



Recherches sur la réalité physique

Michel Paty

► To cite this version:

| Michel Paty. Recherches sur la réalité physique : Notice des titres et travaux. 2005. halshs-00004276

HAL Id: halshs-00004276

<https://shs.hal.science/halshs-00004276>

Preprint submitted on 26 Jul 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Recherches sur la réalité physique

Notice des titres et travaux

par

Michel PATY*

Maître de Recherches au CNRS

Avril 1983

RESUME.

Au moment de changer l'orientation de mes recherches, après vingt-deux ans de travaux sur la physique des particules, il est naturel que j'esquisse un bilan de ce que j'ai fait et que je tente d'éclairer la démarche intellectuelle qui m'a fait passer d'une formation en mathématiques à des recherches en physique fondamentale puis au projet d'approfondir les problèmes épistémologiques de cette branche de la connaissance. L'exercice académique et rituel d'une « Notice des titres et travaux » en est le prétexte.

TABLE

1. Préliminaires

1.1 Introduction.

1.2. Etat-civil, formation et titres.

2. Itinéraire 1. L'approche expérimentale de la réalité physique.

2.1. Premières recherches sur les neutrinos au CERN, Genève (1961-1965).

2.2. Intermède : coopération scientifique au Brésil (1965-1966).

2.3. Création et direction d'un groupe de physique des particules à Strasbourg (1967-1982).

2.4. Expériences sur la phénoménologie des particules.

2.5. Lancement, direction et animation de la Division des Hautes Energies au CRN de Strasbourg.

2.6. Expériences sur les interactions fondamentales

Retour aux neutrinos ; charme et courants neutres ; autres expériences, projets et perspectives.

2.7. Au Comité national du CNRS

3. Itinéraire 2. De la réalité physique au laboratoire à son étude critique : l'approche épistémologique.

3.1. La préoccupation épistémologique.

3.2. Recherches sur les rapports de la physique et de la philosophie à l'âge classique : dix-huitième siècle, d'Alembert (1969-1977).

3.3. Recherches épistémologiques sur la physique contemporaine (1974-1982).

3.4. Perspectives de recherche en épistémologie et en histoire des sciences.

(Les « Eléments d'information » qui suivaient ce texte n'ont pas été reproduits, dans la mesure où ils ont été repris pour l'essentiel dans le document de 2003, *Réalité et intelligibilité*. Ils comportaient : 15 Enseignement, information scientifique et autres activités.- 16 Direction de thèses.- 17 Participation à des conférences.- 18 Cours, séminaires, conférences.- 19 Participation à des émissions de radio et de télévision.- 20 Publications : 20-a Publications en physique ; 20-b Rapports internes et communications en physique ; 20-c Publications en divulgation ou vulgarisation scientifique ; 20-d Publications en épistémologie, philosophie et histoire des sciences ; 20-e : Publications sur les problèmes de science et société.)

1. PRELIMINAIRES

1.1 INTRODUCTION.

Je présente, dans ce qui suit, une sorte de bilan de mon activité au cours de vingt deux années de recherches essentiellement consacrées à la physique des particules élémentaires. Si j'avais décidé de continuer dans ce domaine, le temps serait naturellement venu de présenter ma candidature au grade de Directeur de Recherches au CNRS. Ayant opté pour une autre orientation, ce qui m'importe ici, c'est de jeter un regard en arrière, la notice servant de prétexte.

J'ai effectué, depuis mes premiers pas en physique des particules sous la direction du Professeur André Lagarrigue, des recherches en premier lieu sur la physique des neutrinos, de 1961 à 1965, qui constituent un travail pionnier dans ce domaine. Incidemment, on verra que j'ai présenté dès 1965, dans ma thèse, un résultat original, parfaitement compatible avec la mesure, huit ans plus tard, des courants neutres dans l'interaction faible. Malheureusement, ce résultat avait été inaperçu à l'époque. Il ne s'agit certes, que d'une limite, mais importante.

Désireux de faire des recherches dans un laboratoire lié à l'Université, j'ai choisi, à mon retour du service militaire en Coopération Scientifique au Brésil, de m'établir à Strasbourg. La physique des particules y était alors peu développée ou du moins dans des directions encore hésitantes. Il me fut demandé de créer et de développer un petit groupe de recherche travaillant avec des chambres à bulles. Ce que j'ai fait, en m'entourant tout d'abord d'étudiants de 3ème cycle, de techniciens compétents, fournis par le laboratoire, au Centre de Recherches Nucléaires, puis en faisant venir quelques physiciens de l'extérieur. Par la suite, ce groupe a été amené à se développer, et a fourni un certain nombre de résultats intéressants, relativement aux trois champs d'interactions fondamentales des particules élémentaires : étude du méson η^0 et de ses modes neutres de désintégration, dissociations diffractives de particules de haute énergie (π et K) et étude des états A_1 et Q , longueur de diffusion $\pi^0 \pi^0 \dots$

Je ne me cantonnai pas seulement à l'étude des photographies de chambre à bulles, puisque, dès 1973-74, avec le professeur Eric Burhop, de Londres, nous eûmes l'idée d'étudier, à l'aide d'un dispositif hybride émulsion-chambres à étincelles que nous eûmes à mettre au point, les récentes hypothèses, relatives à l'interaction faible, sur les particules charmées et les leptons lourds, qui paraissaient à beaucoup encore très hasardées. Nous fûmes de la sorte les premiers à mettre en évidence, en 1976, une particule charmée par observation directe de sa trace (ces particules sont dotées d'une durée de vie d'environ 10^{-13} s). Cette technique a été largement utilisée par la suite, car elle apparaît encore comme le seul moyen, ou presque, d'étudier directement la durée de vie et les modes de désintégration des particules appartenant aux nouvelles familles de nombres quantiques (charme, beauté).

En même temps, ayant pu faire construire au laboratoire des tables de mesure de précision pour la chambre à bulles Gargamelle, l'équipe que je dirigeai a pu s'associer à des travaux sur les réactions $\bar{p}p$ et np à basse énergie fournissant des π^0 dans l'état final, ainsi qu'à l'étude des interactions de neutrinos et

d'antineutrinos, notamment en vue de déterminer avec précision la structure des courants neutres dans des états finals bien définis. Ceci, à partir de 1974, jusqu'à la fin de l'utilisation de la chambre Gargamelle. Les derniers résultats ont été obtenus en 1978-1979.

Entretemps, je préparai la reconversion des techniciens et des physiciens dont j'avais la responsabilité aux techniques de détection non visuelles, électroniques, qui apparaissaient devoir substituer durablement désormais les chambres à bulles. Je participai ainsi à l'étude de divers projets et orientai mes collaborateurs, dès qu'ils eurent soutenu leurs thèses, dans cette direction.

En 1973 et 1974, je m'étais vu confier la tâche, comme l'un des trois sous-directeurs du Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg, d'unifier, en une division, les services de physique des particules, expérimentaux et théorique. Par la suite, j'ai participé largement à l'animation de cette Division des Hautes Energies qui comptait surtout de jeunes éléments dynamiques, manquant de chercheurs ou enseignants plus expérimentés. Je me préoccupai notamment des échanges de visiteurs, de la formation des chercheurs, de l'animation de séminaires fréquents, et tentai de favoriser dans les choix d'expériences et dans le travail quotidien le rapprochement des différents groupes alors simplement fédérés. D'où, pour moi, de nombreuses responsabilités quotidiennes en sus du groupe dont j'avais toujours directement la charge. Je participais également à l'animation de la vie scientifique du Centre de Recherches Nucléaires, ainsi qu'à celle du Département de physique de l'Université Louis Pasteur, auquel je contribuai par des enseignements au premier cycle et au DEA. Il me semblait que le Centre de Recherches Nucléaires, éloigné de l'Université (il était situé jusque récemment en-dehors de toute UER), devait être davantage associé à celle-ci, en particulier en ce qui concerne ses chercheurs, qui étaient nombreux. L'unification complète de la Division des hautes énergies finit par aboutir, à la fin de l'année 1982.

Jusqu'à cette date, j'avais, dans le groupe que je dirigeais, la responsabilité d'une douzaine de chercheurs et d'une quinzaine de techniciens. La plupart des thèses étaient déjà soutenues et les chercheurs étaient en mesure de voler de leurs propres ailes. J'ai eu le sentiment, en les recrutant et en dirigeant leur travail au cours de ces années, de participer à la formation de chercheurs de qualité qui définiraient les nouvelles voies de la division, dans une époque de mutation dans la discipline.

Depuis de nombreuses années, je m'intéressais aux problèmes de philosophie, d'épistémologie et d'histoire des sciences, parmi lesquels ceux de la physique contemporaine. J'avais effectué des études de philosophie, et même soutenu une thèse dans cette discipline, en parallèle à mes recherches en physique (quoique sur un sujet appartenant à l'histoire de la philosophie et des sciences, la pensée de d'Alembert, mathématicien et philosophe du XVIII^{ème} siècle), et j'avais contribué à l'organisation de séminaires interdisciplinaires à l'Université Louis Pasteur, entre mathématiciens, physiciens, biologistes et philosophes. En 1974, j'avais organisé, avec José Leite-Lopes, professeur de physique théorique à Strasbourg, un colloque sur les fondements de la mécanique quantique qui comptait plusieurs participants prestigieux. Par la suite, j'ai fourni, dans la mesure où mon temps libre me le permettait, des contributions de recherche en épistémologie et histoire des sciences. Elles m'ont introduit auprès d'un certain nombre de spécialistes de cette discipline, tant français qu'étrangers, et j'ai vu que ce serait, le

moment venu, une réorientation tout à fait souhaitable et légitime de mes travaux de recherche, que de me consacrer pleinement à ces études. C'est ce que j'ai décidé de faire, dès le 1^{er} janvier 1983, étant donné que ce que j'avais mis en place en physique des hautes énergies à Strasbourg pouvait désormais fort bien continuer sans moi.

Par ailleurs, j'étais depuis le mois d'octobre 1980 président de la section de Physique nucléaire et corpusculaire du Comité national du CNRS. Cette activité s'est avérée très prenante notamment à une période de réorganisation des structures de la recherche et en relation avec la réalisation du Colloque national de la recherche de janvier 1982. Là encore, les circonstances étaient favorables à mon projet puisque, le Comité national étant renouvelé, mes fonctions étaient sur le point de prendre fin.

J'ai donc modifié, au début de 1983, mon sujet de recherches, abandonnant la physique au laboratoire pour l'étude de ses fondements. Ce faisant, il ne m'apparaît pas que je change radicalement de préoccupations, et le travail que je puis faire en épistémologie de la physique contemporaine appartient à mes yeux à ce que requiert de la communauté des chercheurs la compréhension en profondeur de cette physique. C'est pourquoi, dans l'immédiat, je désire demeurer dans la section de Physique corpusculaire du C.N.R.S. Mon travail est désormais de nature éminemment interdisciplinaire, et il est souhaitable que ceci soit pris en considération. Le Colloque national sur la recherche a largement souligné l'importance de ces nouvelles directions.

Il m'est en tout cas apparu utile, au moment d'effectuer ce changement dans ma carrière personnelle - et un tel changement comporte inévitablement des risques -, de faire un bilan de mes recherches et de ma contribution à la physique des particules, tant dans le domaine expérimental que dans celui de l'organisation qui, comme on le sait, est particulièrement décisif, notamment dans cette discipline ; bilan qui serait également une réflexion sur l'évolution intellectuelle qui, après m'avoir fait passer d'une formation en mathématiques à des recherches de physique expérimentale, me voit à présent me tourner vers l'étude des fondements épistémologiques et historiques de la physique. Je crois pourtant qu'il n'y a aucune discontinuité dans une telle évolution, mais au contraire la manifestation, mûrie par l'expérience, d'une même préoccupation profonde.

(1.2. ETAT-CIVIL, FORMATION...)

2. ITINERAIRE 1 : L'APPROCHE EXPERIMENTALE DE LA REALITE PHYSIQUE

2.1. PREMIERES RECHERCHES SUR LES NEUTRINOS AU CERN, GENEVE (1961-1965).

2.1.1 Orientation vers la physique des particules

Après des études en classes de Mathématiques supérieures et spéciales au Lycée Michel Montaigne, à Bordeaux, de 1955 à 1958 (j'obtins le certificat d'études supérieures de Mathématiques Générales avec la mention Bien, en 1957, et démissionnai de l'admission à une école d'ingénieurs en 1958), je poursuivis mes études de mathématiques à l'université de Bordeaux, obtenant les cinq certificats de la licence ès-Sciences en un an, à la session de juin 1959. Bien que la physique m'ait jusque-là assez peu attiré, je m'orientai, notamment sur les conseils de mon condisciple et ami Philippe Salin, qui me précédait d'une année (il devait devenir un excellent théoricien, et mourir prématurément en 1974), vers le troisième cycle de Physique corpusculaire théorique. (J'obtins le C.E.S. correspondant, équivalent de l'actuel DEA, en 1960). Je bénéficiai d'une bourse de 3ème cycle. Mon orientation n'était pas encore très claire : j'étais davantage attiré par l'aspect théorique de ces matières - celui qui touchait le plus aux mathématiques abstraites, voire même proches d'une axiomatique : algèbres d'opérateurs, groupes, etc.. - que par le travail au laboratoire. Pourtant, déjà lors de mes études de licence, j'avais pris plaisir à la mécanique générale qui me paraissait manifester un lien particulièrement clair, une médiation même, beaucoup plus que l'électromagnétisme, du moins dans la façon dont il était enseigné (et, pour celui-ci, je l'ai compris plus tard), une médiation donc entre le formalisme mathématique abstrait et le mouvement effectif des corps physiques. La "mécanique supérieure, comme on disait alors par opposition à l'"analytique" ou "rationnelle", c'est-à-dire la relativité restreinte et la mécanique quantique, apprises également en licence de mathématiques, ou elles étaient enseignées de manière très formelle, ne m'était pas apparue aussi claire quant à sa signification physique. Si je savais jouer avec le formalisme, je n'accédai à son "sens physique" que beaucoup plus tard (et je crois d'ailleurs n'avoir véritablement commencé à le comprendre qu'au moment où j'abordai ces questions du point de vue épistémologique, relatif à l'étude critique des concepts). Quoi qu'il en soit, la physique des particules élémentaires, sous ses aspects théorique et expérimental qui apparaissaient étroitement liés, était pour moi extrêmement attirante par son caractère très mathématisé et par l'impression, fondée ou non, que cette branche de la physique allait plus directement que les autres au cœur des choses essentielles.

J'ai ressenti plus tard la nécessité de tempérer cette impression, qui tenait pour partie à une grande ignorance des autres domaines de la physique que je tiens aujourd'hui pour aussi passionnants et fondamentaux. Il reste que cette discipline n'a jamais cessé de revendiquer, non sans quelque apparence de raison, avec une plus grande insistance que les autres, à la fois la profondeur et la simplicité. Elle conciliait en tout cas pour moi le goût de la formalisation mathématique rigoureuse et le besoin de dépasser le jeu - qui me paraissait parfois

arbitraire - des formes purement abstraites. A cet égard, les interactions faibles, qui se présentaient alors comme un domaine ouvert, m'intéressaient beaucoup plus que les fortes, qui faisaient davantage appel à des recettes empiriques - fussent-elles très théorisées, comme la théorie de la diffusion. Une approche en était proposée qui les rapprochait de l'interaction électromagnétique, domaine privilégié de la théorie quantique des champs.

J'allai même un pas plus avant : tant qu'à faire de s'intéresser au « réel », il était tentant de le faire de la manière la plus concrète. Au cours d'un stage effectué à Pâques 1961 au CERN, à Genève, pendant une prise de données du groupe d'André Lagarrigue, du laboratoire de l'Ecole Polytechnique, je connus une certaine fascination de la physique expérimentale : découvrir et comprendre des phénomènes que la nature seule nous imposait. Je dois dire que la visualisation en chambre à bulles de traces de particules - je ne les avais jusqu'alors considérées que par les symboles de leurs champs et leurs nombres quantiques - fut pour beaucoup dans cette conversion ! A l'été 1961, je rejoignis le groupe du professeur Lagarrigue au laboratoire Leprince-Ringuet de l'Ecole Polytechnique et du Collège de France à Paris, et je m'y initiai à la physique expérimentale des particules par la technique des chambres à bulles.

1.2.2. Etudes préliminaires sur les neutrinos

Je commençai donc mes séjours de recherche au CERN avec de fréquents s à Paris en 1961- en étudiant les photographies qui venaient d'être prises au CERN pour une expérience préliminaire visant à rechercher des interactions de neutrinos. Depuis leur formulation à titre d'hypothèse par Wolfgang Pauli en 1930, les neutrinos avaient été observés en 1956 par Reines et Cowan auprès d'une pile atomique (à Savannah River, Colorado, USA), par leur réaction inverse de la désintégration β du neutron.

Les progrès récents de la théorie des interactions faibles (1958 : non-conservation de la parité, neutrino polarisé à gauche, théorie V-A), avaient attiré l'attention sur la nécessité de disposer de davantage d'informations sur les réactions induites par des neutrinos (les interactions faibles étaient alors seulement connues par les désintégrations de noyaux et de particules, pour de faibles énergies et transferts d'impulsion). Des calculs, effectués auprès du synchrotron à protons du CERN qui venait d'entrer en fonctionnement, sur les flux de neutrinos d'énergie avoisinant 1 GeV, disponibles à partir de la désintégration de pions produits sur une cible, avaient laissé espérer que l'on pourrait, dans une expérience simple, détecter quelques cas d'interactions. Il s'est avéré plus tard que ces calculs étaient surestimés par un facteur 10. Quoiqu'il en soit, je travaillai sur les photographies, m'habituai à l'analyse d'événements en chambre à bulles, et réussis à déterminer, faute de véritables événements induits par des neutrinos, les sources du bruit de fond d'un faisceau de neutrinos dans lequel entraient des neutrons de faible énergie. Ceci a donné lieu à un rapport interne, que j'ai rédigé [1962b], qui fut utilisé pour la première expérience proprement dite sur les neutrinos, laquelle bénéficia d'un dispositif de focalisation des pions, la "corne magnétique" de Simon Van der

Meer¹, permettant d'aboutir à des flux correspondant à des interactions décelables (voir ? ? 3). Ce travail - auquel s'ajouta celui décrit en 3-3 - me valut d'être embauché au CERN au 1er septembre 1962, avec un contrat de 3 ans renouvelable, pour participer à la première expérience effective au CERN avec des neutrinos.

2.1.3. Interactions photonucléaires de muons

C'est sur un sujet différent qu'a porté mon travail de thèse de 3ème cycle proprement dit : la même expérience préliminaire sur les neutrinos au CERN (cf. 2.1.2) fournit un sujet secondaire d'études, avec des résultats positifs : des interactions de muons cosmiques dans le liquide de détection des chambres à bulles (celle de l'Ecole Polytechnique, BP3, et celle de 1 m 15 du CERN, toutes deux emplies de Fréon CF₃Br). Les protections de blindage autour et au-dessus des chambres filtraient toutes les particules à l'exception des neutrons de basse énergie, et des muons du rayonnement cosmique. Je me vis confier ce travail par André Lagarrigue et André Rousset. Le dépouillement de 400 000 photographies a fourni, toutes coupures faites, 35 interactions retenues comme produites par des muons et bien identifiées comme telles. Les transferts sont supérieurs à 150 MeV et la multiplicité moyenne en mésons π est 1.25. La section efficace totale d'interaction inélastique est de $(4.8 \pm 0.8) \times 10^{-30} \text{ cm}^2$. La distribution en transfert d'impulsion est en accord avec l'interprétation d'interaction photonucléaire, c'est-à-dire par l'intermédiaire de photons virtuels considérés comme réels. On a observé un cas de production de particule étrange.

Ce travail, effectué en collaboration entre le laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique de Paris et le CERN, a fait l'objet de ma thèse de 3ème cycle soutenue à Bordeaux en octobre 1962 (cf. [1962a]) et d'un article (cf. [1963a]). Je l'ai prolongé plus tard, en 1965, en dirigeant le travail de recherches d'un étudiant de Valencia (Espagne), par une étude similaire portant sur davantage de statistiques ([1966b]).

Le jury de ma thèse de 3ème cycle comprenait : André Roger, André Chastel, Marcel Rimpault, André Lagarrigue et Philippe Meyer.

2.1.4. Etudes d'interactions produites par des mésons K^- de 3.5 GeV

Physicien au CERN de septembre 1962 à mars 1965, j'avais comme perspective principale de travail la physique des neutrinos qui se préparait à la suite de l'expérience préliminaire. Avant de disposer du faisceau, il nous est apparu utile, pour tester la chambre à bulles à liquide lourd de 1 m 15 du CERN et calibrer ses caractéristiques, mais également en vue de résultats physiques, de l'exposer à un faisceau de particules chargées. C'est pourquoi environ 100 000 photos ont été prises avec des K^- incidents de 3.5 GeV/c, dans du fréon CF₃Br de longueur de radiation 11 cm. On a exploré essentiellement les systèmes baryoniques d'hypercharges - 1 et - 2. La recherche du Ω^- ($M = 1.67 \text{ GeV}$, $Y = - 2$), prévu par la théorie de symétrie unitaire dite « voie octuple » fut négative en raison de la trop faible statistique réunie ; une limite supérieure de la section efficace de production a

¹ Ingénieur au CERN, Simon Van der Meer travaillait directement avec le groupe du CERN auquel j'appartins l'année suivante. Il devait plus tard obtenir le prix Nobel de physique pour ses réalisations techniques décisives telle que le refroidissement stochastique d'antiprotons, qui permit la production de bosons intermédiaires en 1981.

été estimée à 4 mb/nucléon pour une durée de vie de l'ordre de 10^{-10} s (le Ω^- devait être détecté aux Etats-Unis en 1964). On a pu mettre en évidence la résonance Ξ^* ($M=1537$, $\Gamma < 20$ MeV) dans les systèmes $\Xi\pi$, avec un isospin $I = 1/2$, et indiquer une résonance possible dans les systèmes $\Xi\pi$ et $\Xi\pi\pi$, d'isospin $1/2$. On a recherché également des états $\Xi^-\pi$ ($I=3/2$), prédits par certains modèles de symétrie ($M\approx 1.8-1.9$), mais sans succès, ce qui a été le cas de toutes les recherches ultérieures. Cette expérience a été faite en collaboration par les laboratoires suivants : Ecole Polytechnique, Paris - CERN - Univ. Coll. London (UK) - Rutherford Laboratory, Chilton (UK) - Univ. de Bergen (Norvège), en 1962-63 ([1963b,c]).

2.1.4. Etudes d'interactions produites par des mésons K^- de 3.5 GeV

Physicien au CERN de septembre 1962 à mars 1965, j'avais comme perspective principale de travail la physique des neutrinos qui se préparait à la suite de l'expérience préliminaire. Avant de disposer du faisceau, il nous est apparu utile, pour tester la chambre à bulles à liquide lourd de 1 m 15 du CERN et calibrer ses caractéristiques, mais également en vue de résultats physiques, de l'exposer à un faisceau de particules chargées. C'est pourquoi environ 100 000 photos ont été prises avec des K^- incidents de 3.5 GeV/c, dans du fréon CF_3Br de longueur de radiation 11 cm. On a exploré essentiellement les systèmes baryoniques d'hypercharges - 1 et - 2. La recherche du Ω^- ($M=1.67$ GeV, $Y = -2$), prévu par la théorie de symétrie unitaire dite « voie octuple » fut négative en raison de la trop faible statistique réunie ; une limite supérieure de la section efficace de production a été estimée à 4 mb/nucléon pour une durée de vie de l'ordre de 10^{-10} s (le Ω^- devait être détecté aux Etats-Unis en 1964). On a pu mettre en évidence la résonance Ξ^* ($M=1537$, $\Gamma < 20$ MeV) dans les systèmes $\Xi\pi$, avec un isospin $I = 1/2$, et indiquer une résonance possible dans les systèmes $\Xi\pi$ et $\Xi\pi\pi$, d'isospin $1/2$. On a recherché également des états $\Xi^-\pi$ ($I=3/2$), prédits par certains modèles de symétrie ($M\approx 1.8-1.9$), mais sans succès, ce qui a été le cas de toutes les recherches ultérieures. Cette expérience a été faite en collaboration par les laboratoires suivants : Ecole Polytechnique, Paris - CERN - Univ. Coll. London - Rutherford Laboratory, Chilton, U.K. - Univ. de Bergen (Norvège), en 1962-63 ([1963b,c]).

2.1.5. Travaux préparatoires et calibrations pour l'expérience de neutrinos

Avant les prises de données de l'expérience neutrino proprement dite, un certain nombre de travaux et de tests ont été effectués. Je me suis personnellement beaucoup attaché à la compréhension théorique des problèmes, faisant un peu l'interface entre les physiciens expérimentateurs du groupe de chambre à bulles à liquide lourd du CERN et les théoriciens activement engagés sur ce projet, notamment John S. Bell, J. Lovseth, Martin Veltman ([1963f]), et donnant des séminaires. J'ai fait diverses études sur le comportement des mésons π et des muons permettant de les identifier et d'identifier par là-même des interactions de neutrinos à courants chargés ([1962c ; 1964d, e ; 1966a]).

2.1.6. Etudes d'interactions de neutrinos de grande énergie

Le laboratoire de Brookhaven (USA) avait réussi, en 1962, sans dispositif focalisant comme celui qui fonctionna au CERN à partir de 1963, à obtenir une quarantaine d'interactions de neutrinos en chambre à étincelles, et à démontrer, ce faisant, que les neutrinos ν_e et ν_μ étaient distincts. A l'été 1963, nous obtenions nos premières interactions de neutrinos en chambre à bulles, avec une excellente visualisation des traces, permettant des mesures de précision. Tout ce que nous observions alors constituait autant de résultats totalement neufs, et cette période de mes recherches a été pour moi une expérience extrêmement riche : notamment quant aux résultats obtenus, qui constituaient des « premières » et s'avérèrent par la suite largement confirmés lorsque les neutrinos furent produits « industriellement », vers les années 1970, avec des détecteurs plus puissants (chambres à bulles, Gargamelle et BEBC, détecteurs électroniques de très grande masse). Je les résume ici. L'expérience neutrino proprement dite a eu lieu en 1963 et 1964 et a porté sur 1.280.000 cycles du synchrotron ramenés à 640.000 photographies prises avec la Chambre à Bulles à Liquide Lourd du CERN. Un total d'environ 500 événements ont été obtenus à l'intérieur d'un volume fiduciaire restreint, et retenus comme événements neutrinos (sous-entendu à « courant chargé »), c'est-à-dire contenant un muon négatif. Le lot purifié avec suppression ou déduction du bruit de fond a permis d'obtenir les résultats suivants :

- les interactions quasi élastiques : $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ ont été sélectionnées (compte tenu des interactions où des π produits sont absorbés dans le noyau, qui ont été éliminées), et leur distribution en transfert t ou q^2 a permis une mesure du facteur de forme : $F_A(q^2) = (1 + q^2/M_A^2)^{-2}$, $M_A = 0.78^{+16}_{-20}$ GeV/c², basée sur 123 événements

élastiques. Ceci, dans l'hypothèse CVC (Conservation du courant vectoriel) où les facteurs de forme vectoriels faibles sont les mêmes que les facteurs de forme électromagnétiques. La section efficace totale élastique est donnée en fonction des énergies des neutrinos incidents, en accord avec les prédictions de la théorie V-A. Il faut noter que cette valeur de M_A , mesurée pour la première fois, malgré l'imprécision relative due aux réactions secondaires dans un noyau lourd qui contaminent le lot, s'est avérée très proche de la valeur plus précise mesurée ultérieurement sur des noyaux de deutérium et sur protons libres.

- la section efficace totale (élastique + inélastique) en fonction de l'énergie a montré une croissance quasiment linéaire. (Plus tard, ce fait devait être confirmé et rattaché à l'invariance d'échelle, expliquée par le modèle des partons-quarks).

- les interactions inélastiques (environ 300 événements) ont permis d'étudier les processus de production de pions et de donner des indications sur la production de particules étranges.

- l'absence de paires de leptons, l'absence de concentration à une masse des systèmes de plusieurs pions, ont permis de placer une limite inférieure à la masse du boson intermédiaire W des interactions faibles : $M_W > 1.8$ GeV/c². (Il est inutile d'insister sur l'importance considérable, à l'époque, de cette détermination).

- l'existence d'un nombre leptonique « muonique » est confirmée (existence de deux neutrinos) et précisée avec une loi de conservation meilleure que 98 %.

- une limite supérieure de 20 % a été trouvée pour les courants neutres (par rapport aux courants chargés). Ce point mérite quelques explications complémentaires que je donne dans le paragraphe suivant.

Je voudrais mentionner ici les noms de quelques physiciens avec qui j'ai beaucoup appris à l'occasion du travail que nous avons fait en équipe : Martin Bloch, Carlo Franzinetti, Dan Perkins ; Gilberto Bernardini s'est intéressé de très près à nos travaux.

J'ai travaillé étroitement avec des collègues qu'il est impossible de tous mentionner ici ; je voudrais citer en particulier Herbert Burmeister, Donald Cundy, Gerald Myatt, Agnès Orkin-Lecourtois, Hans Sletten, Karl Soop, ainsi que Colin Ramm qui dirigeait la division dont nous dépendions. Ceci sans compter nos collègues de l'équipe qui travaillait parallèlement sur une autre expérience avec les neutrinos, sur le même faisceau, avec pour détecteur une chambre à étincelles, parmi lesquels Roberto Salmeron.

J'ai soutenu ma thèse d'Etat de doctorat ès-sciences physiques, à partir de mon travail sur la physique des neutrinos, le 31 mars 1965 à l'Université de Paris. Le jury, outre André Lagarrigue qui était mon directeur de thèse (ce fut son premier jury de thèse à l'Université d'Orsay où il venait d'être nommé professeur), comprenait Maurice Jean, Philippe Meyer et Colin Ramm. Le sujet en était : *Etudes d'interactions de neutrinos de grande énergie dans une chambre à bulles à liquide lourd* ([1965a]).

(Outre les résultats rappelés ci-dessus, ce travail contient la description d'une interaction donnant un positon de 2 GeV qui nous avait beaucoup intrigués ; nous avions même cru un moment qu'il s'agissait du boson intermédiaire ! En 1975, dix ans plus tard, il apparût que c'était sans doute une particule charmée, mais sans la signature d'une particule étrange).

Comme second sujet de thèse, je présentai un travail sur la diffusion élastique dans l'interaction forte à grande énergie ([1965a]).

Ma thèse principale connut une large diffusion internationale sous forme d'un rapport du CERN. Elle fut très utilisée pour l'élaboration des programmes neutrinos ultérieurs, et notamment pour la conception de la grande chambre Gargamelle, dont la construction fut entreprise quelque temps après par Lagarrigue, Musset, Rousset et d'autres, en vue de la physique des neutrinos.

L'expérience neutrino, complétée par une étude avec des antineutrinos en 1965, effectuée au sein du groupe du CERN auquel j'appartenais, a donné lieu à plusieurs publications et rapports ([1963d,e,g,h ; 1964a,b,c,e ; 1965b,c,d,e]).

2.1.7. Remarques sur une première estimation exacte de la limite supérieure des courants neutres faibles effectuée en 1965.

Les courants neutres faibles ont été mis en évidence expérimentalement en 1973, dans la chambre à bulles Gargamelle, et cette découverte considérable est l'oeuvre d'une collaboration de physiciens européens au premier rang de laquelle on compte André Lagarrigue et Paul Musset. Elle constitue le premier test décisif de la théorie de jauge unifiée électrofaible de Abdus Salam et Steven Weinberg, développée en 1967-68 (sans omettre les travaux de Gerard 't Hooft en 1971). Les expériences antérieures, parmi lesquelles en premier lieu celle décrite en 2.1.6, avaient donné lieu à la publication, dans les journaux de physique et les Conférences, d'une limite supérieure pour ces courants, très petite, entre 3 et 6 % de la section efficace à courants chargés (cf. les publications collectives de notre collaboration : [1963d], p.569 ; [1964a], p.15 ; [1964b], p.285). C'est cette

valeur, qui paraissait exclure la présence de courants neutres, qui a encore été rapportée dans une étude historique récente sur cette découverte².

En fait, j'avais recalculé, seul, pour la rédaction de ma thèse, cette limite, et l'avais estimée à 20 % pour la réaction élastique $\nu + p \rightarrow \nu + p$, et à 12.4 % pour les réactions inélastiques. Mon analyse effectuait des coupures, rendues nécessaires pour la comparaison des lots d'événements avec et sans lepton chargé dans l'état final, que nous avons omis de faire dans nos premières estimations. Je décrivis ce résultat dans ma thèse (il est reproduit dans la page en *fac-simile* ci-jointe), qui fut, comme je l'ai dit, largement diffusée, sous forme d'un « rapport jaune » du CERN ([1965a] : CERN 65-12, 1965) et ne pouvait donc passer pour confidentielle (elle était, il est vrai, rédigée en français, ce qui en a sûrement limité la lecture). Cette diffusion eut lieu quand j'étais déjà parti du CERN pour le Brésil, et je ne m'en inquiétai plus. Plus tard, pris par d'autres tâches, je ne me préoccupai pas de faire valoir que mon résultat était compatible avec la prédiction de la théorie de Weinberg-Salam, qui fut prise en considération à partir de 1971.

Il me suffit, en 1973, d'applaudir à la découverte effective des courants neutres dont la section efficace était déterminée comme 20 % de celle à courants chargés (pour les courants neutres hadroniques)³. J'avais le sentiment de n'avoir donné qu'une limite, certes calculée avec précision et sans préjugé théorique, le plus honnêtement possible pour ainsi dire. En effet, il n'avait pas été alors possible (étant donné les faibles statistiques et la taille finie du détecteur) de séparer les événements sans lepton chargé dûs à des interactions de neutrons du faisceau (bruit de fond) et ceux qui auraient été dûs à des neutrinos sans échange de charge (courants neutres) : c'est pourquoi on ne pouvait parler que de limite supérieure. Je fais ici cependant cette petite rectification historique, puisque les faits relativement à cette période ont été rappelés récemment de façon incomplète⁴.

Pour moi, sans exagérer l'importance de cette détermination expérimentale, j'en garde une certaine satisfaction, celle de m'être attaché, sur un point qui paraissait alors d'importance mineure⁵, à être le plus exact possible. Je conclusai que l'on ne pouvait pas exclure l'existence de courants neutres faibles ; cependant les conjectures en leur faveur n'étaient alors que de simples hypothèses,

² Peter Galison, « How the first neutral-current experiments ended », *Review of Modern Physics* 55, 1983, 477-509 : p. 483.

³ Le vocabulaire s'étant précisé avec le temps, il s'agit de ceux que j'appelle, dans ma thèse, « courants neutres leptoniques ». « Semi-leptoniques » serait, dans les deux cas, plus exact.

⁴ L'analyse qui a été faite en 1973 sur les événements de ce type enregistrés dans la grande chambre à bulles Gargamelle a pu, au contraire, permettre de montrer que de tels événements étaient dus essentiellement à des interactions de neutrinos à courants neutres, par leur distribution homogène dans le volume de la chambre dans la direction du faisceau de neutrinos (des interactions de neutrons auraient été distribuées de manière décroissante avec la distance, en raison de la différence entre les interactions faible et forte). Les statistiques plus élevées et le plus grand volume de détection ont permis de conclure, ce que je ne pouvais pas à l'époque.

⁵ En effet, les « évidences expérimentales » indiquaient l'absence de courants neutres pour des réactions bien observables, comme la désintégration des mésons étranges K^0 : il était alors plus simple d'admettre que l'absence de courants neutres était une propriété générale des interactions faibles plutôt que de concevoir une différence entre courants neutres non-étranges et étranges. Pour rendre compte de cette dernière, il faudrait recourir à l'hypothèse d'un mécanisme de suppression faisant appel à une nombre quantique supplémentaire, le « charme » (mécanisme « GIM », proposé en 1971 par S. Glashow, J. Iliopoulos et L. Maiani).

sans le poids d'une théorie particulièrement convaincante comme ce serait le cas plusieurs années après avec la théorie électrofaible⁶.

* Centre de Recherches Nucléaires (CNRS et Université Louis Pasteur-Strasbourg-1, 67037 Strasbourg-Cedex-France.

⁶ Parmi les hypothèses théoriques en leur faveur, je n'avais pas remarqué alors le travail théorique pionnier de José Leite Lopes qui prévoyait, dès 1958, des bosons intermédiaires neutres massifs, et donc la possibilité de courants neutres. Ce fut lui-même qui attira mon attention sur son travail, juste après ma soutenance de thèse, le jour même de celle-ci : il était présent à Orsay cette année-là. Ce devait être le début d'une longue fréquentation amicale.

2.2. INTERMEDE. COOPERATION SCIENTIFIQUE AU BRESIL, 1965-1966.

De juin 1965 à fin juin 1966, j'ai séjourné au Brésil dans le cadre de la coopération au titre du service militaire, invité par l'Université de Brasilia pour enseigner et participer au démarrage de recherches en physique des particules élémentaires, en secondant le professeur Roberto Salmeron, alors coordinateur général des Instituts de sciences de l'Université Nationale de Brasilia (UNB). J'ai occupé un poste de professeur-assistant à l'Institut de physique dirigé alors par le prof. Jaime Tiomno. Nous avons commencé, bénéficiant de l'aide d'un technicien spécialisé venu de Genève (CERN) pour un an, de mettre sur pied des projecteurs pour étudier des clichés de chambre à bulles. Mon travail, à ce stade, consistait à préparer l'analyse expérimentale d'interactions de mésons π de 10 GeV/c (processus de dissociation diffractive). Début octobre, le matériel étant prêt, celle-ci pouvait commencer. Par ailleurs, j'avais été chargé, quelque temps après mon arrivée, de donner des cours de physique nucléaire (maîtrise) et de particules élémentaires (post-graduation) : j'enseignai ainsi en août et septembre, en portugais, langue apprise à mon arrivée au Brésil.

Mais les événements nous obligèrent à abandonner ce qui avait été fait, et à suspendre les cours. En effet, à partir du 10 octobre, à la suite d'un conflit lapvé entre l'Université (étudiants, enseignants) et le gouvernement (la dictature militaire instaurée en avril 1964), l'Université connut une crise d'origine politique (sanctions contre des enseignants, grèves, occupation du campus par la police militaire, licenciement arbitraire d'une quinzaine de professeurs suivi par la démission solidaire de plus de 90 % des cadres enseignants de l'université). Après l'échec de pourparlers, la plupart des secteurs de l'Université de Brasilia étaient pratiquement paralysés, à l'exception de quelques cours de fortune effectués pour les étudiants des premières années. Tous les cadres de l'Institut de physique, démissionnaires, devaient quitter l'Université dans le courant du mois de décembre. Je fus personnellement interpellé sur le campus et incarcéré le 10 octobre, puis libéré sur démarche de l'ambassade de France (cf. *Le Monde*, 13 et 14 oct. 1965). Malgré cette crise, j'ai eu beaucoup de contacts avec les étudiants et les enseignants, et j'ai effectué une tournée de visites et séminaires dans des Instituts de Physique à São Paulo, à l'Université Catholique de Rio de Janeiro et au Centre Brésilien de Recherches Physiques de Rio.

Finalement, R.Salmeron et les autres membres de l'Institut de physique ayant décidé de quitter définitivement ce qui ne pouvait plus être l'Université pilote d'Amérique latine qu'ils avaient projetée, ma mission n'y avait plus de sens ni de conditions. Je fus alors demandé par le Centre Brésilien de Recherches Physiques (CBPF) à Rio, auquel le rectorat de l'Université de Brasilia accepta, en accord avec l'ambassade de France, de me détacher. Je rejoignis le CBPF dans les derniers jours de décembre 1965. J'y fus chargé de donner des cours, et de participer aux travaux d'une équipe de recherche sur les émulsions nucléaires (calculs, interprétation de résultats). J'eus l'occasion de donner des séminaires au CBPF sur les interactions faibles (expériences neutrinos, violation de CP).

Cette expérience brésilienne, quelque peu mouvementée, fut pour moi extrêmement enrichissante, du point de vue de l'enseignement, mais également de celui de mes rapports avec les étudiants et les universitaires de ce pays. Je me suis trouvé très intégré parmi ces derniers, et ai noué des amitiés durables. J'ai connu de très près certains problèmes (toujours actuels, j'écris ceci en 1983), de l'Amérique

latine et plus généralement du Tiers-Monde, auxquels j'ai continué par la suite de m'intéresser. J'ai été très impressionné par le haut niveau de bon nombre des enseignants de l'Université de Brasilia : l'exil à l'étranger (Europe, Etats-Unis), de la plupart d'entre eux, et la répression qui devait s'accroître au Brésil dans les années suivantes, expliquent une baisse de niveau considérable dans les universités et dans la recherche, qui ne commence que maintenant à être rattrapée.

J'ai pu, quelques années plus tard, faire inviter par l'Université de Strasbourg le Professeur José Leite Lopes, victime en 1969 d'une purge parmi les enseignants brésiliens. (Il y a obtenu un poste permanent, et cette Université bénéficie depuis de son rayonnement). En 1972, puis en 1975, j'ai eu l'occasion de publier des analyses sur la situation des universitaires et des chercheurs dans le contexte de répression politique au Brésil⁷. Des affinités, et également la conscience de l'importance de certains enjeux, m'ont amené, depuis cette première expérience brésilienne de 1965-66, à m'intéresser de près aux divers aspects de collaborations possibles au plan scientifique entre le Brésil et la France.

Plus tard, après l'ouverture du régime politique au Brésil à la fin des années 1970 (amnistie, réintégrations), j'ai pu répondre positivement à l'invitation de mes collègues de l'Université de São Paulo qui m'invitaient pour donner des cours, pendant trois mois, en physique et en philosophie des sciences : c'est ainsi que je revins au Brésil à l'été 1982, seize années après mon premier séjour. J'ai eu le plaisir d'y donner intensivement des cours et des séminaires, d'y entreprendre une collaboration et d'y présenter les conceptions issues du Colloque sur la recherche de 1982⁸.

2.3. CREATION ET DIRECTION D'UN GROUPE DE PHYSIQUE DES PARTICULES ELEMENTAIRES A STRASBOURG, 1967-1982.

A mon retour du Brésil, trois possibilités m'étaient offertes ; les deux premières étaient soit de retourner au CERN pour un nouveau contrat, soit de rejoindre le laboratoire d'André Lagarrigue à Orsay. J'ai choisi la troisième : continuer mes recherches en physique des particules dans une université de province ; Strasbourg représentait alors à cet égard le meilleur choix possible, par l'importance de son Centre de Recherches Nucléaires (CRN), laboratoire propre du CNRS, relié à l'université Louis Pasteur. Le laboratoire de physique corpusculaire du CRN, dirigé par Pierre Cüer, envisageait alors de développer la technique d'analyse de clichés de chambre à bulles. Lorsque j'y arrivai, en octobre 1966, il me fut demandé de lancer une équipe de recherche sur les chambres à bulles a liquide lourd, qui devrait reconverter des physiciens et techniciens qui s'étaient consacrés jusque-là à l'étude des hyperfragments nucléaires en émulsion. En fait, cette reconversion concerna surtout les équipes techniques (mécanique, électronique, informatique, et techniciennes de mesure), et je démarrai le travail de recherche avec essentiellement deux jeunes étudiants de 3^e cycle, Roger Arnold et Jean-Louis Riester. D'octobre 1966 à février 1967, je séjournai au laboratoire de

⁷ Paty [1972f, 1975s].

⁸ Cf. mes rapports de mission de coopération scientifique au Brésil, adressés au Ministère français des Affaires étrangères, du 18.6.1965 au 30.6.1966, et de séjour au Brésil du 6.6.1982 au 10.10.1982.

physique de l'Ecole polytechnique à Paris pour participer à l'expérience η^0 (cf. 2-4-1) que je continuai à Strasbourg avec ma petite équipe dès que les projecteurs de mesure, construits au laboratoire, furent disponibles.

Je passe sur les détails du démarrage, mais non sans souligner que l'appui d'André Lagarrigue et de mes collègues du laboratoire de l'Ecole polytechnique, notamment André Rousset, Christian Baglin et Ung Nguyen-Khac, me fut extrêmement précieux. De janvier à mars 1968, nous participâmes à la prise des photographies avec des π^+ et des K^+ de 10 GeV environ que nous analysâmes au laboratoire (cf. 2-4-2, 3, 4, 5). En 1968, deux autres étudiants de 3ème cycle me furent confiés, Aurore Navarro et Maurice Haguenauer. J'avais plusieurs exigences à concilier : assurer la formation à la recherche des étudiants, de très bon niveau (ce que la suite a montré), leur trouver soit un emploi au CNRS ou à l'université, soit un autre point de chute, étoffer l'équipe par des chercheurs confirmés, parvenir à une vitesse de croisière qui permettrait d'enclencher le programme relativement ambitieux que j'envisageais (faire de la physique des neutrinos avec la très grande chambre à bulles Gargamelle), et, évidemment, obtenir des résultats de physique. Les difficultés étaient grandes, la moindre n'étant pas l'« idéologie » de l'époque dans la discipline, qui prônait la concentration au CERN ou à Paris. Sans l'appui vigilant d'André Lagarrigue, je n'aurais pas pu mener à bien mon entreprise. J'avais la chance d'avoir un excellent noyau de jeunes chercheurs, une équipe technique très performante ; je dois dire que le directeur du laboratoire, Pierre Cüer, soutint efficacement mon équipe et me manifesta toujours une entière confiance.

En 1969, nous disposions de quatre tables de projections et de deux appareils de mesure de clichés ; nous avons pu adapter la chaîne de programmes d'analyse, et l'équipe de physiciens s'étoffait par la venue d'Antoni Lloret (alors chargé de recherches au CNRS) puis, en 1970, de Bruno Escoubès et Salomé de Unamuno, ainsi que, pour un an, d'un chercheur étranger (yougoslave), Milan Nikolic. Les jeunes chercheurs, Arnold et Riester, pourvus de postes, commençaient leurs thèses d'Etat, et nous travaillions activement sur plusieurs expériences tout en préparant les programmes futurs. Dès 1969, j'avais fait entreprendre la construction au laboratoire de trois projecteurs de mesure pour des photographies de la chambre à bulles « Gargamelle », qui seraient mis en ligne sur un ordinateur CDC 1700 que nous achetâmes petit à petit. Dans les années suivantes d'autres jeunes chercheurs nous rejoignirent (Jean-Pierre Engel et Jean-Louis Guyonnet, qui entrèrent au CNRS comme chercheurs), tandis qu'Antoni Lloret nous quittait pour le CERN puis le Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire à Orsay. Des étudiants de 3^e cycle et des boursiers étrangers vinrent faire des thèses dans le groupe et deux ou trois autres chercheurs nous rejoignirent pendant quelque temps.

L'année 1973 vit une nouvelle phase de l'équipe que je dirigeais. D'une part, la réorganisation du Laboratoire de Physique Corpusculaire, consécutive au départ de P. Cüer, d'autre part la mise sur pied d'une Division des Hautes Energies, entraînèrent une cristallisation des personnels et des moyens techniques autour des équipes de chercheurs : aux 12 à 14 chercheurs et 15 mesureuses que je dirigeais, s'ajouta la responsabilité d'une grosse équipe technique de 4 ingénieurs, 14 techniciens spécialisés (mécaniciens, électriciens), ainsi que 2 administratives, le tout constituant le « Groupe de Chambre à Bulles à Liquide Lourd » (CBLL).

Cette structure fut efficace pour mener à bien les recherches en chambre à bulles et sur divers autres sujets (voir 2.6).

Mais la tâche administrative et la responsabilité scientifique que cela représentait étaient lourdes ; en 1973-74 s'y ajouta pour moi la direction de la nouvelle Division des Hautes Energies du CRN (voir 2.5). Deux enseignants-chercheurs, René Blaes et Daniel Huss, puis deux chercheurs de physique nucléaire, Gérard Bonneaud et Michel Schaeffer, se joignirent par la suite au groupe. Patrick Petitjean, chercheur au Laboratoire de Physique Corpusculaire du Collège de France, vint en 1977 s'installer à Strasbourg pour travailler dans le groupe. Par ailleurs, nous avons fait construire par l'équipe technique 4 projecteurs de mesure polyvalents pour clichés de grandes chambres, très performants, conçus de manière originale (projecteurs « MICRO »). De 1975 à 1980, je me suis consacré à la responsabilité de ce groupe, dont j'étais le seul cadre A. Il s'agissait de réussir les expériences entreprises et de préparer une évolution future des orientations de recherche. Je tentais de diversifier notre panoplie d'expériences et de techniques, m'associant pour cela à des laboratoires extérieurs et tentant de favoriser des expériences mixtes inter-groupes au sein de la Division des Hautes Energies (cf. 2.6 et 2.7).

La préparation du futur n'avait évidemment de sens qu'à la condition de préserver et garantir le bon niveau des recherches et des chercheurs, et c'était là une tâche prioritaire à laquelle je me suis attaché avec, je crois, un certain succès. La reconversion indispensable entrevue n'était pas d'une évidente facilité et la stratégie que j'ai employée a finalement porté des fruits (voir 2.7). Je me suis déchargé de mes responsabilités à la fin de 1982, quand une nouvelle étape des recherches dans la Division s'est définitivement dessinée. Les chercheurs que j'avais contribué à former étaient désormais parfaitement capables de prendre leurs responsabilités. Quant à l'équipe technique, je l'avais déjà habituée à travailler pour l'ensemble de la Division des Hautes Energies ; inquiète de remembrements arbitraires, elle fut rassurée par la nomination, fin 1982, d'un directeur de division adéquat à la tâche, J. L. Riester, qui avait la charge d'assurer désormais un nouveau mode de fonctionnement.

2.4. EXPERIENCES SUR LA « PHENOMENOLOGIE » DES PARTICULES.

Je distingue, dans ce rapport, la première série d'expériences effectuées au CRN de Strasbourg, portant sur la phénoménologie des particules (étude de propriétés d'interactions et de désintégrations), de la seconde série, centrée autour des interactions faibles dans la perspective de tester les modèles théoriques fondamentaux des champs de jauge. La période 1973-74 représente la transition entre ces deux séries, correspondant à une nouvelle phase du laboratoire et de mes propres responsabilités, ainsi qu'à la réalisation de projecteurs de mesure pour les clichés de la chambre à bulles Gargamelle.

2.4.1. Etude des modes neutres de désintégration du méson η^0 .

C'est avec une expérience sur le méson η^0 , effectuée en collaboration avec le laboratoire de l'Ecole Polytechnique et d'autres laboratoires à l'étranger, que je démarrai à Strasbourg les recherches avec les chambres à bulles à liquide lourd. Plusieurs centaines de milliers de photos de la chambre à bulles à liquide lourd de

l'Ecole Polytechnique, exposée à un faisceau de π^- de 950 MeV/c à Saclay ont fourni un lot important de mésons η^0 (548 MeV) par la réaction $\pi^- p \rightarrow \eta^0 n$. Nous avons pu étudier de manière indépendante les divers modes de la désintégration électromagnétique de ce méson : rapports d'embranchements (rapportés au mode $\pi^+ \pi^- \pi^0$), éléments de matrices de la désintégration (par étude des diagrammes de Dalitz). Les résultats sont les suivants :

- Etude du mode rare chargé $\eta^0 \rightarrow$ (détection de 3 γ)

$$R = \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \gamma) / \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) < 0.017 \text{ avec } 90 \% \text{ de confiance.}$$

- Etude des modes neutres (par détection des γ et reconstruction des π^0) :

$$R_1 = \Gamma(\eta^0 \rightarrow 3\pi^0) / \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) = 1.50^{+0.15}_{-0.29}$$

$$R_2 = \Gamma(\eta^0 \rightarrow \gamma) / \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0) = 1.72 \pm 0.25$$

Il s'agissait là des premières déterminations indépendantes de ces deux modes neutres, une mesure importante du point de vue théorique (la valeur de R_1 correspond à une transition $\Delta I = 1$ pure ; celle de R_2 , comparée à la moyenne mondiale de $\Gamma(\eta^0 \rightarrow \text{neutres})$, assure que le mode $\eta^0 \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ ne contribue pratiquement pas).

- Etude du diagramme de Dalitz pour les modes à 3 π , mesure du spectre d'énergie cinétique du π^0 . Pour le mode chargé, le spectre est linéaire avec une pente $a = 0.41 \pm 0.04$. Pour le mode neutre à 3 η^0 , le spectre est uniforme, c'est-à-dire que l'élément de matrice est compatible avec une constante. Ces résultats sont en accord avec les théories admises, notamment celles d'algèbre des courants.

Cette étude, effectuée en 1967-69, l'a été dans la collaboration suivante : Ecole Polytechnique, Paris - CRN, Strasbourg - UCL, Berkeley (USA) - JEN, Madrid (Espagne) - Université de Bergen (Norvège). J'ai beaucoup apprécié de travailler notamment avec Christian Baglin et Bernard Degrange. C'est par cette analyse que j'ai initié à la recherche Roger Arnold et Jean-Louis Riester (thèse de 3^e cycle de ce dernier). (Références : [1967a et b ; 1968a,b ; 1969a,b ; 1970a]).

2.4.2. Etude des réactions de production cohérente par des K^+ de 10 GeV/c sur noyaux.

La prise de données de cette expérience a eu lieu au CERN en 1968, avec la chambre à propane-fréon de 1 m 15 (280.000 photographies réparties entre 4 laboratoires). On a étudié les interactions cohérentes de K^+ (réactions où les nucléons du noyau agissent en phase), conduisant aux états finals $K^+ \pi^+ \pi^-$, $K^+ \pi^+ \pi^- \pi^0$, $K^0 \pi^+ \pi^- \pi^0$, $K^+ \pi^+ \pi^+ \pi^-$ et $K^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-$. La mise en évidence et la sélection des processus cohérents s'effectue par l'étude du quadrimoment de transfert à la cible ; la section efficace est une exponentielle en fonction du carré de ce dernier, t^2 ; la pente est reliée à la dimension du noyau cible. Les interactions cohérentes sont caractérisées par l'échange des nombres quantiques du vide et les états finals sont tels que $J^P = 0^-, 1^+, \dots$

On a pu mettre ainsi en évidence une abondante production cohérente de l'état Q^+ dans le système $K^+ \pi^+ \pi^-$, et déterminer la section efficace d'interaction Q^+ -nucléon : 20 ± 8 mb. L'analyse en diagramme de Dalitz de la désintégration du Q^+ a permis d'en déterminer le spin-parité, $J^P = 1^+$, et de montrer que les modes de

désintégration sont $K\pi$ (mode dominant) et $K\rho$. On a également analysé les éléments de matrice de la production du Q^+ . Cette étude a été faite en 1968-1972, en collaboration par les laboratoires de l'Université de Bergen - CRN, Strasbourg - Ecole Polytechnique, Paris - JEN, Madrid, Espagne. Elle a donné lieu à la thèse de 3^e cycle de Maurice Haguenauer et à la thèse d'état de Bruno Escoubès. J'ai particulièrement apprécié de travailler avec Ung Nguyen Khac. (Réf. : [1970d,e, f ; 1971a]).

Nous avons également poursuivi l'étude de cette réaction en lui appliquant l'analyse en espace de phase longitudinal dont nous venions parallèlement, à Strasbourg, d'éprouver le succès dans le cas de réactions similaires produites par des π . Cette analyse est plus performante pour la sélection des événements cohérents, et permet une meilleure précision sur le spectre de masse invariante $K^+\pi^+\pi^-$ (la partie basse du spectre de masse est favorisée par la production cohérente). Ce travail a donné lieu à la thèse de 3^e cycle de Robert Blind (travail effectué à Strasbourg seulement, en 1973). (Réf. [1973c ; 1974a]).

2.4.3. Etude de l'échange de charge $K^+n \rightarrow K^0p$ à 10 GeV/c.

La même expérience que celle étudiée en 2.4.2 a permis d'étudier en outre la réaction d'échange de charge (cibles neutroniques et élimination du bruit de fond par détection des γ) dont la section efficace a été mesurée : $76 \pm 13 \mu\text{b}$ par nucléon, en accord avec les prédictions de SU(3). La section efficace différentielle en t a été comparée à celle de $K^+p \rightarrow K^0n$ ce qui a montré la dégénérescence d'échange des trajectoires du ρ et du A_2 . Ce travail a été effectué en 1970-71 en collaboration : Ecole Polytechnique, Paris - Univ. Bergen, Norvège - JEN, Madrid, Espagne - CRN, Strasbourg. (Réf. : [1971d]).

2.4.4. Etude des interactions cohérentes de π^+ de 11.7 GeV/c sur noyaux donnant 3 et 5 pions dans l'état final

La prise de données de cette expérience a eu lieu au CERN en 1968. Un lot de 100 000 photographies de la chambre à propane-fréon de 1.15 m a permis l'étude systématique de la production cohérente dans les divers canaux chargés et neutres. On a étudié les canaux à 3 et 5 pions chargés ainsi que le canal $\pi^+\pi^-\pi^0$. On a utilisé la technique d'« analyse en espace de phase longitudinal » qui s'est avérée une méthode de sélection originale et performante, conduisant à un lot d'événements cohérents peu contaminé par le bruit de fond. Comme les règles de sélection le suggèrent, on n'a pas trouvé d'évidence pour la production cohérente avec échange de parité non naturelle : les sections efficaces pour les états finals (par production cohérente) en ρ^+ et en $\rho(1700)$ sont inférieures, respectivement, à 70 et à 36 $\mu\text{b}/\text{noyau}$. Par contre, une forte production cohérente a été trouvée dans les canaux à échange naturel : les sections efficaces pour $\pi^+\pi^+\pi^-$ et $\pi^+\pi^-\pi^0$ sont, respectivement, de 2.1 ± 0.4 mb/noyau et 1 ± 0.4 mb/noyau. Elles concernent essentiellement l'état A_1 , dont on a confirmé le spin-parité, $J^P=1^+$, et mesuré le rapport d'embranchement $R = \Gamma(A_1 \rightarrow \rho^+\pi^0) / \Gamma(A_1 \rightarrow \rho^0\pi^+) = 0.67 \pm 0.22$, en accord avec $I = 1$. On a calculé les éléments de matrice densité de la production (ils montrent la conservation de l'hélicité), et la section efficace d'interaction A_1 -nucléon (22^{+12}_{-07} mb), à partir du modèle de Glauber-Trefil.

Cette expérience, effectuée en 1968-1973, en collaboration (CRN, Strasbourg – Institut de Physique, Budapest, Hongrie), a donné lieu à la thèse d'Etat de Roger Arnold. J'ai beaucoup apprécié la collaboration d'Antoni Lloret. (Réf. : [1971b,e ; 1972c ; 1973b].

2.4.5. Etude de réactions incohérentes avec production de $B(1235)$ et de $\rho(1700)$ par des π^+ de 11.7 GeV/c.

L'expérience décrite en 2-4-4 a fourni des interactions incohérentes sur noyaux, dont l'analyse a permis de déceler la production des résonances $B(1235)$ et $\rho(1700)$ dont on a pu déterminer les sections efficaces. Ce travail, effectué seulement au CRN, Strasbourg, en 1972-73, a été l'objet de la thèse de 3^e cycle de Jean-Pierre Engel. (Réf. : [1973a].

2.4.6. Etude des systèmes multipions à 2 π^0 dans des interactions de π^+ de 3.5 GeV/c : déphasage $\pi^0\pi^0$.

Les données ont été prises au CERN, dans la chambre à bulles à propane-fréon. Nous nous sommes concentrés sur l'étude de la réaction donnant 5 pions dont deux neutres dans l'état final. La reconstruction des π^0 à partir des γ était un problème délicat, que nous avons mené à bien en vue d'étudier les corrélations entre particules dans l'état final, notamment le système $\pi^0\pi^0$, jamais observé jusqu'alors dans de telles réactions. On a pu ainsi mesurer la section efficace, déterminer le mécanisme de production. Et surtout nous avons découvert une forte corrélation $\pi^0\pi^0$, mettant en évidence que la longueur de diffusion a_0^0 du système $\pi\pi$ peut être obtenue à partir des corrélations $\pi^0\pi^0$ dans le système à 5 π : $a_0^0 = 0.32 \pm 0.06 \text{ m}_\pi^{-1}$ (accord avec la valeur mesurée dans des conditions totalement

différentes : diffusion $\pi\pi$, désintégration Ke_4 , et avec les prédictions d'algèbre des courants).

Ce travail a fait l'objet de la thèse d'Etat de Jean-Louis Riester. Il a été fait uniquement au CRN, Strasbourg, en 1970-1975. J'ai apprécié les discussions que nous avons eues avec nos collègues qui travaillaient sur un autre sujet avec les mêmes photographies, en particulier Jean-Jacques Veillet et D.Fourmer. (Réf. : [1975c,d]).

2.4.7. Etude de la réaction inclusive $K^+ + \text{noyau} \rightarrow K^0 + \dots$ à 10 GeV/c.

Reprenant des photographies exposées à des K^+ de 10 GeV/c (voir 2.4.2), nous avons étudié la réaction inclusive sur noyaux complexes avec échange de charge, en la comparant à la réaction analogue produite sur noyaux d'hydrogène. On a analysé les distributions transverse et longitudinale, et on a montré la corrélation des différences observées aux multiplicités des traces rapides associées, en comparant les résultats aux modèles nucléaires de haute énergie, qui s'avèrent en partie applicables aux plus basses énergies considérées ici (surtout pour ce qui est de la région de la fragmentation de la cible). Ce travail, effectué à Strasbourg seulement, en 1976-1977, a donné lieu à la thèse de 3^e cycle d'Orlando Concepcion. (Réf.: [1977c]).

2.4.8. Autres recherches phénoménologiques au CRN.

D'autres recherches ont été effectuées au laboratoire par mes collègues travaillant sous ma direction : j'ai en particulier appuyé et suivi l'expérience sur la production de systèmes de pions neutres dans les annihilations $\bar{p}p$ et $\bar{p}n$ à 1.6 GeV/c (Thèse d'Etat de J.P.Engel). J'ai, par ailleurs, travaillé à des mises au point de synthèse ou à des propositions d'expériences que je ne détaille pas ici : elles concernent essentiellement les désintégrations électromagnétiques des bosons. (Réf. : [1970b,c ; 1971c]).

2.4.9. Etude de la production de hadrons dans des interactions de π^+ et π^- sur du néon à 30 et 64 GeV/c.

Ce travail, bien que postérieur aux autres de ce chapitre, est de nature purement phénoménologique, et c'est pourquoi il trouve ici sa place. Il s'agissait de rechercher des informations sur le comportement des protons de grande énergie produits sur noyaux complexes dans des conditions différentes (π^+ et π^- , à 30 et à 64 GeV/c : étude de 36 000 photographies produites dans la chambre à bulles BEBC emplie de néon). Leur nombre est indépendant de celui des protons lents ; l'absence de corrélation indique que le mécanisme de leur production est différent des seconds. Cette propriété est re-située dans le cadre du problème des diffusions en cascade des particules à l'intérieur du noyau, et des développements des états excités sur de courtes échelles de temps. Cette recherche a été effectuée en 1979-82, en collaboration : Université de Seattle (USA) - CRN, Strasbourg - Institut de Physique de l'Université de Varsovie (Pologne). Réf. : [1980b ; 1983a].

2.5. LANCEMENT, DIRECTION ET ANIMATION DE LA DIVISION DES HAUTES ENERGIES AU CRN DE STRASBOURG.

Au début de 1973, Jean Teillac et Jean Yoccoz, alors respectivement directeur et sous-directeur de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules)⁹, ainsi que Pierre Chevallier, alors directeur du CRN de Strasbourg, me demandèrent de coordonner les activités des 4 groupes de physique des hautes énergies qui étaient répartis dans des laboratoires différents. Ces groupes étaient les suivants : groupes de Chambre à Bulles à Liquide Lourd (que je dirigeais) et de Chambre à Bulles à Hydrogène (dirigé par Alfred Fridman), au laboratoire de Physique corpusculaire ; groupe de Compteurs Electroniques (dirigé par Michel Croissiaux), au laboratoire de Physique des noyaux et physique des particules ; groupe de Physique Théorique (dirigé par José Leite Lopes), au laboratoire de Physique Nucléaire Théorique.

Je fus nommé sous-directeur du Centre de Recherches Nucléaires pour la physique des hautes énergies. Je m'efforçai de susciter une harmonisation de la vie scientifique, une concertation sur des problèmes d'intérêt commun, et j'entrepris la création d'une Division des Hautes Energies.

Entretemps, en octobre 1973, éclata l'affaire « Filtuth-Cüer », qui vit la suspension des fonctions de P. Cüer comme directeur du Laboratoire de Physique Corpusculaire. Ce départ inopiné nous obligea, P.Chevallier et moi, à réorganiser totalement le laboratoire. Les groupes de chambre à bulles constituèrent des entités relativement autonomes comme les autres groupes analogues du CRN ; les autres groupes (consacrés à la détection de traces par émulsions nucléaires) posaient des problèmes délicats et nous fûmes conduits à mettre sur pied, en collaboration avec un service du CEA, un Service des applications des détecteurs visuels, au CRN, qui les intégra en partie. Le reste du personnel fut réparti entre les groupes et les services généraux du CRN. Ces transferts, délicats, décidés après consultation de chacun, se sont faits sans heurt, ce qui, étant donné l'importance du laboratoire concerné (plus de 100 personnes) et les circonstances, peut être considéré comme une performance.

L'essentiel de ma mission de sous-directeur du CRN pour les Hautes Energies consistait à enclencher une dynamique de vie scientifique entre les groupes existants pour préparer à terme une unification plus grande. L'un des problèmes qui me préoccupa fut l'organisation de séminaires de travail pour préparer des recherches communes (il y en eût notamment un sur les neutrinos, un autre, plus tard, sur la production de dimuons, j'y contribuai en particulier par des exposés) ; un autre fut le développement du petit groupe de Physique Théorique des Hautes Energies et, en accord avec J. Leite Lopes, je fis venir Saul Barshay qui demeura plusieurs années à Strasbourg, et eût une excellente interaction avec les physiciens expérimentateurs (travaux communs, etc...). Malheureusement nous n'avons pas pu lui obtenir un poste permanent, ni résoudre autrement le problème. Pourtant, de bons travaux et de nombreuses thèses purent être faites par le petit groupe qui travaillait autour de Leite Lopes, constitué surtout de doctorants et de boursiers de thèses étrangers.

⁹ Alors récemment constitué, et Département du CNRS.

En même temps je procédai à des consultations détaillées pour mettre sur pied une organisation de la Division. Je préparai un projet et le fis discuter par les diverses catégories de personnel. Un projet final fut adopté en assemblée générale, qui convenait à l'époque aux nécessités de la physique et aux vœux des chercheurs et des I.T.A. (cf. le « Projet de restructuration de la Physique des Hautes Energies au CRN de Strasbourg », adopté en assemblée générale le 27.6.1974). La Division comprenait des unités ou groupes de recherche, correspondant aux programmes scientifiques du moment ; diverses concertations étaient prévues, notamment pour la répartition des travaux techniques. Cette organisation souple permettait des évolutions ultérieures ; mais, bien sûr, les évolutions ne sont pas si directes qu'on les imagine a-priori et l'harmonisation n'était pas si facile dans les faits. Considérant ma mission accomplie par la mise sur pied de la Division, qui allait, soit dit en passant, servir de modèle pour la constitution des deux autres Divisions du CRN (Physique Nucléaire et Physico-Chimie du Rayonnement), je présentai ma démission, et abandonnai fin 1974 cette responsabilité. J. Leite Lopes fut ensuite directeur de cette Division et présida avec doigté cette entité qui ne dépassa cependant pas le stade d'une fédération d'équipes. Puis la direction du CRN changea, et la direction de la Division en 1978 ; les hautes énergies traversèrent alors une difficile période de crise aux multiples causes¹⁰. Pour ma part, j'avais continué, et continuai jusqu'au terme, en 1982, d'assurer un rôle d'animateur scientifique dans la division, rôle indispensable, bien que sans mandat particulier ; car le faible encadrement scientifique était un des problèmes de ce laboratoire. Il était de toute façon temps d'en préparer le renouvellement. J'y avais travaillé à la manière que j'ai crue la meilleure : en préparant des chercheurs de qualité.

2.6. EXPERIENCES SUR LES INTERACTIONS FONDAMENTALES, AVEC RETOUR AUX NEUTRINOS : COURANTS NEUTRES, CHARME.

2.6.1. Introduction

Mon projet, tout en travaillant aux expériences décrites précédemment (au chap. 2.4), qui, en particulier - outre leur intérêt propre - me permettaient de former des chercheurs et de leur proposer d'intéressants sujets de thèses, était de me joindre dès que possible aux expériences sur les neutrinos qui démarraient au CERN avec la chambre à bulles à liquide lourd géante Gargamelle. J'avais envisagé de travailler avec cette chambre sur divers sujets dès 1970 (cf. [1970c]). On m'avait proposé de retourner personnellement au CERN pour l'occasion, ce qui m'aurait permis de participer, dès 1972-1973, aux premières recherches, qui ont abouti comme on sait à la découverte des courants neutres ainsi qu'à préciser la structure partonique des hadrons (quarks et gluons). Mais je ne pouvais laisser le groupe de Strasbourg, sa consolidation et la formation des jeunes chercheurs m'apparaissant comme mon devoir prioritaire. J'avais fait entreprendre la construction de tables de mesure pour les photos de Gargamelle, et dès qu'elles furent prêtes, je me joignis avec mon équipe à la « deuxième génération » d'expériences neutrinos, qui devait préciser les résultats obtenus par la première, en utilisant des noyaux cibles plus

¹⁰ Pour autant, les travaux de recherche se poursuivirent normalement.

simples que ceux du fréon CF_3Br , en l'occurrence l'hydrogène du propane. Une petite proportion de fréon permettait de maintenir une bonne probabilité d'identification des électrons et des photons. Avant la prise de données avec les neutrinos, nous fîmes une expérience avec des antiprotons de 1.6 GeV (mentionnée en 2.4.9), dont l'analyse, très difficile mais fructueuse, s'est poursuivie sur plusieurs années (collaboration avec l'Ecole Polytechnique, Paris - le CERN, Genève - l'Université de Bergen (Norvège) : à Strasbourg, R. Arnold, J.P.Engel, J.L.Guyonnet, N.Kurtz et Salomé de Unamuno y ont travaillé). Nous avons apprécié la collaboration de B.Degrangé et F.Jacquet.

2.6.2. Interactions-d'antineutrinos dans du propane avec la chambre Gargamelle aux énergies du PS du CERN.

Il s'agissait d'étudier les courants chargés et neutres se manifestant dans les interactions de neutrinos sur protons libres et nucléons quasi-libres, avec détection et identification des secondaires. Après avoir proposé un programme de recherche (cf. [1972b]) dans cette direction, nous primes les données en 1974 et 1975. Au total, 400 000 photographies ont été obtenues, réparties entre 6 laboratoires.

Relativement aux courants chargés, nous avons étudié : le rapport des sections efficaces inclusives sur proton et sur neutrons ; le processus quasi-élastique avec détermination de M_A (paramètre du facteur de forme axial $M_A = 0.93 \pm 0.05$ GeV) ; les 3 canaux à un pion (résonances et sections efficaces) ; la production de particules étranges (avec mesure de la polarisation du Λ^0) ; le processus inclusif avec mesure des rapports des sections efficaces sur proton et sur neutron ($R = 0.37 \pm 0.05$), ainsi que de la section efficace totale $(0.271 \pm 0.02) \cdot E_{\nu} \cdot 10^{-38} \text{ cm}^2$ (test de l'invariance d'échelle et du modèle des quarks).

Relativement aux courants neutres, nous avons étudié (pour la première fois) les quatre réactions à 1 π ($\nu_{\mu} p \rightarrow \nu_{\mu} p \pi^0$ et $\nu_{\mu} n \pi^+$, $\bar{\nu}_{\mu} n \rightarrow \bar{\nu}_{\mu} n \pi^0$ et $\bar{\nu}_{\mu} p \pi^-$). En particulier, les rapports de leurs sections efficaces à celle du processus à courant chargé ($\nu_{\mu} p \rightarrow \mu^+ n \pi^0$), ont été déterminés et analysés en références aux modèles théoriques d'Adler et de Fogli et Nardulli dans le cadre de la théorie de Weinberg et Salam (on trouve la valeur admise de $\sin^2 \theta_w$) ; on a mis en évidence la composante isovectorielle du courant neutre hadronique faible, et on conclut à un mélange $I=0,1$. On confirme que le signe du produit des couplages $u_L d_L$ est négatif.

Ces travaux ont donné lieu aux thèses de doctorat d'Etat de Jean-Louis Guyonnet et Daniel Huss, ainsi qu'à la thèse de 3^e cycle de Chantal Racca et de Teresa Bolognese.

La collaboration était ainsi composée : Univ. de Bari (Italie) - Univ. de Bergen (Norvège) - University College, Londres (UK) - Univ. d'Oxford (UK) - Univ. de Milan (Italie) - CRN, Strasbourg, Univ. de Turin (Italie). L'étude, proposée en 1972, a été effectuée de 1974 à 1979. ([1972b ; 1974b ; 1975e.g ; 1976a ; 1977d,e,f,g ; 1978a,b,d,g ; 1980a].

2.6.3 Recherche de particules charmées par détection directe de leurs traces à l'aide d'émulsions nucléaires et d'un détecteur hybride émulsion - chambre à étincelles.

On ne connaissait pas encore de particules charmées quand nous avons entrepris cette expérience (et l'interprétation du J/ψ était encore controversée). Nous les recherchâmes tout d'abord en analysant des émulsions que nous avions exposées à un faisceau de protons de haute énergie (300 GeV) au Fermilab (USA).

N'ayant pas observé de cas (recherche de production associée), nous avons publié une limite supérieure de la section efficace : ($1.5 \mu\text{b}$, si la durée de vie est entre 10^{-12} et 10^{-14} seconde). Collaboration : Univ. Libre de Bruxelles, ULB (Belgique) - Univ. de Dublin (Irlande) - University College, Londres (UK) - Open, University, Milton Keynes (UK) - Univ. Rome (Italie) - CRN, Strasbourg - Univ. de Varsovie (Pologne). Expérience effectuée en 1975-1976. ([1976c]).

Nous avons eu, à vrai dire, avant même ce réaliser l'expérience précédente, dès 1974, peu après la découverte des courants neutres, l'idée de rechercher d'éventuelles particules de courte durée de vie (entre 10^{-11} et 10^{-14} s) produites par des interactions de neutrinos. Les premières idées sur ce sujet furent discutées entre Eric Burhop et moi-même, qui en étions les plus chauds partisans, ainsi qu'un très petit nombre d'autres personnes. Le scepticisme était général quant à l'existence de leptons lourds ou au mécanisme GIM (Glashow, Iliopoulos, Maiani) qui requerrait l'existence du nombre quantique de charme. Mais quelques théoriciens nous encourageaient, et nous eûmes le feu vert en 1975 pour faire l'expérience auprès du faisceau de neutrinos de haute énergie du Fermilab. A Strasbourg, j'avais constitué une petite équipe d'anciens « émulsionnistes » et de physiciens experts en chambres à étincelles, Gabriel Bassompierre et Marc Schneegans ; l'idée était de disposer un empilement d'émulsions devant une chambre à étincelles optique à larges intervalles (« large gaps ») : cette chambre fut réalisée par les chercheurs ci-dessus nommés de Strasbourg et Robert Klein de Mulhouse) ; les photographies des traces secondaires dans la chambre à étincelles permettraient de localiser l'interaction initiale dans l'émulsion, dirigeant ainsi un dépouillement qui serait autrement impossible. Notre collaboration a pu, de la sorte, observer un événement à trois branches, interprété comme une particule de désintégrant après un parcours de $200 \mu\text{m}$, de 6.10^{-13} s de durée de vie. Cette technique fut raffinée par la suite, et se trouve très utilisée pour l'étude des durées de vie et des modes de désintégration des particules de courte durée de vie (« charmées », de « beauté » ou particules « B », etc...). Notre expérience fut une jolie première. Elle a donné lieu à la thèse de Robert Klein. J'ai beaucoup apprécié, à cette occasion, de travailler avec Eric Burhop, Marcello Conversi, Jean Sacton et nos autres collègues.

La Collaboration comprenait : Univ. Libre de Bruxelles (Belgique) - Univ. de Dublin (Irlande) - Fermilab (USA) - Univ. College, Londres (UK) - Open Univ., Londres (UK) - Univ. de Mulhouse - Univ. de Rome (Italie) – CRN, Strasbourg. ([1975f ; 1976b ; 1979b]).

2.6.4 Interactions d'antineutrinos dans du propane avec la chambre Gargamelle aux énergies du SPS du CERN.

Dès 1974, au moment où nous entreprenions l'expérience d'antineutrinos sur propane au PS du CERN (cf. 2.6.2), nous envisageâmes, avec nos collègues des autres laboratoires concernés, des expériences à l'aide de la chambre à bulles Gargamelle auprès du faisceau de neutrinos de très haute énergie qui était depuis peu disponible au SPS du CERN (protons incidents de 400 GeV). Deux collaborations furent mises sur pied, l'une avec des neutrinos, à spectre large, l'autre avec des neutrinos et antineutrinos et à spectre étroit (en fait, dichromatique).

Je participai activement à la phase de préparation, notamment de la première, dont je fus le premier « spokesman » : je présentai cette proposition d'expérience au nom de la collaboration (cf. [1974c ; 1975h]) en séance ouverte du Comité d'expérience SPSC en 1975 au CERN. Les chercheurs de mon groupe se répartirent entre les différentes expériences, et Bruno Escoubès me seconda beaucoup à Strasbourg en coordonnant le travail. Pris moi-même par plusieurs travaux simultanés (expérience décrite en 2.6.2, celle du charme décrite en 2.6.3, et les projets pour le futur, dont il était absolument crucial pour le laboratoire que je m'en occupe directement), je laissai le rôle de spokesman à J. Morfin quelque temps après que la proposition ait été acceptée. Je suivis de près les travaux, qui correspondirent à deux thèses d'Etat, terminées récemment : celles de Fährad Rahimi et de René Blaes. La chambre était associée à un identificateur externe de muons. Nous avons obtenu des résultats importants sur les courants neutres purement leptoniques ($\bar{\nu}_\mu e^- \rightarrow \bar{\nu}_\mu e^-$), ainsi que sur la dynamique des interactions hadroniques (distribution de quarks, fragmentation, etc ...). Les résultats ont été publiés jusque récemment.

Collaboration : Phys. Inst., Aachen (République Fédérale d'Allemagne) - Univ. de Bergen (Norvège) - Univ. Libre de Bruxelles, ULB (Belgique) - University College, UCL, Londres (UK) - CRN, Strasbourg. Travaux de préparation, de 1973 à 1975 (réf. [1973d ; 1974b,c ; 1975h ; 1976a]. Résultats jusqu'à 1980. (J'ai signé les études préparatoires, et seulement les résultats préliminaires ([1978i]), n'ayant pas contribué directement à l'analyse ultérieure).

Je mentionne simplement l'autre expérience, à faisceau dichromatique, qui vit la mise au point d'un calorimètre entre Gargamelle et l'identifieur d'électrons et de muons (EMI) : l'idée était d'utiliser la chambre comme détecteur de vertex, en mesurant l'énergie totale des événements dans le calorimètre. L'accident survenu à la chambre Gargamelle ne permit pas de prendre suffisamment de photographies pour mener à bien l'étude envisagée (sur les productions de dileptons et sur les courants neutres). (Réf. : [1976a ; 1975i].

Collaboration CERN (Genève) – Lab. de l'Accélérateur Linéaire, LAL, Orsay - CRN, Strasbourg – LPNHE, Ecole Polytechnique, Palaiseau : (1976-1978).

2.6.5. Mise en évidence d'un excès d'événements de type dans une expérience de « décharge de faisceau » à 400 GeV.

Nous désirions rechercher s'il existe des particules pénétrantes, soit produites directement par interactions fortes sur une cible, soit résultant de la

désintégration de particules mères à courte de durée de vie (leptons lourds, hadrons à nouvelles saveurs). Nous avons donc fait une expérience de « décharge de faisceau » (« beam dump ») au CERN¹¹, à l'aide du dispositif « neutrino » et de la chambre à bulles Gargamelle. Le flux normal de neutrinos était réduit, par absorption des parents connus, d'un facteur 2000. On a trouvé 32 interactions de type neutrino ($E_{\text{visible}} > 10 \text{ GeV}$), réparties en 18 événements à courant chargé ν_μ ou $\bar{\nu}_\mu$, 5.1 à courant neutre, et 8.9 ν_e ou $\bar{\nu}_e$ à courant chargé. Après soustraction de toutes les sources connues, il reste un excès d'événements ν_e dont on discute les origines possibles. (On connaissait encore mal les caractéristiques de production de particules charmées, dont les sections efficaces proposées étaient contradictoires).

Collaboration : Physik. Inst., Aachen (République Fédérale d'Allemagne) - Univ. de Bari (Italie) - Univ. de Bergen (Norvège) - Univ. Libre de Bruxelles, ULB (Belgique) – CERN, Genève - LPNHE, Ecole Polytechnique, Palaiseau - Univ. de Milan (Italie) - Lab. de l'Accélérateur Linéaire, LAL, Orsay - CRN, Strasbourg – Univ. College, Londres (UK). Expérience réalisée en 1977-78. ([1978c,e,f,j]).

2.7. AUTRES EXPERIENCES, PROJETS ET PERSPECTIVES

2.7.1. *Projets d'expériences pour l'étude de particules charmées, des paires de dimuons et des courants neutres (dispositifs mixtes et électroniques)*

Envisageant de changer de technique de détection, passant à l'électronique, en associant des chercheurs de chambres à bulles et des chercheurs d'électronique, nous avons étudié dans le détail, dès 1976, la « faisabilité » d'une expérience utilisant un détecteur rapide de vertex « à 4π » (360°) pour étudier les systèmes hadroniques associés à des dimuons produits à haute énergie (modèle de Drell-Yan de la fusion de quarks). Cette expérience n'a finalement pas pu être réalisée ; les travaux de préparation et de simulation ont donné lieu à la thèse de 3^e cycle de Jean-Marie Brom. (Projet étudié de 1976 à 1978). Réf. : [1976e].

Dans le prolongement de l'expérience décrite en 2.6.3, j'ai participé très activement à la phase préparatoire d'expériences visant à détecter les particules charmées (et autres) à l'aide de dispositifs hybrides : émulsions localisées dans une chambre à bulles (BEBC, ou Gargamelle). Le laboratoire, engagé sur d'autres expériences, n'a pu participer à la première (BEBC) et la deuxième n'a pas eu lieu, en raison de l'arrêt de Gargamelle. Projets de 1976 à 1979. Réfs. : [1976d ; 1977h ; 1978h].

J'ai également contribué aux études pour une expérience à détection électronique (détecteur à grains fins), pour une mesure précise de l'angle de Weinberg par détection des électrons ($\nu_\mu e^- \rightarrow \nu_\mu e^-$). Cette expérience n'a finalement pas été réalisée (1978-1979). Réf. [1979c].

¹¹ Il s'agit d'arrêter le faisceau de particules productrices, par désintégration, de neutrinos (mésons chargés π et K , de durée de vie relativement longue), sur un absorbeur massif. S'il existe d'autres parents de neutrinos, non connus (leptons lourds, particules charmées), de durée de vie plus courte, ils auront eu le temps d'échapper au massacre et donné des neutrinos. Voir [1978l].

2.7.2. Perspectives_et_ré-orientations

La voie royale de la physique, des particules, qui avait été pendant près de 20 ans celle des chambres à bulles, prenait depuis quelque temps une autre direction. Il y aurait à méditer sur ce paradoxe : le plus beau succès de la physique européenne, depuis la création du CERN, avait été la découverte des courants neutres dans la chambre Gargamelle, et en même temps il assurait en quelque sorte le déclin de cette chambre et de cette technique. (On est un peu tenté de prophétiser ce destin à la physique des particules dans son ensemble, si riche et spectaculaire aujourd'hui, et soumise à une accélération et à un gigantisme quelque peu déments : pourtant, rien n'est plus enthousiasmant que ces résultats et perspectives vers les théories unifiées, et il est absolument nécessaire de poursuivre dans cette voie.

J'avais, comme je l'ai indiqué, déjà envisagé une réorientation partielle des activités de recherche effectuées sous ma direction, en étudiant des possibilités d'expériences et en essayant de mettre sur pied des équipes mixtes au sein de la Division des hautes énergies au CRN de Strasbourg (cf. 2.6.3, 2.7.1). Après l'échec de la proposition d'expérience de calorimètre à grain fin, il devenait urgent de mettre des chercheurs et l'équipe technique sur une expérience d'électronique. Ce qui fut fait avec l'expérience NA-14 (interactions de photons de haute énergie sur les quarks), grâce à la bienveillante collaboration de Daniel Treille et de ses collègues du CERN et, côté Strasbourg, à Michel Schaeffer, Jean-Pierre Engel, Jean-Louis Guyonnet, qui fournirent un gros effort, couronné de succès. Je m'employai, pour ma part, à leur préparer au laboratoire les conditions matérielles et techniques - la reconversion d'équipes techniques et la définition pour elles de nouvelles conditions de travail est une affaire plus délicate humainement à réaliser qu'un organigramme. Parallèlement, je favorisai le départ pour des séjours dans de grands laboratoires extérieurs (CERN à Genève, SLAC à Stanford) de très bons chercheurs du laboratoire (Gérard Bonneaud, Roger Arnold), sur lesquels je misais beaucoup pour leur retour. L'achèvement des expériences entreprises était en même temps assuré par les chercheurs en cours de thèse, notamment sous l'impulsion de Bruno Escoubès. L'orientation vers la physique du LEP (anneau de collision e^+e^- de 100 GeV) était par ailleurs étudiée.

La transition ne se fit pas sans soubresauts, mais finalement, en 1982, le profil de ce que pouvait être une orientation et une organisation raisonnable des nouvelles recherches en hautes énergies au CRN de Strasbourg se dessinait à peu près clairement. J'en ai été - avec d'autres - l'artisan jusqu'au terme, et je pense qu'aujourd'hui (en 1983), ce laboratoire, qui comporte de jeunes physiciens de valeur - j'ai la fierté d'avoir formé à la recherche une bonne part d'entre eux - se trouve en bonne voie.

2.8. AU COMITE NATIONAL DU CNRS (1980-1983).

En 1980, j'ai été élu au Comité national du CNRS, à la Section de Physique Nucléaire et Corpusculaire qui me désigna comme président. Ce fut une expérience passionnante, difficile au début, très prenante par la suite. Difficile, en raison, bien sûr, de la pression exercée alors par le ministère de tutelle du CNRS, du dénigrement dont les chercheurs étaient l'objet - le ministre donnant le ton. Dans

cette atmosphère de suspicion et de mépris, l'on tentait de faire prévaloir une distinction, parmi les membres du Comité National, entre ceux qui avaient été élus sur programme - plèbe turbulente - et les « nommés » qui seraient les seuls garants de la valeur des jugements scientifiques. (La différence d'état d'esprit à la mise en place du nouveau Comité National, en 1983, est très nette). Expérience difficile surtout, évidemment, en raison de la dégradation du potentiel et des conditions de la recherche à laquelle on avait assisté depuis une dizaine d'années et que n'expliquait pas la seule récession économique .

Nous nous sommes trouvés, au Comité National, confrontés à des problèmes aigües qui résultaient de cet état de choses. Flux des recrutements tari (combien de jeunes de valeur avons-nous dû, dans nos laboratoires, décourager et voir partir ailleurs, avant d'assister au tarissement des troisièmes cycles), goulots d'étranglement du passage à la maîtrise de recherche, stagnation des carrières de chercheurs excellents et d'ITA. (Sans compter les difficultés propres à la discipline : concentration des expériences et super-industrialisation en hautes énergies, etc..., qui posaient des problèmes spécifiques...). Ce contexte lourd s'est quelque peu éclairci par suite des modifications politiques de 1981 et de l'action du ministre de la recherche, J.P. Chevènement. Par là-même, le travail du Comité National, et en particulier celui de président de section, se trouva très prenant, puisque nous devons, conformément à la vocation initiale de cette instance du CNRS, contribuer aux réflexions et aux analyses relatives aux réformes des organismes de recherche.

La préparation des Assises régionales (je présentai officiellement, à celles d'Alsace, le CNRS, cf. [1981j]), puis du Colloque National de la Recherche et de la Technologie, a par ailleurs mobilisé bon nombre d'entre nous. Je crois, pour ma part, que ce travail n'a pas été vain (pour une analyse, voir [1981k ; 1982k]). Je souhaite que les réformes entreprises aboutissent rapidement et que les blocages encore pesants soient levés (je pense, bien sûr, à ceux des carrières, mais aussi à ceux des rapports CNRS-Université, par exemple, ou au statut des chercheurs encore attendu...).

Je ne résumerai pas ici le travail fait par cette Section du Comité National, d'octobre 1980 à la fin 1982 : on peut consulter les compte-rendus de ses 5 réunions fort occupées (la Section de Physique Nucléaire et Corpusculaire était en outre la plus grosse du CNRS par le nombre des chercheurs qui en dépendaient). Ce que je veux dire ici, c'est que cette expérience du Comité National et de la présidence d'une section m'a fait sentir très intensément l'importance d'un fonctionnement réellement *démocratique* (ce mot, souvent galvaudé, a pour moi une grande portée) des institutions et des instances scientifiques. Je m'y suis employé pour ma part, à la place que j'occupais, en tentant de faire en sorte que, pour toute question que nous abordions, qu'elle soit de fond, relative à des jugements sur des groupes ou des personnes, ou à des choix, les décisions n'interviennent qu'après que l'on ait véritablement fait le tour des informations et des réflexions, que tous les éléments objectifs aient été posés sur la table. En cela, la vocation du Comité National de la Recherche Scientifique est exemplaire, puisqu'il doit composer ce qui pour les technocrates est inconciliable, la *rigueur scientifique* et l'*objectivité* dans les jugements et les choix avec le souci du *respect des personnes* et l'*égalité de chance des points de vue* à faire valoir (c'est-à-dire la *discussion démocratique*). Enfin, autre aspect enrichissant de ces deux ans et demi de présidence de section, la

possibilité de faire travailler ensemble - et de façon généralement constructive dans l'esprit ci-dessus - des personnes aux tempéraments, aux intérêts, et aux convictions et idéologies si divers et parfois si contraires.

Je ne crois pas que ces considérations soient déplacées dans un rapport sur mes recherches (dans un bilan). Car la recherche comprend cette dimension-là aussi.

3. ITINERAIRE 2 : DE LA REALITE PHYSIQUE AU LABORATOIRE A SON ETUDE CRITIQUE. L'APPROCHE EPISTEMOLOGIQUE.

3.1. LA PREOCCUPATION EPISTEMOLOGIQUE.

Intéressé depuis longtemps à la philosophie, je pensai préférable, plutôt que d'aborder directement et sans outils autres que le sens commun, les problèmes épistémologiques de la physique contemporaines dont l'importance m'apparaissait peu à peu, de passer par le détour d'une formation de base que me procura l'Université, en marge de mes travaux de recherche, dans les moments disponibles. J'obtins la licence et la maîtrise de philosophie, à l'Université de Strasbourg-2, en 1969 et 1971. Sur les conseils du professeur Georges Gusdorf, dont le savoir en fait d'histoire des idées est immense, je décidai d'approfondir ma connaissance des conceptions - philosophiques et scientifiques - de l'époque classique : le XVIII^e siècle m'apparaissait occuper une position centrale, prenant la pleine mesure de la révolution des idées du siècle précédent et annonçant la plupart des grandes innovations qui devaient se développer ultérieurement. Un personnage, une pensée, se désignait tout particulièrement à mon attention : d'Alembert (cf. 3.2). L'étude de ses conceptions me servit de propédeutique à la recherche en épistémologie et en histoire des sciences.

En même temps je contribuai à la création du Séminaire sur les Fondements des Sciences, avec Hervé Barreau, José Leite Lopes et Georges Monsonogo, à l'Université Louis Pasteur, séminaire qui fut très soutenu par Guy Ourisson, alors président de l'Université, puis par Pierre Karli, son successeur. Ce séminaire (voir [1975r]), objet durant plusieurs années d'une « RCP » du CNRS, était organisé autour de conférences interdisciplinaires. Il a eu un rayonnement indéniable à Strasbourg et au-delà. La convergence d'initiatives analogues à d'autres endroits, et les échanges qui s'établirent au sujet de ces préoccupations communes avec de nombreux groupes et individualités travaillant en recherche fondamentale, furent un encouragement à défendre et illustrer cette idée que la réflexion épistémologique et historique appartient de droit aux exigences mêmes du mouvement de la recherche scientifique. Cette idée, je la développai, plus tard, avec d'autres, au Colloque National sur la Recherche de 1982 ; ce Colloque représenta à plusieurs égards l'aboutissement d'une ébullition, jusque-là souterraine, à laquelle j'avais contribué (cf. [1981k]). J'ai, pour la préparation du Colloque, vivement apprécié de travailler avec Robert Fossaert, qui a su synthétiser les travaux sur l'« apport culturel » d'une manière remarquable (cf. Colloque National : Recherche et Technologie, *Rapports introductifs des commissions de travail*, Paris, 13-16 Janv. 1982, p. 1-25 ; et *Actes du Colloque National Recherche et Technologie*, La Documentation Française, Paris, 1982, p. 91-94).

J'avais, pour ma part, tenté de concrétiser cette idée, en éditant, de 1973 à 1980, les 100 numéros des *Cahiers Fundamenta Scientiae* (Centre de recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg-1), qui sont devenus de plus en plus recherchés, puis en fondant, avec Baudouin Jurdant, la revue *Fundamenta Scientiae* qui fut accueillie (faute d'éditeurs français) chez Pergamon Press à Oxford à partir de 1980.

J'ai également assuré, de 1973 à 1981, le cours à option au DEUG de l'Université Louis Pasteur sur l'Histoire des sciences (une centaine d'étudiants chaque année, se destinant à des disciplines diverses) et donné des exposés à des occasions variées. J'ai participé au groupe de travail sur l'histoire des sciences de la Société française de physique, au niveau national, groupe animé par Eugène Cotton, et publié, notamment dans le *Bulletin de la Société Française de Physique*, des réflexions et enquêtes sur l'état de l'histoire et de la philosophie des sciences en relation aux départements et laboratoires scientifiques des universités (réf. [1975q ; 1976f ; 1979l]). J'ai vu avec plaisir la communauté scientifique s'ouvrir de plus en plus à ces préoccupations, et j'ai participé à l'élaboration du *Colloque sur l'histoire de la physique des particules*, avec de prestigieux protagonistes, qui s'est tenu à Paris en 1982. J'avais entre-temps, depuis 1974, commencé d'étudier les aspects historiques et épistémologiques de la physique contemporaine (voir 3.3).

Avant d'en venir à mes sujets de recherches proprement dits dans ce domaine, je mentionne quelques contributions diverses, constituant soit des suggestions de recherches interdisciplinaires (p. ex. [1977]), soit des analyses sur des implications sociales ou idéologiques de l'activité scientifique ou sur certaines aberrations - fausses sciences, etc... - ([1982d,l ; 1983g ; 1973g,h ; 1974k, 1977m ; 1978m ; 1980g ; 1982e,f,g,h]). Je reliai la divulgation des connaissances, que je pratiquai en accompagnant régulièrement les résultats nouveaux de physique des particules, à la préoccupation pour l'épistémologie, car elle demande une véritable réflexion sur les concepts et sur la signification des connaissances (voir plus bas, 4.1).

J'avais conscience de ce que, d'une part, l'épistémologie et l'histoire des sciences sont indissociables ; d'autre part, qu'elles ne peuvent être menées de façon vivante coupées de la science telle qu'elle se fait, de ses problèmes actuels, de son mouvement réel. Ma propre pratique scientifique me l'avait fait percevoir avec urgence. En retour, ma formation philosophique me fit réaliser que l'on ne peut improviser sur ces questions, qui demandent - sauf exception, dans le cas des grands créateurs -, au-delà de l'amateurisme, une implication quasi-professionnelle. Cela affermit peu à peu ma détermination à me reconverter totalement, dès que ce serait possible, à la philosophie et à l'histoire des sciences. Bien sûr, cette reconversion, je la préparais depuis longtemps, tout en assumant pleinement mes engagements et mes obligations dans la recherche en physique fondamentale.

Mon cas est particulier, et je sais bien qu'il ne revient pas à tout scientifique de devenir philosophe - ou historien, ou sociologue - ; mais je crois souhaitable que la communauté scientifique dans son ensemble porte cette préoccupation. Pour moi, mon intérêt pour ces questions était de plus en plus vif, et il devenait très difficile de mener de front toutes mes activités (on l'a vu, mon activité de chercheur en physique était par ailleurs très pleine). Je décidai donc, au bout de cette évolution, de faire de la recherche en épistémologie et en histoire des sciences mon activité principale, ce que je mis à exécution au début de 1983.

j'espère, ce faisant, garder des contacts avec la recherche en physique ; j'espère aussi que les philosophes et historiens des sciences professionnels n'éprouveront pas, à l'égard de l'« outsider » (ou de l'*intrus*), une réaction de rejet : je crois m'être prémuni contre cela en faisant l'effort du détour d'une formation complète en philosophie, et par les travaux déjà effectués.

J'ai trouvé récemment une définition de l'épistémologie qui me paraît justifier le cheminement que j'ai décrit et convenir assez bien à mon propre parcours : « L'épistémologue ne devrait pas être un scientifique raté, ni un philosophe égaré, mais un philosophe qui a réussi en science et qui s'est davantage senti attiré par les problèmes philosophiques qu'elle suscite que par les problèmes scientifiques particuliers » (Mario Bunge, *Epistémologie*, tr. fr., Maloine, Paris, 1983, p. 277).

Il me reste encore à décrire les recherches épistémologiques que j'ai déjà effectuées ou entreprises.

3.2. RECHERCHES SUR LES RAPPORTS DE LA PHYSIQUE ET DE LA PHILOSOPHIE A L'AGE CLASSIQUE : xviii^e SIECLE, D'ALEMBERT (TRAVAUX EFFECTUES DE 1969 A 1977).

Je reviens à mes premières recherches sur le XVIII^e siècle. D'Alembert m'apparaissait, du point de vue scientifique, comme l'un des meilleurs témoins du newtonianisme au siècle des lumières, tout en s'inscrivant dans la tradition du rationalisme cartésien. Ses conceptions philosophiques, et son engagement dans les luttes d'idées de son temps (il était, avec Diderot, directeur de l'*Encyclopédie*), donnaient à son oeuvre une dimension plus large que celle de beaucoup d'autres auteurs. Il était précisément extrêmement intéressant de tenter une mise en rapport de ces différents aspects de l'oeuvre de d'Alembert : la physique (théorique), les mathématiques, la philosophie de la connaissance, et le projet politico-culturel. Après un mémoire de maîtrise sur Newton et d'Alembert (réf. 1971g ; 1972d,e ; 1973f), je rédigeai, à l'usage surtout des lecteurs français qui n'en disposaient pas, une brève esquisse biographique ([1977i] : elle est analysée dans la revue *Dix-huitième siècle*, n° 11, 1979, p. 474, par John Pappas, et recensée en plusieurs autres endroits) ; celle-ci n'était conçue que comme un appendice à un travail, plus important, d'analyse structurelle de la pensée de d'Alembert ([1977k]), que je soutins comme thèse d'épistémologie à Strasbourg, en 1977. Ce travail est intitulé : *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*. Malgré la recommandation du jury de le voir publié, et son choix par l'historien Fernand Braudel, en 1977, pour sa collection (Nouvelle Bibliothèque Scientifique) chez Flammarion (choix remis en cause à son départ de cette maison), il n'a pas été édité et demeure donc confidentiel. La maison Reidel (Dordrecht, Pays-Bas) m'a récemment proposé de le publier si je le fais traduire moi-même en anglais, mais le labeur que cela représente (et six ans après) me fait hésiter. Je voudrais signaler ici quelques personnes qui ont apprécié ce travail et dont les encouragements ont été pour moi très précieux : Mario Bunge, Henri Chambon, François Russo (qui le cite dans son récent *Nature et méthode de l'histoire des sciences*, Blanchard, Paris, 1983), Georges Gusdorf, Roger Hahn, Jacques Merleau-Ponty, Roshdi Rashed.

J'ai également publié plusieurs articles sur ce sujet et sur des questions annexes (Science et philosophie au XVIII^e siècle) ([1975p ; 1978n,p ; 1979j ; 1980f ; 1981d,e]). L'année du bicentenaire de la mort de d'Alembert (1783-1983)

est l'occasion d'un retour à ce thème, en raison du *Colloque d'Alembert* et d'un numéro spécial de la revue *Dix-huitième siècle*, pour lesquels j'ai été invité à donner des contributions.

3.3. RECHERCHES EPISTEMOLOGIQUES SUR LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE (DE 1974 A 1982).

3.3.1 *Fondements conceptuels de la mécanique quantique*

Je n'avais pas osé me lancer en premier lieu dans l'étude des problèmes épistémologiques de la mécanique quantique, objets d'une littérature abondante (et même surabondante). Je ne m'y risquai, prudemment, que lorsque je m'estimai capable de satisfaire à certaines exigences de rigueur et de précision dans l'analyse conceptuelle. En 1974, à l'occasion d'un colloque que j'organisai à Strasbourg avec José Leite Lopes sur « *Un demi-siècle de mécanique quantique* » ([1974 ; 1976j ; 1977a]) 20a-37, 38 : y participaient notamment E. G. Beltrametti, David Bohm, Serguei Chouchourine, Raymond Daudel, José Maria Jauch, Bernard d'Espagnat, A.Frenkel, M. Lamehi-Rachti, Rémy Lestienne, Jean-Marc Lévy-Leblond, Georges Lochak, Mioara Mugur-Schächter, Constantin Piron, John Archibald Wheeler), j'étudiai le problème des corrélations quantiques à distance (argument EPR, théorème de Bell, expériences de test de ce théorème et de la mécanique quantique) sous l'angle théorico-expérimental tout d'abord, en faisant le point sur son état et sa portée, insistant sur le caractère non-classique du concept quantique correspondant, inscrit dans le formalisme même de la théorie, l'*inséparabilité* ([1974j ; 1975a ; 1977b]). Je revins ultérieurement sur celui-ci, en en proposant une analyse épistémologique et historique. Je montrai sa portée dans le débat conceptuel entre Einstein et Bohr, qui contribuèrent tous deux à l'explicitier, et analysai la décantation du problème permise par le travail de Bell de 1964, qui rendait possible le passage d'une expérience de pensée à une expérience réelle, et par là-même de dissocier l'inséparabilité comme concept physique de ses interprétations philosophiques. Je proposai une critique « logique » de ce concept dont on présente souvent des traductions insatisfaisantes du point de vue de la physique (par exemple, en termes d'action à distance), voire même qui contreviennent à la raison (actions vers le passé, etc.). Je montrai comment ces considérations s'insèrent, par-delà le concept particulier, dans le contexte plus général de ce que l'on entend par théorie physique et par le rapport de celle-ci à son objet.

Ces analyses ont rencontré une bonne audience chez les physiciens théoriciens et chez les philosophes des sciences, en France et à l'étranger, et m'ont valu plusieurs invitations (articles, conférences et collaborations ultérieures). ([1981g,h ; 1982a]).

J'ai également donné quelques articles sur la mécanique quantique ([1974h,i ; 1980e ; 1982b,h,i ; 1983b]).

Mes recherches épistémologiques sur la mécanique quantique constituent l'objet de 3 chapitres de l'ouvrage *La Matière dérobée* dont je parle plus loin : j'y analyse notamment la manière dont la mécanique quantique opère une critique de concepts classiques (espace, trajectoire, onde, corpuscule,...), oblige à repenser la conception classique des probabilités, et je tente une analyse

épistémologico-historique des concepts d'indiscernabilité et d'inséparabilité. Je montre aussi la dimension philosophique du problème théorique de la mesure, et tente de situer le problème des rapports entre mécanique quantique et relativité restreinte.

3.3.2. *La pensée scientifique et philosophique d'Einstein*

Il est impossible, quand on étudie les fondements de la physique contemporaine, de ne pas rencontrer la pensée d'Einstein. Paradoxalement, malgré son influence considérable, on a souvent mal compris le sens de sa démarche, on a critiqué sans les approfondir ses objections à la mécanique quantique, on a rarement pris au sérieux ses conceptions épistémologiques et philosophiques. En me penchant sur les textes, j'ai trouvé au contraire que la pensée scientifique et les considérations philosophiques d'Einstein ont un lien profond et cohérent. J'ai tenté de dégager le sens de sa recherche, dans l'élaboration qu'il a fait de la première théorie quantique (le concept de corpuscule lumineux a été élaboré de 1905 à 1917, en poursuivant des préoccupations théoriques fondamentales, et non pas empiriquement ou même « heuristiquement »), mais également dans son travail de 1905 sur la relativité restreinte ([1979i ; 1980h ; 1981e] et un chapitre de *La Matière dérobée*, *op. cit.*). J'ai été frappé par l'importance de ses conceptions en philosophie des sciences et par l'actualité de sa notion de « programme épistémologique » (cf. son texte de 1949 : « Réponse aux critiques »). J'ai entrepris une analyse de ces conceptions ([1979k ; 1983d]), que je me propose de poursuivre.

3.3.2. *L'objet de la physique contemporaine*

Les débats philosophiques au sujet de la physique contemporaine, comme les développements récents de cette discipline, m'ont fait voir la nécessité de reprendre la question du statut épistémologique de la théorie physique et de son objet. J'ai fait, à partir de 1978, quelques études sur ce problème, tentant d'éclairer son aspect général à partir de cas spécifiques (p. ex. : l'objet de la physique des particules, le rapport des mathématiques et de la physique, etc ... : [1978o,q,r ; 1980e]). Inévitablement, j'ai rencontré la question, discutée, au point d'être rejetée comme échappant aux problèmes de la science, de la « réalité physique ». J'ai esquissé, en controversant avec B. d'Espagnat, devant la Société Française de Philosophie qui nous avait invités pour l'une de ses quatre séances annuelles en 1979 (« La physique et le réel », [1980e]), la manière dont je pensais possible et nécessaire d'aborder cette question. J'ai pu développer par la suite cette approche, ayant été invité par le philosophe des sciences italien bien connu, Ludovico Geymonat, à écrire un livre d'épistémologie de la physique contemporaine (ce livre, intitulé par métaphore *La Matière dérobée*, paraîtra en 1984 en italien, puis en français).

Il ne me paraît pas possible d'aborder la question de l'objet de la physique contemporaine (son approche, sa nature, son caractère construit ou de réalité, etc.) sans définir d'abord le point de vue épistémologique que l'on considère. J'ai donc développé, à partir d'Einstein et de Lakatos, ma propre notion de « programme épistémologique » ([1982j]), qui me paraît plus propre que la simple « falsifiabilité » au sens de Popper à faire saisir ce qu'est la production de

théories scientifiques. Je mets cette notion en œuvre à propos des problèmes de la physique contemporaine (la physique et les autres sciences, caractérisation des atomes et corpuscules, théorie quantique, théorie quantique des champs, symétries, etc.), dans une approche au premier chef épistémologique, mais qui fait appel aux considérations historiques dès qu'il apparaît nécessaire de dépasser le caractère statique des propositions scientifiques pour les envisager dans la dynamique de leur élaboration. Je m'étends ensuite longuement sur le problème de la mathématisation en physique (et, plus précisément, sur la mathématisation et la prédictivité), en prenant, là encore, des exemples, avant de tenter, en conclusion (et alors seulement), une récapitulation philosophique de ce que l'on peut dire sur le caractère de « réalité » des objets physiques ainsi considérés, transcrits par la pensée dans un ordre symbolique. Ces vues s'opposent à l'empirisme et au positivisme contemporains (empirisme logique, néo-positivisme), tout en tirant parti de certaines analyses ou objections proposées par ces points de vue. Elles répondent au « programme réaliste, rationnel et critique » que j'ai tenté de dégager.

Dans cette même direction, j'ai donné d'autres articles critiquant certaines conceptions répandues des « épistémologies floues » (critique de l'ontologie du hasard, des conceptions de Prigogine : [1982e,f,g,h]).

3.4. PERSPECTIVES DE RECHERCHE EN EPISTEMOLOGIE ET EN HISTOIRE DES SCIENCES.

3.4.1. *Recherches personnelles*

J'ai l'intention de poursuivre l'étude épistémologique et historique des concepts et théories physiques contemporains, en la centrant sur l'idée de symétrie et son importation en physique quantique.

On sait combien ce concept est devenu important dans les développements récents de la théorie quantique des champs (symétries de jauge et théories dynamiques des champs d'interaction conduisant à l'approche unifiée des champs de jauge). Il y a, dans l'étude des implications de l'idée de symétrie, un vaste champ de recherches, presque vierge à l'heure actuelle. Une telle étude est à la frontière entre physique théorique, philosophie et histoire des sciences. J'aimerais l'aborder en premier lieu par la question de l'utilisation de symétries pour la construction des concepts quantiques entre 1926 et 1932. C'est par la considération de symétries spatio-temporelles que les opérateurs quantiques fondamentaux ont trouvé leur formulation, à travers les travaux de Born, Heisenberg et Jordan (relations de commutation, concept de transformation canonique) ; de Dirac et de Jordan (théorie des transformations) ; de Von Neumann et de Hilbert (formulation de la mécanique quantique comme un calcul d'opérateurs dans un espace de Hilbert) de Weyl et de Wigner (introduction de la théorie des groupes en mécanique quantique), etc. En second lieu, j'aborderai les autres considérations de symétries (symétries discrètes, symétries internes, symétries de jauge ...).

J'aimerais également approfondir la transformation opérée sur la notion de probabilité par la mécanique quantique. J'ai esquissé quelques considérations sur cette question dans *La Matière dérobée* (op. cit.), et il serait souhaitable de l'approfondir de manière systématique en analysant le processus historique du travail théorique qui a souterrainement opéré cette transformation, depuis le

traitement par Max Planck en 1900 du rayonnement du corps noir jusqu'à l'énoncé par Max Born, en 1926, de l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde ou vecteur d'état. J'ai indiqué comment il apparaissait nécessaire désormais de dissocier l'idée de probabilité de celle de hasard, et je pense que, dans cette perspective, seule l'étude historique peut être éclairante ; elle peut, à mon sens, aider à éclaircir des brumes conceptuelles encore pesantes.

3.4.2. Création d'une équipe interdisciplinaire d'épistémologie et histoire des sciences.

La recherche en épistémologie et en histoire des sciences doit être effectuée selon des critères scientifiques, avec des données, des documents, des méthodes appropriées. Le caractère collectif de cette recherche, notamment en ce qui concerne l'étude des sciences contemporaines, est une condition nécessaire pour lui faire dépasser le stade « artisanal » ; sans supprimer l'originalité des contributions individuelles, évidemment indispensables, il s'agit de favoriser la confrontation entre les informations, les points de vue, les analyses, et particulièrement l'interpénétration des diverses disciplines, ainsi que la résorption de clivages archaïques.

C'est pourquoi, avec des collègues disposant comme moi d'une double formation (une science particulière et la philosophie ou l'histoire), nous avons décidé de constituer une équipe de recherche. Notre intention est d'être Equipe de Recherche (ER) du CNRS (demande déposée pour la session d'automne 1983 du Comité National), et de nous localiser dans un lieu favorable à une vue dynamique des échanges entre science, histoire, philosophie et société. Le futur Musée des Sciences et des Techniques de la Villette nous a paru offrir un certain nombre d'avantages pour notre entreprise, et des pourparlers sont en cours entre le CNRS et l'Etablissement Public de La Villette. Cette perspective s'inscrit dans la proposition que nous avons faite dans le cadre du groupe d'étude sur l'histoire des sciences de l'Etablissement Public de La Villette. (cf. la revue *Les Etudes du musée national des sciences, des techniques et des industries*, n°2, 1983 : « Pour un centre d'histoire des sciences et des techniques à La Villette ». Notre projet de recherche est décrit p. 45-48).

Pour réaliser les recherches que nous envisageons dans un esprit de collaboration interdisciplinaire et d'efficacité, il faudra bien entendu disposer de moyens. Nous espérons que le CNRS et la structure d'accueil nous les accorderont. J'ajoute ici que, parmi les nombreux besoins en documentation, je m'efforcerai de faire acquérir les fonds, sur microfilms, des archives sur les sources de la mécanique quantique, dont l'original est à Berkeley, pour qu'il soit possible d'en disposer en France. Mais ceci n'est que l'un des problèmes matériels que nous aurons à résoudre.

Dans le cadre de cette équipe, j'ai enclenché une collaboration avec un groupe d'histoire des sciences de l'université de São Paulo (Brésil) pour l'étude des relations scientifiques entre la France et le Brésil au XIX^e siècle. Ce projet s'inscrit dans un programme sur l'étude de la « science impériale », sur les modalités du transfert (ou non transfert), au XIX^e siècle, du savoir scientifique des puissances coloniales aux pays dépendants. Ce sujet a, évidemment, des prolongements contemporains.

4. ELEMENTS D'INFORMATION

4.1. ENSEIGNEMENT, INFORMATIONS SCIENTIFIQUE ET AUTRES ACTIVITES

Comme il s'agit ici d'un bilan, j'ai éprouvé le besoin de rechercher dans mes papiers les traces des manifestations de mes activités au cours des années écoulées. Les voici (cf. 4.2 à 4.6). J'en retiens en particulier les directions de recherches et de thèses (cf. 4.2), qui me rappellent, rétrospectivement, qu'un des rôles de la recherche et des chercheurs est la formation ; qu'elles aient été nombreuses témoigne de ce que l'encadrement à Strasbourg, en hautes énergies, était restreint et que, ici comme à d'autres sujets, la charge sur mes épaules était assez lourde. Faire de la physique des hautes énergies en dehors des grands centres (CERN, région parisienne), ce ne fut pas la voie la plus aisée pendant cette période - et nos collègues qui bénéficiaient des facilités des grands centres et, comme je le disais alors, « de la proximité des dieux », n'en étaient pas toujours conscients. Les invitations - non obligatoires au regard des statuts de l'Université, vis-à-vis d'un maître de recherche à participer à des jurys de thèse, notamment en physique théorique, furent également fonction de mon rôle d'animateur scientifique. De ce retour-arrière (« flash-back »), je retiens aussi une implication assez grande dans des séminaires, conférences, et cours (bénévoles, pas d'heures complémentaires payées, sinon très exceptionnellement) (4.4).

Aimant écrire, et expliquer la substance de ce qu'est notre recherche, si éloignée des connaissances de la vie quotidienne, et si absente de la culture en général - persuadé qu'elle conditionne à terme la première et participe de la seconde, et que chacun a droit à un minimum d'information à leur sujet -, j'ai contribué à la diffusion des connaissances (divulgaration, ou « vulgarisation »). Je l'ai fait à la façon qui me paraît la plus propre à un véritable « partage du savoir », en présentant non seulement les faits, les techniques, les résultats, mais les problèmes et leur portée profonde : ce que j'appelle la vulgarisation critique, ou épistémologique. L'ensemble de ces contributions constitue un tout qui possède sa cohérence ([1963i ; 1973e ; 1974d,e,f,g,h,i ; 1975b, k,l,m,n,u,v ; 1976g,h,i,m,n,v ; 1977i,j ; 1978k,l ; 1979e,f,g,h ; 1980c,d ; 1981a,b,i ; 1982m ; 1983c,f]). J'ai également participé à des émissions de radio et de télévision, qui permettent, différemment, de toucher un public plus large.

4.2. DIRECTION DE THESES ET DE RECHERCHES

J'ai dirigé les thèses suivantes (les personnes éventuellement indiquées entre parenthèses ont également participé à la responsabilité de la thèse) :

- Roger ARNOLD : *Etude de la mesure de l'énergie des photons par la méthode de la longueur totale des traces. Applications à la détermination des taux d'embranchement K_L^0 en 3π* , Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, préparée au CRN de Strasbourg en 1967-1968, soutenue à l'Université de Strasbourg le 22.10.1968.

- Jean-Louis RIESTER : *Etude directe du mode du mode η^0 en 3π . Spectre d'énergie cinétique du π^0* , Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, préparée au CRN de Strasbourg en 1967-1968, et soutenue à l'Université de Strasbourg le 13.12.1968.

- Aurore NAVARRO : *Réalisation d'une chambre proportionnelle multiplan*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, préparée en 1968-1969 au CERN et soutenue à l'Université de Strasbourg le 6.2.1970. (Prof. Dick).
- Maurice HAGUENAUER : *Production cohérente des systèmes à 4 mesons, par des K^+ de 10 GeV sur noyaux*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, préparée en 1968-1969 au CRN de Strasbourg et à l'Ecole Polytechnique, Paris, et soutenue à l'Université de Strasbourg le 15.6.1970. (Ung Nguyen-Khac).
- Roger ARNOLD : *Mécanisme de production cohérente par des π^+ de 11.7 GeV, et rapports d'embranchements*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-sciences physiques, soutenue le 5.12.1972 à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- Jean-Louis RIESTER : *Etude de la réaction $+p - p +$ à 3.5 GeV/c*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-sciences physiques, soutenue le 8.1.1975 à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- Jean-Pierre ENGEL : *Production cohérente sur noyau de systèmes de 4π par des π^+ de 11.7 GeV/c*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue le 19.12.1972 à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (Antoni Lloret).
- Bruno ESCOUBES : *Production cohérente des systèmes de K par des K^+ de 10 GeV sur les noyaux*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-sciences physiques, soutenue à l'Université de Paris-Sud le 17.6.1971. (Antoni Lloret).
- Robert BLIND : *"Analyse en espace de phase longitudinal de la production cohérente des systèmes $K \pi^+ \pi^+$ par des K^+ de 10 GeV/c sur noyaux*. Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 6.10.1973.
- Jean-Louis GUYONNET : *Système d'acquisition de données et d'analyse en ligne pour l'étude des photographies de grandes chambres à bulles*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue le 11.4.1975 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg. (Antoni Lloret)
- Orlando CONCEPCION : *Etude de la réaction inclusive $K +$ noyau à 10 GeV c et comparaison avec la même réaction observée sur hydrogène*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 16.11.1976. (Bruno Escoubès).
- Daniel HUSS : *Etude des réactions à courants chargés induites par des antineutrinos*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences-physiques, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 6.7.1979.
- Jean-Pierre ENGEL : *Etude des annihilations $n\bar{p}$ et $p\bar{p}$ à 1.6 GeV/c donnant des pions neutres dans l'état final*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences-physiques, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 2.6.1980.
- Jean-Louis GUYONNET : *Etude des réactions à courant neutre avec production d'un pion, produites par des antineutrinos muoniques*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences-physiques, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 28.3.1981.
- Chantal RACCA : *Etude de la réaction élastique semi-leptonique en courant neutre produite par des antineutrinos*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue le 28.6.1978, à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg. (Jean-Louis Riestler).
- Jean-Marie BROM : *Mécanisme de production de paires de leptons avec état final associé : un projet d'expérience*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 28.6.1978 (Roger Arnold).
- Fährad RAHIMI : *Etude expérimentale des réactions à haute énergie : $\nu e - \nu e$, $\nu N - \nu + X$ dans la chambre à bulles Gargamelle*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-

Sciences-physiques, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 10.12.1982 (Bruno Escoubès).

- Teresa BOLOGNESE : *Etude des interactions d'antineutrinos avec production d'un pion en courant chargé*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 27.9.1978.

- Abdelkader BOUCHAKQUR : *Recherche de la production cohérente de mésons vectoriels par des neutrinos dans Gargamelle*, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 24.11.1980 (Paul Musset).

- Daniel BLOCH : "Etude et mise au point d'un calorimètre électromagnétique à résolution spatiale élevée, pour l'expérience de photoproduction NA 14, Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, soutenue le 12.5.1982 à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg (Michel Schaeffer).

René BLAES : *Etude expérimentale des violations d'invariance d'échelle dans les réactions de neutrinos et d'anti-neutrinos à haute énergie*, Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences-physiques, soutenue à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 1982 (Bruno Escoubès).

J'ai assuré la direction des recherches en physique de 10 chercheurs du CNRS, de 4 enseignants-chercheurs, de nombreux stagiaires, boursiers et visiteurs (date : entrée au CNRS, ou au laboratoire).

1) Chercheurs du CNRS : Roger Arnold (C.R.), 1967 ; Bruno Escoubès (C.R.), 1973 ; S. Escoubès de Unamuno (C.R.), 1973 ; Jean-Pierre Engel (C.R.) 1973 ; Jean-Louis Guyonnet (C.R.), 1973 ; Paatrick Petitjean (C.R.), 1977 ; Gérard Bonneaud (C.R.), 1977 ; et, temporairement, Monique Jung, Nicole Kurtz et Jean-Marie Brom ;

2) Chercheurs enseignants : Jean-Louis Riester (M. Ass.) de 1967-1982 ; Daniel Huss (M. Ass.) 1974-1982 ; René Blaes (Ass.), 1977 ; Michel Schaeffer (M. Ass.), 1977-1982 ;

3) Stagiaires, boursiers et visiteurs : Voir les directions de thèses ci-dessus. En outre : Clara Matteuzzi (bours. IN2P3) : 1973-1975

4.3. PARTICIPATION A DES CONFERENCES ET CONGRES

Organisation de colloques

- Colloque « Un demi-siècle de mécanique quantique », Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2-4 mai 1974 (Organisation avec J. Leite Lopes. Exposé : Les tentatives récentes de vérification de la mécanique quantique, cf. [1975a]).

- Workshop on hadronic physics with leptons in the final state and large p_T using a vertex detector at CERN SPS, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg, décembre 1975 (Co-organisateur, exposé : Hadronic physics with leptons in the final state).

- Ecole d'été de physique des particules de Gif-sur-Yvette (membre du Comité d'organisation de 1970 à 1980). (En sept. 1976, organisation et participation à un débat : Où va la physique des particules ?).

- International Conference on multiparticle physics, Kaysersberg, France, 1977 (membre du Comité d'organisation).

- Conférence internationale sur l'histoire de la physique des particules, Paris, juillet 1982 (membre du Comité d'organisation).

Participations à des colloques et congrès

- *Informal meeting on geometry programmes for heavy liquid bubble chambers*, CERN, Geneve, 21 mars 1963. (Secrétaire d'une session).
- *Informal Conference on Experimental Neutrino Physics*, CERN, 20-22 janvier 1965. (Contribution : cf. [1965c]¹²).
- *International Colloquium on Bubble Chambers*, Heidelberg (RFA).
- *Heidelberg International Conference on Elementary Particles Physics*, Heidelberg (RFA), sept. 1967. (Contribution : cf. [1967a,b]).
- *Ecole Internationale de Physique des Particules Elémentaires. International School of Elementary Particles Physics*, Herceg-Novi (Yougoslavie), octobre 1967 ; octobre 1968.
- *International Conference on High Energy Physics*, Vienna, 28 aug.-4 sept. 1968. (Contribution : cf. [1968b]).
- *Neutrino meeting*, CERN, Genève, 13-14 jan. 1969.
- *Topical Conference on Weak Interactions*, sponsored by UPAP, CERN, Genève, 14-17 janvier 1969.
- *The Lund International Conference on Elementary Particles*, Lund (Suède) June 25-July 1, 1969. (Contribution : [1969b]).
- *Ecole Internationale de Physique des Particules Elémentaires*, Herceg-Novi (Yougoslavie), octobre 1970 (Professeur à l'Ecole : [1970b]).
- *Conférence sur la Physique des Hautes Energies*, Société Française de Physique, Aix-en-Provence, 1970. (Contribution : [1970d,e]).
- *Meeting on Future Experiments with Gargamelle*, University College, London (UK), juin 1971 (Exposé : [1971c]).
- *International Conference on High-Energy Physics*, Batavia, Ill. (USA), 1972. (Contribution : [1972c]).
- *Topical seminar on Weak Interactions*, International Centre for Theoretical Physics, Trieste (Italie), 26-29 June 1973.
- *Colloque International du CNRS sur la Physique du neutrino à haute énergie*, Paris, mars 1975. (Contribution : [1975e]).
- *Leptons and photons interactions at high energies*, International Conference, Stanford (USA), août 1975. (Contribution : [1975g]).
- *Ecole d'été de physique des particules élémentaires : Weak and Electromagnetic Interactions*, Cargese (Fr), juillet 1975. (Exposé : Two topics on neutrino physics at high energy).
- *Symposium « Théorie physique et réalité »*, Association Gonseth, Institut de la Méthode, Neuchâtel, 1977 (Exposé invité : Concepts et modèles en physique des particules. Cf : [1978o]).
- *XVe Congrès International d'histoire des sciences*, Edinburgh (UK), 10-19 août 1977.
- *Journées « Galilée et la Théorie du mouvement »*¹³, Univ. de Nice, 19-20 juin 1979 (Interventions. Cf. [1981l]).

¹² La référence renvoie à la bibliographie.

¹³ Organisé par Pierre Souffrin, avec la participation notamment de Ludovico Geymonat, André Tosel...

- *International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies*, Fermilab, Batavia, Ill. (USA), 1979 (Contribution : [1979d]).
- *Colloque sur les Implications conceptuelles de la mécanique quantique*¹⁴, Fondation Hugot du Collège de France, Paris, 17-18 juin 1980 (Interventions. Cf [1981g]).
- *XIIème Rencontre de Méribel. Reconnaissances : La différenciation cellulaire*. (Sciences de la vie), mars 1981. (Exposé invité à deux sessions : Modèles mathématiques et objets physiques, le 21 mars 1981. Cf : [1981f]).
- *Assises régionales alsaciennes de la recherche et de la technologie*, Strasbourg, 4-6 novembre 1981. (Conférence en séance plénière : La recherche publique en Alsace : le CNRS, le 4.11.1981. Cf [1981j]).
- *Colloque Karl Popper*, Centre Culturel International de Cerisy-la-Salle, juillet 1980¹⁵ (Conf. invitée : Popper, Einstein et le débat quantique aujourd'hui, le 4.7. Cf. [1982a]).
- *Meeting on theoretical science and its social context*¹⁶, King's College, Londres, 14 février 1982. (Exposé : On the critical reflexivity of contemporary scientific knowledge : patterns and conditions, critics and criteria).
- *Conférence internationale sur l'histoire de la physique des particules*, Paris, juillet 1982 (membre du Comité d'Organisation : absent de France, je n'ai pas assisté à la Conférence).
- *32ª Reuniao anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, em conjunto com a *16ª Reunião anual da Sociedade Brasileira de Física*, Campinas (SP, Brésil), 7-14 de julho 1982. (Conférences invitées : A pesquisa científica e o novo curso político na França, le 7.7 ; A inseparabilidade quântica em perspectiva, le 9.7).
- *Seminario de Epistemologia*, Bogotá (Colombie), février 1983¹⁷. (Conférence invitée : La notion de programme épistémologique et la physique contemporaine).
- *Colloque Abel-Galois, Université de Lille 1*, 21-25 février 1983 (Conférence : Symétries et groupes de transformation dans les théories contemporaines de la matière : jalons épistémologiques, le 24.2.1983, cf. [1985d]).
- *Colloque international « Popper, science et philosophie »*, Faculté de Philosophie, Univ. Strasbourg-2 et Fondements des Sciences, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 25-27 mars 1983 (Présidence d'une table-ronde sur « Le concept de révolution scientifique »).

4.4. COURS, SEMINAIRES, CONFERENCES

4.4.1. Organisation de séminaires réguliers

- *Séminaires de physique des hautes énergies*, Centre de recherches nucléaires, Strasbourg, de 1973 à 1974, et, en collab., jusqu'en 1980.

¹⁴ Voir plus haut, II.3.7 et la note.

¹⁵ Organisé par Renée Bouveresse. Avec la participation, notamment, de Robert S. Cohen, Elie Zahar...

¹⁶ Organisé par Felix Pirani, avec la participation, notamment de Marcello Cini et John Stachel.

¹⁷ Participaient également à cette réunion mémorable, notamment : venus d'Europe : Marcello Cini, José Leite Lopes, J.J. Sanchez-Rón ; et les colombiens : Victor Samuel Albis, Luis Carlos Arboleda, Jorge Charum, Regino Martinez-Chavanz, Antanas Mockus, José-Luis Villaveces, ...

- *Cours sur la Physique des particules élémentaires*, D.E.A. de Physique Corpusculaire, CRN, Strasbourg, 1970-1972 (Organisation du cours).
- *Séminaires sur les fondements des sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, de 1973 à 1980 (organisation et animation avec H. Barreau et J. Leite Lopes).

4.4.2. Enseignements

En physique :

- *Beta decay* (en anglais), Série de 10 séminaires, Heavy Liquid Bubble Chamber Group, Nuclear Physics Apparatus Division, Centre Européen de Recherches Nucléaires (CERN, Genève), 1962-1963.
- *Física nuclear* (en portugais) (Cours de 4^e année de graduação), 3 h. hebdomadaire, Instituto de Física, Universidade Nacional de Brasília (UNB, Brésil), juillet-oct. 1965 ; puis (Cours de pós-grad.), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Rio de Janeiro (Brésil), février-juin 1966 (2 h. hebdomadaire).
- *Partículas elementares: Introdução* (en portugais) (Cours de 4^{ème} année de Graduação), Instituto de Física, Universidade de Brasília (Brésil), 2 h. hebdomadaire, juillet-oct. 1965.
- *Partículas elementares : ressonâncias* (en portugais) (Cours de pós-grad.), 1 h. hebdomadaire, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro (Brésil), février-juin 1966.
- *Equations d'onde relativistes*, Cours de DEA¹⁸ de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg, 1969-1970.
- *Introduction à la physique des particules élémentaires*, Cours de DEA de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg (de 12 à 50 h suivant les années), 1967-1968, 1968-1969, 1969-1970, 1974-1975.
- *Symétries et lois de conservation*, Cours de DEA de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg (12 x 1 h.30), 1970-1971, 1971-1972.
- *Les interactions faibles*, Cours de DEA, Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg (20 x 1 h), oct. 1967- mai 1968 ; (20x 1 h 30), 1970-1971, 1971-1972 ; 1977-78.
- *Epistémologie de la mécanique quantique*, Séminaire aux étudiants de Maîtrise en physique, Université Louis Pasteur, Strasbourg (2 h.), fév. 1977.
- *La nature des leptons*, Cours DEA de Physique Nucléaire et Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg (6 h), mars 1980 ; *id.*, fév.-mars 1981 ; *id.*, mars 1982.
- *A natureza dos leptons* (en portugais) (cours de pos-graduação), 16 h., Instituto de Física, Universidade de Sao Paulo, Brésil, sept. 1982.
- *Particules élémentaires, symétries et champs d'interaction*, Cours de DEA de Physique Nucléaire et Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg (25 x 2 h), nov. 1982-mai 1983.

En philosophie, épistémologie et histoire des sciences :

- *Introduction à l'Histoire des Sciences* (cours à option, DEUG), (en collab. avec le prof. Marc Klein), Université Louis Pasteur, Strasbourg (12 h), 1973-1974.

¹⁸ DEA : Diplôme d'Etudes Approfondies (première année de troisième cycle).

- *Introduction à l'Histoire de la Physique* (cours à option, DEUG), Université Louis Pasteur, Strasbourg (25 h), 1974-75, 1975-76, 1976-77, 1977-78, 1978-79, 1979-80.
- *Le matérialisme dialectique*, Séminaires aux étudiants de la Faculté de Théologie protestante, Université des Sciences Humaines, Strasbourg-2 (4 h.), mai 1977.
- *Diderot et les sciences*, Cours d'agrégation de philosophie, Université Strasbourg-2 (6 h), avril-mai 1979.
- *Aspects épistémologiques et évolution historique des concepts fondamentaux de la physique* (cours, Centre de perfectionnement professionnel des prof. de l'enseignement secondaire, Commission romande de physique, Grindelwald (Suisse) (4 x 2 h), 17-18 oct. 1979.
- *Philosophie des Sciences. Einstein et la physique moderne*, Ecole Supérieure des Mines de St Etienne, 2ème année (3 x 2 h), avril 1980). - Egalement : Maîtrise de Physique, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg-1 (6 h), mai-juin 1980.
- *De l'atome aux particules, Les découvertes sur la lumière et le cosmos : Einstein et les autres, La matière élémentaire et l'évolution de l'univers* : série de 3 conférences, et organisation du Cycle (6 séances) sur *Energie nucléaire : structure élémentaire de la matière*, Département d'Education Permanente, Université Louis Pasteur, Strasbourg-1, 19 et 26 février, 26 mars 1981.
- *Historia e filosofia da ciência contemporânea (en portugais), Cours de pos-graduação, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Brésil (7 x 4 h), août-sept. 1982.*

4.4.3. Conférences et exposés à des séminaires

En physique :

- La physique des neutrinos, Séminaires pour les étudiants d'été, CERN, Genève, 1963-1964.
- Interactions des neutrinos dans la chambre à bulles, séminaire dans le cadre des Conférences d'information générale sur la physique au CERN, Genève CH), 1964 (cf. Rapport Annuel du CERN, 1964, p.174).
- Photonuclear interactions of muons, séminaire, HLBC. Group, NPA Division, CERN, Genève (CH), 1964.
- Neutrino physics : experiments at CERN, séminaires :
 - *Institut de Physique, Université de São Paulo* (Brésil), nov. 1965
 - *Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas*, Rio de Janeiro (Brésil), nov.1965.
 - *Pontificia Univ. Católica, Rio de Janeiro* (Brésil), nov.1965.
- *Interações fracas em câmara de bolhas ($K^0_1 - K^0_2$)*, Séminaire, *Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas*, Rio de Janeiro, Brésil, mai 1966.
- Les interactions de neutrinos, Séminaire, *Laboratoire de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 1967.
- Les interactions faibles et la physique des K^0 , Séminaire *Laboratoire de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 1967.
- η meson decay, Séminaire, *Central Research Institute of Physics, Budapest*, sept. 1969.
- Coherent interactions of π^+ on nuclei, Séminaire, *Central Research Institute of Physics, Budapest*, sept. 1969.
- Electromagnetic decays of bosons, Exposé à *l'Ecole Internationale de Physique des particules élémentaires, Herceg- Novi, Yougoslavie*, sept. 1970.

- La physique des neutrinos, *Séminaire au Laboratoire de Physique Théorique, Univ. de Bordeaux*, 1974.
- La phénoménologie du « charme », *Séminaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 1974.
- Les particules élémentaires, exposé pour le grand public dans le cadre de l'*Exposition « Image de la recherche »* du CNRS, Strasbourg, mai 1974.
- Les symétries aux ordres supérieurs : l'hypothèse du charme et ses implications expérimentales, *Séminaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, janv. 1975.
- Compte-rendu des conférences récentes sur la physique des photons et des leptons, *Séminaire, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, Oct. 1975.
- Proposal for a wide band antineutrino experiment in Gargamelle to study purely leptonic and other rare antineutrino interactions, *Présentation au CERN SPS Cornmittee*, nov. 1975.
- Beam dump experiment in neutrino beam, *Séminaire, Inst. de Phys. de l'Université de Leuven (Louvain)*, mars 1978.
- Résultats récents en physique du neutrino avec Gargamelle, *Séminaire Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 18 avril 1978.
- Expérience de physique du neutrino : résultats récents d'une expérience de décharge de faisceau", *Séminaire, Lab. de Phys. Théorique, Université de Nice*, 6 juin 1978.
- Sur l'énergie nucléaire, *Communication à l'Assemblée de la Fondation pour la protection de la santé et de l'environnement, Conseil de l'Europe, Strasbourg*, 9 mars 1979.
- Compte-rendu de la Conférence de Batavia sur les photons et les leptons, *Séminaire au Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 24 septembre 1979.
- La science au 20 ème siècle, Débat organisé par la *Caisse d'Action Sociale EdF-GdF, CAS Ile de France, St. Mandé*, dans le cadre d'une exposition sur Einstein, le 6 déc. 1979.
- Le paradoxe EPR, la violation des inégalités de Bell et l'inséparabilité quantique, *Séminaire :*
 - *Soc. Française de Physique, Grenoble*, le 21 mai 1980.
 - *Lab. d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules, Annecy*, le 14 nov. 1980.
 - *Séminaire d'Epistémologie de l'Univ. de Nice*, le 3 mars 1981.
 - *Instituto delle Scienze Fisiche, Università di Genova (Gênes)*, le 4 mars 1981.
 - *Départ. de Physique, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, le 5 mars 1982,
 - *Université de Marseille-Luminy*, 13.5.1982.
- Les particules élémentaires, conférence au *Centre Cultural de la Caixa de Pensions (Museu de la Cienda), Barcelone*, 21 mai 1982.
- Réalité des particules quantiques : individualisation et probabilités, *Séminaire sur les fondements des sciences, Université Louis Pasteur, Strasbourg (Institut de Mathématiques)*, le 19 mars 1981.
- Mesure et mécanique quantique, exposé au *Séminaire de Méthodologie et critique expérimentale, Université de Bordeaux-2 (Cycle de Conférences sur « La mesure »)*, 23 mars 1982.
- A inseparabilidade quântica : do paradoxo EPR as desigualdades de Bell e as experiências de correlação à distancia, *Séminaire :*

- *Univ. Fédéral de Sta Catarina, Florianópolis (SC)*, Brésil, 27 agosto de 1982.
- *Inst. de Física, Univ. de Campinas (Unicamp)*, Brésil, 1^o set. de 1982.
- *Inst. de Física, Univ. Fédéral do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Brésil, 3 set. de 1982.
- *Inst. de Física, Univ. de Sao Paulo (USP)*, Brésil, 16 set. de 1982.
- *Départ^o de Física, Univ. Fed. do Para, Belem (Pa)*, Brésil, 5 outubro de 1982.

En épistémologie, philosophie et histoire des sciences :

- Matière, espace et temps selon Newton, Exposé au *Séminaire sur les fondements des sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1971.
- D'Alembert ou l'épistémologie de la simplicité, exposé au *Séminaire sur les Fondements des sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1972.
- Symétrie et matière élémentaire, exposé a la *Table Ronde sur les Symétries dans les Arts et les Sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, nov. 1975.
- La dialectique intervient-elle dans les raisonnements de la Physique ? Un débat, Exposé avec B.d'Espagnat, *Séminaire sur les Fondements des Sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, avril 1976.
- La dialectique et la physique, Séminaire, *Département DPHPE, Commissariat à l'Energie atomique (CEA)*, Saclay, mai 1976 .
- Sur la réalité de l'objet physique, Exposé au *Séminaire sur les Fondements des Sciences*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 18 avril 1978.
- Concepts et modèles en physique des particules, Exposé, *Centre d'Etudes et de Recherches Marxistes*, Paris, nov. 1977.
- Prométhée et le réel, ou La matière dérobée, Conférence, *Palais des Arts et de la Culture*, Brest, déc. 1977.
- Modèles mathématiques et réalité physique, Exposé au *Séminaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, Université de Nice, 6 juin 1978.
- Einstein et la philosophie en France : à propos du séjour de 1922, exposé introductif au débat sur le voyage en France d'Einstein en 1922, avec Jean Langevin, Michel Paty, Eugène Cotton, P.Dreyfus, Evry Schatzman, *Centre Culturel de Toulouse*, le 26.6.1979.
- Sur le réalisme d'Albert Einstein, Exposé au *Séminaire sur les Fondements des Sciences*, ULP, Strasbourg, 13.3.1979.
- Les idées de loi et de causalité chez d'Alembert, Exposé au *Séminaire du Centre Interuniversitaire d'Etude de l'Evol. des Idées, des Sciences et des Techniques (CIIEST)*, Univ. de Paris-Sud Orsay, 1979.
- La physique et le réel, Conférence-débat à la *Société Française de Philosophie*, Univ. Paris-Sorbonne, avec B.d'Espagnat, le 24 nov. 1979¹⁹. (Cf. [1980e]).
- Les particules à haute énergie, Exposé (2 h.) dans le cadre du *Perfectionnement des professeurs de physique du second degré*, Académie de Strasbourg, le 28 nov. 1978.
- La position de d'Alembert par rapport au matérialisme, Séminaire (2 h.) au *Groupe de Recherche sur l'Histoire du matérialisme* et DEA d'Histoire des

¹⁹ A l'invitation de Jacques Merleau-Ponty, qui était alors président de la Société Française de Philosophie.

systèmes de la pensée moderne, UER de philosophie, Université de Paris-1, le 1^{er} déc. 1979.

- Participation au débat « *La parapsychologie, oui ou non ?* », organisé par l'*Union Rationaliste*, avec Y.Farge, Y.Galifret, J.M.Levy-Leblond. M.Paty, M.Rouzé, E.Schatzman, Salle de la Mutualité, Paris, le 26 fév. 1980. (Cf. [1980g]).
- L'inséparabilité quantique en perspective, Exposé, *Séminaire de Philosophie et mathématique, Ecole Normale Supérieure*, Paris, 23 nov. 1981.
- Einstein e o conceito de foton, de 1905 até à 1917, Séminaire, *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)*, Rio de Janeiro, Brésil, 13.8.1982.
- Uma filosofia da ciência das metamorfoses: crítica das concepções epistemológicas de Prigogine, Séminaire, *Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Brésil, 16 agosto de 1982.
- A noção de programa epistemológico e a física contemporânea, Séminaire :
 - *Depto. de Filosofia da Univ. de São Paulo (USP)*, Brésil, 25 agosto de 1982.
 - *Instituto de Filosofia, Univ. Fed. do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Brésil, 20 set. de 1982.
 - *Dept^o de História, Univ. de São Paulo, USP*, Brésil, 29 set de 1982.
 - *Observatório Nacional do Rio de Janeiro*, Brésil, 1^o outubro de 1982.
- Problemas de epistemología da mecânica quântica, Séminaire, *Universidade Federal Fluminense, Niteroi, R.J.*, Brésil, 3 set. de 1982.
- Problemas de filosofia e de história da ciência, Séminaire, *COPPE, Faculdade de Engenharia, Univ. Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Brésil, 20 set. de 1982.
- La notion de programme épistémologique et la physique contemporaine, séminaire au *Groupe de Physique du Solide de l'Ecole Normale Supérieure*, Paris, Univ. Paris 7, le 22 mars 1983.
- Einstein et Spinoza, Exposé, *Association des amis de Spinoza*, Université Paris-Sorbonne, 19 mars 1983.

4.5. PARTICIPATION A DES EMISSIONS DE RADIO OU DE TELEVISION

- *Objet Einstein. I : l'apport. II: le mythe*, d'Emile Noel, France-Culture, 27.10 et 3.11.1979.
- *De l'atome aux particules*, dans la série *La matière aujourd'hui* d'Emile Noel, France-Culture, 3.12.1980.
- *La physique du microcosme. La matière élémentaire*, entretiens avec Michel Rouzé dans la série *Les chemins de la connaissance*, France Culture, 8 émissions de 15', sept. et oct.1981.
- *Quand la science dépasse la fiction*, avec Alain Aspect, Yves Farge, Jean Heidman, Michel Paty, Kenneth White, dans la série *L'avenir du futur*, de Jean-Pierre Hutin-Guirardoni, présentation et animation par Robert Clarke, télévision TF1, 29.3.1982.
- *L'étrange histoire des quanta*, dans la série *La science en marche* de François Le Lionnais, France-Culture, 16 et 23.6.1982.
- Le Colloque international sur l'histoire de la physique des particules (21 au 23 juillet 1982), avec Jules Six, Michel Crozon, Pierre Hamamdjian, Michel Paty, dans l'émission *Sciences et techniques*, matinée de Georges Charbonnier, France-Culture, mercredi 5.1.1983.

4.6. PUBLICATIONS.

- [1962a]. *Interactions photonucléaires de mésons μ* , Thèse de troisième cycle de physique corpusculaire et théorique, Université de Bordeaux, octobre 1962, miméogr., 57 p. R
- [1962b]. Résultats des « runs » de « background » dans l'expérience neutrino faite au CERN en 1961 avec la chambre à bulles à liquide lourd de l'Ecole Polytechnique (en collab.), *Rapport interne, Ecole Polytechnique*, Paris, 1962, 30 p. R
- [1962c]. Some indications about the expected muons produced by neutrino interactions, *CERN NPA/Int 62-15* (Genève), 1962, 8 p. R
- [1963a] Photonuclear interactions of cosmic muons in heavy liquid bubble chambers (en coll. avec André Rousset et Klaus Schultze), *Nuovo Cimento* 28, 1963, 356-363. R
- [1963b]. Preliminary results on $\Xi K^0 n\pi$ final states produced by 3.5 GeV K^- (en coll. avec Pierre Beillière *et al.*), *Physics Letters* 6, 1963, 316-318. R
- [1963c]. Preliminary results on $\Xi K^0 n\pi$ final states produced by 3.5 GeV K^- (en coll. avec A. Halsteinslid *et al.*), *Proceedings of the International Conference on elementary particles held at Siena*, 1963, vol. I, p. 173-178. R
- [1963d]. CERN neutrino experiment. Preliminary bubble chamber results (en coll. avec Harry H. Bingham *et al.*), *Proceedings of the International Conference on elementary particles held at Siena*, 1963, vol. I, p. 173-178. R
- [1963 e]. Neutrino Experiment Analysis since the Siena Conference (en coll. avec Donald C. Cundy *et al.*), *CERN NPA/Int. 63-34* (Genève), 1963, 27 p. R
- [1963 f]. A summary of theoretical implications of neutrino interactions, *CERN NPA/Int 63-8* (Genève), 1963, 15 p. R
- [1963 g]. Preliminary data from the neutrino pre-run (collectif, CERN neutrino group), *CERN NPA/Int 63-13* (Genève), 4 p. + 17 figs. R
- [1963 h]. Preliminary results from the heavy liquid bubble chamber in the CERN neutrino experiment (en coll. avec R.G.P. Voss *et al.*), *CERN NPA/Int 63-24* (Genève), 10 p. + 19 figs.
- [1963 i]. Interactions de neutrinos dans la chambre à bulles, Conférence d'information générale, CERN, Genève, ronéotypé, 1963, 13 p. D
- [1963 j]. [c.r. de lecture] « Julius Bradstatter, *An introduction to waves, rays and radiations in plasma media* », *CERN Courrier*, 3, dec 1963, 158. Cr
- [1964a]. Progress report on experimental study of neutrino interactions in the CERN heavy liquid bubble chamber (en coll. avec Martin Block *et al.*), *Proceedings of the International Conference on High Energy Physics*, Dubna, 1964, vol. II, p. 7-15. R
- [1964b]. Neutrino interactions in the CERN heavy liquid bubble chamber (en coll. avec Martin Block *et al.*), *Physics Letters* 12, 1964, 281-285. R
- [1964c]. Summary of data on strange particles production by neutrinos in the H.L.B.C. (en coll. avec John Bartley, Carlo Franzinetti et Gerald Myatt), *CERN NPA/Int. 64-36* (Genève), 1964, 11p.
- [1964d]. Some information provided by 600 MeV/c pions interactions in freon (en coll. avec D.C. Cundy), *CERN NPA/Int 64-16* (Genève), 1964, 11 p.
- [1964e]. Future experimental considerations for the H.L.B.C. (en coll. avec H. Burmeister *et al.*), *CERN NPA/Int 64-39* (Genève), 1964, 8 p.

- [1965a]. *Etudes d'interactions de neutrinos de grande énergie dans une chambre à bulles à liquide lourd*, Thèse de doctorat ès-sciences physiques, Paris, 1965, 117 p. + fig. Egalement, *CERN 65-12*, Genève, 1965, 117 p. + fig. R
- [1965b]. Single pion production in neutrino induced reactions (en coll. avec John Bartley, Carlo Franzinetti et Philippe Salin), Report *CERN NPA/Int. 65-11*, Genève, 1965, 31 p. R
- [1965c]. Further analysis of the neutrino interactions in the CERN heavy liquid bubble chambers (en coll. avec Herbert Burmeister *et al.*), *Informal Conference on experimental neutrino physics*, CERN, Genève, 1965, *CERN 65-32*, Genève, 1965, p. 25-30. R
- [1965d]. Lower limit for the mass of the intermediate boson (en coll. avec Gilberto Bernardini *et al.*), *Nuovo Cimento* 38, 1965, 608-623. R
- [1965e]. ν_μ and $\bar{\nu}_\mu$ interactions in a heavy liquid bubble chamber (en coll. avec John Bartley *et al.*), *Proceedings of the International Conference on weak interactions*, Argonne National Laboratory, 1965, p. 257-269. R
- [1965 f]. Diffusion élastique à grande énergie, *CERN NPA/Int 65-6* (Genève), 1965, 27p. [Deuxième thèse, Université de Paris, 1965.] R
- [1966a]. The muon and pion scattering in freon (en coll. avec Hajime Yoshiki), *Nuclear Instruments and Methods* 39, 1966, 133-140. R
- [1966b]. Interacciones fotonucleares de muones de alta energia (en coll. avec Rafael Aguilar et F. Senent), *Anales Real Sociedad Española de Física y Química* 62 A, 1966, 93-97. R
- [1966]. Interações de partículas e radiações com a matéria (Parte do *Curso de Introdução à física nuclear* dado por MP), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Rio de Janeiro, 1966, texte ronéotypé, 34 p.
- [1967a]. Three pions decays of the η^0 meson (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), Paper submitted to the *Heidelberg International Conference on Elementary Particles*, Heidelberg, 1967. Prétirage, 12 p. [Cf. *Proceedings*, p. 537]. R
- [1967b]. Search for $\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^0 \gamma$ (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), Paper submitted to the *Heidelberg International Conference on Elementary Particles*, Heidelberg, 1967. Prétirage, 3 p. [Cf. *Proceedings*]. R
- [1968a]. Direct search for the $\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^0 \gamma$ decay mode (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), *Physics Letters*, 27 B, 1968, 446-447. R
- [1968b]. Neutral decay modes of the η meson (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), Paper submitted to the *14th International Conference on High Energy Physics*, Vienna, aug.-sept. 1968, Wien (Vienne), 1968. Prétirage, 19 p. [Cf. *Proceedings*, p. 465]. R
- [1969a]. Heavy liquid chamber analysis of $\eta^0 \rightarrow 3 \pi^0$ and $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ decay modes (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), *Physics Letters*, 29 B, 1969, 445-447. R
- [1969b]. Heavy liquid chamber analysis of the Dalitz plots of the decays $\eta^0 \rightarrow 3 \pi^0$ and $\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^0$ (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), Paper submitted to the *Lund International Conference on Elementary Particles*, Lund, 1969. Prétirage, 6 + 2 p. [Cf. *Proceedings*, p. 416]. R
- [1970a]. Heavy liquid bubble chamber analysis of η^0 neutral decay modes: $\eta^0 \rightarrow 3 \pi^0$ and $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ (en coll. avec Christian Baglin *et al.*), *Nuclear Physics* B22, 1970, 66-84. R
- [1970b]. Désintégrations électromagnétiques des bosons, *Ecole internationale de physique des particules élémentaires, Herceg-Novi*, 1970, 80 p. RE

- [1970c]. Proposal for the study of the η' (X^0) meson in Gargamelle (en coll.), *CERN/TCC/70-22* (Genève), 1970, 4 p. R
- [1970d]. Production du système $K\pi\pi$ par interactions de K^+ de 10 GeV/c sur noyaux (en coll. avec Bruno Escoubès *et al.*), Communication présentée à la *Conférence sur la physique des hautes des énergies, Aix-en-Provence, 1970* (*Journal de physique* 31, 1970, *Supplément Colloque* C5, p. 185). R
- [1970e]. Etude des systèmes $K3\pi$ et $K4\pi$ produits par interactions de K^+ de 10 GeV/c sur noyaux (en coll. avec Bruno Escoubès *et al.*), Communication présentée à la *Conférence sur la physique des hautes des énergies, Aix-en-Provence, 1970* (*Journal de physique* 31, 1970, *Supplément Colloque* C5, p. 185). R
- [1970f]. Multiparticle final states produced by K^+ -nuclei interactions at 10 GeV/c, Paper submitted to the *Kiev International Conference on High Energy Physics*, Kiev, 1970. Prepr., 11p.R
- [1970g]. Propositions pour l'étude des résonances de bosons produites par des π^+ de 3.5 GeV (en coll. avec Antoni Lloret et Jean-Louis Riester), *Rapport interne CBLL/CRN*, Groupe de Chambre à Bulles à Liquide Lourd, Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg, mars 1970, 15 p. R
- [1970h]. Propositions d'analyse de la réaction $\pi^+ N \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi N$ à 11.7 GeV/c (en coll. Groupe de Chambre à Bulles à Liquide Lourd, Centre de Recherches Nucléaires), *Rapport interne CBLL/CRN- 70-11 Int.*, Strasbourg, décembre 1970, 8 p. R
- [1971a]. A study of 10 GeV/c K^+ -nucleus coherent interactions and the Q^+ -nucleon cross-section (en coll. avec Maurice Haguénauer *et al.*), *Physics Letters* 34 B, 1971, 219-222. R
- [1971b]. Coherent production of 3 charged pions analyzed by means of the longitudinal phase space plot (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), *Physics Letters* 36 B, 1971, 261-265. R
- [1971c]. Study of electromagnetic interactions in Gargamelle, *Proceedings of the Meeting on future experiments with Gargamelle, London, June 1971, CERN TCC/71-31*, p. 35-38. R
- [1971d]. A study of the charge exchange process $K^+ - n \rightarrow K^0 - p$ at 10 GeV/c (en coll. avec Maurice Haguénauer *et al.*), *Physics Letters* 37 B, 1971, 538-540. R
- [1971e]. Some results on coherent production of 3 and 5 charged pions on nuclei initiated by 11.7 GeV/c π^+ (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), Paper presented at the *1971 Amsterdam International Conference on elementary particle physics* (*Proceedings*, p. 456), 16 p. R
- [1971f]. Proposal for the study of anti-proton annihilations in Gargamelle (en collab.), *Rapport interne CERN/TCC 71-42, TC-L GAR 71-6*, nov. 1971, 7 p.
- [1971g]. *Les conceptions physiques de Newton et de d'Alembert*, Mémoire de maîtrise en philosophie, Université des Sciences Humaines de Strasbourg (U.S.H.S.), 1971, 120 p. R
- (Publication répartie dans :) [1972d, 1973f].
- [1972 a]. An analysis of the $K^+ \pi^+ \pi$ system produced in 10 GeV/c K^+ coherent interactions on nuclei (en coll. avec A. Haatuft *et al.*), *Nuclear Physics* B 48, 1972, 78-94. R
- [1972b]. Proposal for an experiment to study ν and $\bar{\nu}$ interactions in propane using Gargamelle (en coll.), *CERN/TCC/72-31* (Genève), 1972, 19 p.

- [1972c]. Results on π^+ -nuclei coherent production leading to 2, 3 and 5 pi-mesons at 11.7 GeV/c, (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), Paper presented at the *XVI th International Conference on high energy physics*, Batavia, 1972 (*Proceedings*, vol. 1, p. 533).
- [1972d]. Matière, espace et temps selon Newton, *Scientia* 107, 1972, 995-102. R
- [1972e]. Matter, space and time according to Newton, english transl. by J.E. Holström, *Scientia*, 107, 1972, 1027-1054. [Trad. de 1972 d]. R
- [1972f]. La répression universitaire au Brésil, *Politique aujourd'hui*, n° 3, mars 1972, 73-91. G
- [1973a]. On the $B(1235)$ and $\rho(1710)$ production on nuclei (en col. avec Roger Arnold *et al.*), *Lettere al Nuovo cimento* 6, 1973, 707-714. R
- [1973b]. Coherent production of 2, 3, 4 and 5 pi-mesons by π^+ -nuclei interactions at 11.7 GeV/c (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), *Il Nuovo Cimento* 17 A, 1973, 393-410. R
- [1973c]. Longitudinal phase space analysis of the $K^+\pi^+\pi^-$ system produced by 10 GeV/c K^+ incident on nuclei (en col. avec Robert Blind et Bruno Escoubès), Communication présentée à la *XVI th Aix-en-Provence Conference on elementary particles, sept. 1973* (*Journal de physique* 34, 1973, Supplément Colloque C1, p. 485).
- [1973d]. Letter of intent for a neutrino experiment in bubble chamber at CERN SPS (en coll., M. P. *et al.*), *CERN/SPSC/I 73-20* (Genève), 1973, 707-714.
- [1973e]. Un pas vers l'unification des théories physiques, *La Recherche* 4, 1973, 790-792. D
- [1973f]. D'Alembert ou l'épistémologie de la simplicité, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 2, 1973, 1-39. R
- [1973g]. Science et humanisme, *Scientia* 108, 1973, 205-220 (numéro spécial : *Langevin e il razionalismo*). R
- (Trad. en anglais :) [1973h].
- [1973h]. Science and humanism (english transl. by J. B. Sykes), *Scientia* 108, 1973, 271-284 (special issue : *Langevin e il razionalismo*). (Trad. angl. de [1982 g]). R
- [1974a]. Longitudinal phase space analysis of the $K^+\pi^+\pi^-$ system produced by 10 GeV/c K^+ incident on nuclei (en coll. avec R. Blind *et al.*), *Nuclear Physics* B 76, 1974, 61-68. R
- [1974b]. Experimental problems with high-energy neutrinos (en coll. avec C. Matteuzzi), *CRN/HE 74-2* (Strasbourg), 1974, 26 p.
- [1974c]. Proposal to study high energy electronic and muonic neutrinos interactions in Gargamelle at the SPS (en coll.), *CERN/SPSC/74-122/P 34* (Genève), 1974, 12 p.
- [1974d]. Particules élémentaires : le quatrième niveau quantique, *La Recherche* 5, 1974, 265-268. D
- [1974e]. L'univers des particules élémentaires, *Cahiers Fundamenta scientiae*, n° 16, 1974, 1-28. Egalement, *Scientia* (Milano) 109, 1974, 729-748. D
- (Trad. en anglais :) [1974f].
- [1974f]. The universe of elementary particles, *Scientia* (Milano) 109, 1974, 749-765. (Trad. angl. de [1974e]). D

- [1974g]. L'invariance d'échelle : des violations possibles, *La Recherche* 5, 1974, 772-775. D
- [1974h]. Il y a cinquante ans naissait la mécanique quantique (en coll. avec Rémy Lestienne), *La Recherche* 5, 1974, 644-653. D
- [1974i]. L'édification de la mécanique quantique (en coll. avec Rémy Lestienne), *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 17, 1974, 1-37. D
- [1974j]. La mécanique quantique est-elle falsifiable ? *La Recherche* 5, 1974, 960-961. D
- [1974k]. Avant-propos et introduction à : Science et idéologie en débat, avec Philippe Cazelle, Jean-Marc Lévy-Leblond, Philippe Roqueplo, *Cahiers Fundamenta scientiae*, n° 13, 1974, 1-5 (et édition du Cahier, p. 1-51).
- [1974m]. Une difficulté de la construction du concept de force [chez Newton], *La Recherche*, 5, n°45, mai 1974, 467 (Correspondance).
- [1975a]. Les tentatives récentes de vérification de la mécanique quantique, in *Colloque « Un demi-siècle de mécanique quantique*, Strasbourg, mai 1974 », *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n°39, 1975, 38 p.
 - (Egalement :) *Lettres épistémologiques. Epistemological letters* (Biel. Bienne), septembre 1975. (Egalement :) Prétirage, *CRN/HE* 74-18 (Strasbourg), 1974, 38 p. (Version modifiée en anglais : voir [1977b]). R
- [1975b]. Invariance d'échelle ?, Prétirage, *CRN/HE* 74-7 (Strasbourg), 1974, 13 p. DE
 - (Egalement :) *Acta científica Venezolana*, 25, 1975, DE
- [1975c]. Features of the $\pi^0 \pi^0$ system produced in 5π final states by 3.5 GeV/c π^+ (en coll. avec Jean-Louis Riester, Roger Arnold et Jean-Pierre Engel), *Nuclear Physics* B 96, 1975, 407-412. R
- [1975d]. Analysis of the reaction π^+ -nucléon $\rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^0 \pi^0$ -nucléon at 3.5 GeV/c (en coll. avec Jean-Louis Riester, Roger Arnold et Jean-Pierre Engel), *CRN/HE* 75-16 (Strasbourg), 16 + 9 p.
- [1975e]. Preliminary results of a search for the hadronic elastic neutral current reaction $\nu p \rightarrow \nu p$ (en coll. avec B. Escoubès *et al.*, Gargamelle Antineutrino Collaboration), in *La physique du neutrino à haute énergie, Colloque international, Paris, mars 1975*, Editions du CNRS, Paris, 1975, p. 265-271. R
- [1975f]. Proposal to search for short-lived particles ($10^{-15} < \tau < 10^{-12} s$) produced in neutrino interactions in emulsion using an emulsion-spark chamber hybrid system (en coll. avec G. Coremans-Bertrand *et al.*), *FNAL Proposal n° 247* (Fermilab, Batavia, USA), 1975, 37 p. + 15 figs.
- [1975g]. Preliminary results on antineutrino cross-sections on neutrons and protons (en coll., Communication au 1975 *International Symposium on lepton and photon interactions at high energies*, Stanford, 1975, 10 p). [Prétirage, *CRN/HE* 75-22 (Strasbourg), 1975, 10 p.]
- [1975h]. Proposal for a wide band beam antineutrino experiment in Gargamelle to study purely leptonic and other rare antineutrino interactions, Common addendum to Proposals CERN/SPSC/74-122/P34 and CERN/SPSC/75-5/P39 (en coll.), *CERN/SPSC/75-73 P34 + P39/Add.1* (Genève), 1975, 11 p.
- [1975i]. Proposal for an exploratory experiment at very high neutrino energy in a narrow band beam with the Gargamelle chamber at the CERN SPS (en coll.), *CERN/SPSC/75-71/P53*, 1975, 12 p.

- [1975k]. Les interactions fortes aux très grandes énergies, *La Recherche* 6, 1975, 57-60. D
- [1975l]. Le charme discret des particules, *Cahiers Fundamenta scientiae*, n° 19, 1975, 1-20. D
- [1975m]. Le charme : une interprétation des nouvelles particules, *La Recherche* 6, 1975, 466-468. D
- [1975n]. Comment prendre date dans la course au charme ? *La Recherche* 6, 1975, 659. D
- [1975o]. La teoria cuantica : de Planck a de Broglie, *Universitas, encyclopedia tematica*, Salvat ed., Barcelona, vol. XIII, 1975, 176-183. RG
 - (Texte original en français :) La théorie quantique : de Planck à de Broglie.
- [1975p]. L'âge classique de la Physique : d'Alembert, *La Pensée*, n° 182, août 1975, 43-65. R
- [1975q]. Les étudiants en sciences et l'histoire de la physique, *Bulletin de la Société française de physique. Supplément. Encart pédagogique*, n° 20, mai 1975, 55-58. G
 - (Egalement :) in *Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français*, Brest, 1975, p. 145-157. G
- [1975r]. Le Séminaire sur les fondements des sciences (Université Louis Pasteur, Strasbourg) (en coll. avec Hervé Barreau), in *Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français*, Brest, 1975, p. 189-199. G
- [1975s]. Les scientifiques brésiliens et leur société, *Etudes brésiliennes* (Paris), n°1, janvier 1975, 45-51. G
- [1975t]. Une opinion matérialiste sur le palestinien Jésus, in *Les fondements religieux de la culture contemporaine : Jésus*, Centre interuniversitaire de télé-enseignement, Strasbourg, 1974-1975, p. SRA VIII 12-16. G
- [1975u]. Les particules aux frontières de la matière, *L'Humanité*, 9 mai 1975, 8. DG
- [1975v]. Physique et lutte des classes, *L'Humanité*, 3 octobre 1975, 8. DG
- [1976a]. Three topics on prospects in neutrino physics, in *Série des cours et conférences sur la physique des hautes énergies*, CRN (Centre de Recherches Nucléaires), Strasbourg, n° 12, 1976, 46 p. R
- [1976b]. Observation of a likely example of the decay of a charmed particle produced in a high energy neutrino interaction (en coll. avec Eric Burhop *et al.*), *Physics Letters* 65 B, 1976, 299-304. R
- [1976c]. A search for charmed particles originating from the interactions of 300 GeV/c protons in emulsion nuclei (en coll. avec G. Coremans-Bertrand *et al.*), *Physics Letters* 65 B, 1976, 480-482. R
- [1976d]. Proposal to investigate dimuons events and to search for "new particles" in neutrino interactions in an emulsion stack coupled to "BEBC" (en coll. avec G. Onengüt *et al.*), *CERN/SPSC/76-41* (Genève), 1976, 40 p. + 9 figs.
- [1976e]. Investigation of particle production associated with rare hadron induced processes using an all-electronic 4π vertex detector, Letter of intent to the SPSC (en coll. avec Roger Arnold *et al.*), *CERN/SPSC/76-81 SPSC/II 86* (Genève), sept 1976, 5 p.
- [1976f]. Science, retour aux sources et fondements, *La Recherche* 7, 1976, 688-690. DG

- [1976g]. Symétrie et matière élémentaire, ou Symétrie et unité et symétries à l'infini dans la physique actuelle, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 49, 1976, 1-12. DG
- [1976h]. Le photon, les leptons et la structure de la matière, *La Recherche* 7, 1976, 63-65. D
- [1976i]. Quand le charme vient aux particules, *La Recherche* 7, 1976, 625. D
- [1976j]. *Un demi siècle de mécanique quantique* (éd. en coll. avec J. Leite Lopes), *Cahiers Fundamenta Scientiae*, 1975-1976, n°s 25 à 41. R
- [1976k]. La dialectique intervient-elle dans les raisonnements de la physique ? Un débat (avec Bernard D'Espagnat), *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 57, 1976, 1-41. RG
- [1976l]. Note sur la dialectique et l'évolution des théories, *La Pensée*, n° 188, août 1976, 125-127. R
- [1976m]. Sciences exactes et philosophie, *L'Humanité*, 22 avril 1976, 8. DG
- [1976n]. Physique et matérialisme dialectique, *L'Humanité*, 25 juin 1976, 8. DG
- [1976v]. La physique des particules élémentaires : un exemple de recherche collective, *Dernières nouvelles d'Alsace*, n° 297, mercredi 22 décembre 1976. D
- [1977a]. *Quantum mechanics, a half century later* (éd. en collab. avec José Leite Lopes), Reidel, Dordrecht, 1977, x + 310 p. R
- [1977b]. The recent attempts to verify quantum mechanics, in Leite Lopes, José et Paty, Michel (eds.), *Quantum mechanics, a half century later*, Reidel, Dordrecht, 1977, p. 261-289. R
- (Version préliminaire en français :) voir [1975a].
- [1977c]. Inclusive production from 10 GeV/c K^+ on nuclei and comparison with the same production on hydrogen (en coll. avec Orlando Concepcion *et al.*), *Nuclear Physics* B 127, 1977, 447-460. R
- [1977d]. Strange particle production by antineutrinos (en coll. avec O. Erriques *et al.*), *Physics Letters* 70 B, 1977, 383-386. R
- (Egalement :) Communication présentée au 1977 *International Symposium on lepton and photon interactions at high energies, Hamburg* (*Proceedings*, p. 1004).]
- [1977e]. Measurement of the antineutrino-nucleon cross-sections on neutrons and protons (en collaboration), Communication présentée au 1977 *International Symposium on lepton and photon interactions at high energies, Hamburg* (*Proceedings*, p. 1011) ; preprint CRN/HE 77-23 (Strasbourg), 13 p.
- [1977f]. Antineutrino-nucleon total cross-sections and ratio of antineutrino cross-sections on neutrons and protons (en collaboration), Communication présentée au 1977 *International Symposium on lepton and photon interactions at high energies, Hamburg* (*Proceedings*, p. 1031).
- [1977g]. Single pion production by antineutrinos via neutral current (en collaboration), Communication présentée au 1977 *International Symposium on lepton and photon interactions at high energies, Hamburg* (*Proceedings*, p. 1011).
- [1977h]. Letter of intent to submit proposal for the study of short-lived particles produced in neutrino interactions in emulsion stack located inside Gargamelle (en coll. avec F. Baroni *et al.*), *CERNR/SPSC/77-88, SPSC/I 96* (Genève), 18 p.
- [1977i]. Le charme laisse des traces, *La Recherche* 8, 1977, 165. D
- [1977j]. Voir les quarks, *La Recherche* 8, 1977, 673-676. D

- [1977k]. *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, Thèse de doctorat en philosophie, Université des Sciences Humaines, Strasbourg 2, 1977, dactyl., 468 p. R
- [1977l]. D'Alembert et son temps. Eléments de biographie, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 69-70, 1977, 1-69. R
- [1977m]. Les Sciences contemporaines comportent-elles des aspects idéologiques ? in *Les sciences, la société et la foi devant le défi écologique*, Centre Inter-universitaire de Télé-enseignement, Strasbourg, 1977, V22, 1-12. G
 - (Egalement :) in Siegwalt, Georges (dir.), *La nature a-t-elle un sens ?*, Assoc. Publ. Univ. Strasbourg, 1980, p. 185-192. - (Egalement :) voir [1978m].
- [1977n]. Socio-épistémologie des hautes énergies (en coll. avec Baudouin Jurdant et Josiane Olff-Nathan), Projet de recherche D.G.R.S.T., 1977, 13 p. + annexes.
- [1977o]. La recherche scientifique, ça vous intéresse (La fonction sociale de la recherche), *France nouvelle*, n° 1645, 23 mai 1977, 24-25. D
- [1977 p]. *La vie lapidaire*, poèmes, dactylogr., 1977, 46 p. L
- [1978a]. Production of strange particles in antineutrino interactions at the CERN PS (en coll. avec O. Erriques *et al.*), *Nuclear Physics B* 140, 1978, 123-140. R
- [1978b]. Single pion production in antineutrino-induced neutral-current interactions studied with Gargamelle (en coll. avec O. Erriques *et al.*), *Physics Letters* 73 B, 1978, 350-354. R
- [1978c]. Observation of an excess of ν_e , $\bar{\nu}_e$ events in a beam dump experiment at 400 GeV (en coll. avec P. Alibrand *et al.*), *Physics Letters* 74 B, 1978, 134-138. R
- [1978d]. Recent results from the Gargamelle ν propane experiment at the CERN-PS (en coll.), *Proceedings of the Topical conference on neutrino physics at accelerators, Oxford, july 1978*, p. 68-74. R
- [1978e]. Experimental bounds on the lifetime of charmed particles (en coll. avec Gianni Conforto *et al.*), *Proceedings of the Topical conference on neutrino physics at accelerators, Oxford, july 1978*, p. 243-247. R
- [1978f]. Gargamelle results from the CERN beam dump experiment (en coll. avec J. Morfin *et al.*), in E.C. Fowler (ed.), *Neutrino 1978. Proceedings of the International conference on neutrino physics and neutrino astrophysics, Purdue, april-may 1978*, p. 607-615. R
- [1978g]. Quasi-elastic production of lambda hyperons in antineutrino interactions at the CERN PS (en col. avec K. Myklebost *et al.*), in E.C. Fowler (ed.), *Neutrino 1978. Proceedings of the International conference on neutrino physics and neutrino astrophysics, Purdue, april-may 1978*, p. C 37-C 41. R
- [1978h]. Lifetime measurement and identification of charmed hadrons produced in neutrino interactions in nuclear emulsion (en coll. avec D. Allasia *et al.*), *CERN/SPSC/78-134 SPSC/P 120* (Genève), nov. 1978, 14 p.
- [1978i]. An upper limit on the cross-section for scattering at SPS energies, en col. (Gargamelle wide band antineutrino collaboration), Communication présentée à la *XIX International Conference on high energy physics, Tokyo, august 1978* (*Proceedings*, rapporté par M. Haguénauer, p. 362).
- [1978j]. Beam dump experiment at 400 GeV (en coll.), Communication présentée à la *XIX th International Conference on high energy physics, Tokyo, august 1978* (*Proceedings*, p. 1014).
- [1978k]. Quarks parfumés colorés confinés, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 80, 1978, 16 p. D

- [1978l]. Quand on tue les neutrinos dans l'oeuf, *La Recherche* 9, 1978, 779-781. D
- [1978m]. Des sciences pures... d'idéologie ?, *La Nouvelle Critique*, n° 114, mai 1978, 21-27. [Identique à 1977m]. G
- [1978n]. Un autodidacte de génie : Jean-Henri Lambert, in « A propos de Lambert », *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 82, 1978, 1-11. R
- [1978o]. Concepts et modèles en physique des particules, *Symposium « Théorie Physique et Réalité »*. Association Gonseth, Institut de la Méthode (Bienne), livraison II, avril 1978, p. 29-40. R
- [1978p]. D'Alembert et le calcul infinitésimal, in Table Ronde « Mathématiques et philosophie de l'infini de 1750 à nos jours », in « A propos de Lambert », *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 82, 1978, 16-20. R
 - (Egalement :) *Annexe aux Actes du Colloque J.H. Lambert, Correspondance entre Daniel Bernoulli et Jean-Henri Lambert, suivi de Table Ronde « Mathématique et philosophie de l'infini de 1750 à nos jours »*, Orphrys, Paris, 1979, p. 78-80.
- [1978q]. Modèles mathématiques et réalité physique, *La Pensée*, n° 200, août 1978, 86-101. R
- [1978r]. La matière dérobée (sur les lieux et les modes d'intervention réciproques de la science et de la philosophie), *La Pensée*, n° 202, décembre 1978, 16-37. R
- [1978s]. Lucrèce, coupure ou pas coupure ?, *France nouvelle*, n° 1691, 10 avril 1978, 27-28. Cr
- [1978t]. Le pouvoir et dame culture, *Le Monde*, 9 décembre 1978, 2. G
- [1978v]. Lutte et réflexion syndicale: l'orientation et le bouillonnement, *Vie de la Recherche Scientifique*, 1978. G
- [1979a]. Antineutrino-nucleon total cross-section and ratio of antineutrino cross-sections on neutrons and protons (en coll. avec O. Erriques *et al.*), *Physics Letters* 80 B, 1979, 309-313. R
- [1979b]. Search for short-lived particles in high energy neutrino interactions identified using a hybrid emulsion-spark chamber arrangement (en coll. avec A. L. Read *et al.*), *Physical Review* D 19, 1979, 1287-1302. R
- [1979c]. A fine grain neutrino detector for the precise measurement of purely leptonic processes (en coll.), Letter of intent, *CERN/SPSC/79-30 SPSC/I 116* (Genève), 12 march 1979, 14 p.
- [1979d]. First results on all one-pion neutral current reaction channels induced by antineutrinos at CERN PS (en coll.), Communication présentée au *1979 International Symposium on lepton and photon interaction at high energies Fermilab, Batavia, USA, august 23-29, 1979*. (Prétirage, Strasbourg, 10p.).
- [1979 e]. La double désintégration β , *La Recherche* 10, 1979, 66-68. D
 - (Reprise :) La double désintégration β , in Détraz, Claude et Isabelle, Didier (eds.), *La Recherche en physique nucléaire*, Seuil, Paris, 1983, p. 69-74. D
- [1979f]. Les neutrinos au fond des mers, *La Recherche* 10, 1979, 670-672. D
- [1979g]. A la recherche de l'identité des neutrinos, *La Recherche* 10, 1979, 1126-1127. D
- [1979h]. Les prix Nobel de physique 1979 : soulever un coin du grand voile des interactions, *La Recherche* 10, 1979, 1242-1243. D
- [1979i]. Sur le réalisme d'Albert Einstein, *La Pensée*, n° 204, avril 1979, 18-37. R

- [1979j]. La critique rationaliste de l'idée de création au 18^{ème} siècle, in *La Création, le problème des origines dans les grands courants de la pensée de l'Occident*, Centre Interuniversitaire de Télé-enseignement, Département des sciences religieuses, Strasbourg 1979, VII-1, 1-21. R
- (Egalement :) voir [1983e].
- [1979k]. Einstein et la philosophie en France : à propos du séjour de 1922, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, n° 93, 1979, 23-41. R
- (Egalement :) *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 35, n^{lle} série, janvier 1980, 9-12. (Egalement :) *La Pensée*, n° 210, février 1980, 3-11.
- [1979l]. L'histoire et la philosophie de la physique dans l'enseignement supérieur scientifique et la recherche en France. Un premier bilan, *Bulletin de la Société française de physique*, n° 34, n^{lle} série, octobre 1979, 31-33. G
- [1979m]. Eléments de réflexion sur le problème nucléaire, *Positions* (Bordeaux), n° 7-8, octobre 1979, 40-48. G
- [1979n]. Dans cet éclaircissement de notre immersion ..., *Art press international*, n° 31, juillet-août 1979 (« *La question de la science* », p. 3-41), 23-24. L
- [1980a]. Experimental results on one-pion neutral current reaction in all channels induced by antineutrinos at CERN PS (en coll. avec O. Erriquez *et al.*), *Nuclear Physics B* 176, 1980, 37-50. R
- [1980b]. Production of hadrons in π^\pm -Ne interactions (en col. avec T. H. Burnett *et al.*), *Proceedings of the XIth International symposium on multiparticle dynamics, Bruges, Belgium, june 1980*, p. 161-169. R
- [1980c]. Les protons meurent aussi, *La Recherche* 11, 1980, 590-591. D
- [1980d]. Une symétrie violée pour unifier les interactions (Les prix Nobel 1980, Physique), *La Recherche* 11, 1980, 1430-1431. D
- [1980e]. La Physique et le réel, exposé et débat avec Bernard D'Espagnat, *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 74^{ème} année, n° 1, janv. mars 1980, 1-42. R
- [1980f]. Les idées de loi et de causalité chez d'Alembert, in *Centre interdisciplinaire d'étude de l'évolution des idées, des sciences et des techniques, Séminaires et Tables rondes de l'année universitaire 1978-1979*, CIEEIST, Orsay, 1980, p. 29-56. R
- [1980g]. Court-circuits parascientifiques, *Raison Présente*, n° 56, 4^{ème} trim. 1980, numéro spécial (« *La parapsychologie, oui ou non ?* »), p. 51-63. G
- [1980h]. Les contributions d'Einstein per a l'elaboracio de la primera teoria dels quanta, *Ciència* (Barcelone), n° 3, octobre 1980, 156-162. (Trad. en catalan). RD
- (Original en français :) voir [1981e].
- [1980i]. Editorial. The world of ideas is a theater. Le monde des idées est un théâtre, *Fundamenta scientiae* 1, 1980, n° 2, 121-125.
- [1981a]. *L'étrange histoire des quanta* (en collab. avec Banesh Hoffmann), Seuil, 1981, Paris, 284 p. (Rédaction en propre de : Nouveaux voyages au pays des quanta, p. 195-282, et de l'Avertissement, p. 7-8).
- [1981b]. De l'atome aux particules, in Noël, Emile (dir.), *La Matière aujourd'hui*, coll. Points Science, Seuil, Paris 1981, p. 31-51. D
- [1981c]. Les contributions d'Einstein à l'élaboration de la première théorie des quanta, *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 631, février 1981, 693-709. E
- (Trad. en catalan :) voir [1980h].

- [1981d]. D'Alembert (Jean Le Rond, 1717-1783), *Encyclopedia Universalis*, vol. 1, Paris, éd. 1981, p. 615-616. D
- [1981e]. La position de d'Alembert par rapport au matérialisme, *Revue philosophique* 171 (106^e année), 1981, n° 1, 49-66. R
- [1981f]. Modèles mathématiques et objets physiques, in *XIIèmes Rencontres de Méribel: « Reconnaissances; la différenciation cellulaire »*, Les Arcs, 15-27 mars 1981, p. 139-145. R
- [1981g]. Interventions sur les Implications conceptuelles de la physique quantique, au Colloque de la Fondation Hugot du Collège de France, juin 1980, *Journal de Physique, Supplément, fasc. 3, Colloque n° 2*, 1981, pp. C2 37-40, 78-80, 96-98, 109-111, 116-118. R
- [1981h]. L'inséparabilité quantique en perspective. Corrélations à distance, théorie de la mesure et probabilités, *Collection Philosophie et mathématiques, Séminaire de l'Ecole normale supérieure*, IREM Paris-Nord, Villetaneuse, 1981, 27 p. (Cf. texte complet : [1982a]). R
- [1981i]. Les particules élémentaires : progrès récents, *La Grande Encyclopédie Larousse. Supplément*, Paris, 1981, p. 431-433. D
- [1981j]. La recherche publique en Alsace : le CNRS, in *Assises alsaciennes de la recherche et de la technologie, Strasbourg 4, 5 et 6 novembre 1981. Compte-rendus des travaux*, Strasbourg, 1981, p. 237-248. G
- [1981k]. L'apport culturel de la science et de la technologie, in *Contributions des secteurs Mathématiques-physique de base, Physique nucléaire et physique des particules, du Comité national du CNRS au Colloque national sur la recherche et la technologie*, CNRS, Paris, 1981, p. 5-23. G
- [1981l]. Sulle esperienze di pensiero, in Ludovico Geymonat, *Per Galileo. Attualità del razionalismo*, A cura di Mario Quarenta, Bertani, Verona, 1981, p. 271-275. (Trad. en italien d'une intervention à une conférence de L. Geymonat). R
- (Original en français :) Sur les expériences de pensée, inédit.
- [1981o]. Monoculture ? (En français et trad. en anglais par Lucrezia Brachfeld), *Controverses. Controversies, Fundamenta Scientiae* 2, 1981, n°1, 9-15. G
- [1981p]. Editorial (en collab. avec Baudouin Jurdant, n.s.), *Fundamenta Scientiae* 2, 1981, n°1, 1-7. G
- [1982a]. L'inséparabilité quantique en perspective, ou : Popper, Einstein et le débat quantique aujourd'hui, *Fundamenta Scientiae* 3, 1982, 79-92. R
- [1982b]. Sur quelques caractères de l'objet physique dans la représentation quantique, *Actes du XVIII^e Congrès des Sociétés de philosophie de langue française*, Strasbourg, 7-10 juillet 1980, Association des Publications de l'Université de Strasbourg/Vrin, Paris, 1982, p. 308-311. R
- [1982d]. Un héraut de l'anti-temps, ou le rebours de la méthode, *Revue de Synthèse*, t. CIII, 3^eme série, n° 105, janv.-mars 1982, 65-71. G, Cr
- [1982e]. Une philosophie de la science des métamorphoses (L'épistémologie de Prigogine), *Scientia*, 117 (annus LXXVI), 1982, 29-41. R
- [1982f]. Una filosofia della scienza delle metamorfosi (L'epistemologia di Prigogine) (trad. ital. par A. Bianchi), *Scientia*, 117 (annus LXXVI), 1982, 43-52. (Trad. ital. de 1982 e)]. R
- [1982g]. A philosophy of the science of metamorphoses (Prigogine's epistemology) (engl. transl. by I. Mc Gilvray), *Scientia*, 117 (annus LXXVI), 1982, 53-62. (Trad. angl. de [1982e])). R

- [1982h]. Des rumeurs d'incertitude, *Le Genre humain*, n° 5 : « La rumeur », automne 1982, 31-46. R
- [1982i]. La mesure en mécanique quantique, exposé au séminaire de méthodologie et critique expérimentale, Université de Bordeaux II, 29 mars 1982. Prétirage, *Strasbourg CRN/HE* 82-07, 1982, 20 p.
- [1982j]. La notion de programme épistémologique et la physique contemporaine, *Fundamenta scientiae* 3, 1982, 321-336. R
- [1982k]. Wissenschaftspolitik in Frankreich (Deutsche Uebersetzung von Herbert Mehrrens und Norbert Lutz), *Wechselwirkung* (Berlin), n° 15, November 1982, 47-50. G
 - (Original en français :) La recherche scientifique et le nouveau cours politique en France. (Inédit). G
- [1982l]. Science et non-science : les nouveaux irrationalismes expliquent la science, *Universalis* 1982, Encyclopedia Universalis, Paris, 1982, p. 352-355. DG
- [1982m]. Les physiciens des particules en quête de leur histoire (en coll. avec Jeanne Laberrigue), *La Recherche* 13, 1982 (n° 135, juillet-août), 908-910. DG
- [1982n]. Des coraux et des ombres, ou la banalisation de l'horreur (à propos de la bombe à neutrons), *La Pensée*, n° 226, mars-avril 1982, 129-130. G
- [1982o]. Il faut en finir avec le mythe des experts, entrevue pour l'enquête de Anna Alter, « Nucléaire : la contestation démodée ? », *Science et vie* 131, n° 772, janvier 1982 (p. 22-41), 28. G
- [1982q]. Empiriocriticisme, in Labica, Georges & Bensussan, Gérard (éds.), *Dictionnaire critique du marxisme*, Presses Universitaires de France, Paris, 1982, p. 318-319. GD
- [1982r]. Positivisme, in Labica, Georges & Bensussan, Gérard (éds.), *Dictionnaire critique du marxisme*, Presses Universitaires de France, Paris, 1982, p. 705-707. GD
- [1983a]. Hadron production in π^+ and π -neon interaction at 30 and 64 GeV/c (en col. avec C.D. Rees *et al.*), *Zeitschrift für Physik* C 17, 1983, 95-1013. R
- [1983b]. Eléments d'histoire des idées sur la théorie quantique jusqu'à l'argument EPR, in C. Gruber, C., Piron, C., Tran, M. T., Weill, R. (eds.), *Les Fondements de la mécanique quantique*, 25ème cours de perfectionnement, Association vaudoise des chercheurs en physique, Montana, Valais, Suisse, 6-12 mars 1983, A.V.C.P., Lausanne, 1983, p. 9-48. R
- [1983c]. Problèmes et défis de la physique, *Projet*, n°178, sept.-oct. 1983, 885-895. G
- [1983d]. Einstein et Spinoza, exposé à l'Association des amis de Spinoza, Paris, 19 mars 1983. Prétirage, *Strasbourg CRN/HE* 83-03, 1983, 45 p.
- [1983e]. La critique rationaliste de la création au dix-huitième siècle, *Dialectica* 37, n°3, 1983, 185-200. (Identique à [1979j]). R
- [1983f]. Des particules à l'univers : l'unification des forces physiques fondamentales, in Blanc, Marcel (dir.), *L'état des sciences et des techniques*, La Découverte-Maspero, Paris / Boréal Express, Montréal, 1983 p. 412-416. D
- [1983g]. Le déterminisme remis en cause, in Blanc, Marcel (dir.), *L'état des sciences et des techniques*, La Découverte-Maspero, Paris / Boréal Express, Montréal, 1983 p. 140-143. D
- [1983h]. Projet de recherche d'une équipe interdisciplinaire d'histoire des sciences et épistémologie au Parc de La Villette, en collab. avec Christian Houzel, Roshdi Rashed, Claire Salomon-Bayet, in *Les Etudes du Musée National des Sciences, des*

Techniques et de l'Industrie (Parc de la Villette, Paris), n° 2, janvier 1983 (« *Pour un centre d'histoire des sciences et des techniques à La Villette* »), 45-48. G

- [1983i]. Contribution à l'élaboration du rapport Pour un centre d'histoire des sciences et des techniques, en collab., *in* Les Etudes du Musée National des Sciences, des Techniques et de l'Industrie (Parc de la Villette, Paris), n° 2, janvier 1983, 15-30. G

* Centre de Recherches Nucléaires (CNRS et Université Louis Pasteur-Strasbourg-1, 67037 Strasbourg-Cedex-France.