositifs similaires. La CAMECA est le leader mondial de leur commercialisation.

antérieurs sur des alliages ternaires. Cette découverte de la magnétorésistance géante a donné lieu à des applications considérables ; la plus importante à l'heure actuelle utilise le contrôle de la mobilité des électrons à travers un sandwich de métaux magnétiques dans les têtes de lecture de tous les disques durs d'ordinateurs et elle a permis une augmentation considérable de leur capacité de stockage.

Le contrôle des courants de spins par de faibles champs magnétiques est maintenant étendu à des gammes de matériaux beaucoup plus larges que les multicouches métalliques initiales, comme les semi-conducteurs magnétiques et les nanotubes de carbone. Ce domaine important et prometteur est connu sous le nom de *spintronique*. L'activité de recherche aux échelles réduites est toujours très présente au LPS dans le domaine du micro et nano-magnétisme et elle s'élargit actuellement vers la physique mésoscopique et les nanosciences.

Particularités du LPS : quelques raisons de son succès

Le laboratoire peut se prévaloir de la présence dans ses murs, à un moment de leur carrière, de deux prix Nobel de physique, de quatre médaillés d'or du CNRS et d'une dizaine de membres de l'Académie des Sciences. Ses réussites reposent évidemment sur les mérites individuels de ces chercheurs éminents, mais aussi sur l'environnement de recherche si particulier qui existe au LPS.

La qualité des fondateurs et de leurs équipes

Les trois fondateurs partageaient la particularité d'avoir formé très tôt après la guerre, chacun dans son domaine, une équipe de recherche. Entourés d'élèves confirmés, à l'Ecole des mines, au CNAM et à l'ONERA, ils avaient une solide expérience de la recherche et le succès du LPS doit beaucoup au regroupement de ces talents complémentaires, comme à leurs expériences antérieures. Lorsque Guinier, Castaing et Friedel se sont réunis dans le bâtiment 210, rejoints par de Gennes qui y passa 10 ans de 1961 à 1971, ils partageaient plusieurs volontés :

- coupler étroitement la recherche à un enseignement spécialisé en physique des solides ;
- mettre en relation les propriétés (électroniques, magnétiques, optiques et mécaniques) de la matière avec son organisation (structures et imperfections) ;
- coupler l'expérience avec la théorie et développer une instrumentation scientifique originale ;
- faire une place de choix à la cristallogenèse comme à la chimie (organique) de synthèse.

Le recrutement et le renouvellement des chercheurs

Beaucoup de chercheurs du LPS étaient aussi des enseignants au second cycle de l'université Paris-Sud, ce qui permettait de repérer tôt les meilleurs éléments et de leur faire connaître l'existence du laboratoire de recherche. Grâce à l'existence du DEA, celui-ci a pu bénéficier d'un recrutement relativement facile pour ses équipes de recherche comme de la diversité des formations amont : grandes écoles, universités et nombre d'étudiants étrangers.

Il n'y avait pas d'échelle de valeur entre théorie et technologie : ainsi au temps de l'existence de la thèse de 3e Cycle les étudiants pouvaient facilement évoluer vers une thèse d'Etat

théorique après une thèse 3e Cycle expérimentale. D'ailleurs, c'est souvent grâce à des percées technologiques que le laboratoire a pu réaliser ses plus belles réussites scientifiques.

La mobilité

Phénomène naguère peu courant, des chercheurs du LPS ont pu effectuer de longs séjours sabbatiques ou postdocs au Japon. Il en est resté un lien étroit avec ce pays et en retour l'accueil d'excellents visiteurs japonais, professeurs ou jeunes docteurs. Le renouvellement des chercheurs a toujours été élevé, de l'ordre de 10 % par an, ce qui a permis au laboratoire de ne pas trop vieillir, ni trop grossir.

La plupart des nouveaux docteurs ont pu trouver des postes dans d'autres laboratoires universitaires ou dans des laboratoires industriels ; de nombreux chercheurs étrangers possèdent une thèse d'Orsay. Un grand nombre d'universités de province ont vu leurs laboratoires de matière condensée renforcés par des théoriciens formés à Orsay, en particulier à Strasbourg, Lyon, Lille, Poitiers, Nantes et Marseille.

Des recherches transversales

L'interdisciplinarité, qui est une composante essentielle du succès, apparaît sous diverses formes. Pour les cristaux liquides, la présence de chimistes sur place était nécessaire afin d'imaginer en liaison avec les théoriciens les systèmes intéressants à étudier et cette symbiose était alors unique en France. En ce qui concerne la chimie des solides, d'étroites relations ont pu être nouées à la fin des années 60 avec le laboratoire de Bordeaux réputé pour ses travaux sur les oxydes de métaux de transition de la série du vanadium qui ont fourni des prototypes pour étudier le problème de Mott, c'est-à-dire le rôle des interactions coulombiennes dans un gaz d'électrons conducteurs.

Les dichalcogénures lamellaires de métaux de transition ont constitué un point d'ancrage avec la chimie du solide de Nantes ; elle a débouché sur des matériaux présentant des instabilités structurales et électroniques induites par l'emboitement (nesting) de la surface de Fermi. Pour la chimie organique du solide, des coopérations avec l'université de Copenhague et le chimiste K. Bechgaard (membre associé de l'Académie des sciences), comme avec l'université de Montpellier, ont permis une présence mondiale du LPS sur le front des conducteurs moléculaires durant plus de trente ans.

Une physique à moyens modestes, proche de grands instruments

La vision des fondateurs était celle d'une recherche à taille humaine, avec des expériences imaginées, montées et conduites par de petites équipes, ne demandant généralement pas d'énormes moyens financiers mais bien épaulées par des techniciens. La réactivité qui en a résulté a rendu le LPS particulièrement compétitif au niveau mondial. Plusieurs chercheurs formés au laboratoire ont très activement participé à la construction de grands équipements, tel Yves Farge premier directeur du laboratoire LURE qui utilise le rayonnement synchrotron émis par l'anneau de stockage de l'accélérateur linéaire d'Orsay. Des membres du laboratoire ont dirigé le laboratoire Léon Brillouin à Saclay ou contribué à construire et exploiter des lignes de lumière sur le synchrotron SOLEIL.

Du point de vue administratif, ce laboratoire a toujours été remarquable par la légèreté et l'efficacité de ses structures. Un conseil de laboratoire réunissait environ tous les deux mois les chefs de groupes pour partager les crédits récurrents du CNRS et de l'Université, naguère importants dans le budget total ; un administrateur, parfois ancien militaire à la retraite, encadrait un groupe de quelques secrétaires et secondait le directeur. Cette période semble bien révolue avec la contractualisation des crédits et la raréfaction des crédits récurrents.

Le laboratoire et la communication

Le LPS a toujours joué un grand rôle dans la diffusion de l'information scientifique ; ses trois fondateurs, ainsi que P-G de Gennes et plusieurs de leurs élèves directs ont largement utilisé, pour diffuser leurs travaux, les Comptes-rendus de l'Académie des sciences (CRAS) qui étaient à l'époque le mode de publication le plus rapide. Le Journal de physique et ses avatars a été hébergé dans le bâtiment 210 puis dans le 510 où il s'y trouve toujours. Enfin, de très nombreux chercheurs du laboratoire suivant l'exemple de Friedel se sont chargés d'activités d'éditeurs scientifiques dans diverses revues internationales.

Le laboratoire accueille toujours un grand nombre d'étudiants du DEA, de visiteurs français et étrangers. La convivialité y est favorisée par l'existence sur le toit du bâtiment 510 d'une magnifique cafétéria dont la construction a été financée par deux importants prix scientifiques obtenus en 1966 par Raimond Castaing (prix du Crédit Lyonnais) et en 1967 par André Guinier, Jacques Friedel et Pierre-Gilles de Gennes (prix Cognac-Jay) qui représente un lieu de rencontre et de discussions idéalement situé.

Evolutions récentes et conclusion

55 ans, tel est l'âge du Laboratoire de physique des solides d'Orsay. Durant cette période, la recherche a accompli des progrès considérables tant sur le plan des connaissances fondamentales que sur l'instrumentation et le passage du fondamental à l'appliqué. Sur tous ces points le LPS peut revendiquer des succès constants, il le doit à la vision de ses fondateurs : dès les années 60, ils avaient compris que

le laboratoire créé à Orsay pouvait pallier les inconvénients d'une séparation entre recherche universitaire et recherche au sein du CNRS, qui est une caractéristique de notre pays. En unissant les efforts, le LPS allait devenir un point de rencontre fécond entre enseignement et recherche, la recherche universitaire irriguant et stimulant un enseignement moderne de la physique, évitant toute sclérose. Les enseignements spécialisés de DEA dispensés sur place ont également regroupé des étudiants d'origines variées, qui ont irrigué efficacement les équipes de recherche du laboratoire. Sur le plan de la recherche, le succès du LPS est dû au développement d'équipes expérimentales à la fois pointues et polyvalentes, en contact étroit avec les théoriciens locaux.

Que les principaux thèmes de recherche du laboratoire aient évolué en plus de 50 ans est la conséquence normale de sa réussite, mais aussi celle des changements des modes de financement de la recherche. Toutefois, tout en se diversifiant les activités expérimentales du laboratoire se sont restructurées autour de **trois axes** qui se partagent un grand bâtiment, qui bénéficient de la proximité d'un DEA toujours très actif, de services communs efficients, de séminaires partagés et de théoriciens en interaction étroite avec les groupes expérimentaux. On peut admettre que le LPS a bien contribué, simultanément, à l'accroissement des connaissances et à la formation de cadres scientifiques lorsqu'on constate que les effectifs chercheurs et enseignants-chercheurs n'ont augmenté que 20 % entre 1966 et 2014, la plupart des thésards formés au laboratoire ayant ensuite aisément trouvé des emplois à l'extérieur.

L'activité matière molle sur les matériaux mésomorphes des années 70 a évolué vers l'étude des mousses et émulsions et vers la biophysique, qui s'est beaucoup développée en bénéficiant des facilités technologiques locales et de nombreux contacts avec les industries des cosmétiques de la pétrochimie ou de la médecine. C'est un domaine qui lui aussi a largement bénéficié des progrès technologiques du laboratoire en matière d'imagerie. Un exemple, la cryo-microscopie électronique à haute résolution qui permet désormais d'observer à l'échelle du nanomètre la cellule dans son environnement hydraté.

Le développement de nouvelles structures, à base de carbone comme les nanotubes de carbone ou la structure graphène bidimensionnelle, a été spectaculaire et a suscité une nouvelle physique, où les dimensions des nano-échantillons sont inférieures à la longueur caractéristique du phénomène physique étudié. Le graphène a été le matériau phare de la dernière décennie, un parfait cristal bidimensionnel en nids d'abeilles. Les électrons au niveau de Fermi y sont dépourvus de masse (porteurs de Dirac). Les travaux théoriques du laboratoire avaient prévu la réapparition d'une masse dans du graphène déformé, qui a été récemment confirmée à Zurich dans un graphène artificiel obtenu à l'aide d'un gaz d'atomes ultra froids. La physique du graphène s'est aussi retrouvée dans les états électroniques de surface d'un isolant topologique comme Bi_2Te_3 où une photo-excitation des porteurs sans masse par un laser femtoseconde a mis en évidence un temps de vie de ces excitations largement plus grand que celui des porteurs massifs des bandes massives du cœur de l'échantillon.

La compréhension de la structure électronique et de la plasticité des métaux et alliages, qui était la base des travaux du laboratoire, a évolué **vers de nouveaux matériaux, souvent de basse dimensionnalité présentant, des états quantiques très particuliers** : supraconduction à haute température, *multiferroicité* (c'est-à-dire la coexistence d'ordres magnétique et ferroélectrique), liquide de spins et autres états exotiques. Ces recherches profitent des progrès apportés par le développement des travaux numériques basés sur la nouvelle théorie du champ moyen dynamique (DMFT). Cet axe est fortement influencé par les progrès des techniques de fabrication des hétérostructures comme les gaz 2D fabriqués à l'interface entre deux pérovskites ou deux semi-conducteurs. Souhaitons que la chimie du solide continue de fournir de nouveaux matériaux, après ceux que la nature nous a offerts dans le passé !

Le Laboratoire de physique des solides d'Orsay a adopté dès sa formation une structure efficace dans le contexte des années 60 en associant recherche universitaire, recherche au sein du CNRS et enseignement. Un demi-siècle plus tard, il a accumulé un grand nombre de succès scientifiques et il s'est adapté aux nouveaux schémas de l'organisation et du financement de la recherche. Nous pouvons donc être confiants : avec le renouvellement des générations, il a encore de beaux jours devant lui. ■

L'AUTEUR

Denis Jerome est directeur de recherche émérite du CNRS au Laboratoire de physique des solides d'Orsay et membre de l'Académie des sciences. Ses recherches ont concerné d'abord l'étude des propriétés électroniques des métaux et alliages sous haute pression et à basse température. Il s'est tourné ensuite vers l'étude de conducteurs unidimensionnels et on lui doit en particulier la découverte de la supraconductivité des conducteurs organiques.