



Bernard Diény, remarquable pionnier scientifique

Les recherches de Bernard sur les têtes magnétiques, débutées aux États-Unis, auront révolutionné la lecture des disques durs. Puis, de retour à Grenoble, le chercheur explore le monde mystérieux de la spintronique. Et devinez quoi ? Notre aventurier infatigable s'est trouvé une nouvelle passion : coupler magnétisme et biologie pour de nouvelles approches thérapeutiques des cancers, diabète ou en neurologie. Alors, êtes-vous prêts pour une série de découvertes incroyables ?

Voici le récit de Bernard Diény

« Mon goût pour l'expérimentation scientifique et technique remonte à mon enfance. J'aimais beaucoup bricoler. Avec mon frère, nous testions un train électrique dont le montage nécessitait beaucoup de minutie et de sérieuses connaissances de base en électricité pour éviter les faux contacts ou les courts-circuits. Nous confectionnions aussi nos propres jeux avec des briques de Lego® ou des pièces de Mécano®. En laissant libre cours à notre créativité, nous avons inventé toute sorte d'engins originaux.

Je me souviens aussi de captivantes visites au Palais de la Découverte à Paris. Notamment cet exposé autour de la télévision en couleurs où le présentateur avait pris un disque divisé en 3 secteurs rouge, vert, bleu, et qui devenait blanc en le faisant tourner. J'avais aussi été fasciné par un exposé d'électrostatique au cours duquel une personne assise sur un tabouret de verre avait eu les cheveux qui se dressaient sur la tête.

Depuis mes 14 ans, la pratique de la montagne et de l'escalade a joué un rôle important pour la suite : mon professeur de mathématique de terminale m'a dit que ça m'avait donné le goût de l'effort, et que ça m'avait appris à me donner des objectifs et à ressentir la satisfaction de les atteindre. Cette leçon de vie proche de la nature m'a été utile tout au long de ma carrière.

J'ai intégré sur concours l'École Normale Supérieure de Cachan. Pendant l'année de préparation à l'agrégation de physique (1980-1981), j'ai eu la chance d'avoir Alain Aspect, le futur Prix Nobel 2022,

comme professeur. J'ai été ébloui par ses talents pédagogiques. Il savait nous donner d'excellents conseils pour mieux présenter nos cours, faire ressortir les idées principales. A l'époque, Alain était déjà en train de réaliser des expériences sur les corrélations quantiques entre paires de photons qui lui ont valu le Prix Nobel de Physique. Son enthousiasme pour la recherche était communicatif et m'aura certainement inspiré. Cette préparation à l'agrégation nous orientait surtout vers l'enseignement mais la préparation aux Travaux Pratiques (électricité, électronique, mécanique, optique, etc...) nous donnait aussi une formation expérimentale très poussée et une grande culture générale en physique très utiles aussi pour faire de la recherche. Encouragé par le Président du jury d'agrégation, j'ai décidé de faire une thèse pour voir ce qu'était la recherche, ne sachant pas encore si je voulais poursuivre vers l'enseignement ou la recherche.

De 1982 à 1985, ma thèse au laboratoire de magnétisme Louis Néel à Grenoble, sous la responsabilité de Bernard Barbara a constitué mes premiers pas dans la recherche. Le sujet était très fondamental : magnétisme des systèmes amorphes, un sujet mêlant magnétisme et physique statistique des systèmes désordonnés. Pendant la thèse, j'ai occupé le bureau de mon encadrant et j'ai pu quotidiennement partager avec lui des discussions scientifiques passionnantes. J'ai beaucoup aimé son approche scientifique combinant expériences, modélisations théoriques simples et simulations numériques. Cette méthode permet d'avoir différents éclairages sur le sujet étudié. La simulation numérique de ces systèmes désordonnés complexes était très utile pour visualiser comment les assemblées de spin évoluaient sous l'effet de différents paramètres comme le champ magnétique ou la température. Elles donnaient une image de ce qui se passait dans le système pendant les expériences et permettait de mieux comprendre les résultats obtenus. Ceci étant, jusqu'à la fin de la thèse, j'ai hésité entre faire de l'enseignement et continuer en recherche car l'enseignement m'attirait encore beaucoup. Je remercie mon directeur de thèse d'avoir su me convaincre de poursuivre en recherche, notamment grâce aux arguments que le

métier de chercheur est très varié et évolutif et qu'un chercheur peut faire de l'enseignement en plus de son activité de laboratoire.

J'ai eu ensuite 2 années d'interruption dans mes recherches dues au service civil d'objecteur de conscience. De retour au laboratoire et encouragé par Bernard Barbara, j'ai eu le souhait de vivre une expérience de recherche à l'étranger et en particulier aux USA.

En Juillet 1988, j'ai eu la chance de pouvoir participer à une conférence mémorable au Creusot. Albert Fert y a présenté sa découverte de la magnétorésistance géante (GMR) qui lui vaudra le prix Nobel de Physique avec Peter Grünberg en 2007. L'exposé d'Albert Fert a eu un retentissement considérable et est devenu le centre d'intérêt de toutes les discussions. Participant à cette conférence, des chercheurs d'IBM ont immédiatement réalisé que la magnétorésistance géante pouvait être très intéressante pour les têtes de lecture des disques durs d'ordinateurs. J'ai eu l'opportunité d'en discuter



Bernard Diény en 1990 à IBM en train de mesurer un des premiers échantillons «vannes de spin»



alors avec eux (en particulier avec Virgile Speriosu). Très vite ils m'ont proposé de venir travailler au centre de recherche d'IBM Almaden sur ces effets de GMR. C'est ainsi qu'en Septembre 1989, je les ai rejoints avec pour mission de chercher des matériaux présentant un effet de GMR permettant une utilisation dans les têtes de lecture de disques durs. Cela signifiait trouver des matériaux présentant les effets de GMR dans des champs magnétiques mille fois plus faibles que ceux utilisés dans la découverte initiale de Albert Fert. J'ai alors mis au point en quelques mois des matériaux que nous avons appelés vanes de spin (spin valves) présentant ces effets de GMR à champs faibles. Ces matériaux étaient constitués d'alternance de couches magnétiques et non-magnétiques de quelques plans atomiques d'épaisseur, chaque couche ayant une fonction bien particulière. Pendant mon séjour à IBM, j'ai trouvé très stimulant l'intérêt que les ingénieurs d'IBM portaient à mes travaux.

Moins d'un an après mon arrivée, des prototypes de têtes de lecture à base de spin-valves étaient déjà en cours de tests. Seulement huit ans plus tard, après diverses optimisations, ces matériaux ont été introduits dans les disques durs commerciaux par IBM, puis les années suivantes par Toshiba, Samsung, Seagate, Western Digital, conduisant à une augmentation très rapide de la capacité de stockage des disques durs (elle a doublé chaque année).

Mon séjour à IBM a duré dix-huit mois. Il a été un véritable catalyseur, éveillant mon intérêt pour la recherche fondamentale tournée vers les applications. Mais j'ai aussi remarqué à ce moment-là que les principales retombées économiques de la découverte de la GMR ont surtout bénéficié aux USA et à quelques pays asiatiques, Japon et Corée, alors que la GMR avait été découverte en France et en Allemagne.

J'ai alors pris conscience de la difficulté que nous avons en France et plus largement en Europe à tirer profit sur le plan économique de notre recherche fondamentale d'excellente qualité.

De retour en France, j'ai été embauché au CEA-Grenoble et j'ai orienté mes recherches sur les applications du nano-magnétisme et de l'électronique de spin en tissant des liens avec le CEA-Leti. L'électronique de spin était en plein essor et devenait une des branches les plus actives de la recherche en magnétisme. Les perspectives d'applications apparaissaient de plus en plus clairement dans le domaine du stockage de données mais aussi des capteurs magnétiques et des mémoires.

La recherche fondamentale dans le domaine se développait en France : à Orsay dans le laboratoire d'Albert Fert, et à Grenoble dans l'Institut Néel et au CEA. Mais il manquait toujours une structure pour faire le pont entre recherche fondamentale et applications. Dans ce contexte, avec mon collègue Jean-Pierre Nozieres, nous avons été les premiers à comprendre l'intérêt de créer en France un laboratoire de spintronique couvrant la chaîne complète de la recherche fondamentale aux applications industrielles.



↑ Bernard Dieny en 2002 positionnant un échantillon sur un des premiers bancs de caractérisation électrique de composants spintroniques à SPINTEC

Je me souviens de discussion que nous avons eu à ce sujet lors d'un workshop à Santorin en Grèce en 1998. Et deux années plus tard ce projet a reçu le feu vert du CEA et du CNRS.

Le projet que nous portions J-P. Nozieres et moi consistait à marier magnétisme et micro/nano-électronique avec la volonté d'aller vers les applications industrielles.

J'ai alors saisi l'opportunité de croiser Jean Therme, Directeur du CEA-LETI, qui venait présenter à tous les chercheurs du CEA-DRF le projet de création de MINATEC, pôle scientifique combinant éducation/recherche/industrie sur des sujets transverses autour de la micro-nano électronique. Notre projet a convaincu Jean-Therme. A partir de là, nous avons reçu un franc soutien de nos tutelles CEA, CNRS et Grenoble Alpes Université.

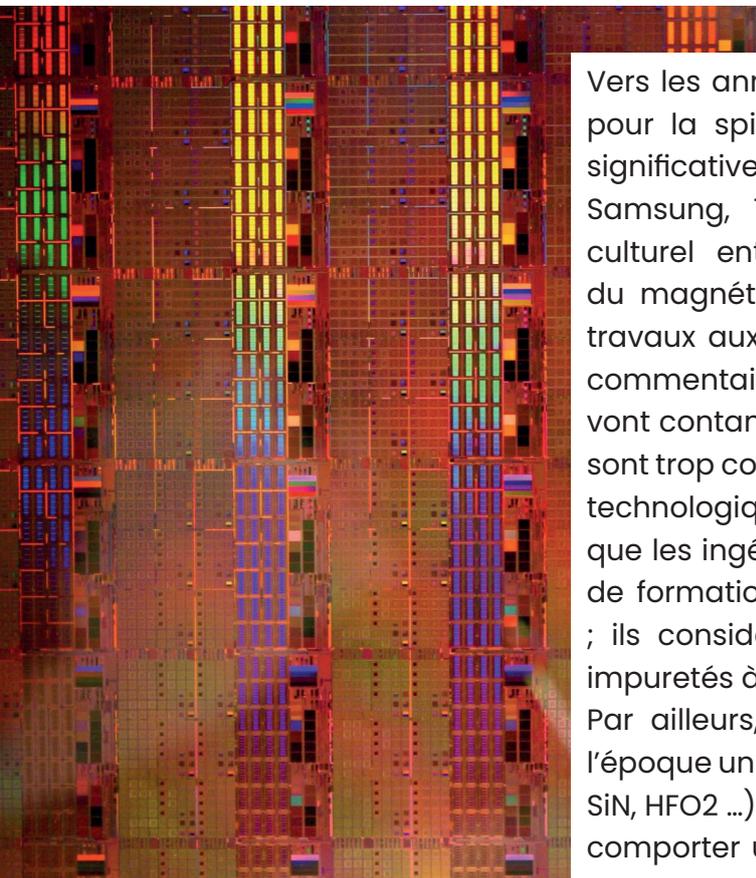
C'est ainsi qu'en 2002, le laboratoire SPINTEC a été créé, réunissant des équipes de recherche du CEA, de l'Institut Néel et du CNRS de Strasbourg, avec la mission de couvrir toute la chaîne de la recherche fondamentale aux applications en spintronique.

SPINTEC a fêté ses 20 ans en 2022, une grande occasion de mesurer le chemin parcouru et de revoir beaucoup d' alumni. Pendant ces 20 ans, le laboratoire est passé d'une vingtaine à plus d'une centaine de membres.

Ces années ont été jalonnées par toute une série de découvertes marquantes autour de nouveaux matériaux fonctionnels pour la spintronique, de dynamiques d'aimantation originales induites par interactions avec des courants polarisés en spin, de conversion de courant de charges en courant de spin et vice-versa, ou de dynamiques d'aimantation ultra-rapides induites par pulses laser.

Pour chacune, le laboratoire SPINTEC déposera des brevets et développera des applications dans les domaines des mémoires magnétiques (Magnetic Random Access Memory MRAM), des capteurs de champs magnétiques, des dispositifs de stockage d'information, des composants radiofréquence pour les télécommunications, de l'électronique ultra-basse consommation.

Grace à son positionnement, SPINTEC a créé 6 start-ups dans lesquelles travaillent nombre d'anciens thésards et post-docs du laboratoire.



Vers les années 2010, l'intérêt de l'industrie microélectronique pour la spintronique a commencé à croître de façon très significative en particulier chez des acteurs majeurs comme Samsung, TSMC et GlobalFoundries. Cependant, le fossé culturel entre la communauté microélectronique et celle du magnétisme était très grand. Lorsque je présentais nos travaux aux ingénieurs de la microélectronique, les premiers commentaires étaient souvent « Ces matériaux magnétiques vont contaminer toutes nos salles blanches », « Vos matériaux sont trop complexes pour être industrialisés », « C'est de l'utopie technologique de physiciens et ça le restera ». Le challenge est que les ingénieurs micro-électroniciens n'avaient jamais reçu de formation en magnétisme, encore moins en spintronique ; ils considéraient les matériaux magnétiques comme des impuretés à bannir des salles blanches.

Par ailleurs, la microélectronique conventionnelle utilisait à l'époque un nombre de matériaux assez limités (Si, SiO₂, Cu, Ge, SiN, HFO₂ ...) alors que nos empilements spintroniques peuvent comporter une vingtaine de couches de matériaux différents

dont l'épaisseur est contrôlée à l'angström près ! Mais nous savions que ces matériaux étaient intégrables et qu'ils respectaient toutes les exigences des procédés industriels puisqu'ils étaient déjà utilisés dans les têtes de lecture de disques durs depuis plus d'une dizaine d'années.

Je me suis alors beaucoup investi dans des efforts visant à rapprocher les communautés du magnétisme et de la micro-électronique et réduire le fossé culturel séparant ces communautés : organisation annuelle d'une école sur les MRAM (InMRAM), d'un Forum annuel sur les MRAMs en marge d'une grande conférence de microélectronique (IEDM), nombreux tutoriaux sur les MRAMs dans les laboratoires et entreprises de microélectronique.

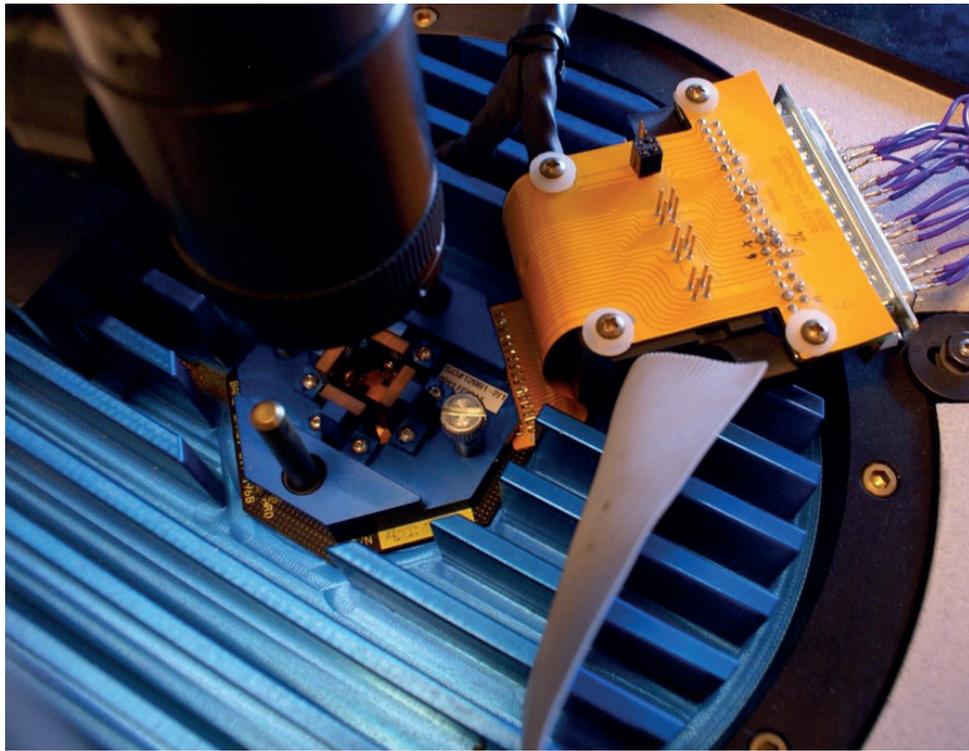
Progressivement ces efforts ont payé. Tous les plus grands industriels de la microélectronique (Samsung, TSMC, GF, Intel) se sont lancés dans la spintronique. Depuis 2018, ils commercialisent des produits spintroniques.

En France, la valorisation de nos recherches se fait pour l'instant principalement à travers les start-ups issues des laboratoires français de spintroniques dont SPINTEC. L'espoir d'élargir cette valorisation au niveau national et européen vient du ralliement du LETI à cette thématique et du soutien du plan de relance France 2030 grâce au lancement du programme PEPR SPIN en 2024.

J'ai beaucoup appris de cette rencontre avec le monde industriel sur la nécessité de comprendre leurs besoins. En effet, certains industriels se moquent des physiciens qui sont « très forts pour apporter des solutions là où il n'y a pas de problème ». D'où l'importance de bien repérer où sont les verrous rencontrés par les industriels que nous, en tant que chercheurs, pouvons essayer de débloquer. J'ai compris également l'importance de prendre en compte les contraintes industrielles, en particulier les coûts de production, la fiabilité de la technologie, les conditions de fonctionnement, etc. Il fallait aussi faire preuve de beaucoup de pédagogie pour rassurer les industriels qui exprimaient beaucoup de crainte sur ces nouvelles technologies. Le magnétisme reste pour beaucoup très mystérieux !

La curiosité me pousse lors de grandes conférences scientifiques à aller écouter des exposés dans des domaines avec lesquels je ne suis pas familier du tout. C'est ainsi qu'en 2008, j'ai assisté à une session de conférence sur les biotechnologies magnétiques. J'ai alors réalisé que le savoir-faire de notre laboratoire en nanomagnétisme et spintronique pouvait être extrêmement utile au domaine de la biologie et des applications biomédicales.

Depuis lors, j'ai ré-orienté une partie de mon activité sur le couplage entre magnétisme et biologie pour le biomédical. Aujourd'hui, je suis convaincu que le magnétisme est particulièrement



↑ Tests électriques sous champ magnétique de composants spintroniques

intéressant pour la mécano-biologie, une branche de la biologie qui étudie l'effet d'efforts mécaniques exercés sur les cellules sur leurs réactions physiologiques. Par l'intermédiaire de particules magnétiques biocompatibles dispersées parmi les cellules, il est possible de leur appliquer des forces mécaniques dont on peut contrôler l'intensité depuis un champ magnétique appliqué extérieurement. Ceci ouvre des perspectives très intéressantes à la fois pour la recherche fondamentale en mécano-biologie mais aussi pour des traitements innovants des cancers, du diabète ou des maladies neurologiques.

En collaboration avec des collègues biologistes de notre Institut (L'Institut de Recherche Interdisciplinaire de Grenoble), nous avons montré par exemple, que la stimulation magnéto-mécanique de cellules de pancréas permettait d'induire la mort par apoptose des cellules cancéreuses, sans affecter les cellules saines. Dans une autre étude plus liée au diabète, une collaboration avec l'IRIG/SYMMES a permis de montrer que la stimulation magnéto-mécanique de cellules de pancréas permettait d'induire un relargage d'insuline.

L'Irig est vraiment un endroit idéal pour ce type d'études dont l'impact sociétal peut être très important. Venant de la physique, je trouve très « rafraichissant » de travailler en biologie. En physique, on peut sans problème laisser un échantillon dans un tiroir et le remesurer après plusieurs semaines voire années. Avec les cellules vivantes, c'est tout différent ; elles bougent, il faut s'en occuper, les nourrir, parfois les soigner ; lorsqu'on les regarde au microscope, on dirait une cour de récréation pleine d'agitation. Les méthodes de travail sont différentes, la statistique est beaucoup plus omniprésente en biologie qu'en physique. C'est très enrichissant de voir toutes ces différences. Mais arriver à se parler entre physiciens et biologistes n'est pas évident au départ car là aussi le fossé culturel est très important ! Mais avec de la persévérance et de la bonne volonté, on y arrive et ensuite les échanges sont très fructueux.

En conclusion, le métier de chercheur m'a passionné, j'ai pu explorer une multitude de nouvelles idées, sur différentes thématiques scientifiques et aussi m'impliquer dans une grande diversité de tâches : réaliser des expériences, encadrer des thésards, organiser des conférences, rédiger des brevets et publications, monter des projets, participer à des évaluations de laboratoires ou de projets, etc. Je considère avoir eu la chance d'évoluer dans des environnements stimulants, entouré de collègues—chercheurs, doctorants et post-doctorants—avec qui je partage un grand enthousiasme pour notre métier.

Un très grand merci à tous ceux que j'ai croisés et qui m'ont accompagné plus ou moins durablement pour toutes ces merveilleuses aventures scientifiques » ●

D'autres informations via le lien : https://en.wikipedia.org/wiki/Bernard_Dieny