

Académie des sciences

DISCOURS PRONONCÉ EN SÉANCE PUBLIQUE LE 6 AVRIL 2004 PAR PHILIPPE NOZIÈRES EN HOMMAGE À PIERRE AIGRAIN (1924 – 2002)

C'est avec une très grande émotion que j'accomplis un devoir de mémoire en vous retraçant la vie et l'oeuvre de Pierre Aigrain - Pierre Aigrain qui a guidé mes premiers pas de physicien il y a plus d'un demi-siècle. Tous ceux qui ont eu la chance de travailler à ses côtés savent ce qu'ils lui doivent.

Pierre Aigrain est né le 28 septembre 1924 à Poitiers. Il entre en 1942 à l'École Navale et rallie Toulon en novembre. Quelques jours plus tard la Flotte se saborde, laissant nos marins sans emploi ! Les élèves sont dispersés dans différentes Écoles d'ingénieurs, puis rassemblés en octobre 1943 à Clairac dans le Lot et Garonne, étrange localisation "munie d'un large plan d'eau". Le bataillon "École Navale" rallie le maquis en juin 1944 et fait le coup de feu dans la poche de Royan après la Libération. Peu après Aigrain est envoyé par la Marine à Memphis aux Etats-Unis pour suivre une formation de pilote d'aéronavale. D'une maladresse manuelle proverbiale, il n'a guère l'étoffe d'un pilote - en revanche ses qualités intellectuelles sont impressionnantes ! Le commandant de sa base comprend vite qu'il a là un phénomène, et l'oriente vers une formation scientifique au Carnegie Institute of Technology de Pittsburgh. Il y brûle les étapes, obtient son Master en 1946 et soutient sous la direction d'Everard Williams une thèse d'Électrotechnique en 1947, inventant au passage un code de télécommunication qui sera exploité par d'autres sous le nom de "code Gray". Simultanément il devient un membre assidu de la petite équipe de physiciens animée par Fred Seitz. Ce dernier est le "pape" de la physique des solides aux Etats-Unis, il veut poursuivre et valoriser l'effort de guerre et pour cela il monte des équipes de recherche en physique des solides et en physique nucléaire. Aigrain en devient une cheville ouvrière : l'ingénieur va devenir physicien ! Encore aujourd'hui Seitz évoque ce jeune Français qui se passionnait pour tout et comprenait tout – le jeune Français avait 23 ans !

De l'autre côté de l'Atlantique, Yves Rocard, nouveau directeur du laboratoire de physique de l'École normale supérieure (ENS), pressent que la physique des solides, inexistante en France, va devenir un passage obligé. Il envoie un jeune normalien, Claude Dugas, chez Seitz. Celui-ci rencontre Aigrain (il le croit Américain et lui parle en anglais!). La paire va rester inséparable et créer de toutes pièces la recherche fondamentale et toutes les applications industrielles des semi-conducteurs dans notre pays. Le transistor est une mutation qui révolutionne la technologie, ouvrant la voie à la microélectronique, à l'informatique, etc... En France tout s'est construit autour de nos deux larrons. Rocard les fait revenir début 1948 à l'ENS, Dugas comme Chef de travaux, Aigrain avec la maigre solde d'un jeune officier de marine. D'une imagination débordante, ils explorent "tous azimuths" : la thèse française d'Aigrain, soutenue en mars 1950, porte sur le transistor à pointe (qui vient d'être inventé à Bell Labs), celle de Dugas sur l'adsorption par les semi-conducteurs et son application à la catalyse (l'article d'Aigrain, Dugas et Germain fait du bruit à l'époque). Dès 1949 ils recrutent un diplômé, Pierre Baruch, à peine plus jeune qu'eux. Aigrain, fasciné par un article sur la

supraconductivité du nitrure de colombium (niobium aujourd'hui), oublie les semi-conducteurs et met Baruch sur le sujet. Il n'y a pas de cryogénie à l'École ? Qu'importe, on ira en voiture chercher l'hydrogène liquide dans un dewar à Bellevue !

En 1951 Maurice Ponte attire Dugas à la CSF pour démarrer l'industrie des semi-conducteurs: Aigrain reste seul aux commandes rue Lhomond. Il est nommé en 1952 Maître de conférences à Lille, restant pour un temps détaché de la Marine. Nommé à la Sorbonne en 1954, il prend la chaire d'Électrotechnique en 1958. Les étudiants affluent dans son laboratoire, attirés par l'enthousiasme de ce patron atypique. J'arrive dès 1951, conscrit fraîchement émoulu du concours : pendant 4 années je passerai tout mon temps au labo, ma famille ! L'atmosphère est incroyablement stimulante. Aigrain arrive tous les matins avec une dizaine d'idées nouvelles, qu'il nous expose sur son petit tableau noir (1m²). Un grand nombre sont farfelues, mais il en reste toujours une ou deux de fécondes. Une bonne idée par jour n'est pas à la portée de tout le monde ! Nous nous formerons en triant le bon grain de l'ivraie : c'est une expérience extraordinaire. Certes il n'est pas rare de changer trois fois de sujet de diplôme au cours de l'année : Aigrain a lu ceci ou cela (il est la seule personne de ma connaissance capable de parcourir la table des matières d'une Phys. Rev. et de détecter d'un coup d'oeil les articles importants - il y en avait dans chaque numéro à l'époque !). "Telle ou telle manip devrait marcher, pourquoi n'essaies-tu pas demain ?". A ce régime on apprend vite la curiosité et l'enthousiasme, l'audace face à l'inconnu. Peu à peu se tisse entre le maître et ses élèves une merveilleuse complicité, un respect mutuel qui ignore la hiérarchie. Aigrain le défricheur sera notre maître à penser.

Au plan matériel, tout est à faire. Quand on a besoin d'un ampli, on le câble. Il est admis que chaque diplômé construit un équipement, même s'il n'a pas le temps de l'utiliser lui même. C'est ainsi que naissent le banc de fusion de zones, le banc de tirage des cristaux, le banc d'évaporation sous vide, etc. Chacun a sa grosse table en chêne, que l'on essaie de protéger des mains maladroites du patron lorsqu'il vient aux nouvelles. Un vieux spectro récupéré en Allemagne donne les premiers résultats sur l'effet photomagnétoélectrique (PME), version optique de l'effet Hall. Chaque diplômé démarre une nouvelle voie. L'un étudie la lumière de recombinaison des paires électron-trou injectées par une jonction : le problème est de la faire sortir (l'indice est 4), la sphère de Weierstrass chère aux taupins résoudra le problème. Un autre s'intéresse à l'effet de champ qui permet de contrôler la densité des porteurs par une tension électrique (les applications viendront des décennies plus tard : Aigrain s'y intéressait dans les années 50). Un troisième étudie le transport non linéaire, les "électrons chauds" inaccessibles dans les métaux, mais pas dans les semi-conducteurs. Les sujets fusent, adsorption, résonance cyclotron, etc. A la fin des années 50, le groupe a essaimé dans toute la physique des isolants et semi-conducteurs.

L'homme est fascinant, toujours à l'écoute des autres et comprenant à mi-mot ce qu'on essaie de lui expliquer. En quelques minutes, il a tout vu et c'est lui qui explique à son interlocuteur les développements possibles. D'une extrême générosité, il refuse catégoriquement de signer les publications de ses élèves. Il a une manière bien à lui de lancer un jeune sur une idée de son invention et de demander quinze jours plus tard : "à propos, où en est *ton* idée de ceci ou cela ?". Ce transfert de paternité est spontané et typique de sa personnalité. Il sème à tout vent, trop heureux si le grain germe. Mais cette générosité a une contrepartie : il publie peu. Il a en fait une sainte horreur de la paperasse et de l'écriture en général. Lorsqu'au congrès des semi-

conducteurs à Bruxelles en 1965, il lance dans la discussion l'idée que des paires électron-trou pompées peuvent produire un effet laser, ses élèves le supplient de rédiger un texte - sans succès ! Le crédit ira à d'autres.

En fait le petit nombre de ses publications ne nuit en rien à sa réputation internationale: son rayonnement déborde l'Hexagone et la pépinière de la rue Lhomond devient vite célèbre Outre-Atlantique. Il y noue des contacts étroits, utiles pour obtenir un soutien financier des organismes américains (qui change la vie spartiate des premières années), utiles surtout pour établir un dialogue scientifique d'égal à égal avec les grands centres américains. Je me souviens d'avoir passé deux étés aux Bell Laboratories en 1955 et 1956, à l'époque « la Mecque ». Lorsqu'Aigrain y venait, je peux témoigner que les physiciens américains faisaient la queue à la porte de son bureau pour lui raconter leurs travaux et recevoir la bonne parole. Le rayonnement d'un chercheur ne se mesure pas au nombre de ses publications. Il est regrettable qu'on l'ait oublié aujourd'hui ! Les Académies des Sciences et d'Engineering des Etats-Unis ne s'y sont pas trompées et ont su reconnaître son talent : elles l'ont accueilli bien avant notre Compagnie.

Les sujets abordés dans le laboratoire d'Aigrain couvrent peu ou prou toute la physique des semi-conducteurs. L'optique et la spectroscopie constituent un axe majeur, dans le droit fil des premiers travaux sur la lumière de recombinaison. La spectroscopie de fluorescence, s'avère un outil très fécond, en particulier sous champ magnétique (effet Faraday). Elle donne accès aux structures de bande et aux mécanismes de recombinaison (excitons, pièges, etc.). Elle va déboucher sur les lasers à semi-conducteurs, percée technologique qui envahit aujourd'hui notre vie quotidienne. Complétée par la photoconductivité, elle s'épanouira dans les très beaux travaux sur les gouttes de plasma dans les semi-conducteurs. Au fil des ans le groupe de l'ENS devient une référence obligée en la matière. Un autre axe concerne les propriétés de transport électroniques, électrons « chauds », instabilités de type plasma dans les semi-conducteurs, propagation d'ondes sous champ magnétique (hélicons). La gamme des matériaux s'élargit, d'abord vers les semi-métaux, puis franchement aux métaux. Là aussi, les experts américains viennent à Paris en année sabbatique pour apprendre le métier. L'installation d'un accélérateur van de Graaf permet de contrôler les défauts et d'étudier leur influence sur la diffusion et sur les réactions en phase solide. Cet équipement sera précieux pour étudier et exploiter les effets de canalisation.

Les projets d'Aigrain ne s'arrêtent pas à ces premiers succès. Il démarre l'étude des semi-conducteurs piézoélectriques, et plus généralement de la piézorésistance comme outil d'analyse. Il met en place un groupe de résonance cyclotron, complémentaire de la spectroscopie pour étudier les porteurs libres : grâce aux liens étroits avec la CSF, les carnotrons ouvrent le domaine millimétrique et mettent pour un temps la France à la pointe du progrès. Une équipe de jeunes démarre l'étude des solides organiques, du type phtalocyanine, anthracène, etc. Dans ces matériaux les corrélations sont très fortes et les modèles d'électrons libres peu réalistes. Ces études fleuriront vingt ans plus tard: Aigrain en avait pressenti l'importance bien avant. Un dernier groupe enfin, localisé au Laboratoire central des industries électriques, aborde la thermoélectricité et la réfrigération par effet Peltier qui sera exploitée, elle aussi, bien plus tard. Aigrain anime tout ce petit monde avec son enthousiasme habituel, mais il aide aussi les autres centres de physique des solides, au CNET, à Bellevue. Il est vraiment l'âme de la physique des semi-conducteurs en France.

Aigrain sait que les idées fécondes sont les plus simples, et qu'elles émergent dans un langage simple : le petit tableau noir suffisait ! Cette évidence a marqué tous ses élèves, imprimant un "style" qui lui était propre. Permettez-moi d'évoquer un épisode me concernant. En 1958, chef de travaux au laboratoire de l'ENS avant mon service militaire, je lui décris un calcul fait à Bell Labs l'année précédente, où par des méthodes fort savantes je trouvais un mode électromagnétique très basse fréquence dans un gaz d'électrons soumis à un fort champ magnétique. Quelle était la physique derrière ce résultat étonnant ? Honnêtement, je n'y comprenais pas grand'chose ! Le lendemain matin, un Aigrain hilare débarque dans mon bureau et m'explique mon résultat avec les équations de Maxwell et un fort effet Hall. En prime, il sait tenir compte des collisions ! "On doit voir l'effet aisément dans un semi-conducteur très pur", déclare-t-il comme d'habitude. Se tournant vers notre confrère Libchaber, thésard à l'époque : " tu devrais essayer, je suis sûr que ça marche!". Les hélicons étaient nés, ils vont faire les beaux jours des métaux et semi-conducteurs. Je n'ai jamais oublié cette leçon : la vraie physique est simple et n'a pas besoins de formalismes élaborés.

Pierre Aigrain a profondément marqué la recherche fondamentale sur les semi-conducteurs, qui pour l'essentiel est son héritière. Mais son goût pour les applications a aussi marqué le monde industriel. Lorsque Dugas et lui rentrent en France en 1948, ils sont les seuls à savoir ce qu'est un transistor, et plus généralement un électron ou un trou dans un semiconducteur. L'industrie électronique s'est développée autour des tubes à vide : forte de ses progrès spectaculaires, elle n'imagine pas un seul instant la révolution qui s'annonce. Maurice Ponte, précurseur depuis toujours, s'en rend compte le premier et saute le pas à la CSF : tous ses concurrents suivront bientôt! Mais où trouver les compétences ? Il n'y a qu'une réponse : au labo Aigrain à l'ENS. C'est là que viennent se former les ingénieurs qui vont essaimer dans toute l'industrie française, bien avant que les Écoles d'électronique ne prennent le relais. A une époque où il fallait s'adapter ou mourir, le rôle d'Aigrain sur la scène industrielle française a été crucial. Si l'électronique des tubes est née dans les années 20 au laboratoire militaire du Général Ferrié, celle des transistors est née dans les années 50-60 à l'ENS ! Sans jamais se mettre en vedette, Aigrain laissé sa marque sur l'industrie française.

Pierre Aigrain est un homme de science hors du commun – il est aussi homme d'action. Très tôt il mesure les lourdeurs de notre administration face au renouveau de la science française, durement éprouvée par les années de guerre, prisonnière de traditions souvent étouffantes. Aux côtés d'Henri Longchambon il participe à la première élaboration d'une politique scientifique dans le cadre du 3^e Plan, puis rentre au tout nouveau Comité consultatif de la recherche scientifique et technique de 1958 à 1962. Au sein de ce dernier, il défend bec et ongles la souplesse de la recherche face aux administrations et aux finances. Heureuse époque où le dit Comité comprenait 12 membres responsables et écoutés, qui ont su peser sur les choix scientifiques du gouvernement ! Du côté militaire le Ministre des Armées, Pierre Messmer, aujourd'hui notre Chancelier, n'a pas oublié l'épisode du magnétron, développé en France par Maurice Ponte et utilisé en Angleterre pendant la guerre : il veut développer une recherche militaire moderne et créative, appuyée sur la recherche civile. Ce sera le rôle de la Direction de la recherche et moyens d'essai (DRME), confiée à notre regretté confrère Lucien Malavard. Persuadé que la recherche fondamentale est le ferment des applications futures, Pierre Aigrain en est le premier directeur scientifique. Il fallait la force de conviction et l'enthousiasme de ces deux hommes pour rapprocher des mondes aussi éloignés ! C'est le

début d'une période faste où l'initiative et l'imagination ne sont pas bridées par la bureaucratie. Toujours à l'écoute des chercheurs qu'il reçoit volontiers, Aigrain ne se laisse pas piéger par le pouvoir et garde un contact étroit avec la science. Les jeunes de l'époque se souviennent encore des entrevues où il disséquait leurs projets avant de leur donner des subsides ! On était bien loin des décisions anonymes !

Pendant toute cette période il est moins souvent à son laboratoire, mais ses visites sont toujours attendues et fécondes. En 1965, il est nommé directeur général des Enseignements supérieurs, ce qui l'éloignera définitivement de la physique active. Dans ce poste « à risques », il essaie de lutter contre une lourdeur administrative omniprésente, crée les Instituts universitaires de technologie (IUT), apure les conflits avec le CNRS, et finalement met en place la réforme des enseignements de 1966. Heureusement pour lui il n'obtient pas de son Ministre, Alain Peyrefitte, les décisions attendues : il avait mis sa démission en balance, il la met à exécution à la surprise générale. Il quitte ses fonctions en février 1968, quelques mois avant des événements qu'il n'a pas vu venir. Son autorité scientifique n'est pas en cause : très vite il est nommé délégué général à la Recherche scientifique et technique, succédant à notre confrère André Maréchal. La DGRST a grossi et n'a plus la souplesse de ses débuts : l'un et l'autre y maintiennent néanmoins la primauté des critères scientifiques. Aigrain y reste de 1968 à 1973, développant en particulier les « Actions concertées ». En 1974, il décide de sauter le pas en virant franchement vers l'industrie : il devient directeur technique du groupe Thomson, héritier de la CSF des années 50. C'est pendant cette période que le Président Giscard d'Estaing lui demande d'étudier une réforme de notre Compagnie : ses propositions ne lui vaudront pas que des amis ! En 1978 enfin, il est appelé comme Secrétaire d'État à la Recherche dans le gouvernement Barre. Partout il apporte un regard scientifique neuf, un jugement très sûr. Il sait jauger un projet et faire confiance à ses acteurs sans trop s'embarrasser des contingences administratives. Mais son engagement politique est une mission plus qu'une carrière. Je n'ai pas oublié une brève rencontre dans un petit restaurant entre les deux tours de l'élection présidentielle de 1981 : à la question *"comment vas-tu Monsieur le Ministre"*, il répond *"tu sais, je ne suis qu'un agent contractuel temporaire de l'État"*. Cette simple réponse situe le personnage.

A l'écart du monde politique après 1981, il reste conseiller scientifique de Thomson – mais l'industrie française s'intéresse désormais aux aspects financiers plus qu'aux aspects techniques : est elle encore sensible au rayonnement d'un homme de science ? Peu à peu son action va s'orienter vers l'Europe. Son rôle à Bruxelles, discret mais appuyé sur une compétence incontestée, a été essentiel dans la construction d'un espace scientifique cohérent et efficace. Il rejoint notre Compagnie en 1988. Confrère attentif et dévoué, il est l'un de ceux qui ont fait vivre le CADAS. A la charnière entre science fondamentale et industrie, il était l'homme de la situation : son apport a été décisif.

Pierre Aigrain nous a quitté le 30 octobre 2002, miné par la maladie d'Alzheimer. Ce lent déclin d'un homme brillantissime était une souffrance, pour lui, pour sa famille, pour ses amis. Il nous reste le souvenir d'un homme exceptionnel, au plan humain comme au plan scientifique. Au terme de cet éloge, je voudrais en quelques mots évoquer cet homme tel qu'il restera dans notre mémoire. Quelques mots me viennent à l'esprit : gaieté, générosité, curiosité, enthousiasme.

Gaieté : qui ne se souvient du rire sonore d'Aigrain, des histoires saugrenues dont il avait un stock inépuisable ? Il prenait tout du bon côté, même les échecs. J'en ai fait l'expérience en soutenant mon Ddiplôme d'Études supérieures en 1954 : chargé de vérifier expérimentalement le modèle de transistor à pointe qu'il avait élaboré, ma seule certitude était que ledit modèle ne marchait pas – qu'allait il dire ? Sa réaction a été un grand éclat de rire à la table du jury « pas la peine de prendre des élèves pour qu'ils démolissent votre travail ! ».

Générosité : Aigrain était, comme Yves Rocard, de ces grands patrons qui poussent les jeunes devant eux. Leur succès était son succès, bien plus important que sa gloire personnelle. Dans cette période héroïque toutes les grandes orientations venaient de lui, même si les débutants que nous étions apportaient leur contribution de ci ou de là. Il nous a passé le flambeau spontanément, heureux de nos premiers succès, reprenant le même parcours à chaque génération nouvelle de thésards.

Curiosité : Aigrain était toujours à l'affût de problèmes nouveaux. Une fois un problème défriché, il laissait à d'autres le soin de l'approfondir et passait à un autre sujet, souvent bien au delà du domaine des semi-conducteurs. Ce jaillissement continu était fascinant pour ses élèves comme pour ses visiteurs. C'était aussi un atout extraordinaire dans ses fonctions successives à la tête de la recherche : il pouvait jauger n'importe quel projet et faire à leurs auteurs des commentaires pertinents et féconds.

Enthousiasme enfin : la science était pour lui un jeu qu'il abordait avec gourmandise. Il nous a appris que la physique est une aventure passionnante, d'autant plus belle qu'elle est inattendue, d'autant plus féconde qu'elle est transparente.

Pour conclure, je voudrais me tourner vers Madame Aigrain et ses fils. Vous avez été, Francine, le partenaire d'une aventure scientifique exceptionnelle. Dans cette petite équipe de pionniers bien soudée vous et vos enfants faisiez partie de la « famille » - ou est-ce nous qui faisons partie de votre famille ? Merci de nous avoir donné votre amitié. Je veux seulement dire à vos petits-enfants que leur grand père était un grand physicien, qui a profondément marqué le renouveau de la science française après les années de guerre, tant dans un laboratoire qu'il a créé de toutes pièces que dans le monde industriel à qui il a fait vivre une révolution. C'était un homme de science atypique, certes, qui ne suivait pas les canons de la recherche académique, mais son rayonnement intellectuel et humain était exceptionnel. Grand serviteur de l'État, il a mis ses qualités au service de la communauté nationale. La science française lui doit beaucoup : vous pouvez être fiers de lui.