

Pierre Poubeau

Le long cheminement vers la Dualité de l'Espace-Temps

Un nouveau fondement conceptuel et expérimental
pour la physique du XXI^e siècle

En 1944, alors que j'étais en attente des résultats du concours d'entrée à l'Ecole Supérieure d'Electricité j'avais demandé à rencontrer le Sous-Directeur, le Colonel BÉDOURA, pour préparer le choix qui m'attendait, en cas de succès: *Section Normale* ou *Section Radioélectricité* ? Dans cet entretien, j'ai d'abord bénéficié, de sa part, d'un vibrant plaidoyer en faveur de la *Section Radioélectricité*, «*sa fille chérie*»; puis, il m'a laissé seul un moment pendant lequel je constatais que ses arguments ne m'avaient pas convaincu: ce que j'avais pu apprendre et comprendre de la Théorie et des Equations de MAXWELL dans l'année qui précédait le concours ne m'avait nullement inspiré ni enthousiasmé et j'étais beaucoup plus attiré par les phénomènes et les expériences qui me semblaient relever de l'électricité et de l'électrotechnique classiques. Quand il est revenu, il m'a dit: «*Toutes mes félicitations, vous êtes reçu !*» Cette information anticipée a suscité, de ma part, une réaction en contradiction avec mes réflexions de l'instant précédent et j'ai répondu, avec mes remerciements: «*Eh bien, je choisis la Section Radioélectricité.* » Ainsi a débuté un curieux enchaînement d'évènements, apparaissant souvent comme un défi à la logique d'une démarche normale, mais dont toute la suite a découlé.

Le début de ma carrière s'est effectué au Service des Recherches et Exploitations Minières du Commissariat à l'Energie Atomique. J'y avais été recruté dans la période où je terminais mes études à l'Ecole Supérieure d'Electricité pour être affecté, aussitôt après, à la mission du CEA à MADAGASCAR (1946-1948). Mon activité consistait à traiter tous les problèmes qui relevaient de l'électricité et de la radioélectricité (le terme d'électronique n'était pas encore entré dans le vocabulaire), mais la mission qui m'était confiée consistait surtout à mettre en œuvre, adapter, développer les équipements permettant de détecter la présence de minéraux radioactifs dans le sol.

Cette activité m'avait valu de faire connaissance de cet équipement, extraordinaire de simplicité et d'efficacité, qu'est le compteur GEIGER-MÜLLER et de le mettre en œuvre, associé aux équipements électroniques appropriés, dans des conditions diverses et variées. J'avais commencé aussi à réfléchir aux possibilités de faire évoluer le Compteur GEIGER-MULLER lui-même. A cette époque, et dans ce contexte où il fallait souvent faire quelque chose avec pas grand chose, je prenais à bras le corps les problèmes de physique et de physico-chimie qui étaient à ma portée. C'est ainsi que j'avais réalisé une cellule de séparation de certains minerais d'uranium (minerais des gisements secondaires) par *flottation*.

Cette activité dans le cadre du CEA a duré deux ans, après quoi j'ai pris un poste à AIR-FRANCE (1948-1949) où j'étais l'adjoint du chef d'un Service (Service IRDO) chargé d'installer une infrastructure radioélectrique en AFRIQUE CENTRALE, en liaison avec le STTA (Service Technique des Télécommunications de l'Air). Le Service était basé à BOUAKÉ, à 300 kilomètres au Nord d'ABIDJAN et il s'agissait d'équiper des aérodromes avec des installations provisoires ou semi définitives, à la place des installations de fortune dont ils disposaient ou qui étaient

inexistantes (ABIDJAN, LOMÉ, COTONOU, FORT-ARCHAMBAUD, NIAMEY, ZINDER, BOBODIOULASSO); il s'agissait aussi d'installer un radiophare ondes longues au CAMEROUN pour guider les avions de ligne entre le mont CAMEROUN et les montagnes de l'île de FERNANDO-POO. Dans cette activité, centrée sur l'émission et la réception des ondes radioélectriques, je retrouvais, au contact de la réalité physique, les problèmes auxquels j'avais été sensibilisé par l'enseignement de l'Ecole Supérieure d'Electricité et concernant le processus selon lequel les ondes hertziennes sortent d'une antenne.

A la fin de 1949, m'appuyant sur les économies de deux séjours outre-mer, je me lançais dans une entreprise personnelle de *recherches et développement* dans le domaine qui est à la jonction de l'électronique et de la physique. Mon premier objectif était de faire un équipement polyvalent de détection des particules en partant des phénomènes physiques qui interviennent dans le fonctionnement du compteur GEIGER-MÜLLER (*avalanche électronique*).

La mise en œuvre de cet équipement a pris une telle place dans la suite des événements, en ce qui me concerne, qu'il mérite quelques lignes de description. Il est généralement constitué d'un tube cylindrique électriquement conducteur (par exemple: deux centimètres de diamètre et vingt centimètres de longueur) qui constitue la cathode et d'un fil fin, dans l'axe du tube, qui constitue l'anode sur laquelle est appliquée une tension de l'ordre de 1000 volts. Le tube est rempli d'un gaz inerte (tel que l'argon), à basse pression (un dixième de la pression atmosphérique). Lorsque le passage de rayons gamma ou de rayons X dans le cylindre provoque l'extraction d'un électron de la cathode, celui-ci déclenche une avalanche électronique en approchant du fil d'anode autour duquel règne un champ électrique intense et on obtient une impulsion électrique aux bornes d'une résistance placée dans le circuit. Dans cette configuration, il faut un circuit auxiliaire qui abaisse la tension après chaque impulsion pour couper la décharge. On évite ce problème en mélangeant, au gaz de remplissage, une vapeur organique (alcool éthylique par exemple) qui augmente considérablement l'amplitude de la décharge et rend, de ce fait, le compteur *auto-coupeur*; par contre, cela ne permet plus son fonctionnement en *mode proportionnel* dans lequel l'amplitude de la décharge est proportionnelle à l'ionisation initiale. En contre-partie, le compteur auto-coupeur à vapeur organique présente une particularité qui a pris indirectement, comme on le verra, une place considérable dans les thèmes abordés ici: la vapeur organique est ionisable par la lumière et, de ce fait, un photon lumineux peut arracher un électron à une molécule de cette vapeur, déclenchant l'avalanche électronique dans les mêmes conditions que lorsque des photons beaucoup plus énergétiques extraient des électrons de la cathode.

J'étais parvenu à un système nouveau, simple, dont le principe était de remplacer le cylindre constituant la cathode par quatre fils parallèles à l'anode ce qui ne changeait pratiquement pas le fort gradient de champ autour de l'anode mais qui présentait un certain nombre d'avantages. Parmi ceux-ci, il devenait possible de réaliser des ensembles de cellules juxtaposables, c'est à dire de mettre, dans la même enceinte, un système de détection multi-conducteurs constitué de nappes de fils-anodes alternant avec des fils-cathodes, avec d'innombrables variantes possibles. Quelques années plus tard, les transistors puis les circuits intégrés et les microprocesseurs allaient ouvrir une voie nouvelle avec la possibilité de traiter les informations captées au niveau de chaque fil d'anode (en mode proportionnel), système qui a connu des succès considérables. A l'époque où l'on ne disposait que des tubes électroniques pour effectuer le traitement du signal, une telle solution n'était pas envisageable. Cette activité, m'amenait à obtenir un brevet sur une demande déposée en juin 1950 pour *une cellule radiodéetectrice* (brevet délivré en décembre 52). Les démarches entreprises auprès des organismes de recherches, centres universitaires, entreprises industrielles, etc. qui pouvaient être intéressés, n'eurent pas de résultat significatif permettant de poursuivre dans cette voie. Un brevet, aussi riche de promesses fût-il, ne permettait pas de faire vivre l'entreprise, même si j'avais réussi à vendre un petit nombre d'appareils de prospection et de détection de la radioactivité, de ma production. En 1951, je reprenais un poste d'ingénieur dans l'industrie électronique.

Le bilan de cette expérience qui pouvait sembler négatif, en premier examen, présentait un aspect très positif pour ce qui me concernait. Pendant des mois, jour après jour, dans la voie de l'expérimentation systématique qui tenait une large place dans mes recherches, j'avais été

intensément confronté à la réalité quantique du phénomène par lequel un photon arrache un électron à un atome, que le photon soit d'origine cosmique et doté d'une énergie correspondant à des gigaélectron-volts, ou bien qu'il appartienne au spectre visible, au seuil de l'infrarouge, avec une énergie de l'ordre de l'électron-volt. Ayant observé ces phénomènes dans une gamme d'énergie d'une telle ampleur, il me semblait impensable que la nature du rayonnement fût différente lorsque l'on passe du domaine visible-infrarouge au domaine hertzien. La continuité physique de la structure quantique de l'énergie radiante du rayonnement électromagnétique, depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes longues de la radioélectricité, s'imposait au plus profond de mes convictions: j'avais acquis la certitude d'avoir la solution d'un problème dont j'avais pris conscience à partir du cours d'électromagnétisme relativiste de l'ESE de Marc JOUGUET: *l'énergie sort d'une antenne par un processus physique de création de photons* comme la lumière émise par un corps chauffé. A partir de là, lorsque j'ai été conduit à œuvrer dans le domaine hertzien, qu'il s'agisse des ondes centimétriques des radars ou des transmissions en ondes métriques ou kilométriques, il m'apparaissait, à l'évidence, que l'énergie radiante ne pouvait que résulter de la *création physique* et de l'émission des quanta d'énergie que sont les photons, quitte à passer de l'image du *grain d'énergie* à celles de *bulles d'énergie* ou de *nuages d'énergie*. Au fur et à mesure que la longueur d'onde croît, la réalité physique des photons se manifeste sous des formes différentes: ils sont d'autant moins précisément localisés dans l'espace que la longueur d'onde est plus grande; l'aspect ondulatoire devient de plus en plus marqué, mais la caractéristique corpusculaire reste néanmoins intangible, ceci apparaissant d'autant plus clairement que l'on se place davantage à l'échelle des dimensions cosmiques. L'énergie radiante sort d'une antenne par un processus qui relève d'une réalité physique totalement différente de ce que représenterait la propagation du champ électromagnétique du courant qui parcourt l'antenne.

Ce que j'avais retenu des conférences de Louis de BROGLIE et que je m'étais efforcé d'approfondir ensuite dans les traités sur les quanta, la mécanique ondulatoire, la mécanique quantique, me conduisait à une conclusion à laquelle les physiciens étaient parvenus depuis la fin des années 20, à savoir la continuité quantique du spectre électromagnétique des rayons gamma aux ondes hertziennes mais, contrairement à ce qui était généralement admis, il me paraissait impossible qu'une telle conclusion fût compatible avec le concept de propagation du champ, que l'on continuait à enseigner comme si l'introduction, par Albert EINSTEIN, *des quanta émis tout d'un bloc* n'était pas intervenue.

J'entrais en mai 1951, à la SFR (Société Française Radioélectrique) où j'étais chargé des essais et mises au point des ensembles radars fabriqués dans cette société et qui avaient été étudiés dans le Centre de Recherches du groupe: la CSF (Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil). Très rapidement, en même temps que je contribuais à évacuer les défauts de jeunesse de ces équipements (les premiers étudiés et construits en France après la guerre 1939-1945), j'étais animé par une autre préoccupation: poursuivre les recherches qui m'avaient déjà conduit à des réflexions que je considérais comme tout à fait significatives. Les radars que je mettais en œuvre fonctionnaient sur les longueurs d'onde de 3 et 10 centimètres, mais mes collègues de la CSF poussaient les recherches sur les klystrons, tubes à ondes progressives et autres dispositifs d'avant garde avec lesquels ils pensaient pouvoir atteindre les ondes de la gamme millimétrique et sub-millimétrique, c'est à dire la gamme dans laquelle les oscillations hertziennes rejoignent le domaine infrarouge. En outre, les recherches sur les transistors démarraient et laissaient prévoir des bouleversements considérables. Il me semblait qu'il y avait là un terrain propice pour proposer mes conceptions.

Au bout d'un an passé à la SFR, j'avais produit un document dans lequel j'énonçais mes convictions concernant les fondements de l'électromagnétisme et la place insuffisante, à mon idée, qu'y tenaient les quanta pour ce qui concernait le domaine hertzien et surtout le processus physique de leur création-émission. J'avais transmis ce papier à Maurice PONTE, alors Président-Directeur-Général du Groupe CSF-SFR qui l'avait communiqué pour examen au responsable des Recherches, Jean ORTUSI, avec qui j'avais eu un long entretien. Initialement réticent aux idées que je présentais, il m'avait finalement concédé : « *je reconnais que vous m'avez fait découvrir une nouvelle façon de voir les choses*», mais mon objectif, qui était de poursuivre ces travaux au Centre de Recherches du Groupe, n'était pas atteint.

J'ai préféré, alors, prendre des fonctions dans l'industrie aéronautique, en 1953, dans la Division Avions de la SFECMAS (Société Française d'Etudes et de Construction de Matériels Aéronautiques Spéciaux) qui a fusionné peu de temps après avec la Société Nationale de Constructions Aéronautiques du Nord devenue, en 1970, une des composantes de l'AEROSPATIALE. A défaut de faire les recherches qui me tenaient à cœur, j'avais la possibilité d'avoir une activité plus créatrice que celle d'essais et de mise au point.

Ainsi, j'avais proposé à ma direction de développer un système de télécommande destiné à des avions sans pilote. J'avais commencé à acquérir une petite pratique du pilotage des avions légers et au cours d'une période d'entraînement d'officier de réserve de la Marine, j'avais participé à des vols sur les hydravions SUNDERLAND de la Base Aéronavale de DAKAR/BEL-AIR; j'en savais suffisamment sur les actions impliquées par le pilotage pour élaborer les fonctions nécessaires pour faire décoller et naviguer un avion (il y avait déjà eu les V1 pendant la guerre et les avions cibles qui en étaient dérivés après la guerre) et s'il était beaucoup plus difficile, avec les techniques de l'époque, de ramener un avion sans pilote jusqu'en finale et de le faire atterrir, il ne manquait pas de *missions sans retour* imaginables où ce système aurait présenté un intérêt militaire. Ce projet a été proposé au STA (Service Technique de l'Aéronautique) qui l'a retenu, non comme système de télécommande mais comme système de transmission d'ordres en fréquence VHF pour les intercepteurs. La SFECMAS avait en cours d'étude et de développement deux *intercepteurs légers* (avions à voilure delta), le Gerfaut et le Griffon. Ces avions supersoniques, à très grande vitesse pour l'époque, ne disposaient que d'une faible autonomie et il était apparu simultanément au constructeur, mais aussi aux responsables du Ministère de l'Air, qu'il fallait mettre en œuvre un système de guidage beaucoup plus performant que la transmission des informations en phonie. La prise de conscience qui s'était effectuée en la matière autour de la mise en œuvre des intercepteurs légers s'était étendue rapidement à l'ensemble des intercepteurs.

J'avais d'abord obtenu, fin 1954, un marché pour un modèle de démonstration qui fut étudié et réalisé durant l'année 1955. La mise en œuvre satisfaisante au CEV (Centre d'Essais en Vol) de BRETIGNY a conduit le STA à passer à la phase suivante impliquant un équipement qui, dans sa version complète, devait pouvoir être couplé à un ordinateur recevant les informations des radars impliqués et guider 6 avions simultanément avec 5 voies sol-air et 4 voies air-sol. J'avais donné à cet équipement de télétransmission le nom de TOSCAN (Transmetteur d'ordres de la SNCAN). En première étape, le matériel développé sur ces bases a reçu les éléments correspondant à une liaison pour guider un avion *chasseur* sur un avion *hostile*; il a permis des expérimentations en vol au CEAM (Centre d'Expérimentations Aériennes de Mont de MARSAN) avec un *chasseur* SMB2 sur un *hostile* VAUTOUR) en couplage avec le système de traitement de données STRIDA 1 bis.

Dans la période où ces actions étaient menées, une mutation technologique était en cours du fait de l'irruption des transistors dans la technologie des télécommunications. Les matériels développés aux USA pour les mêmes fonctions utilisaient ces nouveaux éléments, en même temps que s'effectuait le passage aux transmissions de données sous forme numérique (système STANAG). L'intégration des forces aériennes françaises dans l'OTAN avait conduit à s'aligner sur le matériel déjà développé ou en cours de développement pour l'US Air Force. Le TOSCAN a continué à servir d'équipement préliminaire permettant l'approfondissement expérimental des interfaces radars – systèmes de traitement de données – aéronef – pilotes, au CEAM, en vue de la définition des équipements de la génération suivante.

Les émissions du TOSCAN posaient, en bande métrique, la question (à laquelle je pensais avoir une réponse que je souhaitais faire partager): à partir des antennes-sol et des antennes-avion, y a-t-il propagation du champ Maxwellien impliquant selon l'expression d'Albert EINSTEIN « *une énergie distribuée de façon continue sur un volume sans cesse croissant* » ou bien émission de photons impliquant des « *quanta d'énergie émis tout d'un bloc et se déplaçant sans se diviser* »? En mon for intérieur, la réponse était limpide, mais je ne trouvais toujours pas de solution pour faire passer le message correspondant et, en outre, je prenais conscience d'une ambiguïté autour des théories contemporaines les plus évoluées. Celles-ci avaient bien introduit la quantification du champ électromagnétique, mais elle aboutissait à une conclusion différente de la

mienne concernant les ondes radioélectriques. Cette quantification intervenait mathématiquement sur le champ maxwellien, ce qui impliquait que le champ en propagation à partir de l'antenne reste toujours celui engendré par le courant de l'antenne; cette interprétation, selon ma conception, omettait un maillon, celui de la création physique des photons, en fonction de quoi, l'énergie radiante n'est plus liée au champ des électrons de conduction de l'antenne mais au champ porté par les photons créés au niveau de l'antenne. Au demeurant, j'étais suffisamment confronté aux réalités du rayonnement hertzien pour savoir que les relations mathématiques maxwelliennes à partir desquelles on exprimait le champ électromagnétique à grande distance d'un émetteur étaient valables et remarquablement adaptées.

En parallèle avec le développement du système de télétransmissions TOSCAN, et au fur et à mesure que sa mise en œuvre rendait disponible mon équipe de conception et de développement, je l'avais orientée vers des équipements basés sur l'emploi des transistors dès que ces composants étaient devenus disponibles en FRANCE. Il apparaissait le besoin, pour les entreprises de constructions aéronautiques, d'avoir un minimum de compétences et de capacité dans le domaine de l'électronique, ne serait-ce que pour pouvoir définir, en connaissance de cause, les équipements qu'il allait falloir sous-traiter ou commander à l'industrie électronique. En outre à partir de la fin de 1957, le lancement du satellite SPOUTNIK avait fait prendre conscience, très brutalement, de l'émergence de la possible activité spatiale pour les entreprises aéronautiques, avec tout ce que cela impliquait de compétences actualisées

Les concours de circonstances avaient fait, à la fin de l'activité TOSCAN, que certaines techniques que j'avais développées, lors de la prise en main des transistors et des possibilités nouvelles qu'ils apportaient, pouvaient être utiles dans d'autres domaines. Le premier équipement que j'avais développé avec des transistors répondait à un besoin d'automatisation de mesures faites en physique nucléaire, besoin qui était apparu dans des contacts que j'avais eus avec le Centre de Recherches Nucléaires de STRASBOURG-CRONENBOURG. C'est ainsi que, profitant des actions de l'Etat pour favoriser les activités de partenariats Industrie-Université lancées en 1959, j'ai pu entreprendre, en accord avec ma direction de NORD-AVIATION, une activité de coopération avec ce Centre, activité qui s'est concrétisée par une forme de détachement, de 1960 à 1963. Cela permettait d'apporter au Département de Physique Corpusculaire (spécialisé dans l'étude des désintégrations provoquées dans des émulsions photographiques) une compétence dans le domaine électronique qu'il ne possédait pas antérieurement, en même temps que j'y acquérais une connaissance de certains phénomènes pouvant conduire à des expériences envisageables sur les satellites. D'ailleurs, l'activité et le savoir-faire qui avaient été dépensés pour monter des expériences de cette nature sur des ballons-sondes, puis des fusées sondes, laissaient supposer que l'on pouvait attendre beaucoup des satellites, en la matière, dès qu'ils seraient capables d'emporter des masses suffisantes. Je ne perdais pas de vue le problème qui me tenait à cœur de la structure quantique du rayonnement hertzien et ce que j'ai appris dans cette période m'a été particulièrement utile. J'ai eu sous les yeux, de façon concomitante, les images (émulsions photographiques et clichés de Chambres de WILSON) qui faisaient apparaître des phénomènes-clés: création de paires e^+ , e^- , Effet COMPTON, effet photoélectrique et, en même temps, j'avais accès à une abondante documentation concernant les théories fondatrices de la mécanique quantique. Malgré le caractère hermétique et la difficulté d'assimilation que présentaient ces théories, mon attention s'était curieusement fixée sur la Théorie de l'Electron de DIRAC et les états à énergie négative auxquels elle conduisait. Pour autant que je puisse faire resurgir la séquence des enchaînements d'idées, il me semble qu'une étape a été franchie alors avec la prise de conscience de l'unicité des phénomènes impliquant la matérialisation des particules, d'une part, la création d'un photon aussi bien X ou lumineux qu'hertzien, d'autre part. Beaucoup plus tard, j'ai considéré que ces apports et ces efforts avaient introduit et développé des germes qui, au niveau de l'inconscient, avaient engendré des éléments contribuant à la compréhension de la réalité physique profonde.

En 1963, la Direction de NORD-AVIATION m'a proposé de prendre la responsabilité du Département Satellites à créer et à développer, avec comme premier objectif, de répondre à un appel d'offres du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) concernant. l'étude et la réalisation de la structure du satellite FR1 et de ses éléments structuraux parmi lesquels les antennes. Ce

satellite était dévolu à l'étude de la propagation des ondes à Très Basse Fréquence dans l'ionosphère sur un programme défini par le CNET (Centre National d'Etudes des Télécommunications). Il s'agissait du premier satellite français (hormis la capsule technologique qui devait servir uniquement à vérifier la capacité de mise sur orbite du lanceur français DIAMANT). Notre proposition a conduit à obtenir le marché qui a été suivi d'un second concernant le système de stabilisation à *gaz froid* du satellite D2 puis de diverses activités liées à la technologie et aux recherches spatiales (palier à air, développement de paliers fonctionnant en environnement d'ultravide, etc.). Les avancées réalisées aux USA et en Union Soviétique dans le domaine spatial, mettaient en évidence la multiplicité des problèmes à résoudre et incitaient à s'engager dans des programmes R&D spécifiques au domaine spatial.

A partir de 1970, les circonstances et le soutien de ma direction m'ont ouvert la voie pour créer, dans la Division Espace de l'AEROSPATIALE, un Département de R&D, à objectif très large. Les contacts que j'avais eus avec l'industrie spatiale américaine avaient contribué à me faire prendre conscience de l'ampleur de l'effort technologique qu'allaient susciter les réalisations du domaine concerné. J'avais choisi, comme premier thème concret, la conception et le développement de roues d'inertie à paliers magnétiques. Les travaux préliminaires que j'avais faits avec des moyens limités sur crédits internes de recherches m'avaient conduit, en 1973, à gagner simultanément deux contrats R&D sur appels d'offres lancés, l'un par l'Agence Spatiale Européenne, l'autre par l'Intelsat dont le secteur Recherches était géré, à l'époque, par la société américaine COMSAT. Le premier concernait une roue cinétique avec une vitesse de rotation de 8000 tours/minute; le second, une roue cinétique avec une vitesse de rotation de 24000 tours/minute visant à analyser la faisabilité et l'intérêt éventuel du développement de systèmes de stockage cinétique d'énergie.

Les résultats pleinement satisfaisants obtenus sur ces deux modèles ont conduit le CNES à choisir un système de roues de réaction à paliers magnétiques pour assurer l'orientation dans l'espace du satellite SPOT (observation de la terre) qui était en cours de définition. J'ai assuré la conception et le développement de ces équipements.

Les années ont passé et les roues d'inertie à paliers magnétiques équipent les satellites SPOT d'observation de la terre et les satellites militaires d'observation du programme HELIOS. Ces satellites ont été les premiers, dans le monde, à disposer de ce type d'équipements qui contribuent, par l'absence de vibrations mécaniques, à la qualité des images fournies ainsi qu'à la fiabilité d'ensemble du système.

Ces réalisations ont suscité de l'intérêt dans tous les milieux concernés par la conception et le développement des satellites. Elles ont conduit au dépôt de nombreux brevets au nom de l'AEROSPATIALE et à de multiples conférences, récapitulées en fin de document, pour l'essentiel.

A partir de 1963, le fait de contribuer à l'aboutissement du programme scientifique auquel était destiné le satellite FR1 avait réactivé les questions que je me posais, concernant le rayonnement hertzien. Les longueurs d'onde des émissions dont il s'agissait pour FR1 étaient de l'ordre de 20 kilomètres, c'est à dire qu'elles correspondaient à un domaine qui était celui des débuts de la radioélectricité, dans les premières années du XX^e siècle. A cette époque, une des façons d'engendrer des ondes entretenues consistait à utiliser un alternateur à haute fréquence (on ne connaissait pas encore la triode) qui alimentait un conducteur d'antenne aussi long que possible. Ainsi, d'un bout à l'autre de la chaîne, le problème était traité comme relevant de l'électrotechnique; le champ du courant d'antenne était interprété comme tout champ créé par un courant dans un conducteur, la différence étant que dans les cas de l'électrotechnique classique les distances entre les éléments en interaction étaient suffisamment faibles pour que les temps de propagation soient considérés comme indécélables, alors que dans les cas relevant de la radioélectricité, la distance entre l'émission et la réception impliquait le phénomène de propagation du champ et ses conséquences, conformément aux prévisions ondulatoires des Equations de MAXWELL-LORENZ-LORENTZ-POYNTING. Les ondes émises dans le cas concerné, était donc dans la gamme des plus longues que l'on ait été amené à produire, c'est à dire celles pour lesquelles l'aspect quantique est le moins apparent, celles pour lesquelles la propagation du

champ du courant d'antenne avait le plus tendance à s'imposer comme la seule interprétation valable.

Alors que le satellite FR1 prenait corps, le problème était toujours analysé sensiblement de la même façon, malgré l'impact du concept de quantification du champ développé par les théories quantiques: le champ électromagnétique de rayonnement était supposé résulter de la propagation du champ du courant d'antenne. A une nuance près: on admettait qu'il fallait considérer la coexistence des deux aspects, ondulatoire et corpusculaire, avec une forme de complémentarité entre les deux; dans certains phénomènes, ce serait la réalité ondulatoire qui se manifesterait, dans d'autres, ce serait la réalité corpusculaire. L'expérience de propagation des ondes, à laquelle était destiné le satellite FR1, me conduisait à voir le problème sous un angle différent, compte tenu du fait que les notions d'espace cosmique étaient perçues sous un jour nouveau depuis que les véhicules spatiaux, habités ou non, le sillonnaient. Dans l'expérience FR1, l'énergie est rayonnée vers l'espace et le problème, déjà soulevé, se pose, là encore, de savoir sous quelle forme elle parvient non seulement dans l'environnement terrestre mais au niveau de Pluton, c'est à dire à des milliards de kilomètres, voire à des années lumière au niveau de Sirius ou de Véga. Si on considère qu'elle est répartie de façon continue en même temps qu'elle s'éloigne de sa source, c'est conforme aux Equations de MAXWELL-POYNTING, mais cela ignore la quantification physique du rayonnement; si on considère, au contraire, que l'énergie est constituée de quanta présentant la même réalité physique discontinue que dans le cas des rayons gamma ou de la lumière, on retrouve le processus de création de particules et le mouvement dans l'espace de chaque photon, qui le laisse identique à lui-même; mais alors chacun d'eux est de plus en plus éloigné de celui dont il est le plus proche et cet éloignement portera sur des milliers puis des milliards de kilomètres. Cela n'a rien de commun, physiquement, avec la propagation du champ du courant qui parcourt l'antenne d'émission. L'une des interprétations est physiquement exclusive de l'autre : au niveau de la structure de l'énergie, il ne peut pas y avoir complémentarité. C'est le problème initialement posé qui prend un relief différent selon l'angle sous lequel on l'analyse. La complémentarité possède une capacité explicative et interprétative limitée; elle n'est d'aucune utilité pour trancher entre les deux structures imaginables de l'énergie: physiquement, c'est l'une ou c'est l'autre. L'importance du rôle tenu par le champ électromagnétique de rayonnement dans tout ce qui intervient dans l'espace donnait de l'intérêt à une compréhension de la réalité profonde des phénomènes, d'autant plus que toute réinterprétation, en la matière, impliquait la relativité et sa place, aussi bien au niveau des phénomènes élémentaires de la physique qu'à celui relevant de l'espace cosmique.

A partir de 1969, les recherches initiales concernant les paliers magnétiques avaient ramené mes réflexions vers les différentes sources de champ magnétique, sans oublier que la terre est aussi un gros aimant et que les manifestations des champs magnétiques dans l'espace cosmique sont nombreuses. A nouveau, je retrouvais, dans une activité de tous les jours, le problème de l'interaction aimant-conducteur qui avait été un des points de départ de mes réflexions. Plus j'approfondissais l'aspect conservation de l'énergie dans l'interaction aimant-spire, plus la conviction s'imposait à moi qu'il y avait là une des clés ouvrant la voie d'une actualisation majeure de la Physique en même temps qu'une solution aux contradictions qui opposaient la relativité à la mécanique quantique.

Les deux problèmes ainsi posés se rejoignaient de la même façon que cela m'était apparu initialement, un quart de siècle plus tôt : l'interaction aimant-spire conductrice semblait conduire à renoncer au concept de propagation et alors le rayonnement d'énergie électromagnétique ne pouvant plus être interprété par la propagation, l'émission des quanta se suffisait à elle-même pour exprimer la réalité physique. Avant de quitter les activités professionnelles pour la retraite, en 1983, j'avais rédigé un mémoire déjà intitulé *La Dualité de l'Espace-Temps*, dont l'objectif était que les ingénieurs travaillant dans le domaine des ondes électromagnétiques, aux racines théoriques et expérimentales de la théorie relativiste de l'électromagnétisme, et les physiciens spécialistes de la mécanique quantique prennent conscience de ces problèmes et assurent la relève de cette action. Comme l'argumentation était étayée par la description d'expériences très simples pour des centres de recherches, j'étais persuadé que ces expériences seraient faites, eu égard à l'ampleur de l'enjeu.

La diffusion de ce document n'ayant pas conduit aux résultats escomptés, j'ai renoncé à m'engager dans les activités que j'avais prévues pour la retraite, et dont le thème principal concernait l'étude d'un véhicule hybride (électrique-thermique), pour me consacrer à plein temps aux problèmes pour lesquels j'espérais trouver une solution conduisant à un assentiment général.

Un mémoire établi en 1993 m'avait valu quelques marques très significatives d'intérêt de membres de la Fondation Louis de BROGLIE à laquelle l'Académie des Sciences avait transmis, pour analyse, le document que je lui avais adressé (compte tenu des multiples références que je faisais aux travaux de Louis de BROGLIE). Les débats qui avaient eu lieu m'avaient fait prendre conscience des efforts à faire pour raccorder les expériences de physique relativiste classique que je proposais à des fondements théoriques (mécanique quantique) avec lesquels les physiciens de notre époque étaient habitués à travailler.

Sur ces bases, un document actualisé (1996) transmis à l'Académie des Sciences avait suscité un intérêt suffisant pour faire l'objet d'un rapport qui lui attribuait une contribution « *pertinente mais insuffisante en l'état.* » Le rapport suggérait d'approfondir la démarche qui pouvait laisser supposer que les interactions de couplage sont en contradiction avec la relativité et de prendre en compte l'apport de l'électrodynamique quantique. Le travail accompli ensuite a été orienté dans la voie ainsi définie. Il aura peut-être permis de rétablir un contact plus étroit avec la réalité physique enfouie sous un formalisme mathématique d'une extraordinaire efficacité et de mettre en évidence combien il y a lieu d'être circonspect dans l'interprétation des données de l'expérience vis à vis de ce que l'on attend qu'elle vérifie.

Liste des conférences et publications sur les roues d'inertie et les accumulateurs cinétiques d'énergie à paliers magnétiques.

Magnetic bearing momentum wheel. AIAA/CASI 6th Communications Satellite Systems Conference April 5-8 1976, MONTREAL, CANADA. Publié dans le volume 55 de Satellite Communications Advanced Technologies, de l'American Institute of Aeronautics and Astronautics:

Development of a Satellite Flywheel Family operating on *one active axis* magnetic bearings. 11th Aerospace Mechanisms Symposium, April 28-29 1977, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, GREENBELT, MARYLAND, USA.

Hight Speed Flywheels Operating on *One Active Axis* Magnetic Bearings.
1977 Flywheel Technology Symposium, October 5-7, 1977, San FRANCISO, CALIFORNIA.

Suspension magnétique à centrage radial passif pour rotors à grande vitesse. Journées d'Etudes pour les nouveaux matériaux magnétiques. Conférence organisée par la SEE, 20-21 avril 1978, GRENOBLE.

Development of Satellite Flywheels magnetic bearings with passive radial centering. Concepts and results. 7th AIAA Communications Satellite Systems Conference. 23-27 April 1978, SAN DIEGO, CALIFORNIA.

Flywheel Energy Storage Systems operating on magnetic bearings. 1980 Flywheel Technology Symposium, October 1980, SCOTTSDALE, ARIZONA

L'ensemble des réalisations de roues de réaction et de roues d'inertie à paliers magnétiques pour applications satellites a été récapitulé dans un article publié par Journal of Spacecrafts and Rockets, Volume 17, Number 2, March-April 1980.

Les contacts avec des firmes et organismes américains, et la participation à des colloques, m'avaient conduit à prendre connaissance des travaux d'orientation similaire menés aux Etats-Unis ainsi qu'à étudier l'intérêt des systèmes de stockage d'énergie pour des applications terrestres diverses, en particulier pour les véhicules électriques et hybrides. Dans ce domaine, j'avais présenté une synthèse des réalisations en la matière à une conférence organisée par la SEE et publiée dans la Revue Générale de l'Electricité (Décembre 1982, N° 12).

Essais antérieurs du même auteur (documents de synthèse jalonnant les étapes successives des recherches concernées):

DUALITE DE L'ESPACE-TEMPS, Nouvelle interprétation de l'électromagnétisme et de la Relativité 1983.

LA RELATIVITE ET LES QUANTA, VERS LA COHERENCE, 1993.

LA DUALITE DE L'ESPACE-TEMPS, Une nouvelle approche des fondements de la Physique. Electromagnétisme – Relativité – Quanta, 1996.

LA DUALITE DE L'ESPACE-TEMPS, Compléments et Synthèse. Le couplage électromagnétique et les fondements de la Physique, 1997.

RECHERCHES SUR LA DUALITE DE L'ESPACE-TEMPS, Une nouvelle approche des fondements de la Physique, 1999.

RESEARCHES ON SPACE-TIME DUALITY, Synthesis document , May 2002.

*Complément concernant l'étude des véhicules hybrides
et quelques remarques sur l'apport de l'inconscient
dans le travail de recherche*

Au cours des recherches sur la dualité de l'espace-temps, j'ai eu plusieurs fois l'impression d'arriver à une impasse; il me semblait qu'un maillon essentiel manquait, au niveau de l'électromagnétisme classique, et j'ai dû laisser mûrir la solution du problème pour parvenir à des interprétations permettant d'avancer. Je suis alors revenu à l'étude du véhicule hybride à laquelle j'avais renoncé à contre-cœur, en 1983, face à la nécessité de faire un choix, dans l'impossibilité où j'étais de mener deux actions de cette ampleur.

A la fin des années 70 et à l'occasion de missions aux Etats-Unis, j'avais eu d'intéressantes informations sur ce qui se faisait dans le domaine des véhicules électriques et hybrides, en particulier avec l'effort de la Californie vers des véhicules à pollution zéro, mais avec des échéances toujours repoussées. Il me semblait que les évolutions technologiques intervenues depuis, dans le stockage et la récupération d'énergie permettaient d'apporter des solutions innovantes, avec de nombreuses possibilités. Je m'étais efforcé de faire une synthèse de ce qui pouvait se faire dans le domaine des véhicules à partir des différentes formes de stockage de l'énergie. J'observais ce qui se faisait, dans le domaine des véhicules électriques et les résultats intéressants obtenus. Il me semblait pourtant sans espoir de miser sur des marchés industriels significatifs, concernant, par exemple, des petites berlines 4 places, et véhicules utilitaires équivalents, qu'il fallait alourdir d'environ 250 kilogrammes de batteries et d'électronique, impliquant un renforcement de la structure, un surcoût important, et cela pour une autonomie limitée à 80-100 kilomètres en ville, avec plusieurs heures d'immobilisation pour une recharge complète. Par contre, il me semblait que le remarquable travail d'études et de développement réalisé en FRANCE dans le domaine des véhicules électriques, jusqu'à une phase de présérie, préparait très bien notre industrie de l'automobile à développer des véhicules hybrides conçus sur des bases simples: garder tous les avantages du moteur thermique (éventuellement optimisé) lorsqu'il fonctionne dans une plage de bon rendement (autour de 250 grammes d'essence au kilowattheure, à l'époque, sans omettre les possibilités des moteurs diesel alors en évolution rapide) et s'affranchir des inconvénients qu'il présente (consommation et pollution) quand il est amené à fonctionner à puissance utile nulle (véhicule à l'arrêt), ou très faible, ce qui est fréquent en circulation urbaine, dans les bouchons, en manœuvres de parking, en décélération, etc. En rapprochant cela des données concernant l'énergie moyenne utile, en ville et des possibilités du freinage récupératif (économie d'énergie et réduction de la masse des particules émises au freinage), j'y voyais là une solution d'avenir où quelques idées simples me semblaient pouvoir être fertiles pour parvenir à un concept non seulement valable par ses caractéristiques techniques (réduction significative de la pollution) mais au plan économique, pour l'utilisateur comme pour l'industrie de l'automobile. Il s'agissait alors d'avoir un système de propulsion électrique, se substituant à l'ensemble batterie-démarreur-alternateur, capable de 2 kilowatts permanents et 5-10 kilowatts pendant une dizaine de secondes (au lieu de 12 kilowatts en régime permanent et 20 kilowatts-crête, pour le véhicule électrique). La modification en poids, coût, complexité, par rapport à un véhicule standard était du même ordre que l'adjonction d'une boîte de vitesse automatique. Je comptais entreprendre la modification d'un véhicule (CX 2400 C-Matic, moteur à injection) avancé en âge, mais qui se prêtait remarquablement à l'adaptation mécanique du système prévu au niveau artisanal. L'objectif était limité: faire la démonstration du gain considérable de consommation sur les trajets urbains, et non négligeable sur les autres trajets, et d'intéresser les constructeurs automobiles, et les services officiels, à de tels développements, tout en proposant les actions d'optimisation par rapport à une action qui ne pouvait être que très préliminaire compte tenu du caractère extrêmement limité des moyens mis en œuvre.

Si je mentionne cette activité, parmi quelques autres restées au stade de réflexions préliminaires, c'est, à la fois, parce qu'elle me passionnait (je crois toujours autant à la validité des solutions concernées) et qu'elle a joué un rôle indirect dans les recherches sur *la dualité de l'espace-temps*. Il s'est trouvé que j'étais suffisamment motivé par la conception des véhicules hybrides pour me déconnecter de l'autre thème et pour laisser à l'inconscient le temps de démêler les fils du problème que la pensée consciente n'arrivait pas à résoudre, ce qui supposait de ne pas la tétaniser en permanence sur l'obstacle. Comme je me suis trouvé plusieurs fois dans cette situation d'impasse, je suis revenu, chaque fois, au problème du véhicule hybride, pour finalement reprendre celui qui me semblait avoir le plus d'importance et qui avait spontanément progressé au niveau de l'inconscient.

L'intérêt de cette déconnexion du sujet principal a d'ailleurs été évoqué dans l'ouvrage de René TATON, *Causalité et Accidents de la Découverte Scientifique* (référence 2 de la bibliographie du site), citant Louis de BROGLIE, sous la forme suivante: « *l'éclair de pensée ne se produit pas, en général, au cours d'une phase de travail assidu, mais plutôt au cours d'une période de repos ou de détente, la tension nerveuse produite par l'effort de recherche s'opposant plutôt à cette réorganisation spontanée des idées, cette sorte de tassement psychologique dont jaillit tout à*

coup la lumière. Lentement mûri par l'effort antérieur, et par le travail du subconscient, la découverte apparaît ainsi brusquement à un moment où elle ne semblait pas préoccuper l'esprit du chercheur.» Ce processus transcendant qui apparaît dans la recherche scientifique est, en fait, inhérent à l'activité cérébrale de l'être humain dans ses efforts pour atteindre un objectif quel qu'il soit, dès lors que la démarche qui conduit à cet objectif implique de prendre en compte des paramètres qui ne sont pas directement ou immédiatement accessibles à la pensée consciente.